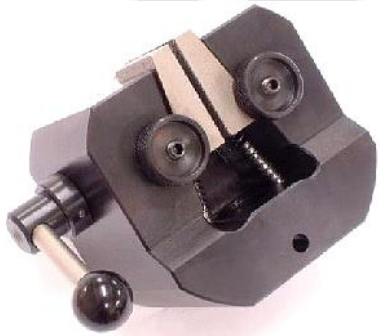
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Mechanische Prüfung an Elementen der Mikrosystemtechnik

Übersicht

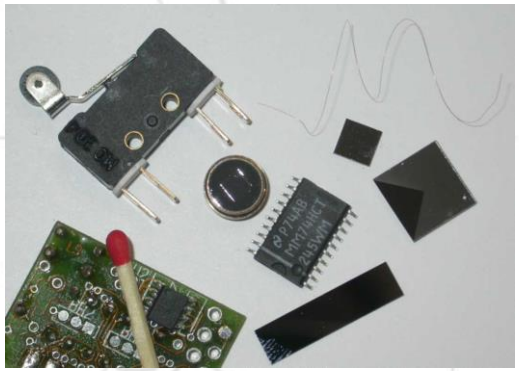
- Ausgangspunkt – Downscaling
- Unterteilung der Prüfmaschinen
- Mikroprüfsysteme von Hegewald & Peschke:
  - Statisch-dynamische Prüfmaschine LC100N
  - Statisches Mikroprüfsystem S500
- Prüfsoftware LabMaster
- Prüfzubehör
- Probenformen, Prüftechnologie und Anwendungen

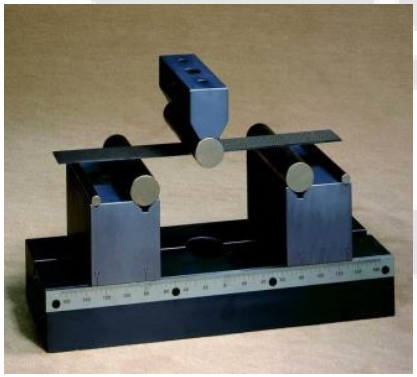
Skalierung der klassischen Universalprüfmaschine mit Zubehör für die Prüfung von Mikrosystemen



Ausgangspunkt

- Kraftregelung?
- Positionsregelung?
- Externer Regelkanal?
- Homogene Krafteinleitung?
- Kraft- und Formschluss





Downscaling

- **Probenspannung, Krafteinleitung in kleinste Proben**
  - Positionierverhältnis der Proben im Kraftfluss ist größer bei klassischer Prüfung
  - Größere Streuung der Messerergebnisse,
    - z.B. klassische metallische Probe ø 10 mm Positioniergenauigkeit in der Lastachse/Schrägzug besser 0,5 mm
    - Z. B. Bonddraht 30 µm Positioniergenauigkeit in der Kraftachse/Schrägzug besser als 1,5 µm, manuell nicht möglich
- **Neue Strategien zur Integration der Krafteinleitung und zum Handling sind notwendig**
- **Höhere Prüfanzahl mit Statistik - > Aufwand Prüfzeit -> Kosten**
- **Exakte, spielfreie Fixierung im µm-Bereich notwendig**
- **Grenzwerte Kraftrauschen durch Vibrationen**
  - Verhältnis Messbereich zur Eigenmasse der Sensoren mit der Einspannung ist höher als bei der klassischen Prüfung, Beispiele
    - Gewicht 100 kN Kraftsensor = 10 kg (0,1 % FS, Resonanzfrequenz 6,5 kHz)
    - Gewicht 10 N Kraftsensor = 18 g (1,8 % FS, Resonanzfrequenz 1,5 kHz)
  - Eigenfrequenz der Prüfaufbauten liegt teilweise sehr nahe an der Eigenfrequenz der Sensorkette was zu Wechselwirkungen führt

Downscaling

- Effektive Messbereichsnutzung ist ca. eine 10er Potenz geringer, 10.000 Digit sind nutzbar
  - Baugrößen werden teilweise durch Montagefähigkeit bestimmt
  - Umfangreiche, weil speziellere Probenspannungen/Sensoren als bei der klassischen Prüfung notwendig -> Kosten

- Auflösung und Genauigkeit der Wegmessung
  - Zum Erreichen einer hohen Regelgüte müssen genügend digitale Signale zur Verfügung stehen
  - ausreichende Inkremente, digitale Signale - hohe Kosten für präzise Systeme (Genauigkeit < 1 µm, Auflösung < 0,005 µm, Bereich > 10 mm)
  - Möglichkeit der indirekten Messung ist eingeschränkt, da Hysterese-Effekte bei hohen Geschwindigkeiten den Regelkreis belasten
  - Die Wegmessung ist indirekt auch Grundlage für die Stellgröße bei der Kraftregelung. Es besteht ein direkter Zusammenhang zwischen Wegauflösung und Kraftregelgüte. Das kleinste Kraftdigit ist die Positionsauflösung im Verhältnis zur Systemsteifigkeit.

Downscaling

- Systemsteifigkeit und Hysterese als Grundlage zur Korrektur der Position
  - Hohe Steifigkeit ist nur notwendig bei dynamischen Versuchen und bei Experimenten mit Risswachstum
    - Geringe Steifigkeit = hohe Energiespeicherung
  - Die Systemsteifigkeit muss in engen Grenzen reproduzierbar sein, damit Korrekturrechnungen möglich sind
    - Die Steifigkeitskurve ist idealer weise linear, maximal ein Polynom 2.Ordnung
  - Die Maschinenhysterese ist möglichst auf die Materialeigenschaften zu begrenzen
    - Durch konstruktive Gestaltungen sind die Kontaktflächen und Querschnitte zu optimieren
  - Die Steifigkeit bezieht sich grundsätzlich auf alle im Kraftfluss befindlichen Teile der Prüfmaschine

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Unterteilung der Prüfmaschinen

Anwendungen und Technik

Einteilung im klassischen Lastbereich 500N > < 2MN	Notwendige Einteilung in der MST <500N
• **Zeitstandprüfanlagen** – Belastung mit Totgewichten+ Hebelübersetzung oder motorisch	• **Zeitstandprüfanlagen** – Belastung mit Totgewichten
• **Universalprüfmaschinen** – spindelmechanischer- oder hydraulischer Antrieb, – Niederzyklische Versuche in Grenzen möglich – umfangreiche Prüfwerkzeuge	• **Statische Prüfmaschine** – spindelmechanischer Antrieb
	• **Statisch-Dynamisch Prüfmaschine** – Spulenantrieb
	• **Statisch-Dynamische Präzisionsprüfmaschine** – Piezoantrieb mit Spindelvorpositionierung
• **Hochfrequenzpulser bis 100Hz** – hydraulischer Antrieb	• **Hochfrequenzpulser bis 10kHz** – Piezo- oder Spulenantrieb
• **Mehr-Achsen-Prüfanlagen** – hydraulischer Antrieb	• **Mehrachsige Prüfungen** – Piezo- oder Spulenantrieb

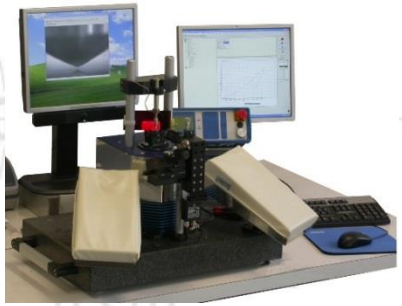
Unterteilung der Prüfmaschinen

Geräteparameter	statische Prüfmaschine	statisch-dynamische Prüfmaschine	statisch- dynamische Präzisions-Prüfmaschine
Kräfte	+++	++	+
statisches Krafthalten	++	+++	+
dynamische Prüfungen (LC-Bereich)	-	+++	+
Geschwindigkeit	+	+++	++
Auflösung Positionierweg	+++	++	+++
Genauigkeit integrierte Wegmessung	+	++	+++
Steifigkeit/Linearität	+	++	+++
Wegmessbereich/Verfahrbereich	+++	++	+
Preisverhältnis	1	2	3

H&P Mikroprüfsysteme
Technische Eckdaten

- Statische Miniaturprüfmaschine
  - » Nennkraft ±500N
  - » Weg 50mm
  - » Auflösung Wegmessung 0,005µm
  - » Geschwindigkeit maximal 2mm/s

- Statisch-Dynamische Prüfmaschine
  - » Nennkraft ±100N
  - » Weg 10mm
  - » Auflösung Wegmessung 0,020µm
  - » Geschwindigkeit maximal 100mm/s und 50Hz Sinus



- Statisch-Dynamische Präzisionsprüfmaschine
  - » Nennkraft ±20N
  - » Prüfweg 50µm +Vorpositionierung
  - » Auflösung Wegmessung 0,002µm
  - » Geschwindigkeit maximal 4mm/s und 10Hz Sinus

Inspekt micro LC 100N

Ansicht Statisch-Dynamische Prüfmaschine

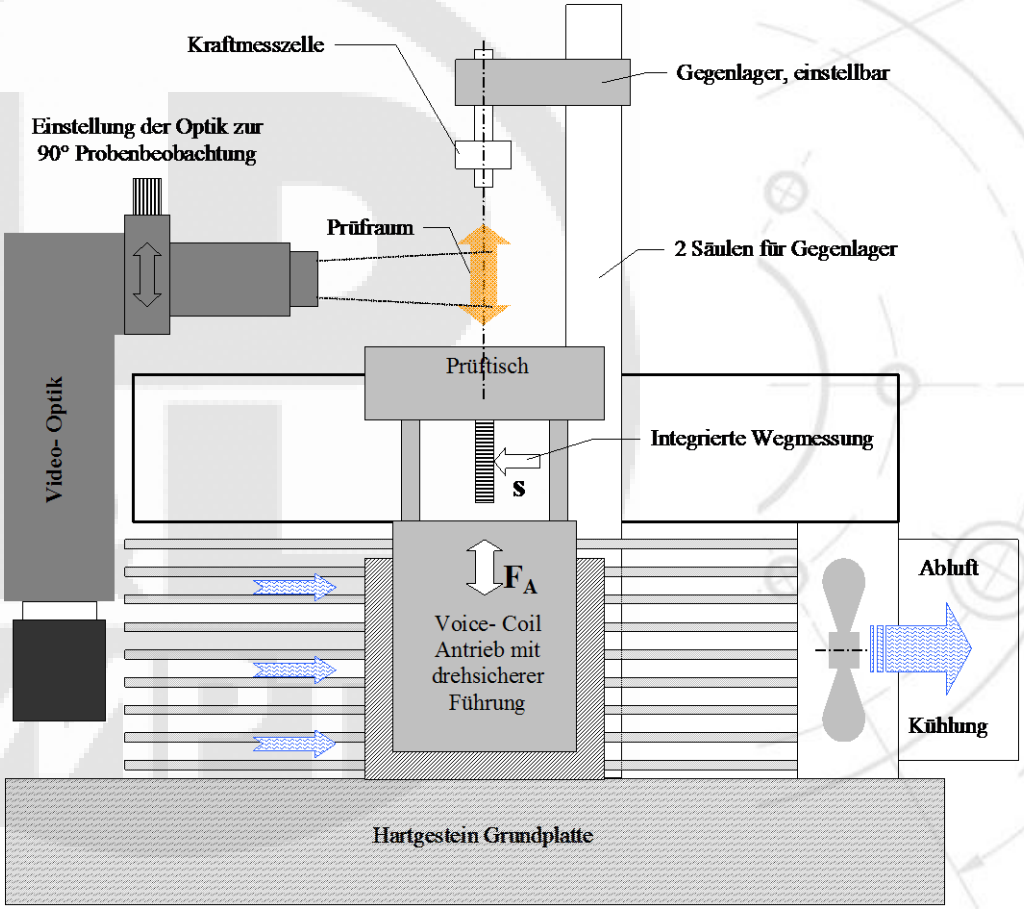
Inspekt micro LC 100N

Technische Daten

- Dauerprüfkraft bis ±100N, bis maximal 50Hz Sinus, Hub 10mm
- Voice-Coil Antrieb mit direktem Wegmeßsystem
- Auflösung Wegmeßsystem bis 0,020µm, Gen.±3µm
- Systemsteifigkeit mit 100N Kraftsensor 4N/µm
- Maximale Prüfgeschwindigkeit vmax =100mm/s
- Kraftauflösung bis ±100.000.Digit möglich
  - Sensoren austauschbar, Abstufung 10N / 50N / 100N
- Datenerfassungsrate bis 1000Hz in der Software
- Sichtbereich Kamera- Zoom von 1.2x0,9mm bis 6.5x5.0mm
  - Als Videomikroskop in der Prüfsoftware integriert oder optional als Videoextensometer
- Grundaufbau auf Hartgesteinplatte
  - mit zusätzlichen Befestigungsmöglichkeiten
- Gerät tauglich für Reinräume ISO 14644-1 Klasse 8
  - Abluftführung nach hinten

Inspekt micro LC 100N

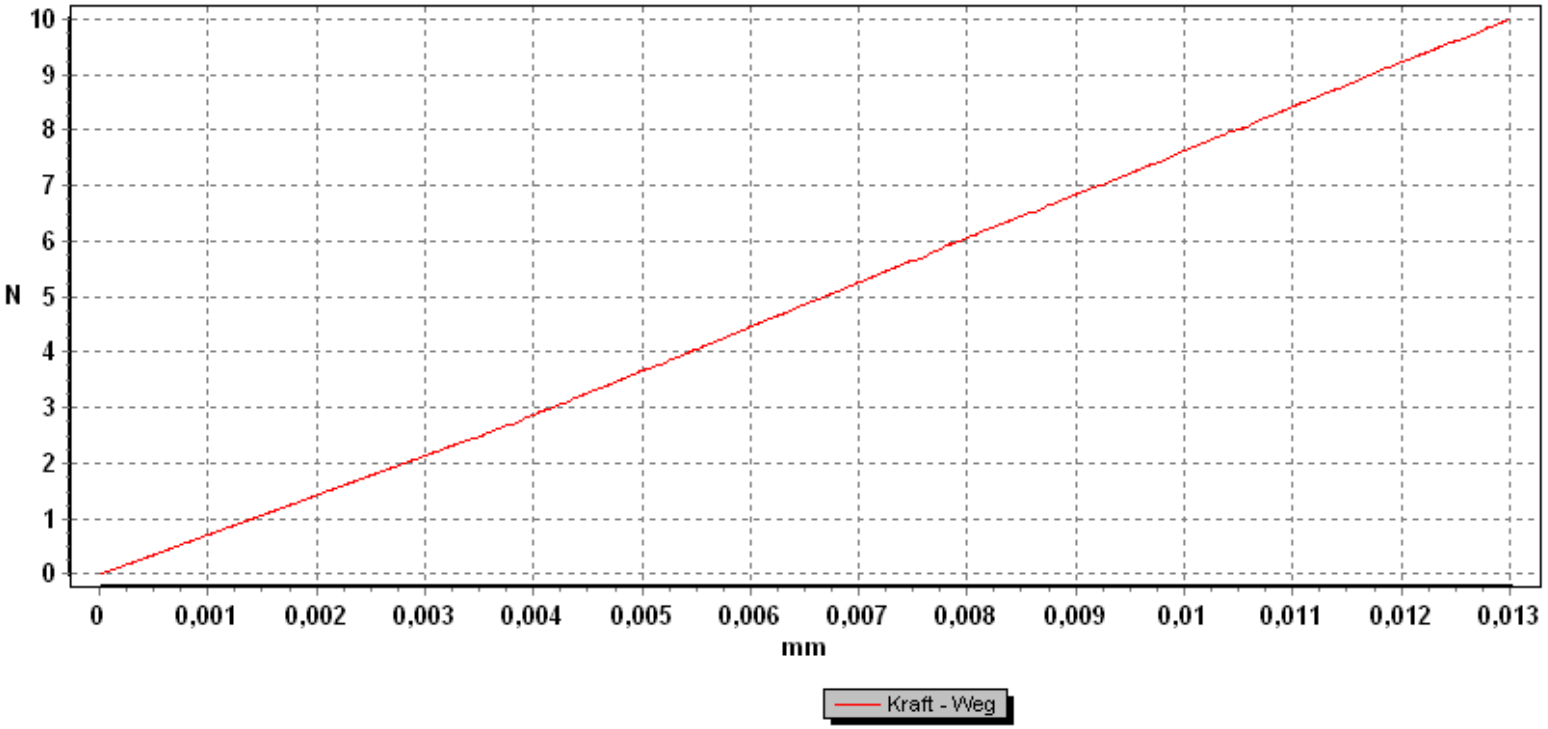
Systemaufbau Belastungseinheit/ Basisgerät (Schnittdarstellung)



Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

LC 100 Mikroprüfsystem

Inspekt micro LC 100N Steifigkeit 0,75 N/µm mit 10N Wägezelle

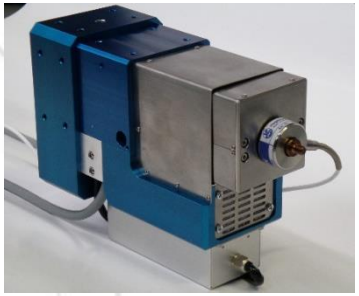


Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Statisches Mikroprüfsystem S 500

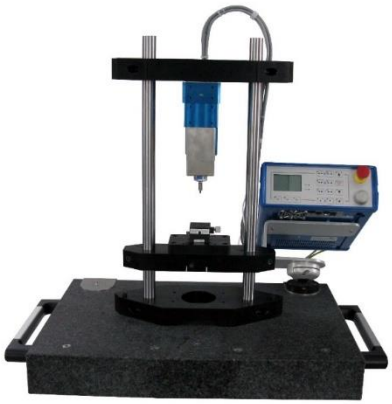
Statisches Prüfsystem mit Spindelantrieb

- Nennlast 500N
- Hub 50 mm
- Auflösung Positioniermessung 0,005µm
- Geschwindigkeit max. 2mm/s
- Steifigkeit 25N/µm (inkl. Wägezelle)



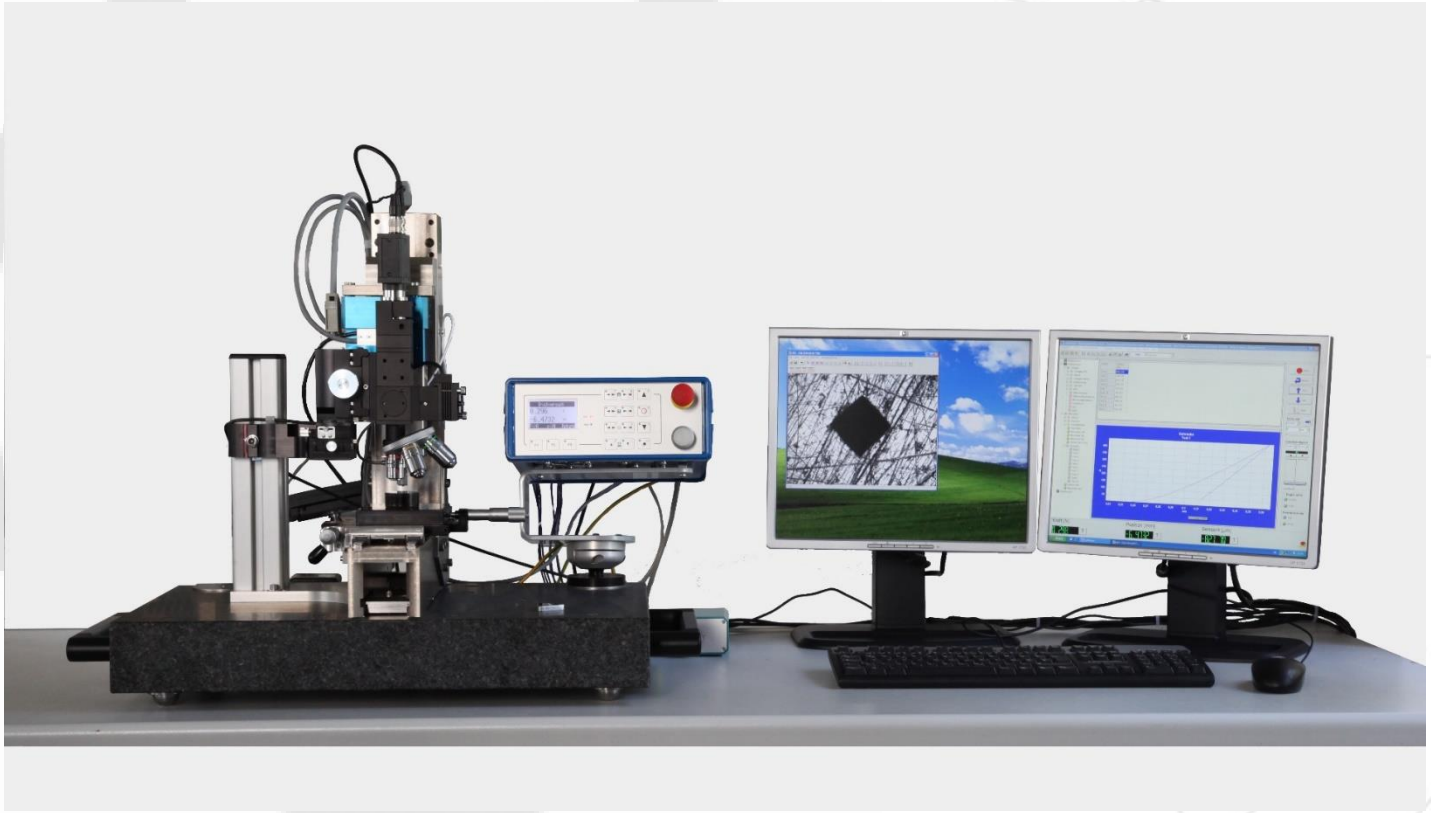
C-Rahmen-Prüfsystem zur Härteprüfung inkl. Eindringtiefenauswertung sowie optischer Auswertung des Eindrucks

Statisches Zweisäulen-Prüfsystem für die Zug-/ Druck-/Biege- und Peelprüfung an kleinsten Proben



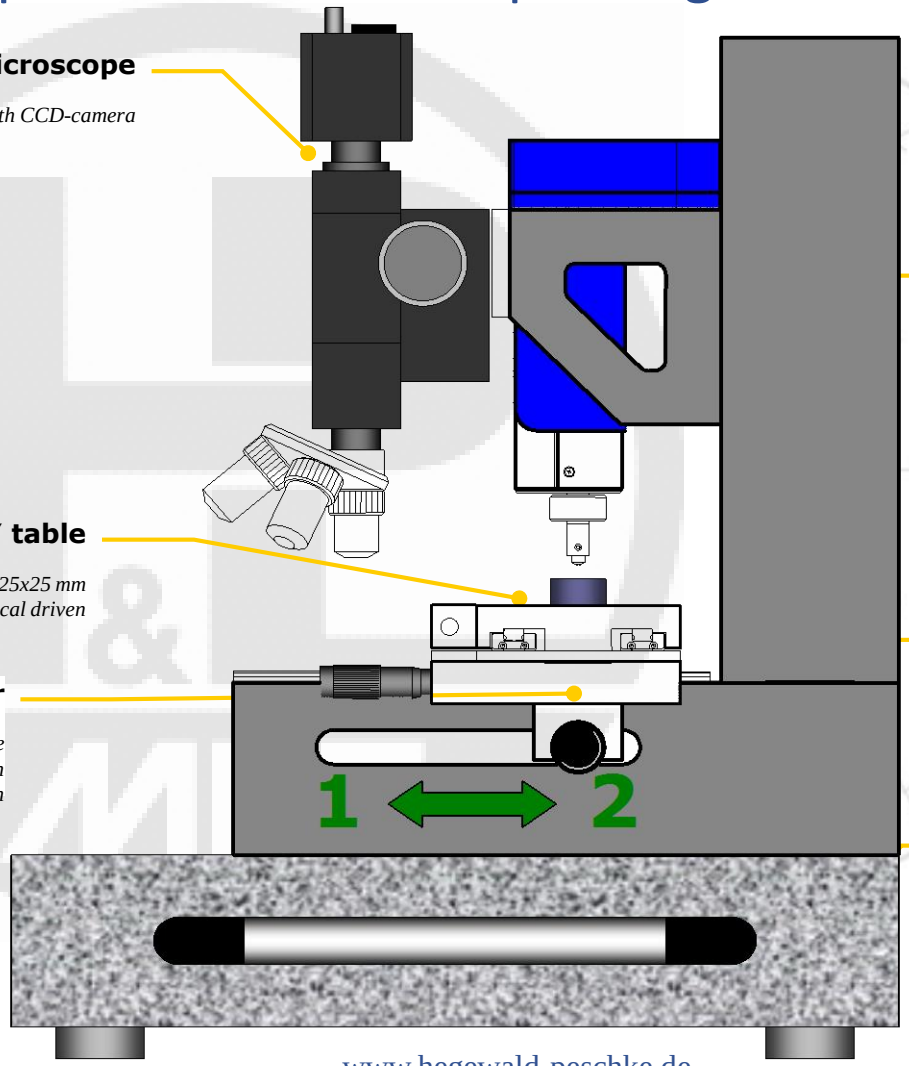
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

S 500 Statisches Mikroprüfsystem
C-Rahmen-Prüfsystem



Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

S 500 Statisches Mikroprüfsystem C-Rahmen-Prüfsystem - speziell für die Härteprüfung entwickelt.



Microscope

with CCD-camera

Loading head

with high precise integrated incremental displaceent measurement system

X-Y table

25x25 mm
manual or motorical driven

C-frame

strong U profile with additional displacement sensor integrated to determine deformation of x-y table

Sliding carrier

for positioning of x-y table
1) Measurement position
2) Testing position

Solid base plate with dumping feet

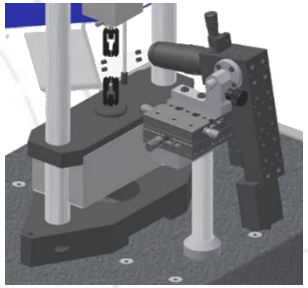
Solid massiv stone plate with carrier handles and dumping feet

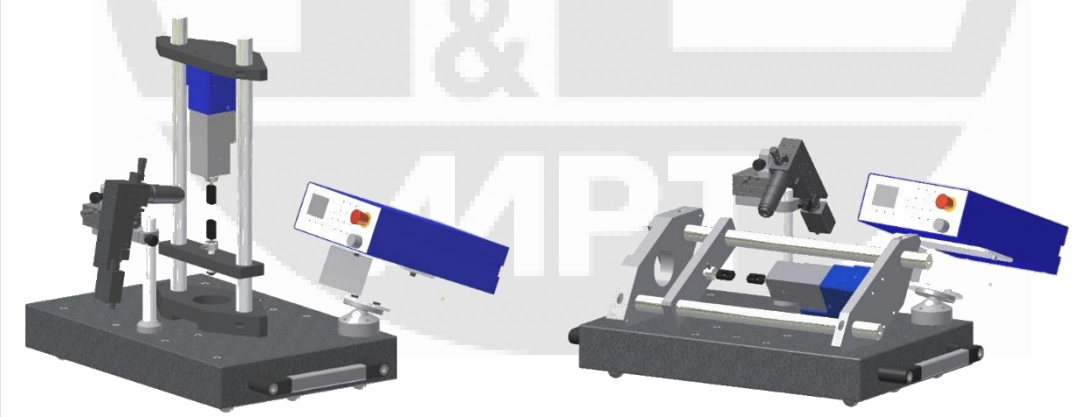
Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

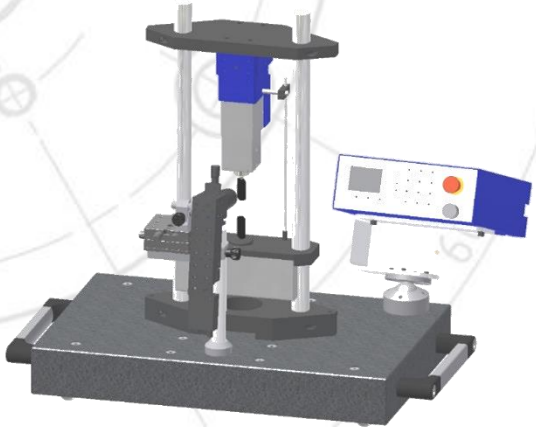
S 500 Statisches Mikroprüfsystem Zweisäuliges Design

Prüfkopf für Zug-/Druck-/Biege-/Peelprüfung

- Modularer Aufbau vertikal oder horizontal
- Lasten zwischen 10N - 500N
- Mögliche Anpassung des Videosystems (Videomodul) oder des Mikroskops möglich
- Hilfskompensation der Verformung im Gegenlager integriert







Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

H&P Prüfmaschinensoftware Labmaster

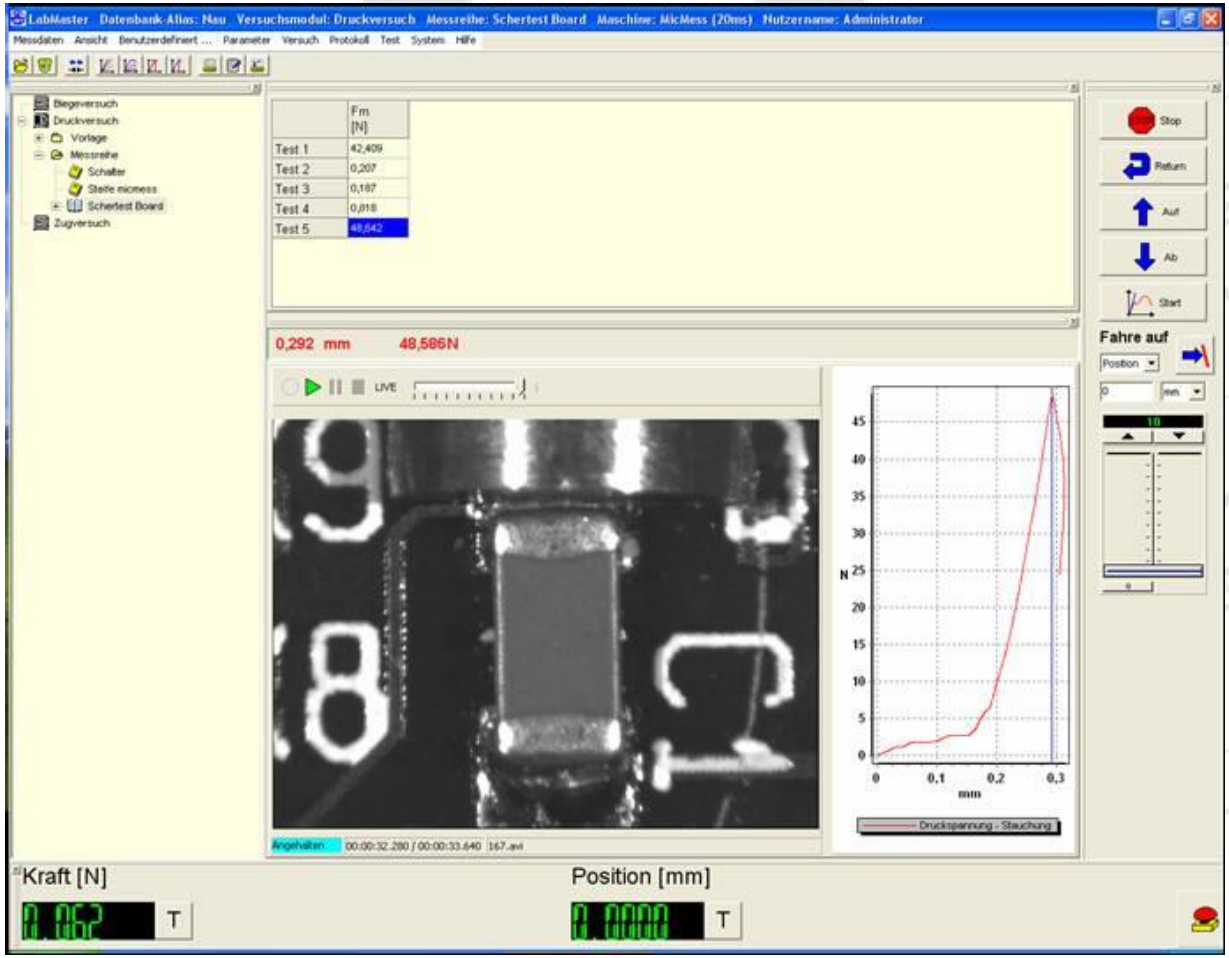
- Verwaltung der Prüfvorlagen mit den Test- und Maschinenparametern
- Freie Programmierung der Fahrbefehle mittels Blockprogramm Verwaltung der Messreihen und Speicherung der Rohdaten
- Kraft-Positionsregelung, daraus abgeleitet Spannungs- und Dehnungsregelung
- Regelung nach externen Signalen möglich
- Im laufenden Versuch Umschaltung der Regelkanäle möglich
- Verarbeitung von Ein- und Ausgangssignalen im Programmablauf
- Online-Darstellung der Messwerte im Diagramm
- Statistische Auswertung
- Protokolldruck
- Videomodul: Integriertes Videobild und synchrone Aufzeichnung zum Versuch (statische Tests)

LabMaster

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

H&P Prüfmaschinensoftware Labmaster

Screenshot der Prüfmaschinensoftware

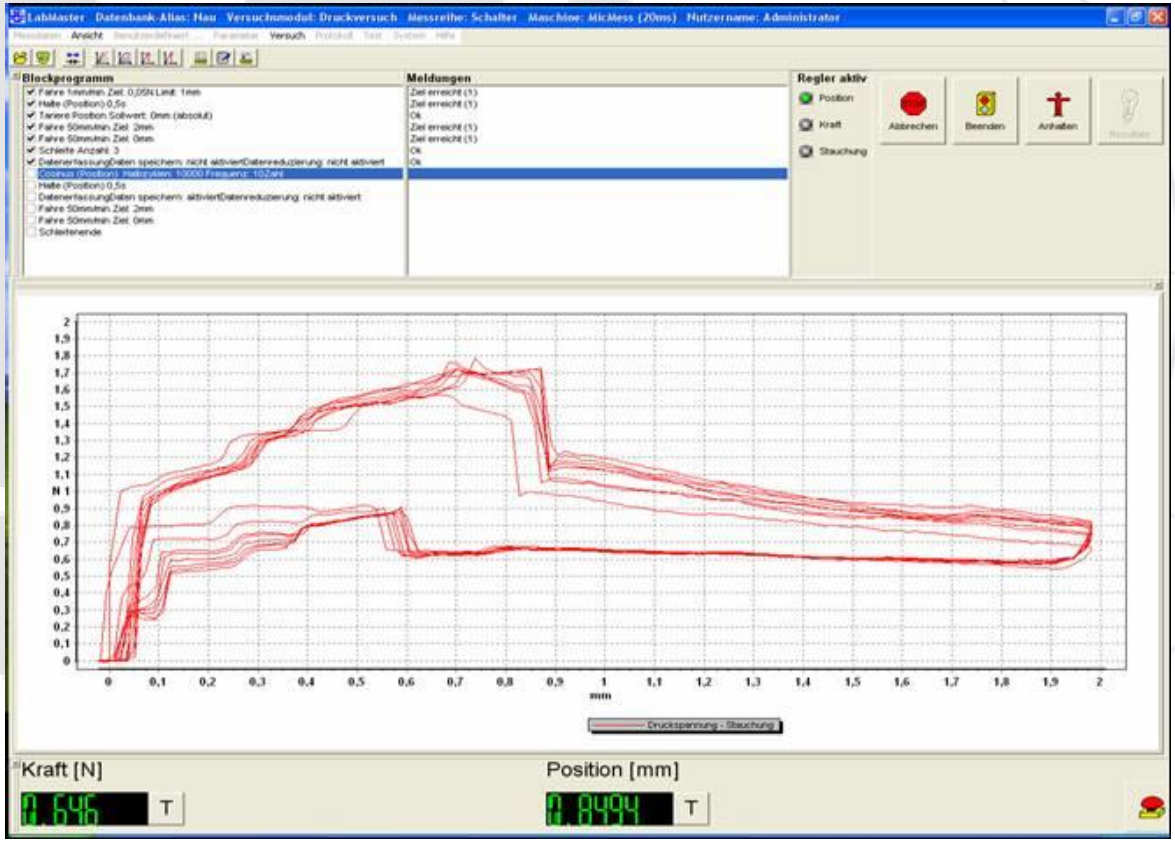


Links: Explorer
Oben: Ergebnistafel
Rechts: Bedientableau
Mitte: Video+ Grafikfenster
Unten: Echtzeitkanäle

Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

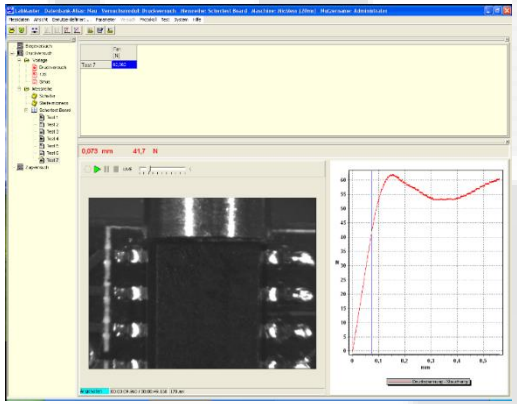
Test eines Mikroschalters auf Lebensdauer mit dem Blockprogramm der Prüfsoftware LabMaster

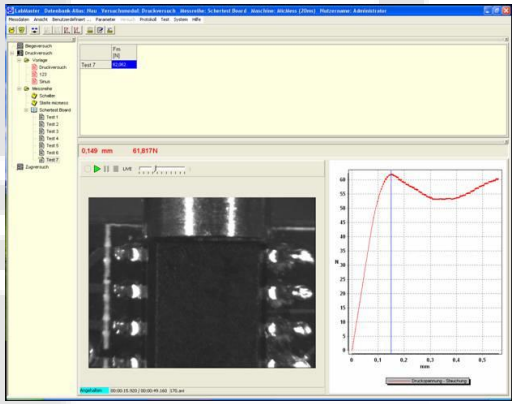
– Screenshot der Software bei der Testdurchführung mit der Darstellung der Testabarbeitung im Blockprogramm

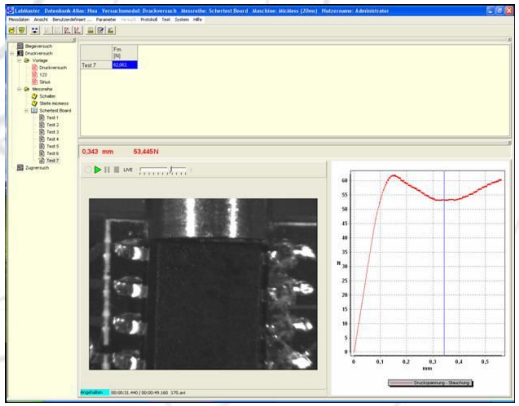


Softwaremodule

- Videomodul zur optischen Visualisierung des Prüfablaufs in Bezug auf die physikalischen Parameter/Ergebnisse (Bsp. Spannungs-Dehnungskurve)
- Steifigkeitsmodul zur Korrektur der Steifigkeit – Aufgrund der Beschaffenheit mancher Proben ist es schwierig die Verformung direkt zu messen. Das Modul kompensiert einen Teil der Verformung der Versuchsanordnung.







Prüfzubehör - Spannwerkzeuge

- Kreuztisch

- Miniatur-Schraubklemmen

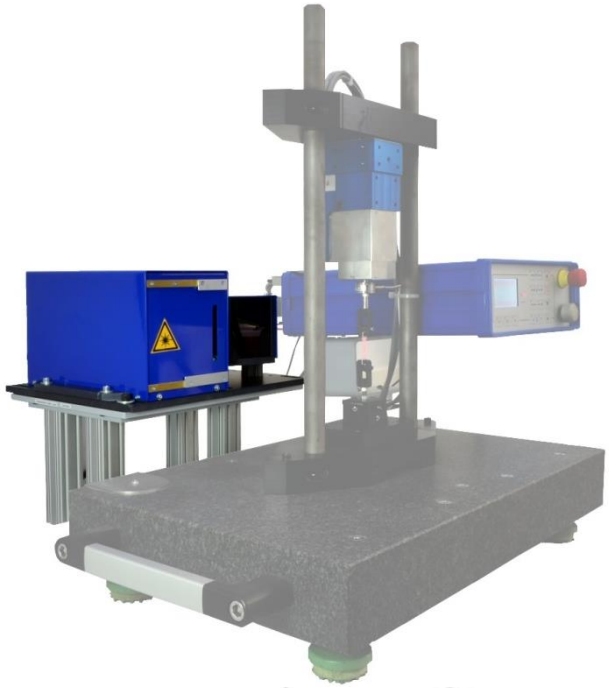
- Druckplatten

- Schervorrichtungen

Dehnungsmessung

- Laserextensometer P50/P100 für die berührungslose Dehnungsmessung von Prüfkörpern, insbesondere bei der Prüfung von Mikrofasern, von 3D-Bauteilen, in der Mikroelektronik

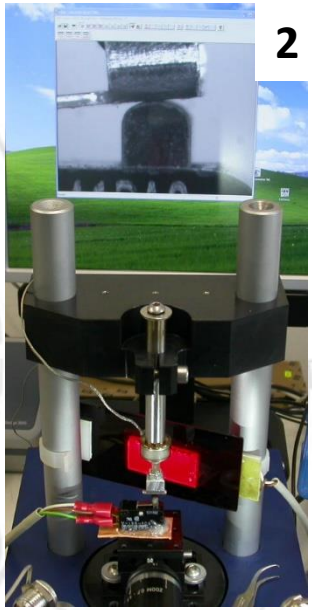
- Vorteile des Laserextensometers:
  - Berührungslos
  - Hohe Auflösung
  - Genauigkeitsklasse 0,2 nach ISO9513
  - Stabiles Messprinzip

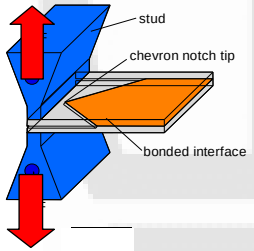


Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

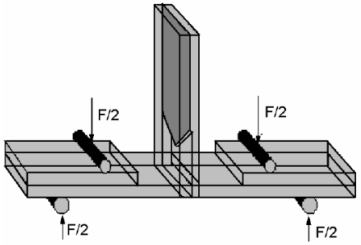
Generelle Anwendungen

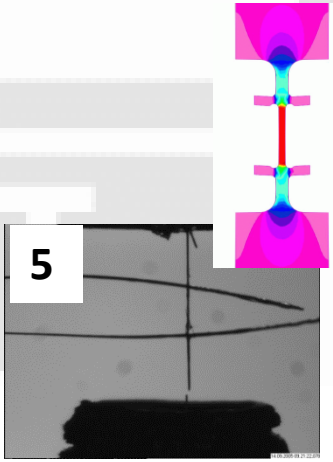
- 1. Martens Härte (registrierte Härte)
- 2. dynamische Prüfungen
- 3. Chevron-Test (Probe 2,5-10 mm)
- 4. Scherversuch am SMD-Bauteil
- 5. Mini-Zugversuch (LIGA-Methode)
- 6. Mikrobauteilprüfung / Bindungsprüfung
- 7. Mikrobiegeversuche, z.B. an Membranen

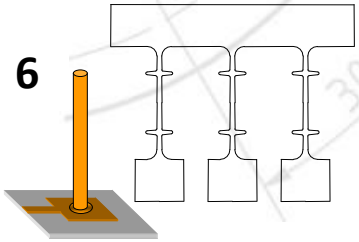


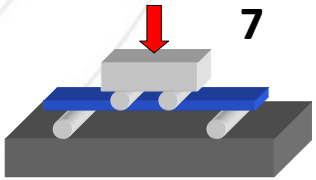


3







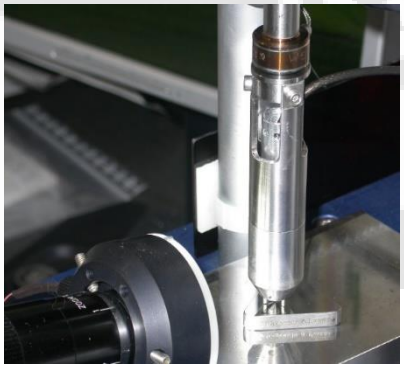


Probenformen und Prüftechnologie

Registrierende Härteprüfung

Härteprüfung durch die Möglichkeit der Messung der Eindrucktiefe und der optischen Auswertung des Eindrucks:

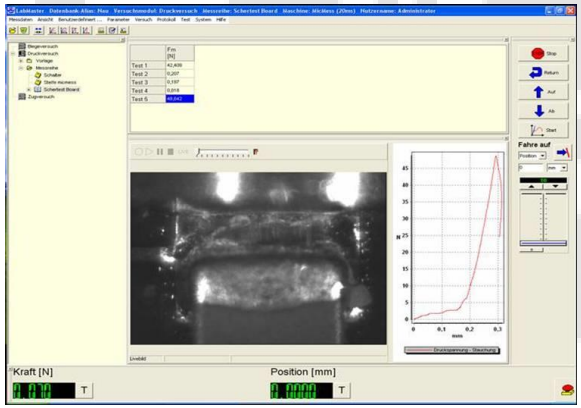
- Münzen, z. B. mit dem automatischen Münzhärte-prüfgerät (s. Abb. rechts) für Vickers-Härteprüfungen nach DIN EN ISO 6507 im Belastungsbereich 50 N bis 300 N
- Extrudierte, spritzgegossene, heißgeprägte, thermisch verformte Kunststoffbauteile, z.B. zur Bewertung von Verarbeitungsmerkmalen
- Metalllegierungen

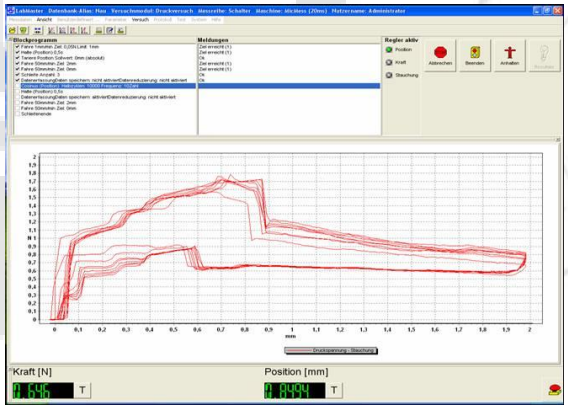


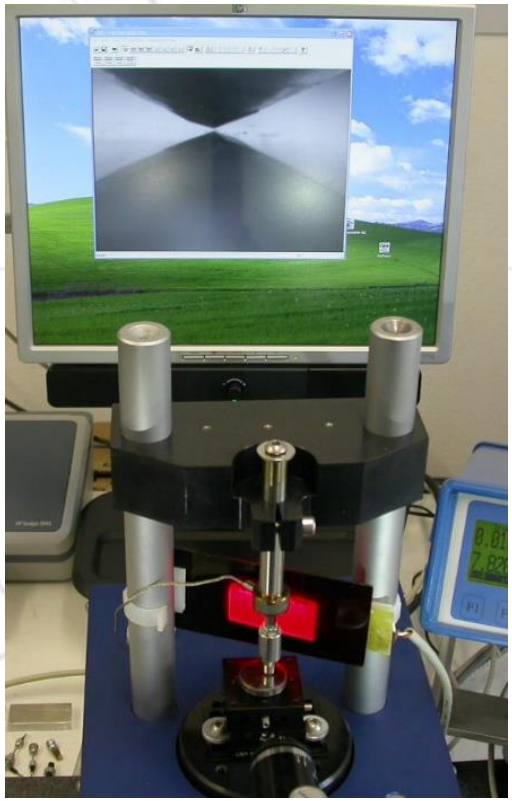
Probenformen und Prüftechnologie

Dynamische Prüfung

- Herzstents
- Muskelfasern
- Elektronischen Schaltern
- Uhrenkomponenten und Teilen von chronometrischen Instrumenten
- Verbindungen und geklebten Bauteilen



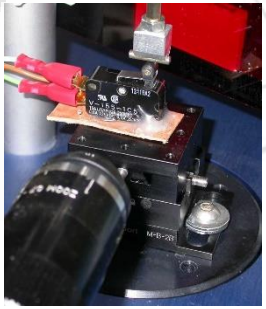


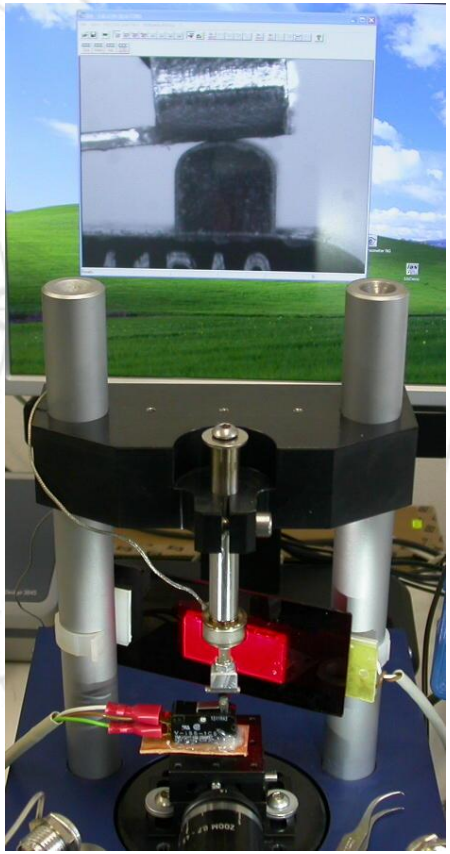


Probenformen und Prüftechnologie

Test eines Mikroschalters auf Lebensdauer

- Verwendung Blockprogramm zur Versuchsdurchführung von komplexen Prüfabläufen und zyklischen Versuchen
- Variable Datenspeicherung, zum Beispiel:
  - Einbindung externer Kanäle in den Prüfablauf
  - Belastungszyklen werden nicht aufgezeichnet, nur Grenzwerte werden überwacht
- Mögliche Prüfanwendung: 1.000 Belastungszyklen mit 10 Hz
- Aller 10.000 Zyklen wird ein Prüfdurchlauf automatisch gespeichert.
- Der Schalter ist an den I/O Eingängen der Steuerung angeschlossen und die Schaltpunkte werden synchron mit den Positionswerten gespeichert .
- Die jeweils 10.000 Belastungszyklen wurden mit 10 Hz Sinus mit 2 mm Hub gefahren.

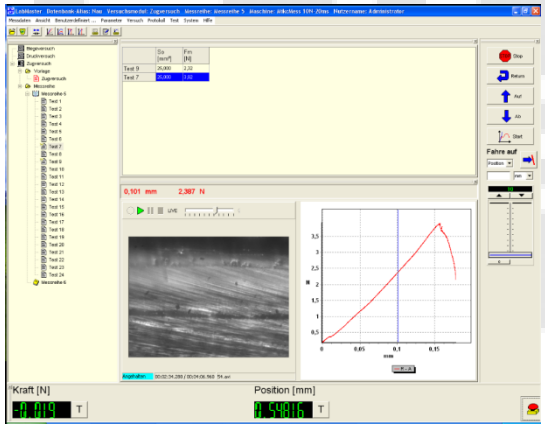


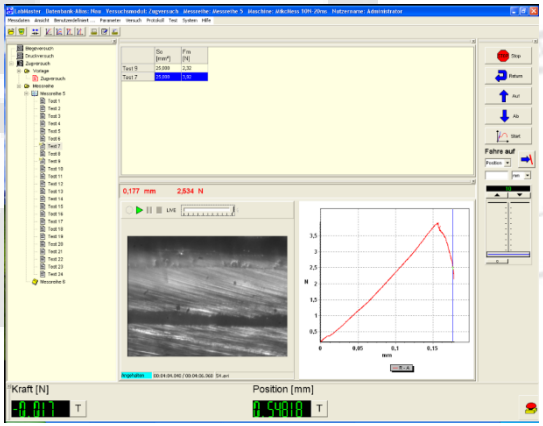


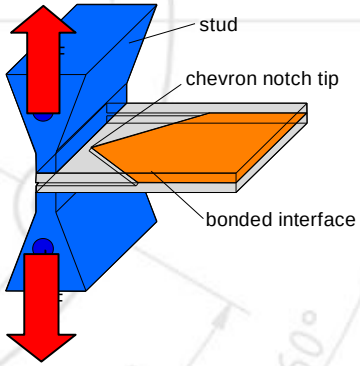
Probenformen und Prüftechnologie

Chevron-Test

- Vorgesehene Probenabmessungen 2.5 - 5 - 10mm
- Beispiel zeigt die Verformungsmessung bzw. Rissöffnung einer 10mm Probe an der Stirnseite der Chevron Probe mit dem Laser Speckle Extensometer
- Schwerpunkt ist die Krafteinleitung zur Probe und deren Handling







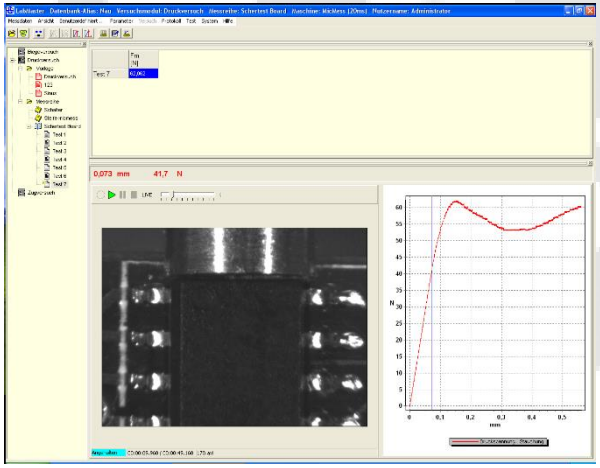
Dokumentation der Rissöffnung der Chevron Probe mit dem integrierten Video-modul und synchrone Aufzeichnung zur Belastung

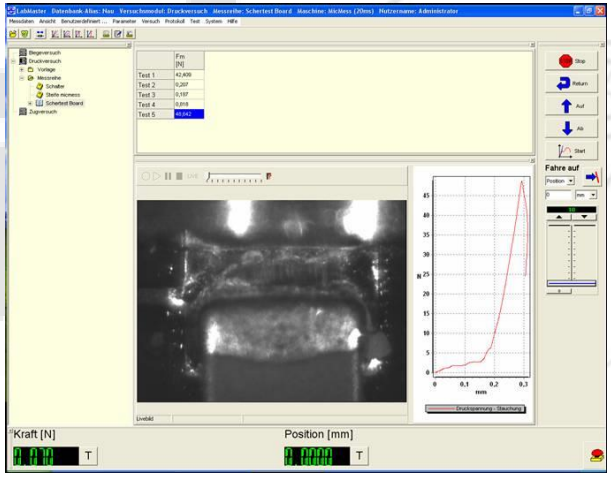
Probenformen und Prüftechnologie

Schertest an SMD Bestückung

- Board auf dem X-Y-Positioniertisch der Prüfmaschine
- Kraftmess-Sensor mit Schermeißel
- Auswertesoftware mit Videodokumentation des Bauteilverhaltens

Das Videomodul wird unter anderem genutzt zur Bewertung, Dokumentation und Auswertung des Bauteilversagens. Dabei wird das Bild synchron zum Spannungs-Dehnungs- bzw. Kraft-Weg-Diagramm aufgezeichnet und abgespeichert.



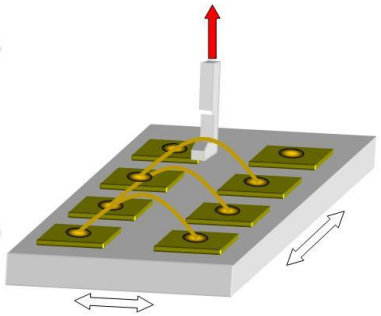


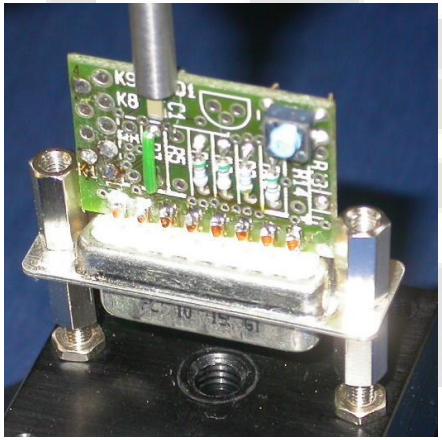
Probenformen und Prüftechnologie

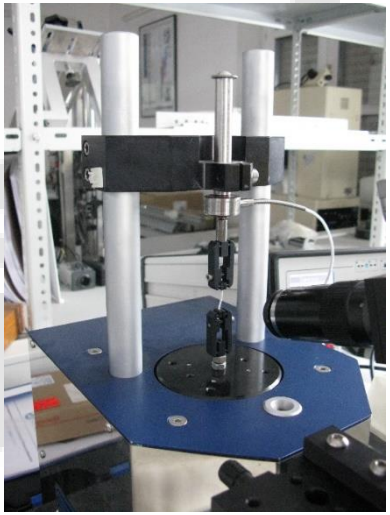
Schertest an SMD Bestückung - Anwendungen

Zugversuch an kleinsten und feinsten Materialien:

- feinste Kunststoffstreifen und -folien
- Naturfasern
- durch Tissue Engineering erzeugtes Gewebe
- Elektronische Kontakte/Buchsen (SMD)
- Verklebte und geschweißte Teile







Hegewald & Peschke
Meß- und Prüftechnik GmbH

Kontakt zu Hegewald & Peschke

E-mail: info@hegewald-peschke.de
Tel.: +49 35242 445-0
Fax: +49 35242 445-111