

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

CTA: 99975 106725



ZHN Nanoindenter in Einhausung



Wechsel des Probenhalters

Anwendungsbereich

Der Universelle Nanomechanische Tester ist für die Bestimmung von Härte und E-Modul an Werkstoffen und Schichtsystemen ausgelegt. Der Nano- und Mikrobereich der EN ISO 14577 (Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter für metallische Werkstoffe und Schichten) wird normkonform abgedeckt. Zudem lassen sich mit dem nanomechanischen Tester auch zyklische und mit einer Schwingung überlagerte Eindringprüfungen durchführen.

Durch seine hohe Modularität ist er mehr als ein Nanoindenter oder Härteprüfer. Mit **einem Messkopf (NFU)** kann er genutzt werden als:

- Nanoindenter / Härteprüfer, je nach verwendetem Messkopf, für Messungen zwischen 0,05 mN - 20000 mN
- Mikro-Druckprüfgerät im selben Kraftbereich
- Ermüdungstester bis 2 Hz quasistatisch oder bis 300 Hz mit Dynamikmodul
- Dynamisch Mechanischer Tester (DMA) bis etwa 100 Hz mit Dynamikmodul
- Zur Oberflächenprofilmessung und mit Dynamikmodul auch für Stiffness/Modulus-Mapping
- Scratch- und Verschleißtester ohne Reibwertmessung
- Für schnelles Mapping von Härte und E-Modul mit bis zu 10 Messungen pro Minute

Mit einem **zweiten Messkopf für laterale Kraft-Verschiebungs-Kurven (LFU)** kann er genutzt werden als:

- Scratchtester mit Messung der Reibkraft
- Oszillierender Scratchtester (Schwingung der Probe senkrecht zur Scratchrichtung)
- Mikro-Verschleißtester für reversierenden Verschleiß
- Mikro-Fretting-Tester (laterale Oszillationen) mit Dynamikmodul
- Schertester
- Messgerät für die laterale elastische Deformation. Daraus können abgeleitet werden:
 - Laterale Kontaktsteife
 - Poissonzahl
 - Laterale Versagensmechanismen

Einsatzgebiete (Beispiele)

- Schichtentwicklung von weich (Polymer) bis hart (diamantartige Schichten)
- Bestimmung kritischer Spannungen für Rissbildung oder plastische Deformation
- Hartstoffschichten für Werkzeuge und als Kratzschutz
- Schutzschichten auf Gläsern
- Lacke und Sol-Gel-Schichten
- Automatisierte Messung des Härteverlaufs an Querschliffen
- Nano-Schichten für Sensoren und MEMS/NEMS
- Biologische Materialien
- Matrixeffekte in Legierungen (Mapping)
- Keramische Materialien und Komposite

PI 901 723

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

- Ionenimplantierte Oberflächen
- Schadensanalyse in der Mikroelektronik

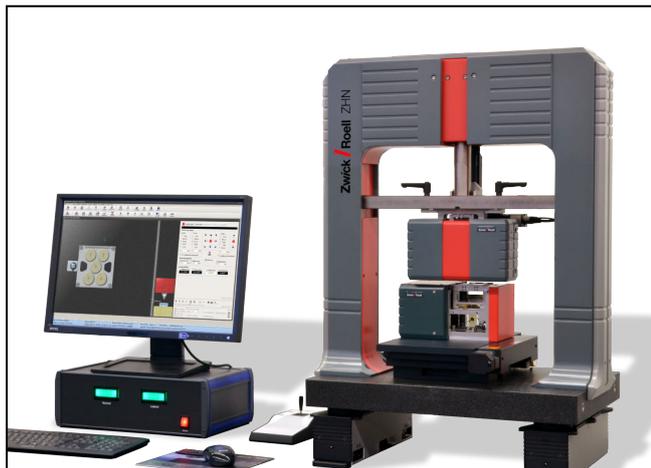
Vorteile und Merkmale

- Moderne Software mit übersichtlichem Design
- Steife Rahmenkonstruktion mit der Eindringkörperachse genau in der Bewegungsachse (kein Kippmoment)
- Größte Modularität durch:
 - Austauschbare Messköpfe in normaler (20 N / 2 N / 0,2 N) und lateraler Richtung - damit praxisnahe Modellierung der Belastungsbedingungen
 - Einzigartige für Raumfahrt entwickelte Tandem-Optik mit 2 Kameras, erweiterbar für bis zu 4 unterschiedliche Vergrößerungen
 - Strukturierung der Software in Funktions-/ Anwendungsmodulen für Härte- und E-Modultest, Scratchtest, zyklische und mit einer Schwingung überlagerten Eindringprüfung
- Verschiedene Probenhalter verfügbar, auch Probenhalter mit isoliertem Probenträgern zur Kontaktwiderstandsmessung Spitze - Probe
- Viel Platz in alle Richtungen mit präziser Schrittweite und hoher Auflösung:
 - X-Richtung: 100 mm
 - Y-Richtung: 200 mm
 - Z-Richtung: 70 mm
- Neues Kabinendesign/Einhausung mit verbesserter thermischer und akustischer Isolation

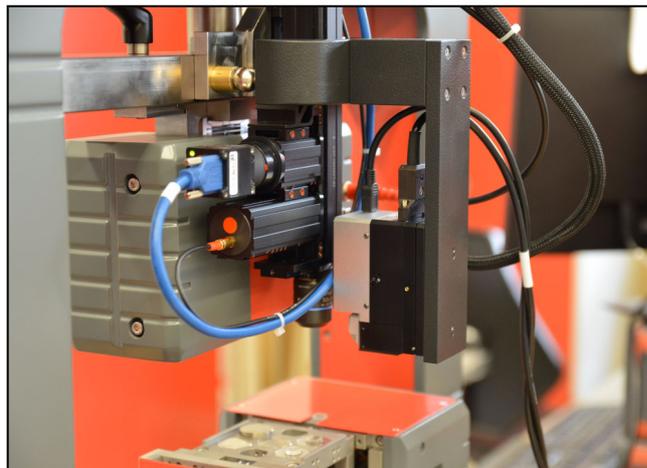
Die Optik

- 50x-Objektiv – Strahlengang wird über Strahlteiler und Zwischenoptiken zu zwei Kameras geführt
- Innerhalb der optischen Abbildung lassen sich
 - Messstellen definieren
 - Abstände und Umfänge vermessen
 - Vorhandene Messstellen per Knopfdruck abfahren und anzeigen
 - Beleuchtung und Bildparameter regeln
 - Maßstäbe und Aufnahmezeiten einblenden
- Durch Verzicht auf mechanische Objektivwechsel hohe Positioniergenauigkeit und schnelle Umschaltung zwischen den Vergrößerungen
- Auch gering reflektierende Oberflächen wie Gläser lassen sich gut abbilden
- Autofokus-Funktion zum Auffinden der Höhe für eine scharfe Abbildung
- Automatische Erstellung von Bildern der Messstellen (programmierbar)
- Übersichtsbild aus zusammengesetzten Einzelbildern mit großer Schärfentiefe

CTA: 98980 140317



ZHN mit NFU, LFU, PC, Elektronik und Schwingungsdämpfer



AFM angebaut an ein ZHN hinter der Optikeinheit

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Die Vielfalt und Flexibilität des Prüfkonzepts

Der Universelle Nanomechanische Tester ZHN ist eine Weiterentwicklung der bewährten Nanoindenter-Technik von ASMEC. Er kombiniert erstmals zwei Messköpfe in normaler Richtung (Nanoindenter-Prinzip) und lateraler Richtung (Scratchtester-Prinzip), die beide völlig unabhängig voneinander mit Nanometer-Auflösung arbeiten. Damit lassen sich erstmals laterale Kraft-Verschiebungs-Kurven messen, aus denen mehr Materialparameter gewonnen werden können als bisher (siehe Anwendungsbeispiele). Dies beinhaltet die Messung der lateralen Steifigkeit und rein elastischer lateraler Deformationen der Probe.

Durch den 2-säuligen Lastrahmen mit Zentralspindel-Antrieb und Präzisionsführung ist eine steifere Rahmenkonstruktion gewährleistet. Zudem ist die Eindringkörperachse genau in der Bewegungsachse angeordnet. Es tritt kein Kippmoment auf, und Abbe'sche Messfehler sind ausgeschlossen. Die Gerätsteife ist mit mehr als 10^6 N/m so hoch, dass sie nicht mehr korrigiert werden muss, was die Kalibrierung der Flächenfunktion wesentlich erleichtert.

Im Gegensatz zu den Geräten anderer Hersteller arbeiten die beiden Messköpfe sowohl in Zug- als auch in Druckrichtung, sodass auch mit einer Schwingung überlagerten Eindringprüfung wie auch zyklische Ermüdungsprüfungen umsetzbar sind.

Messkopf-Eigenschaften

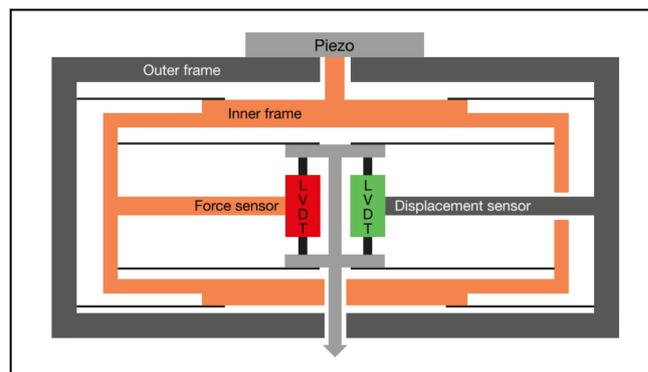
Das Gerät kann sowohl kraft- als auch weggesteuert im Mode „open loop“ (nur Maximalkraft/Weg werden geregelt) oder „closed loop“ (jeder einzelne Messpunkt wird geregelt) arbeiten. Die maximale Datenrate beträgt 1000 Punkte pro Sekunde, sodass auch sehr schnelle Messungen möglich sind.

Eine ausgefeilte Software erlaubt sowohl eine komfortable Steuerung als auch eine schnelle Programmierung der Messpositionen. Die Messpositionen können im Übersichtsbild durch "Point & click" bedienerfreundlich konfiguriert werden. Zudem ist eine Vielzahl von einzigartigen Auswertungen in den Softwaremodulen verfügbar, wie z. B. die Ermittlung von Spannungs-Dehnungs-Kurven von Metallen aus instrumentierten Eindringversuchen mit kugeligen Eindringkörpern.

Normal Force Unit (NFU)

- Durch Doppel-Blattfedersystem Beweglichkeit in normaler Richtung und hohe Steifigkeit in lateraler Richtung
- Robuste Konstruktion

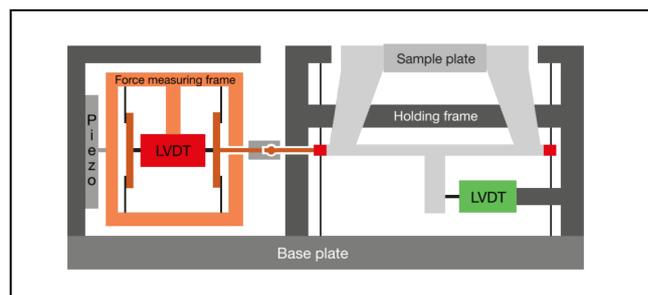
- Kein Anschlag der induktiven Sensoren bei Überlastung und damit keine Beschädigung
- Der Schaft kann größere Gewichte tragen, ohne dass der Messbereich verlassen wird. Kundenspezifische Messspitzen beliebiger Art sind problemlos einsetzbar.



Prinzip der NFU 2.0 (Normal Force Unit)

Lateral Force Unit (LFU)

- Probenhalter mit den Proben in der Mitte von senkrecht stehenden Blattfederpaaren
- Leichte Verschiebbarkeit in lateraler Richtung ohne vertikale Veränderung der Probenposition bei ausreichender Steifigkeit in normaler Richtung
- Krafterzeugung von der Kraftmessung entkoppelt
- Anwendung und Messung von lateralen Kräften ohne laterale Verschiebung möglich

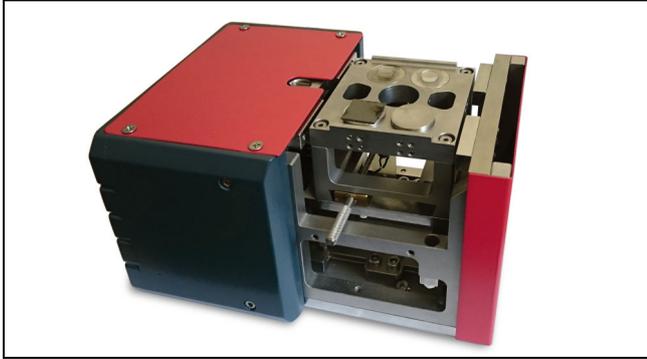


Prinzip der Lateral Force Unit (LFU)

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

CTA: 96985



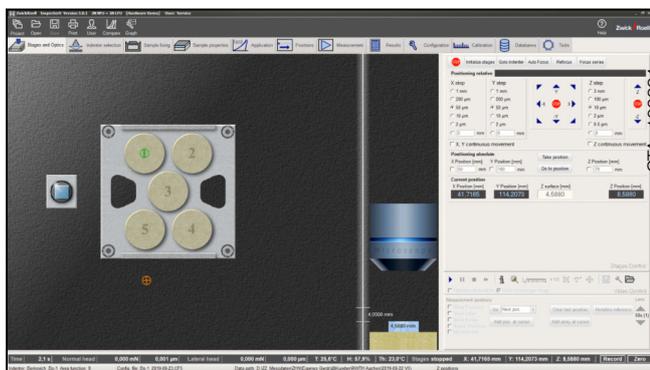
Zweiter Messkopf (LFU) mit Probenhalter für 5 Proben

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Steuerung der Präzisionstische

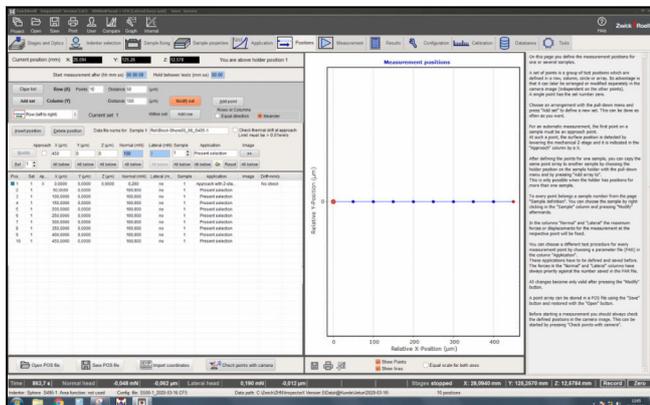
Das Gerät ist für vollautomatische Messserien mit über 1000 möglichen Messpositionen ausgelegt. Die zugehörige Steuerungssoftware InspectorX erlaubt eine vollständige Übersicht über die aktuelle Position der drei Präzisionstische und ermöglicht eine Steuerung mit Schrittweiten < 1 µm. Befindet sich die Probe unter dem Objektiv, wird anstelle der Tischpositionen ein Bild der Probenoberfläche im selben Fenster angezeigt.



Steuerung der Präzisionstische

Definition der Messpositionen

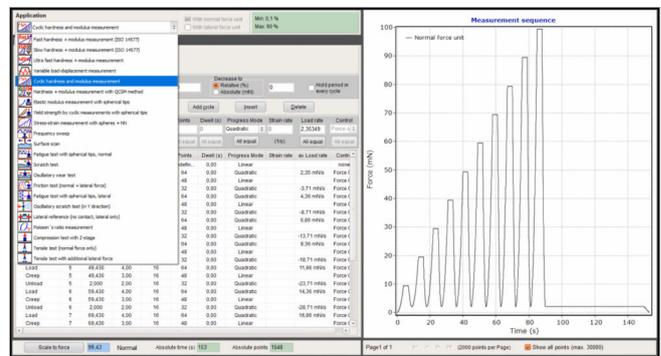
Programmierbar sind beliebig viele Positionen in Linien, gleichmäßigen Rastern oder beliebiger Anordnung. Einzigartig ist, dass für jede Position ein anderer Prüfzyklus (Application) festgelegt wird und dass vor und nach der Messung mit Hilfe der Autofokus-Funktion automatisch Bilder mit zwei verschiedenen Vergrößerungen generiert werden können. Den einzelnen Positionen lassen sich umfangreiche Probeninformationen zuweisen, die mit im Datenfile gespeichert sind.



Definition der Messpositionen

Definition des Messablaufs

Zur Verfügung steht eine Vielzahl von vordefinierten Applikationen, die Auswahl erfolgt einfach durch Anklicken mit der Maus. Jeder Ablauf (Prüfzyklus) lässt sich flexibel mit beliebig vielen Belastungszyklen programmieren. Dabei steht eine Kraft- oder Wegsteuerung zur Verfügung. Im „open loop mode“ kann Kraft oder Weg, die Zeit eines Segmentes und die Datenrate vorgegeben werden, im „closed loop mode“ auch die Zahl der Datenpunkte und die Haltezeit pro Punkt.



Definition des Messablaufs

Auswertung von Messdaten

Messdaten lassen sich in verschiedener Form grafisch darstellen, vergleichen, mitteln oder exportieren (ASCII, EXCEL, BMP ...). Für die Datenauswertung stehen umfangreiche und flexible Korrekturroutinen zur Verfügung. Einmal festgelegte Parameter für die Auswertung und die Darstellung der Ergebnisse in der Ausgabe können in Konfigurations-Dateien gespeichert werden.

Sowohl Korrekturen der Daten (Nullpunktkorrektur, Korrektur der thermischen Drift) als auch die Mittelung von Messkurven gleicher Last lassen sich manuell oder automatisch durchführen, die Ergebnisse erscheinen zusammengefasst in einer Tabelle. Eine nahezu beliebige Anzahl von Datenfiles kann gleichzeitig eingelesen und ausgewertet werden. Gemittelte und korrigierte Kurven können automatisch in separaten Datenfiles gespeichert werden.

CTA: 106870

CTA: 106870

CTA: 98949

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Technische Daten

Basisgerät

Artikel-Nr.	1011428	
Maße (H x B x T)	790 x 640 x 390	mm
Gewicht	ca. 105	kg
Elektrische Spannung	230	V
Optik		
Tandem-Mikroskop mit zwei Videokameras	1280 x 1024 Pixel, USB 3.0-Verbindung	
Beleuchtung	grüne LED, max. Leistung 1 W	
Objektiv	50 x ¹⁾ [5 x] ²⁾	
Arbeitsabstand	0,38 / 10,6 ³⁾ [10,6]	mm
Optische Vergrößerung auf 23" (Kamera 1/Kamera 2)	1000 x / 3350 x [100 x / 335 x]	
Bildfeld (Kamera 1/Kamera 2)	324 x 259 µm / 96 x 77 µm [3,2 x 2,6 mm / 0,97 x 0,77 mm]	
Pixelauflösung klein/groß (Kamera 1/Kamera 2)	254 nm / 76 nm [2540 nm / 760 nm]	
Tischsystem		
X-Tisch Verfahrweg	100 mm, Schrittweite 50 nm	
Y-Tisch Verfahrweg	200 mm, Schrittweite 50 nm	
Z-Tisch Verfahrweg	70 mm, Schrittweite 10 nm	
Maximale Probengröße (X x Y x Z)	80 x 80 x 60	mm
Maximale Länge eins Scratch-Tests	25 ⁴⁾	mm

1) im Standard-Lieferumfang enthalten

2) 5 x-Objektiv mit manueller Verschiebung, siehe Optikvarianten

3) Long Distance-Objektiv, siehe Optikvarianten

4) abhängig von der Ebenheit der Probenoberfläche

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

NFU-Messkopf (Normal Force Unit)

Artikel-Nr.	1050945	1016415	1016416	
Prüfkraft F_{\max} , normal ¹⁾	± 20	± 2	± 0,2	N
Prüfkraft, min. F_{\min} , normal ¹⁾	ca. 2	ca. 0,2	ca. 0,05	mN
Digitale Auflösung Kraftmessung	≤ 0,2	≤ 0,02	≤ 0,002	µN
Grundrauschen Kraftmessung	≤ 30 ²⁾	≤ 3 ²⁾	≤ 0,3 ²⁾	µN
Weg, max.	± 200 ¹⁾	± 200 ¹⁾	± 200 ¹⁾	µm
Digitale Auflösung Wegmessung	≤ 0,002	≤ 0,002	≤ 0,002	nm
Grundrauschen Wegmessung Index 2	≤ 0,4	≤ 0,3	≤ 0,3	nm
Grundrauschen Wegmessung (1 σ bei closed loop mode)	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 0,15	nm
Maße				
Höhe	162,6	163	158	mm
Breite	232	232	200	mm
Tiefe	109	109	50	mm
Dynamik-Modul³⁾				
Schwingfrequenz, max.	300	300	100	Hz
Frequenz, max. zur Steifeauswertung	90	70	30	Hz
Datenerfassungsrate	40	40	40	kHz
Kraftamplitude, max. der Schwingung	> 500	> 50	> 13	mN
Gewicht, ca.	4	4	1,5	kg

1) Druck (z.B. Instrumentierte Eindringprüfung) und Zug (z.B. Adhäsionsmessungen an Flüssigkeiten)

2) alle 1 σ bei 8 Hz und für die Nutzung einer aktiven Schwingungsdämpfung. Bei passiver Schwingungsdämpfung etwa 4x größer.

3) nur in Verbindung mit dem QCSM-Software-Modul

LFU-Messkopf (Lateral Force Unit)

Artikel-Nr.	1021148	
Prüfkraft, max. (F_{\max}), lateral ¹⁾	ca. 2	N
Digitale Auflösung Kraftmessung	≤ 0,02	µN
Grundrauschen Kraftmessung	≤ 6	µN
Weg, max. ¹⁾	ca. 75	µm
Digitale Auflösung Wegmessung	≤ 0,002	nm
Grundrauschen Wegmessung	≤ 0,5	nm

1) Druck und Zug

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Optikvarianten

Standardmäßig ist das Tandem-Mikroskop mit einem 50x-Objektiv im Lieferumfang des ZHN enthalten. Optional kann ein 50x-Objektiv mit vergrößertem Arbeitsabstand angeboten werden. Des Weiteren gibt es die Möglichkeit als 2. Objektiv ein 5x-Objektiv oder ein Weißlichtinterferometer einzubinden.

Beschreibung	Artikelnummer
Long Distance-Objektiv 50x für Tandem-Mikroskop zu ZHN <ul style="list-style-type: none">• großer Arbeitsabstand von 10,6 mm (sonst: 0,38 mm)• Aufpreis, ersetzt das Standard-Objektiv 50x	1016479
Objektiv 5x als zweites Objektiv zu Tandem-Messmikroskop <ul style="list-style-type: none">• Inkl. Objektivschieber (manuell) zum Wechseln zwischen den Objektiven mit zwei unterschiedlichen Vergrößerungen	1011431
Weißlichtinterferometer SmartWLI zu ZHN Nanoindenter <ul style="list-style-type: none">• Optisches Profilometer als Modul für das ZHN bei Nutzung der ZHN-Optik mit 2 Kameras Komponenten: <ul style="list-style-type: none">• Mirau Objectiv 50x, Arbeitsabstand 3,4mm, Numerische Apertur 0,55• Piezo Positionierer MIPOS 500 SG RMS mit Steuereinheit E-754-300• PC mit Core I9 Prozessor, 64 bit Windows, RTX 3060 12 GB Cuda programmierbare Grafikkarte• Bibliothek smartVIS3D für Sensorfunktionalitäten zur Integration in 3rd Party Windows Software und zur Automatisierung• Software MountainsMap ® Imaging Topography V9 zur Visualisierung und Bewertung von 3D Daten über Oberflächenparameter, Selektion, Visualisierung und Bewertung von Profilschnitten, automatischer Ablauf vordefinierter Bewertungsabläufe bis zur Erstellung von Messprotokollen• Manueller Objektivschieber zum Wechseln zwischen den Objektiven	1121526

Anbindung eines AFMs an das ZHN

Nanoindentation und Rasterkraftmikroskopie (AFM) können in einem einzigen System gekoppelt werden, um eine umfassende und (halb) automatisierte Analyse zu ermöglichen. In einem ersten Schritt misst das Atomkraftmikroskop die Oberflächenrauigkeit und hilft so, die minimale Eindringtiefe zu definieren. Dann wird die Probe unter dem Nanoindenter positioniert, um eine mechanische Analyse an der gleichen Stelle durchzuführen. In einem letzten Schritt kann diese Stelle wieder unter das AFM bewegt werden, um stressinduzierte Eigenschaften wie Materialaufwürfe, Einsenkungen oder Risse um die Vertiefung zu charakterisieren und zu verstehen. Diese Effekte können dann einen Einfluss auf die für Härte und Elastizitätsmodul erhaltenen Werte haben.

Beschreibung	Artikelnummer
Rasterkraftmikroskop NaniteAFM C1000 für Standard Messmodi: Static Force (Contact), Dynamic Force, Force Modulation, Spreading Resistance, Phase Contrast, Magnetic Force, Electrostatic Force inklusive: <ul style="list-style-type: none">• Nanosurf C1000 Steuerelektronik (24/32 Bit), inkl. Scripting Interface zur externen Steuerung des Systems (COM Interface)• NaniteAFM Messkopf (110 µm x 110µm x 20µm) mit hochauflösenden Kameras, Top- und Side-View• NaniteAFM Messkopfhalter - Precision Mount, Integration in ZwickRoell-Roell Nanoindenter• NaniteAFM Sample Stage 204 – zusätzlicher Systemhalter inkl. passive Schwingungsisolation• NaniteAFM Werkzeugsatz• AFM Probensatz für große Messbereiche• AFM Messspitzen für statische Messmodi (10 Stück)• AFM Messspitzen für dynamische Messmodi (10 Stück)	1025985

Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Software InspectorX

Beschreibung	Artikelnummer
Steuer- und Auswertesoftware InspektorX <i>(in Deutsch und Englisch erhältlich)</i> <ul style="list-style-type: none"> inkl. Autofokus- und Fokussieren-Modul Software Modul für die automatische Scharfstellung der Probenoberfläche und zur Durchführung von Fokussieren zur Erstellung eines zusammengesetzten Bildes mit großer Schärfentiefe Analysesoftware für die Auswertung von registrierenden Eindruckmessungen nach DIN EN ISO 14577, umfangreiche Auswerte- und Korrekturroutinen 	1023952
InspectorX in Version 5.5.8 <ul style="list-style-type: none"> Lieferung von InspectorX in Version 5.5.8 	1120460
InspectorX in Version 5.5.5 <ul style="list-style-type: none"> Lieferung von InspectorX in Version 5.5.5 	1120459
InspectorX in Version 5.5.3 <ul style="list-style-type: none"> Lieferung von InspectorX in Version 5.5.3 	1110979
InspectorX in Version 5.3 <ul style="list-style-type: none"> Lieferung von InspectorX in Version 5.3 	1102288
InspectorX in Version 5.14 <ul style="list-style-type: none"> Lieferung von InspectorX in Version 5.14 	1093308
Auswertesoftware InspektorX (2. Lizenz) <ul style="list-style-type: none"> Software zur Analyse und Auswertung von Kraft-Eindringtiefen-Kurven gemessen mit dem ZHN nach ISO 14577, inkl. umfangreicher Exportfunktionen und Auswerte- und Korrekturroutinen 	1073594

Zur Nutzung mit NFU (LFU optional):

Beschreibung	Artikelnummer
QCSM-Modul (Quasi Continuous Stiffness Measurement) <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul zur tiefenabhängigen Messung von Härte und E-Modul an ein und derselben Messposition durch Überlagerung kleiner Schwingungen im Weg- und Kraftsignal im Frequenzbereich zwischen 2 - 300 Hz, Steifigkeitsanalyse bis 75 Hz 	1016455
Modul für Scratch- und Verschleißtests <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul für die Durchführung von Scratch- und Verschleißtests unter Nutzung des Kreuztisches (NFU) oder mit Hilfe der LFU (zusätzlich Ermittlung der lateralen Kraft, z.B. Reibwert) 	1016456
Profilometer Modul <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul für die 2-dimensionale Abbildung der Oberfläche mit einer kugelförmigen Spitze unter Nutzung des Kreuztisches (NFU) oder mit der LFU (höhere Auflösung des Weges) 	1016457
Spannungs-Dehnungs-Kurven-Modul <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul für die Berechnung von Spannungs-Dehnungs-Kurven von Metallen aus Eindruckversuchen mit kugelförmigen Messspitzen und unter Nutzung von neuronalen Netzen 	1016458
Elastisches Fitmodul <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul zum Fit elastischer Kraft-Eindringtiefe-Kurven von Eindrücken mit Kugel-Eindringkörper in Materialien mit bis zu 3 Schichten zur Bestimmung des E-Moduls der obersten Schicht oder des Eindringkörperradius 	1016459
Modul für die Scherprüfung, Zugprüfung und Druckprüfung <ul style="list-style-type: none"> Softwaremodul für Scherprüfungen mit X-Tisch oder LFU und für Zugprüfung oder Druckprüfung mit Z-Traveler NFU (Hardware nicht enthalten, z. B. Probenhalter) 	1021526

Die Funktionalitäten der verschiedenen Software-Module richten sich nach der Ausstattung des ZHN. Zum Beispiel bei der Durchführung von Scratch-Tests mit der NFU wird mit Hilfe des Kreuztisches verfahren. Ist eine LFU mitangeboten, so wird beim Verfahren auch diese Einheit dazu verwendet, d.h. die Genauigkeit der LFU (gegenüber des Kreuztisches) kann genutzt werden. In beiden Fällen muss aber das Scratch-Test-Modul mitspezifiziert werden.

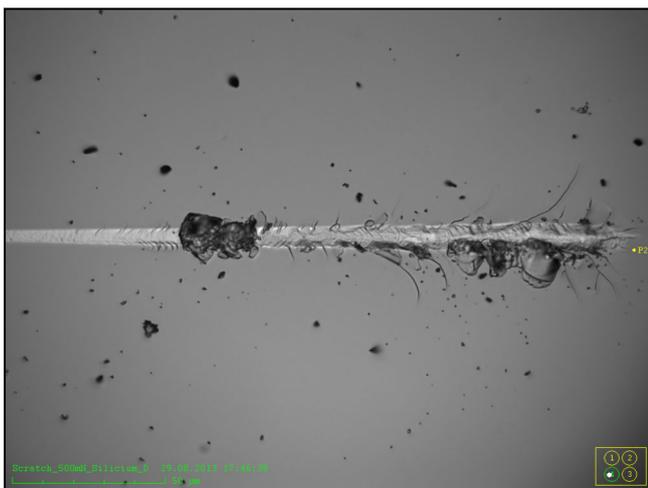
Produktinformation

ZHN - Universelles Nanomechanisches Prüfsystem

Nur in Verbindung mit LFU:

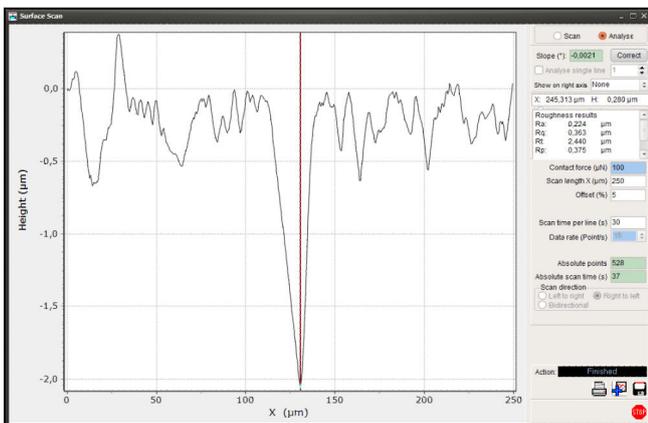
Beschreibung	Artikelnummer
Oszillierender Scratchtest-Modul <ul style="list-style-type: none"> • Softwaremodul für die Durchführung von Scratchtests durch Bewegung des Probenstückes bei gleichzeitiger Vibration der Probe senkrecht dazu unter Nutzung der Lateralkrafteinheit (LFU) • Die Belastung der Probe in 2 Richtungen erleichtert das Generieren von Schichtversagen. Außerdem steht die laterale Steife der Probe als zusätzlicher Messparameter zur Verfügung. 	1018038

CTA: 98955



Ritztest einer Schicht auf Silizium, Fmax 500 mN

CTA: 98954



Scan senkrecht zu einem Ritztest mit Kontaktkraft 100 µN