

# Mobile Härteprüfung





## INHALT

Mobile Vickers-Härtemessung mit UCI zur Entlastung des Prüfpersonals.....	3
Warum Schrauben und Verbindungsmittel auf Härte prüfen.....	16
Schnelle UCI-Härtemessung an Schrauben und Bolzen.....	22





# Mobile Vickers- Härtemessung mit UCI zur Entlastung des Prüfpersonals

Das UCI-Prüfverfahren (Ultrasonic Contact Impedance) nach Claus Kleesattel wird in der metallverarbeitenden Industrie seit über 50 Jahren mit Erfolg eingesetzt



## Mobile UCI Härteprüfung

Eine portable Härtemessung wird üblicherweise direkt vor Ort am Bauteil ausgeführt mit mobilen Geräten, die auch eine erste Auswertung der Ergebnisse zulassen. Der große Vorteil portabler Messtechnologie ist:

- Gut beweglich für eine schnelle und selektive Entscheidungsfindung vor Ort.

- Dort einsetzbar, wo die klassische Härtemessung (Vickers, Rockwell, Brinell) nicht möglich bzw. unpraktisch ist, wie zum Beispiel im Bereich der Wareneingangskontrolle, Produktionskontrolle oder Wartung an eingebauten Komponenten.

- Insbesondere Systeme mit stiftförmiger schlanker UCI-Sonde können in alle Richtungen eingesetzt werden und sind im Wesentlichen in ihrer Anwendung nur durch die Zugänglichkeit zur Messposition beschränkt.

Mit der Erfindung des UCI-Verfahrens (Ultrasonic Contact Impedance) im Jahr 1961 wurde erstmals ein Härtemessverfahren beschrieben, das die Vickershärte unter Last ermittelt und damit die volle elastische und plastische Materialantwort (Kontaktfläche) erfasst

Das in Resonanz longitudinal schwingende System aus Vickers-Diamant und Schwingstab verändert seine Schwingungsfrequenz bei Materialkontakt. Die Größe der Frequenzerhöhung hängt immer gleichartig von der Messkraft (1 N bis 100 N) und von den mechanischen Parametern der Sonde ab.

Die variablen Einflussgrößen kommen dann nur noch aus dem Prüfmaterial, wie die Kopplungsstärke aus Kontaktfläche und E-Modul des Prüfmaterials.

Der Einfluss, des für eine Materialklasse einheitlichen E-Moduls, wird beim Sondenbau kompensiert, durch Justierung zwischen 128 HV und 900 HV auf 8 von der MPA (Materialprüfungsamt Dortmund) kalibrierten Vickers Härtevergleichsplatten aus geschmiedetem Werkzeugstahl (E-Modul ca. 205 bis 210 GPa). Diese sind ausschließlich durch thermische Behandlung gehärtet und nicht durch Legierungszusätze.

Die entstehende Justierkurve bildet dann die Grundlage für alle Berechnungen der Vickers-Härte aus der Frequenzverschiebung (vergleichendes Verfahren). Der Erfinder des UCI-Verfahrens, Claus Kleesattel, hatte dieses Prinzip als die „wahre SONODUR-Härte“ bezeichnet, die ausschließlich aus der Frequenzverschiebung einer Resonanzschwingung im Ultraschallbereich bestimmt werden kann.

Eine Kalibrierung ist somit nach der UCI-Norm DIN 50159-1, -2-2021 bzw. ASTM A1038-2019 streng genommen nur dann erfolgreich, wenn ohne manuelle Justierung am Gerät durch den Bediener der Nominal-Härtewert der Härtevergleichsplatte erreicht wird. Dies ist bei der UCI-Messung mit Härtemessgeräten wie beispielsweise dem SONODUR 3 gegeben. Hier bleibt die Kalibrierung für eine qualitative Messung erhalten.

Beim vergleichenden Prüfverfahren wird untersucht, ob sich einmal definierte Bauteileigenschaften verändert oder sich konstant verhalten haben. Bei der Wirbelstromprüfung werden dazu sogenannte Gut-Teile eingelernt und die Prüfteile mit den Ergebnissen dieser Gut-Teile verglichen.

Eine Kalibrierung kann scheitern, wenn:

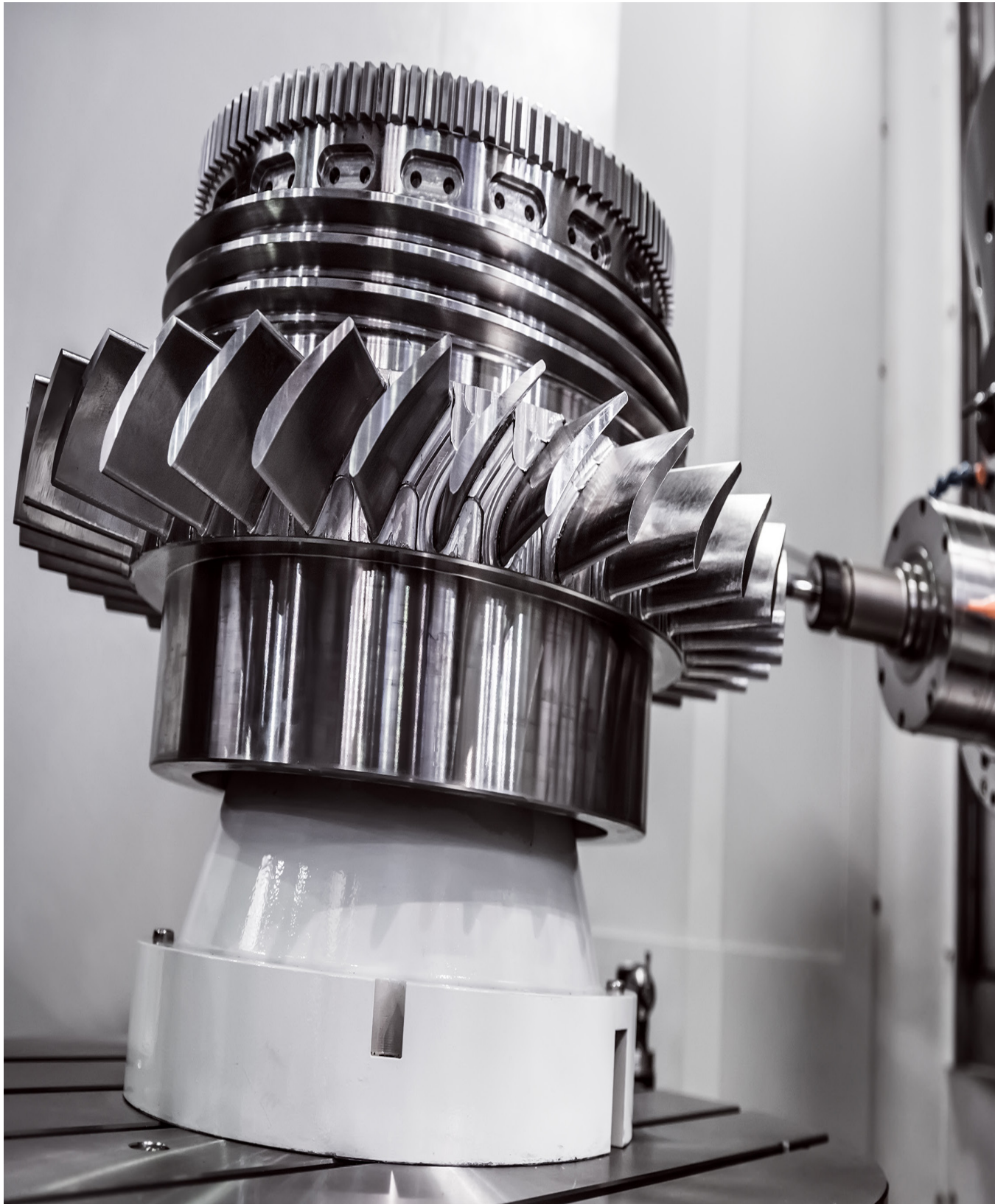
- die Härtevergleichsplatte auf instabilem Untergrund gelagert ist wie beispielsweise auf einem Rollenwagen oder sie auf einer staubigen Oberfläche aufliegt (sogenanntes Klingeln – Ausbildung störender Bauteilresonanzen).

- die Form und Größe der Härtevergleichsplatte für die UCI Härtemessung ungünstig ist (z.B. Dreiecksplatten mit 70 x 70 x 6 mm) und sie nicht akustisch angekoppelt wurde.

- der Bediener die Sonde nicht senkrecht zur Bauteiloberfläche (max.  $\pm 5$  Grad zur Senkrechten) führt oder Querkräfte durch ungünstige Handhabung initiiert. In diesem Fall sollten zwei oder mehr Bediener ihre Ergebnisse vergleichen. Hier ist ausdrücklich das Ausscheiden von offenkundigen Fehlmessungen erlaubt, wenn eine entsprechende Messvorschrift aus dem Qualitätsmanagement-Handbuch vorliegt.

- die Sonde durch übermäßige mechanische Beanspruchung dejustiert ist. In diesem Fall sollte die Sonde zur Überprüfung an den Hersteller zurückgegeben werden.

Die absoluten Abweichungen vom Plattenwert sind in der Norm DIN 50159-1 und in der ASTM A1038 abhängig von der Messkraft und dem Härteniveau beschrieben ( $\pm 5$  % für HV5UCI, Mittelwert aus 5 Messungen).







## Stärken der UCI-Messung: eine wirksame Erweiterung der Vickers-Messung

Die große Stärke der UCI-Messung gegenüber der optischen Vickers-Messung an Werkstücken ist die Auswertung der Härtewerte bei vollem Materialkontakt. Insbesondere bei kleiner werdenden Messeindrücken (kleine Messkraft, hohe Härte) wird die Erfassung der diagonalen Längen bei der optischen Methode immer schwieriger. Ebenso können UCI-Messungen in der metallverarbeitenden Industrie auf walzrauem Untergrund, geschliffenen Oberflächen oder auf dunklem Untergrund (brüniert) ausgeführt werden. Hier ist die klassische Vickers-Messung nicht mehr sinnvoll, da eine unsichere Bestimmung der diagonalen Längen durch die unregelmäßige Oberflächentopologie vorliegt. Selbst Bearbeitungsriefen stören in der höchsten Laststufe (100 N / HV10) wenig, solange das Bauteil nicht gehärtet ist.

Die UCI-Härtemessung kann somit relativ zur klassischen Vickers-Härtemessung sehr genau auf die Messaufgabe eingestellt werden und stellt so den „verlängerten Arm“ der klassischen Messtechnik in die Produktion dar.

Eine Gerätejustierung auf Materialien mit abweichendem E-Modul (Kupfer, Aluminium, Chrom etc.) ist einfach über eine Vergleichsmessung mit einer klassischen Härtemessmaschine möglich (HV, HRC, HB). Sie muss nur ein einziges Mal ausgeführt werden, denn die Justierparameter lassen sich im Klartext abspeichern.

Hier sollten die Materialkennnummern bekannt sein und in den Justierparametern mitgeführt werden. In den hinterlegten Material-Tabellen aus EN ISO 18265 und ASTM E 140 sind schon Justierzahlen (CAL) hinterlegt, soweit Erfahrungswerte vorliegen (siehe Kapitel 2 „Das UCI-Verfahren“).

Der Bezug zur klassischen Vickers-Härtemessung wurde schon in mehreren Validierungsprojekten nachgewiesen mit dem Ziel, in den Normen und Spezifikationen zur Qualitätssicherung das UCI-Verfahren unter Einhaltung seiner Randbedingungen ergänzend zuzulassen, wie es z.B. bei der DIN EN 1090-2 Norm zur Qualitätssicherung an Schnittkanten im Baustahlbereich angestrebt wird.

## Das UCI Verfahren: die Physik

Das UCI-Verfahren – 1965 erstmals unter dem Namen „SONODUR“ eingesetzt – wertet den Vickers-Härtemesseindruck innerhalb von Sekundenbruchteilen elektronisch aus und zeigt ihn digital an. Der entstehende Härtewert in Einheiten Vickers wird unter Last bestimmt und bei definierter Kraft (Eindringkraft) ein Härtewert berechnet. Dieser entspricht der Eindring-Oberfläche nach Entlastung.

## Unmittelbare Erfassung der Härtemesswerte

Während die Mess-Sonde auf das Material gedrückt wird, führt der Schwingstab der Sonde mittels piezoelektrischer Anregung longitudinale Ultraschall-Schwingungen bei ca. 78 kHz aus. Durch die Materialankopplung des Vickers-Diamanten entsteht ein Kontaktwiderstand, der zunächst eine Dämpfung der Schwingungsamplitude bewirkt und gleichzeitig die Schwingungsfrequenz in charakteristischer Weise ansteigen lässt. Diese Dämpfung wird innerhalb eines Regelkreises kompensiert. Die Frequenzverschiebung wird genau bei Erreichen einer vorgegebenen Messkraft bestimmt und bei Hand-Messsonden wird daraus sofort die Vickers-Härte berechnet. Dabei wird der Härtewert sehr schnell bereits im „Vorwärtsgang“ bestimmt, d.h. währenddessen der Diamant in das Material gedrückt wird - ohne Wartezeit oder erst nach Abheben der Sonde vom Prüfmaterial.

Dies minimiert am besten die Beeinflussungen des Bedieners durch die Ausübung der Messkraft. Bei Motor-Messsonden wird bedingt durch die Bauart eine programmierbare Eindringzeit abgewartet (1 bis 99 s). Dies ermöglicht die Nachbildung der Versuchsführung analog zur Vickers-Methode und wird im Bereich der Tiefdruck-Industrie an Kupferschichten mit niedrigen Messkräften (1 N bzw. 3 N) sehr erfolgreich angewandt. Dabei wird durch ein spezielles Federsystem die Messkraft während des Eindringvorgangs konstant gehalten, was mit Hand-Messsonden derzeit nicht praktikabel ist.

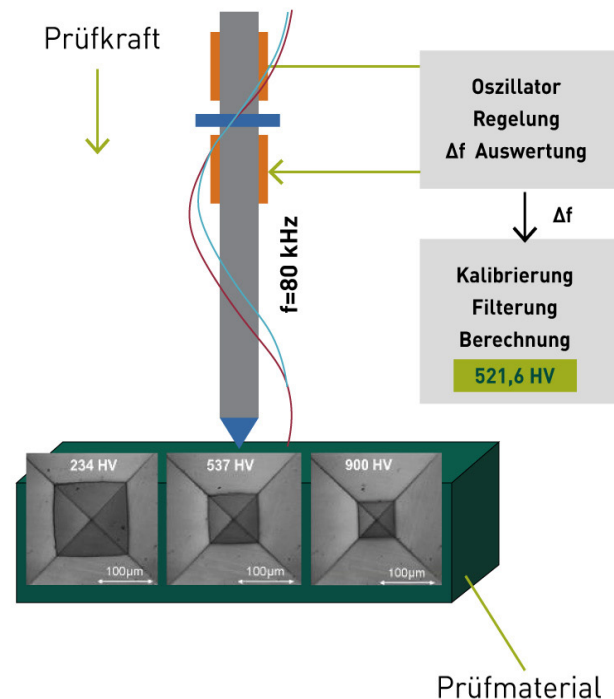


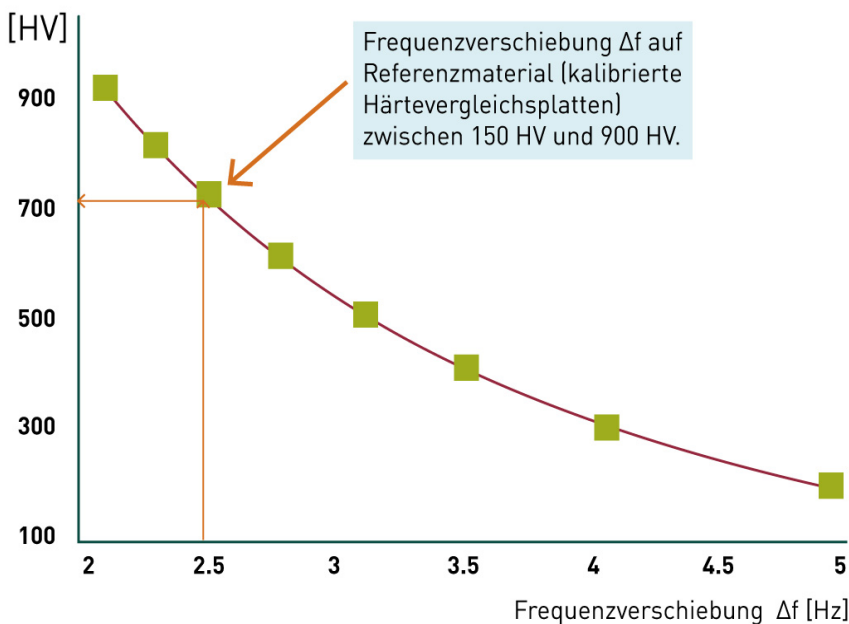
Abb. 1: Prinzip der UCI-Messung mit Schwingstab (links) in Resonanz und Frequenzverschiebung abhängig von der Kopplung/

## Wesentliche Einflussgrößen auf die Frequenzverschiebung: das E-Modul

Der Bezug zur klassischen Vickers-Härtemessung wird, wie erläutert, auf MPA kalibrierten Härtevergleichsplatten aus Stahl hergestellt, indem für jeden Härtegrad zwischen ca. 120 und 900 HV die gemessene Frequenzverschiebung aufgezeichnet wird (Abb. 1). Die UCI-Sonde wirkt wie eine hochfrequente Stimmgabel, deren nicht hörbare Frequenz (Höhenlage) vom Grad der Kopplung des Vickers-Diamanten mit dem Prüfmaterial abhängt. Dabei spielt nicht nur die Kontaktfläche eine Rolle, sondern auch die physikalischen Eigenschaften des Prüfteils wie E-Modul und Poisson-Zahl. Härtemessgeräte werden hierbei auf ein bestimmtes E-Modul kalibriert. Das SONODUR 3 beispielsweise für Stahl auf das E-Modul von ca. 210 GPa. Dies entspricht dem größten Teil der technischen Stähle.

Durch diese Werksjustierung werden bei der Frequenzverschiebung der Beitrag der einwirkenden Kraft, das Zusammenspiel der entstehenden Kontaktfläche zwischen Diamant und Prüfteil, als auch der Beitrag des elastischen Moduls vom mitschwingenden Prüfmaterial bis hin zur Schwingstabgeometrie bzw. -aufhängung berücksichtigt

- Überwachung der Schwingfrequenz bei Materialkontakt.
- Messung der exakten Frequenz bei Messlast.
- Berechnung der Frequenzverschiebung  $\Delta f$  gegenüber der Nullfrequenz  $f_0$  in Luft.
- Abschätzung des Härtewertes in HV aus einer Referenzkurve (Kurve von FOERSTER).



**UCI**

$$\Delta f = f(F, A, E_{\text{eff}})$$

$\Delta f$  als Funktion der Kopplungsstärke (Kontaktfläche zwischen Diamant und Material)!

*Härte des Diamanten mit dem Prüfmaterial (Kontaktfläche).*

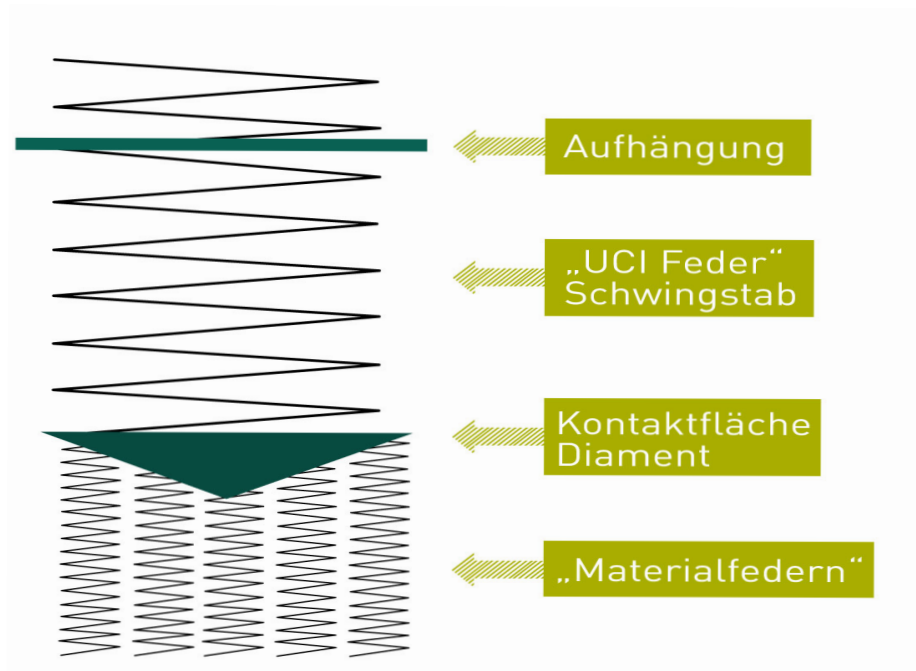


Abb. 2: Schematische Darstellung UCI Technologie

## Der Schwingstab: Herzstück des Sondenaufbaus

Obwohl der Umfang an verschiedenen Sonden sehr groß ist, bleibt der Schwingstab, das wichtigste Element für eine saubere UCI-Messung, immer gleich aufgebaut. Dies ist entscheidend, damit die Materialantwort (akustische Impedanz) für alle UCI-Sonden gut vorhersehbar ist. Bei Herstellern mit unterschiedlicher Stabgeometrie ist dies nicht unbedingt gegeben (Schwingungsfrequenzen zwischen 40 und 80 kHz bzw. 100 kHz).

## Das Modell der gekoppelten Massenpunkte

Man kann sich die Vorgänge um die UCI-Messung auch so vorstellen, dass der Schwingstab wie eine große Feder wirkt, an deren Ende ein Vickers-Diamant befestigt ist (Abb. 2). Das Prüfmaterial wird virtuell aus vielen kleinen ‚Elementarfedern‘ zusammengesetzt betrachtet.

Wird nun der longitudinal schwingende Stab mit dem Material in Kontakt gebracht, hat der Diamant zunächst nur mit wenigen einzelnen Elementarfedern

Kontakt und die Kopplung ist gering mit kleiner Frequenzerhöhung. Dieser Effekt verstärkt sich aber, wenn der Diamant weiter eindringt und mit immer mehr Materialfedern wechselwirkt (wachsende Kontaktfläche). Damit ist für eine bestimmte Messkraft der Bezug zur Härte des Materials hergestellt. Die Gesamtheit der Materialfedern kann man auch als E-Modul bezeichnen, der die Frequenzverschiebung beeinflusst. Die Zusammenhänge dazu sind aus Abb. 3 ersichtlich.

Daraus entsteht für jedes Material mit anderem E-Modul als 210 GPa eine eigene Kurve, wie in Abb. 4 dargestellt.

Beachten Sie dabei: unterschiedliche Stahllegierungen unterscheiden sich nicht im E-Modul (Cr-Mn-Stähle usw.) und stellen in diesem Sinne die „gleiche Materialklasse“ dar. Austenitische Edelstähle, Duplexstähle oder Inconel können eine individuelle Justierung durch Vergleich mit einer geeigneten Referenz erfordern. Zusätzlich ist zu beachten, dass die Oberflächenrauigkeit in die Justierzahl eingehen kann. Daher ist es wichtig, dass die Materialbearbeitung möglichst gleichartig abläuft.

### Gekoppeltes System Schwingstab - Prüfmateriale

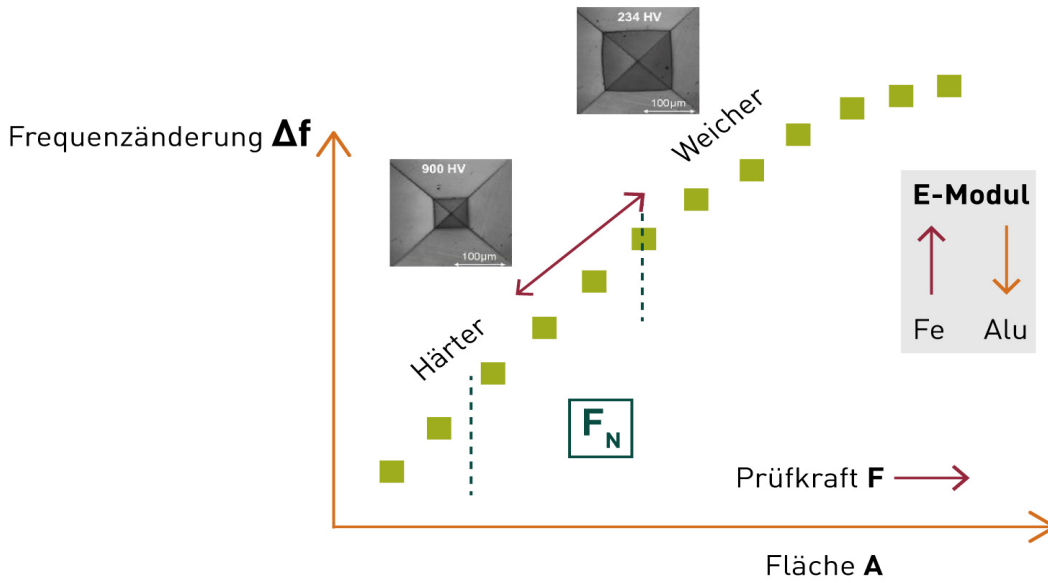


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Frequenzänderung und Härte des Prüfmateriale/Kontaktfläche.

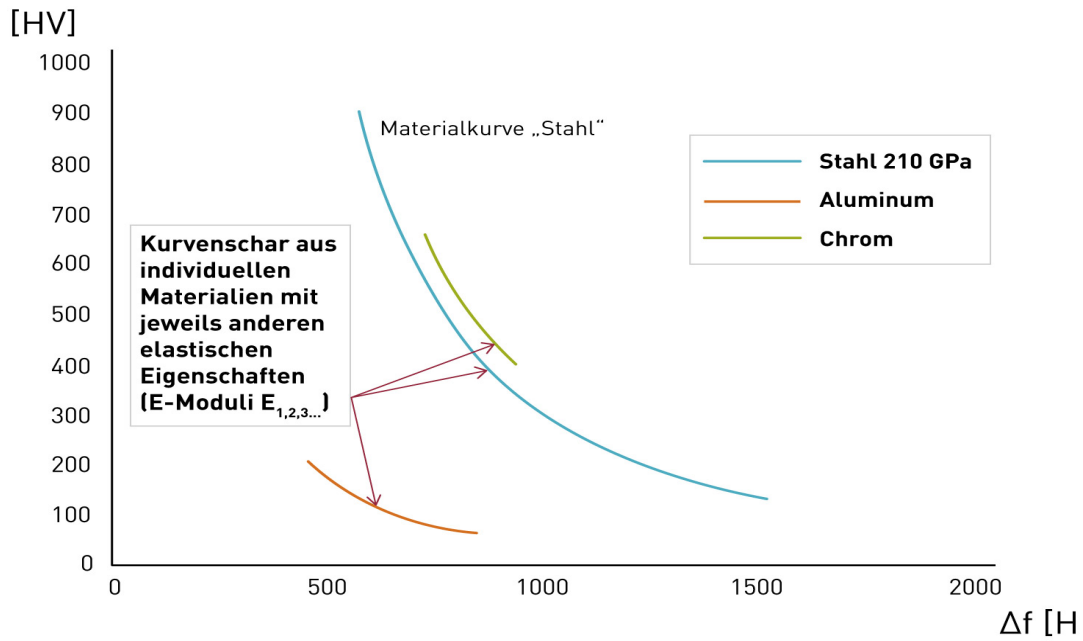


Abb. 4: Unterschiedliche Materialien im Sinne des E-Moduls ergeben eine ganze Kurvenschar.

## Die Antwort von FOERS-TER auf die mobile UCI-Härtemessung: das SONODUR 3

Die UCI-Technologie, wie sie im SONODUR 3 verbaut ist, setzt Maßstäbe für die Qualität der Messergebnisse. Die unmittelbare Erfassung der Härtemesswerte im „Vorwärtsgang“ ermöglicht den schnellen Erhalt von Messwerten und Fehler durch den Bediener können größtenteils eliminiert werden. Der Bezug zur klassischen Vickers-Härtemessung und damit zur genormten klassischen Vickers Härteskala legt den systemischen Grundstein des Messverfahrens mit SONODUR 3. Die Härteskala HV ermöglicht es, alle Materialien und Prüfteile zu messen, von weich bis hart. Das Verfahren deckt den gesamten Härtebereich ab. Daraus resultierend sind Umwertungen in alle gängigen Härteskalen in Echtzeit und jederzeit anwendbar.

Ein weiterer großer Vorteil der SONODUR 3-Messtechnik ist die Fähigkeit schnelle Justierungen an Materialien vorzunehmen, die unterschiedliche E-Modul besitzen. Das SONODUR 3 ist also nicht nur für Ihre aktuellen Anwendungen bestens ausgerüstet, sondern auch für zukünftige Anforderungen optimal geeignet.

## Das Konzept der Justierzahl CAL und Umwertung von Härtewerte

Die Formel  $\Delta f = k * E_{eff} * \sqrt{A}$

zeigt die Abhängigkeit der Frequenzverschiebung  $\Delta f$  von der Stabeigenschaft „k“, der Kontaktfläche A und dem effektiven E-Modul (aus Diamant und Material).

Gemäß der Formel

$$HV_{UCI} \cong F * \frac{(k * E_{eff})^2}{\Delta f^2}$$

folgt die berechnete Vickers-Härte HVUCI aus der Vickers-Formel F/AHV mit Messkraft F und der Eindruckoberfläche AHV aus den gemessenen Diagonalen bei der optischen Messung (Annahme AUCI=AHV). Der Kurvenverlauf entspricht einer Hyperbel.

Ist die Übereinstimmung des HVUCI Werts mit der Vickers-Härte HV = F/AHV sichergestellt (Validierung), kann für Stahl die Umwertung in andere Härteskalen bzw. in Zugfestigkeit vorgenommen werden.



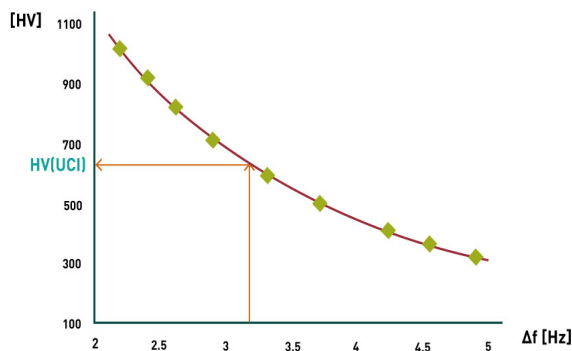


Eine Gerätejustierung auf Materialien mit abweichendem E-Modul (Kupfer, Aluminium, Chrom, Gusseisen etc.) ist einfach über eine Vergleichsmessung möglich und muss nur ein einziges Mal ausgeführt werden, denn die Justierparameter (Justierzahl, Skala, Materialtabelle, Norm, Messkraft sowie Name des Bedieners) lassen sich im Klartext abspeichern und sogar für weitere SONODUR 3 Härtemessgeräte verwenden.

Über die firmeninternen Ein-Punkt-Justierungen „CAL“ lassen sich nun eigene Materialtabellen für die Produktionskontrolle erstellen. Der Bediener erkennt die „richtige“ Justierung sofort an der eingblendeten Justierzahl.

Über die Justierzahl „CAL“ erfolgt nun die Materialanpassung (Abb. 6), mit deren Hilfe die Vickers-Härte aus der originalen Justierkurve neu berechnet wird (Abb. 5). Das Prinzip der Vergleichsmessung und Justierung ist gängige Praxis in der zerstörungsfreien Messung mit z.B. Wirbelstrom ( $\sigma$ ,  $\mu$ , Sensordaten), Ultraschall ( $c$ , Messkopfdaten) oder UCI (E-Modul, Schwingstab). Der Zahlenwert ist charakteristisch für den Messprozess und kann jederzeit in das Gerät einprogrammiert werden.

### Mehrpunktjustierung Materialkurve niedriglegierter Stahl



SONODUR berechnet die Vickers Härte sofort bei Erreichen der Prüflast unter Verwendung der Basis-Justierkurve auf **Stahl (ca. 210 GPa)!**

Andere Materialien verwenden der Justierzahl CAL (E-Modul).

**CAL = 0 (Off) Stahl**  
**CAL = -8350 Aluminum**

HV(UCI) @ CAL-Faktor	Vickers [HV]	Rockwell [HR], Brinell [HB], Zugfestigkeit [MPa]
$\Delta f = \text{Funktion}(F, E_{\text{eff}}, A)$	$HV = F/A$	Standard-Tabellen
$\Delta f = k * E_{\text{eff}} * \sqrt{VA}$ $HV_{UCI} \approx F * (k * E_{\text{eff}})^2 / \Delta f^2$	F = Prüfkraft A = bleibende Eindring-Oberfläche nach Entlastung	EN ISO 18265:2019 ASTM E140:2019 Vergleichsmessreihen an verschiedenen Materialien (Stähle, Nichteisenmetalle- NFe)

Abb 5. : Vorgänge bei der Ermittlung der Justierkurve für niedrig legierten Stahl, die für jede UCI-Sonde individuell

Die Kopplungskonstante für Aluminium mit E-Modul ca. 70 GPa verursacht ein deutlich kleineres Signal als Stahl, was durch Vergleich mit der Stahljustierung zu falschen Ergebnissen führen würde.

Die Vickers-Messergebnisse lassen sich nach Ermittlung des HV-Werts mittels Umwertungsfunktionen aus EN ISO 18265-2019 (ehemals DIN 50150) bzw. ASTM E140-18 in anderen Härteeinheiten bzw. Zugfestigkeiten anzeigen (Abb. 5). Die Problematik der Anwendung von Umwertungen innerhalb der klassischen Härteskalen wird in den Normtexten eingehend diskutiert. Der Oberflächen- bzw. Wärmebehandlungszustand und die Prozessführung können die Materialantwort für die verschiedenen Härtemessmethoden unterschiedlich beeinflussen. SONODUR 3 beinhaltet alle Materialtabellen, in denen Vickers-Härtewerte mit anderen Skalen korreliert werden.

Darüber hinaus stellt sich das Messgerät automatisch mit dem entsprechenden Justierfaktor CAL ein, wenn Erfahrungswerte bekannt sind (z.B. Aluminium, Tabelle F4, F5 oder T9 mit CAL=-8350, E-Modul ca. 70 GPa). Von dort aus können individuelle Feinjustierungen sehr schnell und einfach durch die erwähnten Vergleichsmessungen bewerkstelligt werden.

Aluminiumlegierungen mit hohem Silizium-Anteil haben einen erhöhten E-Modul (ca. 104 GPa) und müssen somit für eine tragfähige Messung über eine Vickers-Referenz mit einem geänderten CAL-Wert gemessen werden.

Im Falle von Aluminium empfehlen wir die Verwendung der Umwertungstabelle F5 (BS Standard, HB5/250) anstatt F4 bzw. T9 aus ASTM E140, HB10/1000). Bei Kupfer müssen individuelle CAL-Zahlen ermittelt werden, da die Eindringfähigkeit von der Zeit und der Messkraft abhängig ist.

Das Konzept der Justierzahl CAL birgt noch weitere Vorteile, wenn z.B. die UCI-Messtechnik in automatischen Messeinrichtungen eingesetzt wird und mögliche (gleichbleibende) Beeinflussungen durch die Sondenführung und -halterung kompensiert werden müssen.

Die Anwendung der mobilen Härtemessung macht nur dann Sinn, wenn Vorgaben oder Spezifikationen vorliegen und die Materialeigenschaften und deren Vorgesichte bekannt sind. Ebenso ist sicherzustellen, dass bei der Verwendung von Messverfahren mit hohen Kräften (HRC, HB) und großen Eindringtiefen eine Vergleichbarkeit möglich ist.



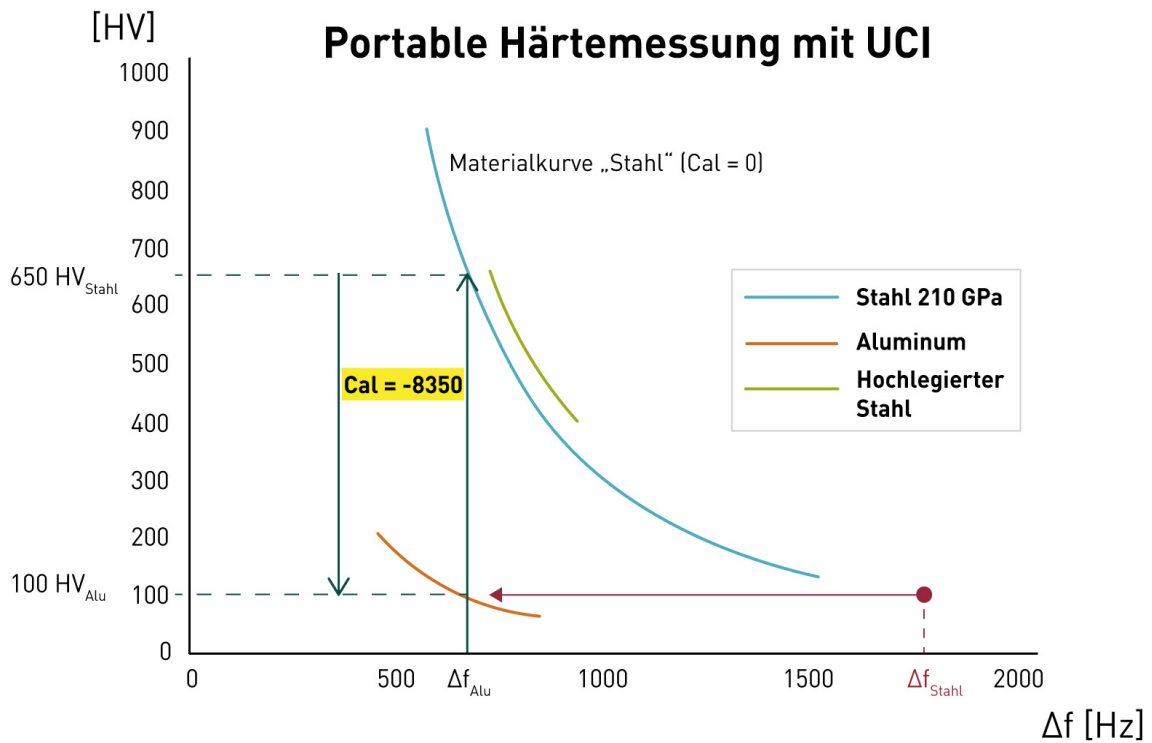


Abb. 6: Materialien mit abweichendem E-Modul müssen dem Messgerät antrainiert werden.



### Flexible Prüfkraft mit SONODUR 3

Mit dem SONODUR 3 bietet FOERSTER ein mobiles Hightech-Allrounder im Bereich der UCI-Härtemessung. Das Gerät arbeitet mit kabelgebundenen Sonden der SONO-H/M/S -Baureihe. Diese gibt es in verschiedenen Ausführungen und Prüfkraften. Handmesssonden gibt es in den Standardprüfkraften 10 N, 30 N, 49 N und 98 N. Bei Motorsonden gibt es die Ausführungen 1 N, 3 N und 8,6 N. Bei Stativsonden sind es Prüfkraften mit 10 N, 49 N, 98 N.

## Warum Schrauben und Verbindungsmittel auf Härte prüfen?

Schrauben und Verbindungselemente wie Bolzen müssen Bauelemente bei unterschiedlichsten mechanischen Belastungen sicher zusammenhalten. Dabei stellen die Umweltbedingungen nochmals zusätzliche Forderungen an die Materialbeschaffenheit, Konstruktion und den Oberflächenzustand. Dazu gibt es Normen und Vorschriften, denen die Schraubenhersteller mit Ihren Produkten Rechnung tragen müssen. Neben Materialverwechslung beim Wareneingang des Vormaterials spielt die Oberflächenfehlerprüfung auf Risse eine wichtige Rolle. Am Endprodukt wird dann meist die Festigkeit geprüft, die üblicherweise an einer Auswahl von Teilen zerstörend in einer Zerreißprüfmaschine festgestellt wird. Die Schrauben werden in Eigenschafts- bzw. Sicherheitsklassen mit entsprechender Kennzeichnung nach Norm sortiert. Diese Kennzeichnungen sind sehr umfangreich, wie die vielen unterschiedlichen Ausprägungen von Schrauben nahelegen. Baustahlschrauben sind beispielsweise in Festigkeitsklassen eingeteilt nach Zugfestigkeit und Streckgrenze mit einheitlicher Bezeichnung auf dem Schraubenkopf bzw. am Schraubenschaft. „M8.8“ bezeichnet hierbei M = Sechskantschraube metrisches Maß,  $8 \times 100 = 800$  MPa Zugfestigkeit und  $8 \times 8 \times 100 = 640$  MPa Streckgrenze oder bei „M12.9“ würde stehen:  $12 \times 100 = 1200$  MPa und  $12 \times 9 \times 100 = 1080$  MPa. Dies sind zwei der Mindestanforderungen, die erfüllt werden müssen und sind in sogenannten Schraubenfibeln zu finden.

Da die Zugfestigkeit mit der Härte des Werkstoffs positiv korreliert ( $\geq HV 10$ ) und empirische Umwertungsregeln existieren z.B. nach EN ISO 18265, wird aus praktischen Gründen immer wieder auch die Härtemessung zur Qualitätsbeurteilung herangezogen.

Dies ist insbesondere dann wichtig, wenn eine größere Zahl an Schrauben, Bolzen usw. überprüft werden muss und/oder die geometrischen Abmessungen einer Zerreißprobe entgegenstehen. Dabei ist die klassische Härteprüfung nach Vickers, Brinell und Rockwell zwar flexibler, jedoch muss i.d.R. eine aufwendige Oberflächenbearbeitung ausgeführt werden bzw. die Schraube muss für den Prüfprozess zerteilt und häufig eingebettet werden. Diese zusätzlichen Arbeiten versucht man zu umgehen, indem mobile Härteprüfverfahren wie z.B. die UCI-Methode (Ultrasonic Contact Impedance) zum Einsatz kommen. Allerdings gibt es auch hier keine pauschale Aussage zur Anwendbarkeit. Aufgrund der hohen Variabilität in den Ausprägungen von Schrauben und Bolzen sind Versuche an Mustern vorab sehr zu empfehlen. Besonders brisant wird die Situation, wenn trotz aller Vorsichtsmaßnahmen sicherheitsrelevante Schrauben beispielsweise schon im Fahrzeug oder auf der Baustelle verbaut sind und eine nachträgliche Entnahme sehr beschwerlich ist. Dann kommt auch dort die Härtemessung mit UCI zur Verwechslungsprüfung ins Spiel, da die Messung einfach direkt am eingebauten Teil in jeder Richtung schnell und sicher ausgeführt werden kann.

Permeabilität und zum anderen zu einer Veränderung in der Leitfähigkeit im Prüfkörper. Diese Eigenschaften beeinflussen ebenso wie die Härteeigenschaften das Wirbelstromsignal des

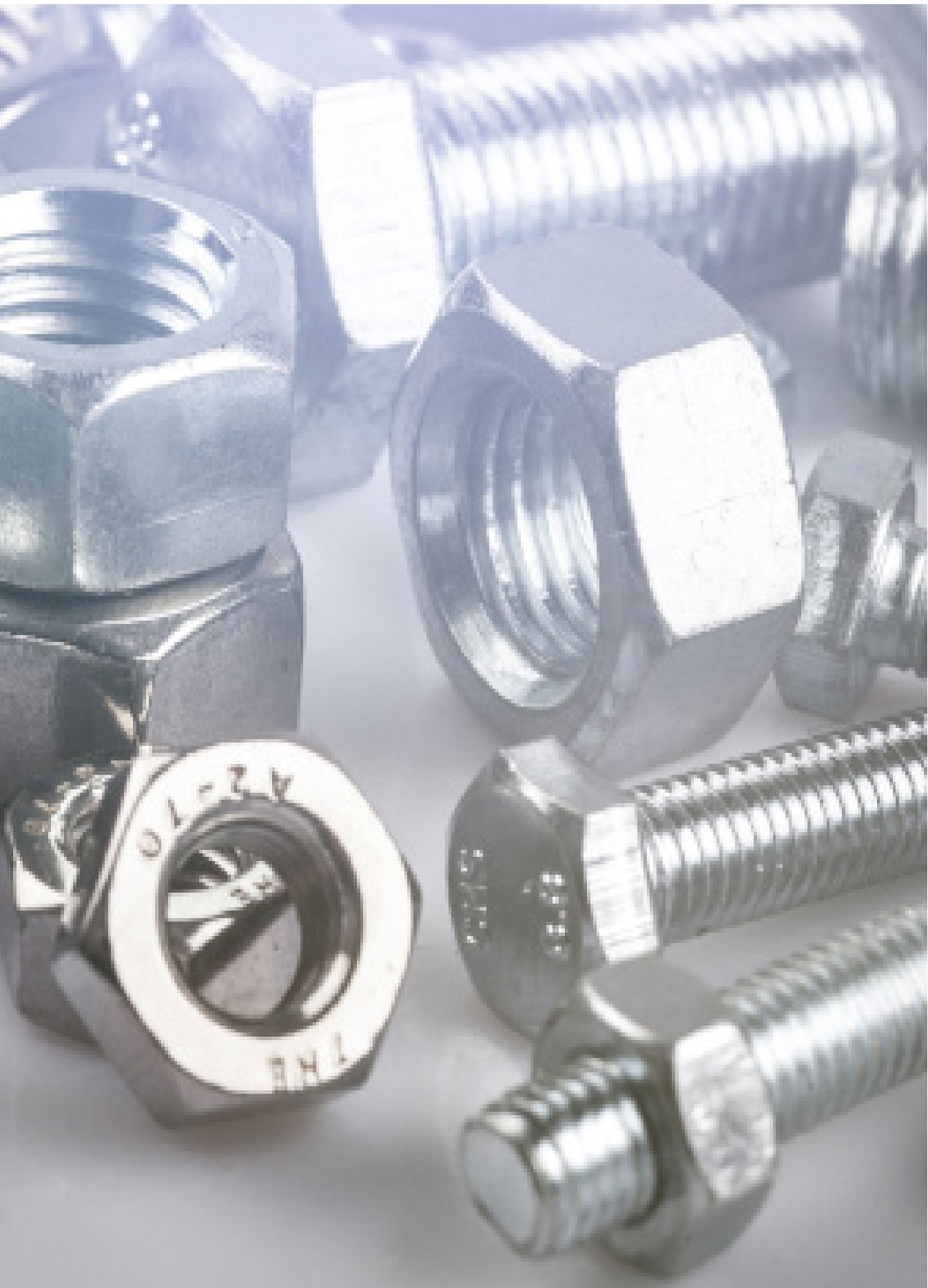
Prüfkörpers und stellen ein Problem bezüglich der Prozessfähigkeit dar. Es empfiehlt sich daher, vor dem Härten der Bauteile eine Materialverwechslungsprüfung durchzuführen, um die richtige Verwendung des erforderlichen Materials sicherzustellen. Es können dieselben Wirbelstromprüfgeräte für die Materialverwechslungsprüfung eingesetzt werden wie zur Härteprüfung.

## Magnetische Umgebungseinflüsse im Produktionsprozess

Die Rahmenbedingungen einer Produktionslinie können die Prüfqualität der Härteprüfung mit Wirbelstrom entscheidend beeinflussen. Beispielsweise können starke Elektromotoren Magnetfelder erzeugen, die wiederum direkt die Prüfsignale beeinflussen und zu falschen Ergebnissen führen. Weiterhin können Änderungen an einer bereits bestehenden Produktionslinie Einfluss auf die Feldverteilung der Prüfspule nehmen. Zum Beispiel der Ersatz eines Greifers aus nichtmagnetischem Material mit einem aus magnetischem Material.

Weitere Störfaktoren können aus dem Austausch eines Förderbandes mit andersartiger Leitfähigkeit resultieren. Die Veränderung der Leitfähigkeit des Förderbandes wirkt sich direkt auf die erzeugten Magnetfelder und damit auf die Prüfsignale aus.

Der Einfluss von Änderungen an der Produktionslinie auf die Verlässlichkeit der Prüfung ist nicht zu vernachlässigen. Schon in einem frühen Stadium der Entwicklung einer Prüfung müssen Materialien sorgfältig ausgewählt werden. Nach Veränderungen an den Anlagen sind die Ergebnisse und die Stabilität der Prüfung durch eine Prozessfreigabe neu zu bewerten.



# Härteprüfung bei Verbindungsmitteln & Schrauben:

Der folgende Artikel geht auf die Fragen ein :

- Was sind heutige Lösungsansätze?
- Wo greifen diese zu kurz?
- Welche Herausforderungen gibt es beim Härteprüfen von Schrauben und Verbindungsmitteln?
- Was sind einschränkende Faktoren?

Schrauben und Bolzen werden für den Anwendungsfall optimiert hergestellt. Dazu gehören Oberflächenbeschichtungen gegen Korrosion oder für optimale Gleiteigenschaften und sogar lokale Härte- bzw. Festigkeitseigenschaften durch thermische Behandlung. Somit müssen an vorbestimmten Stellen wie Schraubenkopf, -schaft und -ende die Kernhärte und Oberflächenhärte mit definierten Prüfkräften zwischen HV 0,3 und HV 10 abgenommen werden. Dementsprechend müssen die Härteprüfverfahren auf diese Aufgaben eingestellt werden. Vor der Messung des Werkstoffs müssen Oberflächenbelegungen entfernt werden. Messungen am Schaft sind für die Vickers-Härteprüfung schwierig, da die Oberfläche üblicherweise flach angeschliffen werden muss, um die Diagonalen des Eindrucks richtig zu erfassen. Der Prüf-Ort auf der Schraube muss gut erreichbar sein, was aufgrund des aufwendigen Aufbaus einer Prüfmaschine häufig ein Zerlegen der Schraube erfordert. Schließlich muss die Schraube dann auch noch bei konischem Körper richtig ausgerichtet (eingebettet und poliert) werden, weil sonst je nach Steigung die Optik zur Auswertung des Prüfeindrucks nicht gut genug fokussiert werden kann. (tische Prozesskontrolle) System generiert werden kann.

## Welche Härteprüfverfahren gibt es?

Je nach Anforderung stehen verschiedene Prüfverfahren zur Verfügung. Gängig sind hierbei vor allem die folgenden:

- Martens (Universalhärte)
- Vickers (HV)
- Rockwell (HR)
- Brinell
- Knoop
- Shore
- Barcol
- Buchholz



## Mit der UCI Härteprüfung einen Schritt voraus bei Verbindungsmitteln & Schrauben?

Weshalb bzw. wann und wo ist das UCI-Verfahren besser geeignet für die Härteprüfung von Schrauben und Verbindungsmitteln?

Das Wesen der UCI-Härteprüfung ist die Messung der akustischen Impedanz eines Körpers über die Frequenzverschiebung eines in Resonanz schwingenden Stabes mit Vickers-Diamanten. Aus der Frequenzverschiebung  $\Delta f$  bei einer bestimmten vordefinierten Prüfkraft wird die Härte des Werkstoffs bestimmt. Dabei bildet die Vickers-Härteskala die Referenz für jeden Werkstoff. Die UCI-Geräte sind auf Werkstoffe mit ca. 210 GPa E-Modul justiert und lassen sich über eine Vergleichsmessung mit einer Vickers-Härteprüfmaschine genau auf die neue Aufgabe einstellen. Dies ist nur einmal nötig, weil die Einstelldaten immer wieder reproduzierbar aus dem Speicher abgerufen werden können.



## SONODUR 3 mit UCI-Messsonden

Somit ist die Schraubenprüfung mit UCI sehr einfach und schnell durch einmaligen Vergleich mit der Vickers-Skala möglich. Da die UCI-Sonden stiftförmig mit dünnen Prüfspitzen ( $\varnothing 2,5$  mm bzw. speziell  $\varnothing 1,7$  mm) sind, können auch schwierige Prüfpositionen getroffen werden.

Gleichwohl sind hier die Randbedingungen aus der Anwendung der UCI-Methode zu beachten. Die Oberfläche muss sauber bzw. angeschliffen sein, jedoch nicht unbedingt blank. Zudem muss der Mess-Ort für die Sonden-Spitze zugänglich sein. Das Bauteil muss fest und von möglichen Bauteil-Resonanzen entkoppelt sein. Resonanzen lassen sich i.d.R. sehr gut über stark streuende und überhöhte bzw. viel zu niedrige Messwerte erkennen, die weit außerhalb des Erwartungsbereichs liegen.

Schäfte können nach Norm DIN 50159-1 noch bis zu  $\varnothing 3$  mm ohne besondere Maßnahmen gemessen werden. Mit Prüfkraften zwischen HV 0,1 UCI (Motor-Mess-Sonden) und HV 10 UCI (Hand-Mess-Sonden) können Schrauben als Ganzes oder auch eingebettet sowohl manuell als auch im Stativ gemessen werden. Aufgrund der Schnelligkeit der UCI-Messung bei gleichzeitig hoher Präzision ist eine Vielzahl von Messungen gegenüber klassischen Methoden möglich. Dadurch können ganze Messreihen durch Ab-scannen des Schafts ein detailliertes Bild über das erreichte Behandlungsergebnis liefern.

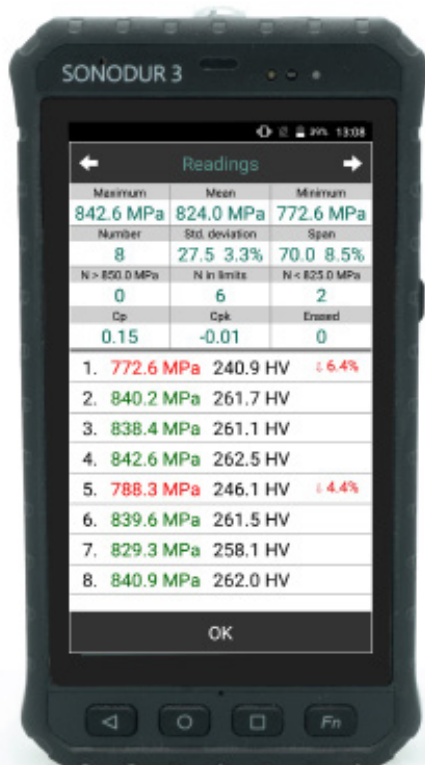
Das SONODUR 3 ist unter den UCI-Härte-Prüfgeräte prädestiniert für schwierige Prüfaufgaben. SONODUR 3 verfügt derzeit im Markt über das breiteste Sonden- und Zubehörprogramm. Über Touchscreen lassen sich beliebig umfangreiche Messreihen schnell auf fehlerhafte Messungen durchsuchen und bewerten – dazu müssen Sie nur „Extremwerte“ antippen und SONODUR 3 sucht den verdächtigen Messwert auf. Darüber hinaus bilden sowohl die Versuchsführung (Umwertungstabellen, Justierfunktion CAL und Eindringzeit), als auch die Dokumentationsmöglichkeiten (Datenformate CSV, .txt, HTML, wireless, USB, Foto) ein starkes Argument für den Einsatz von SONODUR 3.

## Härteprüfung mechanischer Bauteile

In der Industrie, im Automobilbereich und in vielen weiteren Branchen werden mechanische Bauteile mit spezifischen Materialeigenschaften eingesetzt. Diese Bauteile werden unter anderem mit den Eigenschaften der Legierung, der Oberflächengüte oder Härte so ausgelegt, dass sie im Einsatz optimal funktionieren und den Anforderungen der Anwendung standhalten. Aufgrund von Prozessschwankungen in der automatisierten Produktion kommt es jedoch vor, dass diese Eigenschaften abweichen, bis zu dem Punkt, dass das Bauteil die entscheidenden Anforderungen nicht mehr erfüllt.

## Härteprüfverfahren für die automatisierte Produktion

Eine Bauteileigenschaft mit ausschlaggebendem Einfluss auf die Materialqualität ist die Härte. In der Industrie werden spezifische Härteverfahren angewendet, die auf das spezifische Bauteil und dessen Anforderungen abgestimmt sind. Ein konstanter Härteprozess ist entscheidend, bei dem unter anderem die Zieltemperatur im Härteofen erreicht wird und innerhalb des Ofens nicht streut. Variiert der Härteprozess beispielsweise aufgrund veränderter oder falscher Prozessparameter, kann das auf die spezifizierte Härte große Auswirkungen haben. Die Härte dieser Bauteile weicht in diesen Fällen sehr stark von der Spezifikation ab. Dies betrifft sowohl die absoluten Werte als auch die Streuung von Bauteil zu Bauteil.





## Härteprüfmethoden im Überblick

Die Industrie hat unterschiedliche Härtemessverfahren etabliert. Häufig Anwendung finden beispielsweise die Messverfahren nach Vickers, Rockwell oder Brinell. Nicht alle Härteprüfverfahren eignen sich zum Einsatz in der Serienproduktion. Kritische Parameter in einer Serienproduktion sind die einzuhaltende Taktzeit möglichst geringe Beschädigungen des Bauteils bzw. eine absolute Freiheit von Beschädigungen. Bei dieser sogenannten zerstörungsfreien Härteprüfung kommen Wirbelstromgeräte zum Einsatz. Messung und Prüfung unterscheiden sich dadurch, dass Messungen auf einen ISO-Standard zurückgeführt werden können.

# Schnelle UCI-Härtemessung an Schrauben und Bolzen:

Im folgenden Beitrag werden zunächst einige Hintergründe zur Härtemessung an kleinen Objekten wie Schrauben und Bolzen erläutert. Anschließend gehen wir auf die praktische Umsetzung der Härtemessung ein. Dies beinhaltet Praxistipps und -erfahrungen, mit denen Messungen an komplexen und schnell fehleranfälligen Geometrien erleichtert werden.

## Grundsätzliches zum Einsatz der UCI-Härtemessung

Mobile UCI (Ultrasonic Contact Impedance) Härtemessgeräte haben sich in vielen Bereichen der metallverarbeitenden Industrie etabliert. Sie sind ein wichtiges Werkzeug zur Qualitätsbeurteilung von Prozessen. Die mobilen Prüfsysteme arbeiten richtungsunabhängig und präzise bei unterschiedlich guter Bedienerfreundlichkeit. Wegweisend für die Erzielung von signifikanten Prüfergebnissen ist die Darstellung der Ergebnisse, deren Analyse und Verwaltung.

Das Lösen der Prüfaufgaben ist häufig nicht trivial. Es ist Vorsicht geboten, damit Störungen über die Materialbeschaffenheit bzw. die Versuchsführung aus den Ergebnissen gut genug ausgeblendet werden können. Hier muss sich der Anwender über die Möglichkeiten und Grenzen des UCI-Verfahrens informieren. Unvorbereitete Benutzer riskieren schnell zu scheitern. Nach kurzer Einweisung und etwas handwerklichem Geschick steht einer erfolgreichen Anwendung der handgeführten UCI-Prüfsonden nichts mehr im Wege

## Was ist bei der Härtemessung an Schrauben und Bolzen zu beachten?

Neben einer guten Oberflächenvorbereitung muss man weitere Randbedingungen beachten. Die UCI-Härteprüfung bestimmt die Vickers-Härte unter Last während der Vickers-Diamant ins Material gedrückt wird. Die Referenz-Härteskala ist dabei das Vickers System auf das die UCI-Technik immer eingestellt wird. Dies kann im Betrieb notwendig werden, wenn der E-Modul des Prüfmaterials sich deutlich von Standard-Stahl (E-Modul ca. 210 GPa) unterscheidet.

Die Wirkung der Abweichung lässt sich am besten durch einen direkten Vergleich mit einem klassischen Härteprüfsystem ermitteln. Im Anschluss kann, beim Einsatz des SONODUR 3, einfach über eine Justierung (CAL-Zahl) die E-Modulabweichung kompensiert werden. Die Aussagefähigkeit dieser Anpassungen hängt stark von den Möglichkeiten der klassischen Prüftechnik ab. Dies gilt besonders, wenn zylindrische Oberflächen gemessen werden. Dabei müssen auch die unterschiedlichen Eindringtiefen bei den verschiedenen Härte-Prüftechniken berücksichtigt werden. So hat beispielsweise Rockwell C bei 50 HRC eine Eindringtiefe von 100 µm, was gegenüber der Vickers-Methode z.B. mit 513 HV 10 und ca. 27 µm eine um Faktor 4 höhere Eindringtiefe ausmacht. Dies kann erfahrungsgemäß zu deutlichen Unterschieden im Härtewert auf Bauteilen mit Härtegradienten führen (Oberflächenhärtung).



Somit sind die

- beschaffenheit der Oberfläche
- Bauteilgeometrie
- mechanische Verarbeitung der Bauteils
- Mechanische Zugänglichkeit zur Prüfposition
- thermische Vorgeschichte

zu beachten. Ebenso wie, bei kleinen bzw. dünnen Teilen,

- mögliche Bauteil-Resonanzen.

Je nach Aufgabe und Prüfanordnung kann es notwendig sein, mit Motorsonden und sehr kleinen Prüfkräften wie SONO-1M 1 N (HV 0,1) zu arbeiten, um sonst auftretende Bauteilresonanzen bei höheren Prüfkräften zu vermeiden.

|

## Praxisbeispiele zu Messungen an Schrauben und Bolzen

Im Folgenden stellen wir Ihnen durchgeführte Messungen an unterschiedlichen Abschnitten bzw. Bauteilen vor.

### Messungen am Schraubenkopf

Grundsätzlich ist bei Schraubenköpfen die bevorzugte Messrichtung der Messsonde von oben nach unten. Dazu muss die Schraube mit dem Schraubenkopf nach oben fixiert sein. Dies kann über einen Schraubstock oder eine passende Halterung geschehen. Besonders bei kleinen Teilen ist am Außenrand des Kopfes mit auftretenden Bauteilschwingungen (störenden Resonanzen) zu rechnen. Dies kann durch entsprechende Maßnahmen (akustisches Ankoppeln, Einschrauben bzw. Einbetten) minimiert werden. Resonanzen treten lokal auf an nicht vorbestimmten Stellen. Sie lassen sich aber in der Regel sehr gut über stark streuende und überhöhte Messwerte erkennen, die weit außerhalb des Erwartungsbereichs liegen.



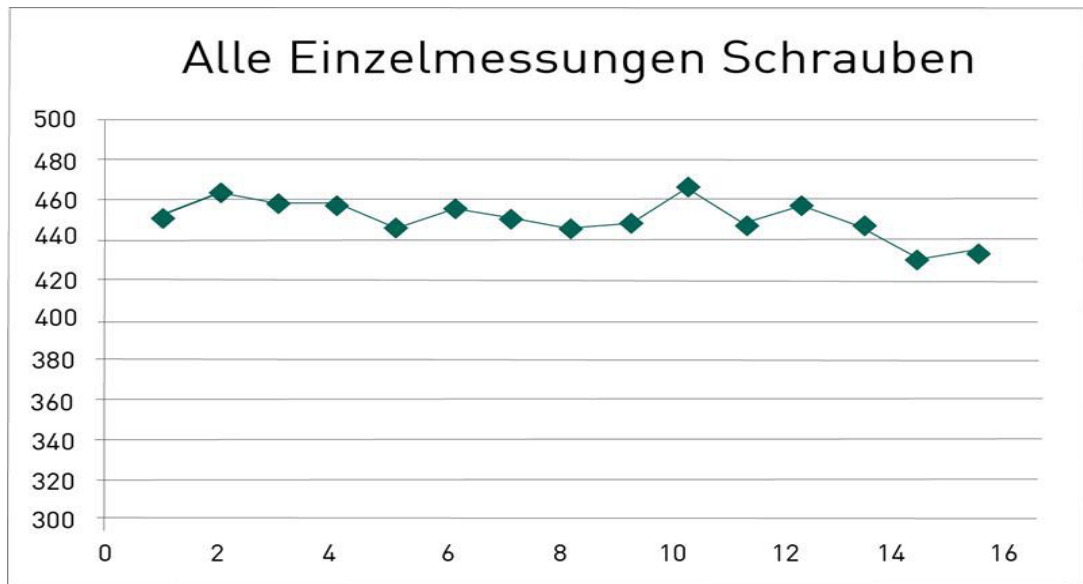


Abb 7. Bild vom Messgerät mit dem Ergebnis Tableau

Vor Beginn der Messung wird üblicherweise die Linearität der Prüfsonde mit jeweils fünf Messungen an Härtevergleichsplatten überprüft (kalibriert). Dies geschieht, damit die Sonde exakt arbeitet und unerwartete Ergebnisse nur etwas mit der Prüfsituation zu tun haben können.

Messergebnisse an allen Schraubenköpfen in einer Reihe zusammengefasst zeigen ein einheitliches Ergebnis für alle drei Schrauben. Jeweils fünf Messpunkte stehen für eine Schraube mit den Mittelwerten

für Schraube 1, 2 und 3 von 455 HV 1 UCI, 452 HV 1 UCI und 444 HV 1 UCI. Für die Protokollierung wurden alle Messergebnisse berücksichtigt.

Mittelwert aus 5 Messungen	284,5	HV 1 UCI	615,7	HV 1 UCI
Härtevergleichsplatte	289	HV 1	602,0	HV 1
Abweichung	- 4,5	HV	13,7	HV
Abweichung in %	-1,6	%	2,3	%
Grenzabweichung nach Norm DIN	±5	%	±6	%

Abb. 8: Mittelwert aus 5 Messungen



Abb 8. Nachstellen einer Prüfsituation Schraube messen am Schaft

## Messungen am Schaft

Bevorzugte Messrichtung ist wieder von oben nach unten. Die Orientierung der Schraube sollte in Richtung zum Blick des Bedieners sein, mit guter Beleuchtung der Messposition. Hier ist es wichtig, dass man bei Messungen von Hand die Sondenspitze in Blickrichtung auf den Scheitelpunkt des Umfangs setzt. Dies erleichtert die Messung genau dort auszuführen. Liegt man daneben, werden durch das exzentrische Aufsetzen kleine Querkräfte im Resonanzstab der Prüfspitze eingebracht, die zu einer zusätzlichen Frequenzverschiebung führen und damit zur Berechnung eines abgesenkten Härtewertes. Das bedeutet in der Praxis, dass anders als am Schraubenkopf, die Messanordnung schwieriger ist und man eher mit Messwertstreuungen nach unten rechnen muss. Dies umso mehr je dünner der Durchmesser wird.

Hier spielt die Beobachtung der Wiederholpräzision eine wichtige Rolle, ebenso wie die Zuordnung der Minimum- und Maximumwerte relativ zum Mittelwert. Wird in der Ergebnisdarstellung des Gerätes eine deutliche Asymmetrie im Abstand zum Mittelwert beobachtet, ist dies ein untrügliches Zeichen für eine Fehlmessung.

Dies gilt natürlich generell, jedoch hier bei gekrümmten Oberflächen besonders für Minimum-Messwerte, da ein „Übermessen“ recht unwahrscheinlich ist, außer man muss mit dem Auftreten von vereinzelt Bauteilresonanzen rechnen.

Offenkundige Fehlmessungen lassen sich einfach aus der Betrachtung ausschließen, indem man in der Ergebnistabelle des Gerätes den Maximum- bzw. Minimum-Wert berührt. Dieser wird automatisch aufgesucht und angezeigt, um aus der Betrachtung ausgeschlossen werden zu können.

Im Falle der Schrauben- und Bolzenprüfung sind für signifikante Ergebnisse Ausreißer in jedem Fall als solche zu deklarieren. Von der Betrachtung ausgeschlossene Werte sind Teil des originalen Prüfprotokolls für zusätzliche Kontrollzwecke. Wurden Korrekturen in der Ergebnistabelle veranlasst, empfiehlt sich eine weitere Messreihe zur Verifikation der Maßnahmen. Dabei sollten sich die Endergebnisse (Mittelwerte) nur unwesentlich voneinander unterscheiden.

## Messungen im Gewindegrund

Die Schraube muss groß genug sein, damit der Diamant innerhalb des Gewindegangs angesetzt werden kann. Hier ist zu beachten, dass der Diamant die Wandung nicht berührt und die Messungen genau im Gewindegrund erfolgen, da sonst Querkräfte auftreten können. Diese Messaufgaben sind aufgrund der Komplexität und eingeschränkten Anwendbarkeit nicht sehr verbreitet.

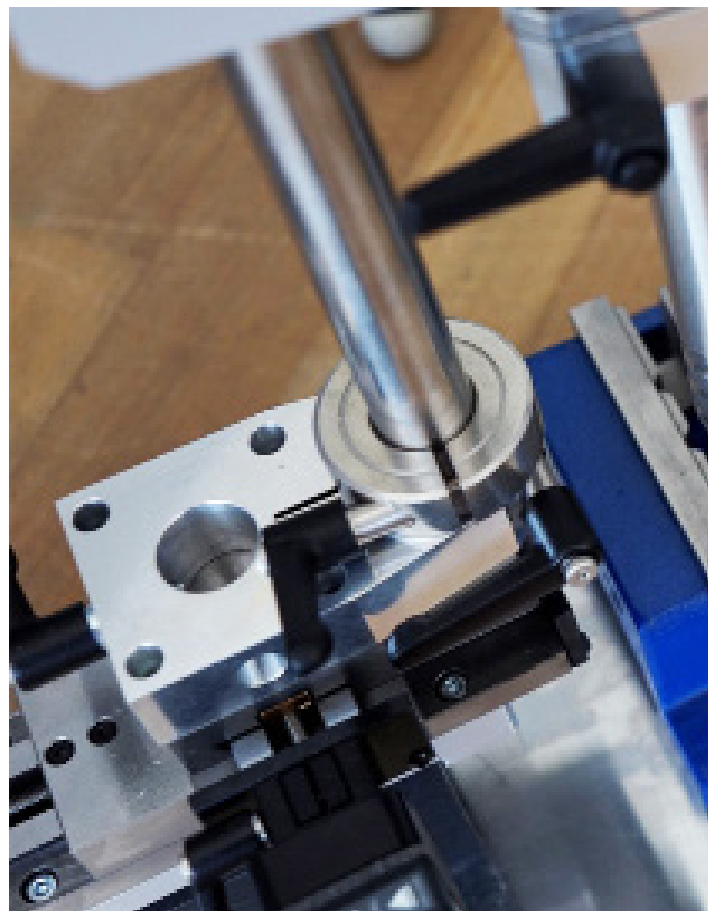
## Messungen an Baustahl-Schrauben

Als Versuchsaufbau wurden mehrere experimentelle Baustahlschrauben (brüniert bzw. Zinn-beschichtet) Vergleichsmessungen unterzogen, wobei Rockwell C als Referenz-Skala vorlag. Der Kunde hatte jeweils einen HRC-Messpunkt gesetzt. Dabei muss man berücksichtigen, dass auf Härtevergleichsplatten eine Toleranz von  $\pm 1$  HRC zulässig ist. Es sollen eigentlich drei Kalibriermessungen vorgenommen werden (EN ISO 6706). Die Messungen wurden mit HV 10 UCI (SONO H100 Handmess-Sonde) an Kopf und Schaft aufgenommen. Die Schrauben wurden dabei in einem Schraubstock gehalten bzw. auf eine Prismen-Unterlage (Messungen am Schaft) aufgelegt.

Beste Bedingungen würden vorliegen, wenn die Schrauben in eine Befestigung eingeschraubt werden. Die UCI-Messungen wurden in der Nähe der Rockwell-Prüfeindrücke verteilt. Dabei wurden keine UCI-Messwerte ausgeblendet. Bei den beschichteten Schrauben waren die Rockwell-Eindrücke in die geschliffenen Oberflächen gesetzt. Die brünierten Oberflächen waren nicht bearbeitet.

Die UCI-Ergebnisse haben die HRC-Messungen bestätigt, wobei die Messungen an den beschichteten Schrauben generell etwas erhöht und die Messwertstreuungen größer als bei den brünierten Schrauben sind. Gründe könnten in der thermischen Bearbeitung durch den Beschichtungsprozess liegen.

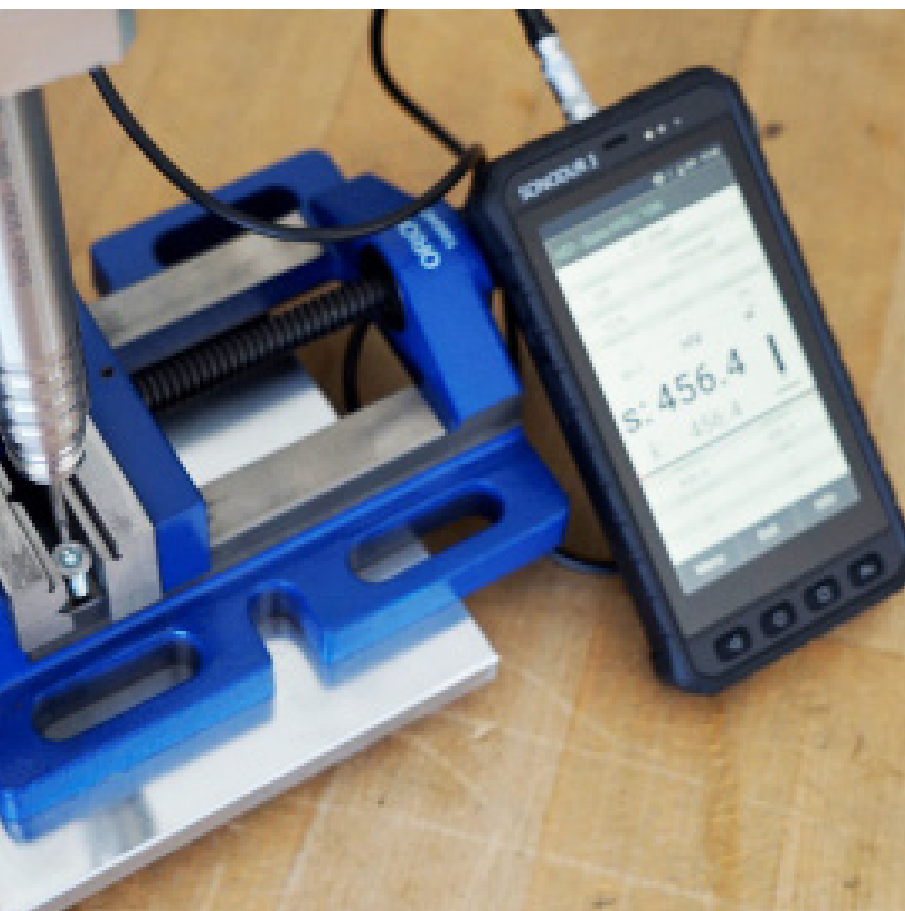
Legt man die Kriterien für Sicherheitschrauben zugrunde, sind die brünierten Schrauben eher der Klasse 10.9 mit dem Toleranzbereich 32 – 39 HRC laut Datenblatt zuzuordnen. Dagegen liegen die beschichteten Schrauben in Klasse 12.9 mit 39 – 44 HRC.



<b>Brünierte Schrauben</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
36 HRC	37,0	38,4		
37 HRC	37,2	38,4		38,5
38 HRC	38,9	39,4	38,5	
Härtebereich: 37 - 39 HRC				

<b>Beschichtete Schrauben</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>
36 HRC	40,7		41,5	
38 HRC	40,0			
39 HRC	42,1	42,2	41,6	
Härtebereich. 40 - 43 HRC				

Abb. 10: Ergebnisse mit Sonde SONO H100 in HRC UCI



### Beispiel eines Messprotokolls

File	\\My Documents\Basic\Schraube-38-Kopf-2_01
Date	15. June 2022
Start of Meas.	10:43
Probe/Test Force	Sono100/100N
Dwell Time	0 sec
Orientation	0°
Material	Steel
Norm; HV->HRC	EN ISO 18265
Adj. Number	0
Limits	Off
Number	11
Mean	38,5 HRC
Std. Deviation	0,7 HRC; 1,9%
Maximum	39,7 HRC
Minimum	37,3 HRC
R	2,4 HRC; 6,3%
Remarks	Zweite Seite am Kopf gemessen, da die Auflage des Kopfes uneben war auf der Seite des HRC-Eindrucks. Die Schraube wurde nicht fixiert, sondern nur aufgelegt.

1	38,4	HRC	376	HV
2	37,8	HRC	371	HV
3	37,3	HRC	366	HV
4	38,6	HRC	378	HV
5	37,5	HRC	368	HV
6	38,3	HRC	376	HV
7	38,7	HRC	379	HV
8	39,7	HRC	389	HV
9	38,5	HRC	377	HV
10	39,4	HRC	386	HV
11	38,7	HRC	379	HV

Abb. 11: Beispiel einer Messreihe für Sicherheitsschrauben in HRC und HV

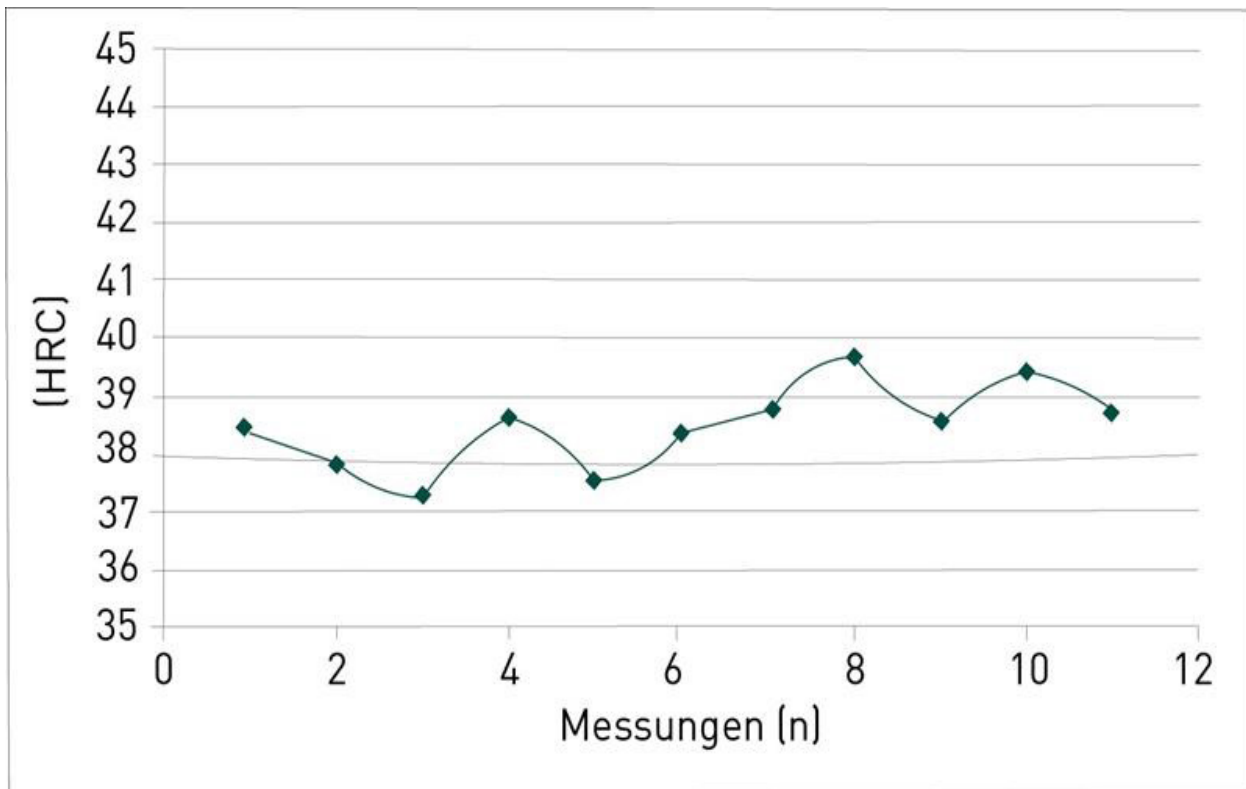


Abb. 12: Beispiel einer Messreihe für Sicherheitsschrauben in HRC und HV





## Messungen mit Motorsonden an einem Stahlbolzen

Ist ausreichend Raum für Hilfsmittel wie Prismen-Sondenfüße vorhanden, bietet sich auf zylindrischen Oberflächen bzw. dünnen Beschichtungen die Messung mit einer Motorsonde und Prismen-Sondenfuß an. Mit einer Rändelschraube lässt sich der Durchmesser einstellen. Durch die Selbstzentrierung über das Prisma sind sichere Ergebnisse auch bei sehr kleinen Prüfkräften erzielbar, wie hier mit der 3N-Motorsonde SONO M3.

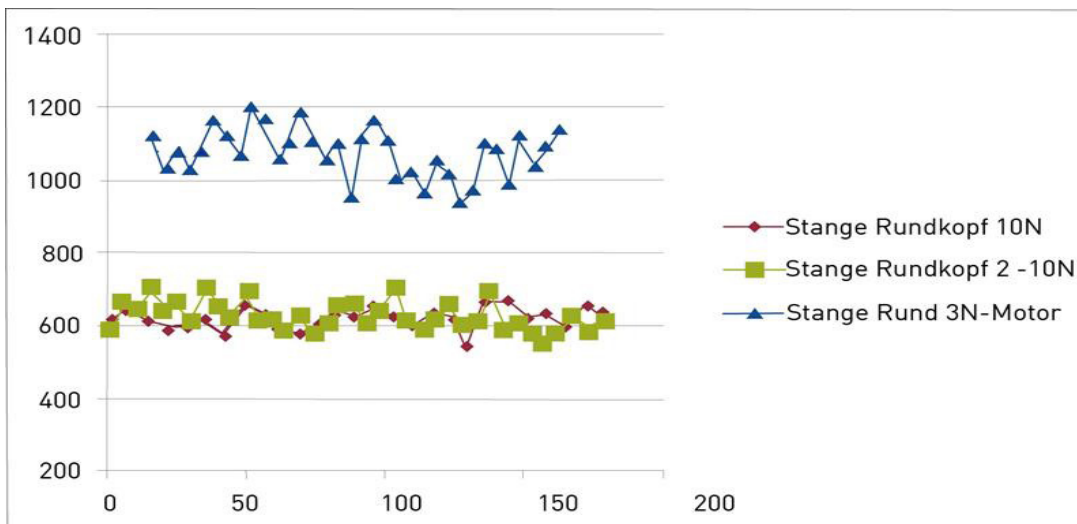
Bei diesem Beispiel handelt es sich um einen Stahlbolzen mit 6 mm Durchmesser. Die Oberfläche des austenitischen Stahls (hier 1.4571) ist kolsterisiert (Aufkohlung durch Diffusion bei niedriger Temperatur von ca. 300 °C). Die Oberflächenhärte wurde mit ca. 1100 HV 0,3 UCI gemessen, wobei man eine Einhärtetiefe von ca. 20 µm (EHT bei 550 HV) annehmen kann. Versuche mit etwas höherer Prüfkraft haben ca. 600 HV UCI (Handprüfsonde SONO H10, HV 1 UCI) ergeben, aufgrund der sehr dünnen Aufhärtungsschicht. Die Oberflächenhärte am Kopf war identisch zu den Ergebnissen am Schaft.





## Die Ergebnisse im Vergleich

Messreihe	SONO H10	SONO H10	SONO M3	Kopf SONO M
Anzahl Messungen	27	37	34	10
Mittelwert	624 HV	622 HV	1078 HV	1042 HV
Sigma	26 HV; 4,4%	27 HV; 4,6%	68 HV; 6,3%	38 HV; 3,7%
Maximum	670HV	705 HV	1200 HV	1115 HV
MINIMUM	541 HV	555 HV	940 HV	994 HV
R	129 HV;17,6%	150HV; 15,4%	261 HV; 24,2%	122 HV; 11,7%



### Zusammenfassung: Vielfache Lösungsmöglichkeiten der mobilen Härtemessung an Schrauben und Bolzen mit dem SONODUR 3

SONODUR 3 bietet viele Lösungsmöglichkeiten für eine hohe Vielfalt an Anwendungen zur Prozesskontrolle in Produktion und Wartung. Mit dem derzeit weitesten Produktprogramm von Mikrohärt (1 N, HV 0,1 UCI) bis zur Makrohärte (100 N, HV 10 UCI) können verschiedenste Geometrien, Bauteilgrößen und Texturen sicher gemessen werden. Die Messungen sind im Vergleich zu klassischen Methoden sehr schnell, an schwer zugänglichen und komplizierten Stellen in jeder Richtung auszuführen.

Durch die Vielzahl an Messungen lassen sich auch im Gerät verdächtige Messergebnisse schnell bewerten und signifikante Ergebnisse erzielen.

Am Beispiel von Schrauben und Bolzen wurden Vergleichsmessungen erfolgreich mit klassischen Härteprüfverfahren angestellt. Dies legt eine Verwendung von SONODUR 3 in der Produktion nahe. Bei der Versuchsführung und Auswertung von Ergebnissen müssen, wie bei anderen Mess- und Prüfverfahren, Randbedingungen berücksichtigt werden, um negative Beeinflussungen zu minimieren. SONODUR 3 ist im Zusammenspiel mit der klassischen Härteprüfung und der breiten Auswahl an Sondengeometrien wie ein „Prüflabor vor Ort“.



**FOERSTER**

**Zentrale**

- Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG, Deutschland

**Tochterfirmen**

- FOERSTER France SAS, Frankreich
- FOERSTER U.K. Limited, Vereinigtes Königreich
- FOERSTER Italia S.r.l., Italien
- FOERSTER Tecom, s.r.o., Tschechische Republik
- FOERSTER (Shanghai) NDT Instruments Co., Ltd., China
- FOERSTER Instruments India Pvt. Ltd., Indien
- FOERSTER Japan Limited, Japan
- NDT Instruments Pte Ltd, Singapur
- FOERSTER Middle East, VAE
- FOERSTER Instruments Inc., USA

Die FOERSTER Group wird weltweit in über 60 Ländern durch Tochterfirmen und Vertretungen repräsentiert.

**Institut Dr. Foerster GmbH & Co. KG**

In Laisen 70  
72766 Reutlingen  
Deutschland  
+49 7121 140 0