

Härteprüfung nach dem UCI-Verfahren



Einleitung

Das UCI-Verfahren (Ultrasonic Contact Impedance; genormt in ASTM A1038 und DIN 50159) wird seit Jahrzehnten erfolgreich zur Härteprüfung von Metallen eingesetzt. Durch die einfache, zuverlässige und ausgesprochen schnelle Anwendung findet das Verfahren immer weitere Verbreitung. War es früher noch ein Nischen-Verfahren, das lediglich dann zum Einsatz kam, wenn die stationären Prüfverfahren nach Rockwell, Brinell oder Vickers aufgrund der Bauteilgröße oder des Probenstandortes an ihre Grenzen stießen, ist es heute in vielen Fällen sogar von vornherein die bessere Wahl. Häufige Anwendungen sind Messungen an Pipelines, Schweißnähten und Zahnrädern sowie generell auf metallischen Oberflächen.

Messprinzip

Das UCI-Verfahren ist dem weit verbreiteten Vickers-Verfahren nachempfunden. Im Unterschied dazu entfällt jedoch die optische Auswertung des Eindrucks unter dem Mikroskop, da der Härtewert direkt während des Eindringvorgangs bestimmt wird. Durch diese Vereinfachung lässt sich das UCI-Verfahren sehr leicht automatisieren und es erweist sich in unserer heutigen schnelllebigen Welt aufgrund der immensen Zeitersparnis und Flexibilität als besonders effizient und vielseitig.

Ähnlich wie beim Vickers-Verfahren wird auch beim UCI-Verfahren ein Eindruck mit definierter Prüflast (3 – 98 N) in dem zu prüfenden Bauteil erzeugt. Als Eindringkörper wird ein Vickersdiamant mit exakt definierter Geometrie entsprechend DIN EN ISO 6507-2 verwendet, der sich am Ende eines Schwingstabs befindet. Der Schwingstab wird über Piezokristalle zu Longitudinalschwingungen angeregt, sodass dieser zunächst mit seiner Eigenresonanzfrequenz bei ca. 66 kHz schwingt (siehe Abbildung 1).

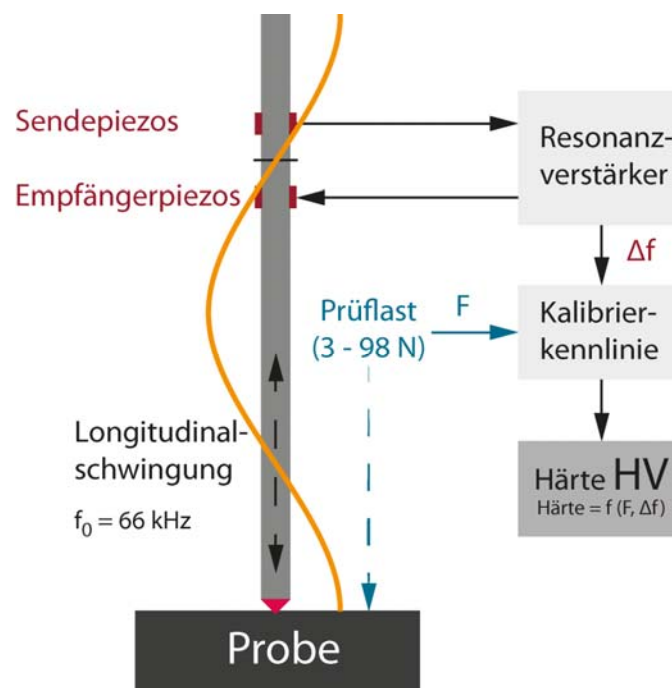


Abbildung 1: Schwingung eines UCI-Stabs

Dringt der Schwingstab mit dem Vickersdiamant während der Prüflastaufbringung in die Probe ein, kommt es mit zunehmender Kraft bzw. Eindringtiefe zur Dämpfung der Schwingung und einer damit

verbundenen Änderung der Resonanzfrequenz, die leicht gemessen werden kann. Diese Frequenzänderung hängt von der Größe der Kontaktfläche zwischen Diamant und Probe und somit auch direkt von der Härte ab (je weicher das Material, desto größer die Kontaktfläche bei gegebener Prüfkraft). Generell gilt:

$$\text{Härte} = f(F, \Delta f) \quad \text{mit: } F: \text{ Prüflast} \\ \Delta f: \text{ Frequenzverschiebung}$$

Die Abläufe während des Messvorgangs sind in Abbildung 2 nochmals veranschaulicht. Zu Beginn schwingt das Resonanzsystem bei der ungedämpften Grundfrequenz f_0 von 66 kHz. Während der Prüflastaufbringung verschiebt sich die kontinuierlich gemessene Frequenz aufgrund der immer größer werdenden Kontaktfläche. Ist die vorgegebene Prüflast (hier 49 N) erreicht, wird aus der entsprechenden Differenz zu f_0 der Härtewert berechnet und ausgegeben. Bei den UCI-Härteprüfgeräten alphaDUR II und alphaDUR mini sowie beim Härtescanner UT 200 dauert die Frequenzmessung lediglich einige tausendstel Sekunden.

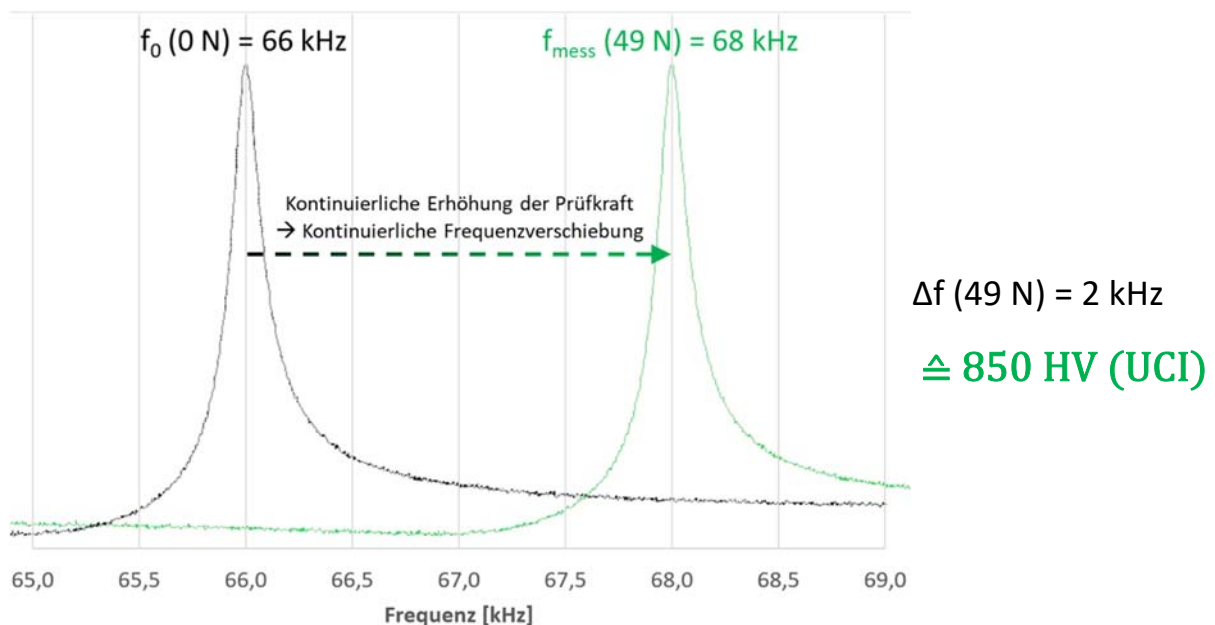


Abbildung 2: Frequenzverschiebung während der UCI-Härteprüfung (schematisch)

Die Frequenzänderung ist jedoch nicht nur von der Härte, sondern auch vom E-Modul des Werkstoffs abhängig. Zur Berücksichtigung des E-Moduls werden die UCI-Sonden auf Härtevergleichsplatten (Referenzplatten aus Stahl mit unterschiedlicher Härte) kalibriert. Aus diesen gespeicherten Kalibrierwerten wird zusammen mit der bekannten Prüflast und der gemessenen Frequenzdifferenz die Härte berechnet. Innerhalb einer Werkstoffgruppe (z.B. Stahl mit 200 – 220 GPa) sind die Schwankungen des E-Moduls so gering, dass der Einfluss auf den Härtewert vernachlässigt werden kann. Sollen Werkstoffe mit stark abweichendem E-Modul geprüft werden, kann eine Werkstoffkalibrierung an einem Referenzteil des zu prüfenden Materials durchgeführt werden. Dazu werden zunächst stationäre Härtemessungen durchgeführt und der dabei ermittelte Härtewert in das alphaDUR mini / alphaDUR II / UT200 mittels UCI-Messungen übertragen. Dadurch wird die o.g. Kalibrierkurve verschoben, sodass in der Folge präzise Messungen des „neuen“ Materials möglich sind.

Einsatzformen

Die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten des UCI-Verfahrens haben dazu geführt, dass BAQ auf die verschiedenen Prüfaufgaben zugeschnittene Lösungsmöglichkeiten entwickelt hat. Das Spektrum reicht von der mobilen Prüfung mit den Prüfsonden über die automatisierte Messung in der Produktionslinie bis hin zu vollautomatischen Flächenmessungen.

Mobile Härteprüfung

Ein mobiles Härteprüfsystem besteht aus einer Prüfsonde und den tragbaren Messgeräten alphaDUR mini oder alphaDUR II. Damit kann „im Feld“ direkt an den zu prüfenden Bauteilen die Härte gemessen werden. Die Messungen können aufgrund der Bauform der Prüfsonden auch an unzugänglichen Stellen durchgeführt werden und sind zudem richtungsunabhängig. Zur Durchführung einer Messung wird die Prüfsonde manuell positioniert und die Prüflast per Hand aufgebracht. Der Härtewert wird sofort auf dem Gerätedisplay angezeigt.



Abbildung 3: mobile Härteprüfung mit dem alphaDUR mini

Neben Einzelmessungen können zur Erhöhung der Aussagefähigkeit auch Messreihen aufgenommen werden. Sämtliche Messwerte inkl. statistischer Auswertung werden direkt im Gerät angezeigt und können anschließend gespeichert, als Messprotokoll ausgedruckt oder auf einen PC übertragen werden. Des Weiteren können Ober- und Untergrenzen für die Härtewerte festgelegt werden, um unzulässige Abweichungen zu identifizieren. Messwerte außerhalb dieses Bereiches werden gekennzeichnet und zusätzlich ertönt ein akustisches Warnsignal.

Beide UCI-Härteprüfgeräte (alphaDUR mini und alphaDUR II) ermöglichen auch eine Umwertung der gemessenen Härtewerte in andere Härteskalen. Die Umwertung erfolgt direkt im Gerät und ist sowohl nach DIN EN ISO 18265 - Feb.2014 als auch nach ASTM E140 - 12b (2019) in Härteskalen wie Vickers, Brinell und Rockwell oder auch in die Zugfestigkeit möglich.

Beim UCI-Verfahren ist es im Allgemeinen sehr wichtig, die Prüfsonde senkrecht zur Bauteiloberfläche aufzusetzen. Eine nennenswerte Schiefstellung (laut DIN 50159 und ASTM A1038: $> 5^\circ$) hat zur Folge,

dass sich die Kontaktfläche zwischen Diamant und Probe ändert, was eine Änderung der Frequenzverschiebung und somit einen abweichenden Härtewert zur Folge haben kann. Um das senkrechte Aufsetzen der Prüfsonden insbesondere für ungeübte Anwender zu erleichtern, können neben dem Präzisionsmessstativ (vor allem für Labormessungen geeignet) auch die sog. Aufsetzhilfen zum Einsatz kommen, die sich auch für die mobile Prüfung bewährt haben. Die Aufsetzhilfen werden anstelle der Schutzhülse unten an die Sonden geschraubt und haben an die Bauteilgeometrie angepasste Vorsätze zur Prüfung ebener oder gekrümmter Oberflächen, wie z.B. Rohren. Die Prüflast wird auch bei der Verwendung einer Aufsetzhilfe weiterhin manuell aufgebracht.

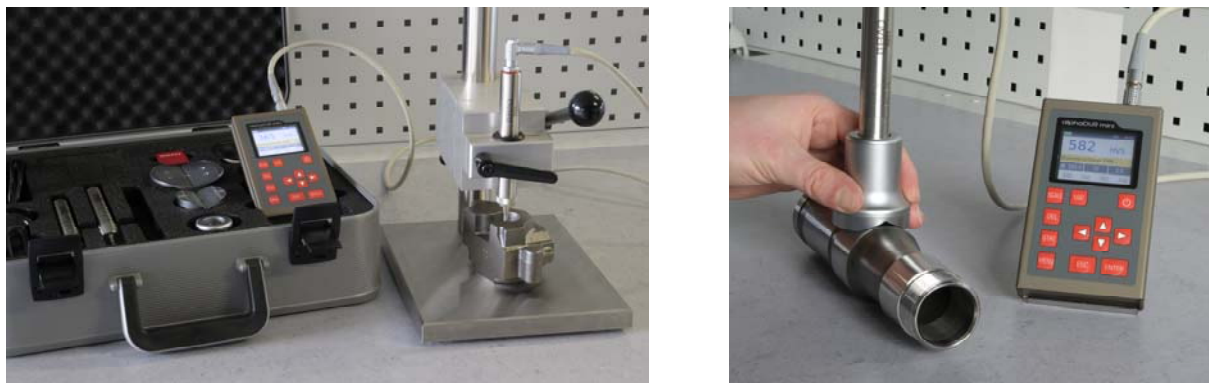


Abbildung 4: UCI-Prüfung mit Präzisionsmessstativ (links) und Aufsetzhilfe (rechts)

Automatisierte Härteprüfung in der Produktion

Neben dem Einsatz in der mobilen Härteprüfung kann das alphaDUR II SPS auch in Produktionslinien integriert werden, um beispielsweise eine vollautomatische 100%-Kontrolle der Bauteile zu gewährleisten. Aufgrund des außerordentlich schnellen Messvorgangs und sind auch Taktzeiten von wenigen Sekunden kein Problem.

Bei diesen Anwendungen liegt das Augenmerk häufig auf einer gut/schlecht Unterscheidung. Im alphaDUR II SPS werden dazu Grenzen festgelegt, innerhalb derer die Härte des Bauteils liegen muss. Liegt der Härtewert eines Bauteils außerhalb dieses Bereichs, wird die Information an die SPS übertragen, sodass das entsprechende Bauteil sofort aussortiert werden kann. Eine Übertragung der exakten Härtewerte ist ebenfalls möglich.



Abbildung 5: alphaDUR II SPS für die Produktionslinie

Vollautomatisierte Flächenprüfung

Neben den UCI-Prüfsonden, die sowohl zur mobilen als auch zur automatisierten Härteprüfung eingesetzt werden, hat BAQ den Härtescanner UT200 entwickelt, dessen Messprinzip ebenfalls auf dem UCI-Verfahren beruht. Die rechnergesteuerte Positionierung zusammen mit der motorischen Lastaufbringung ermöglicht vollautomatische Linien- oder Flächenmessungen sowie Messungen mehrerer Proben in einem Durchlauf. Durch die Schnelligkeit des UCI-Verfahrens können sogar einige 1000 Messpunkte innerhalb kurzer Zeit aufgenommen werden, was völlig neue Möglichkeiten in der Werkstoffprüfung ergibt. Die Zusammenfassung der Härtewerte in einer farbigen Grafik zeigt sehr anschaulich das Gefüge in einer Schweißnaht oder den Übergang vom Grundmaterial in den gehärteten Bereich.



Abbildung 6: UCI-Flächenmessung mit dem UT200

Randbedingungen / Voraussetzungen

Wie andere Härteprüfverfahren unterliegt auch das UCI-Verfahren einigen Randbedingungen, die es bei der Anwendung zu berücksichtigen gilt. Neben einer gewissen Erfahrung des Anwenders im Umgang mit den Prüfsonden gibt es auch Anforderungen an die zu prüfende Probe, die beachtet werden müssen, um eine einwandfreie und zufriedenstellende UCI-Prüfung durchzuführen.

Um die Einsatzfähigkeit der UCI-Härteprüfung sicherzustellen, kann es im Zweifelsfall sinnvoll sein, dass alphaDUR mini oder alphaDUR II direkt am Bauteil zu erproben. Dazu besteht sowohl die Möglichkeit ein Leihgerät zu erhalten oder Testmessungen an Originalbauteilen im BAQ-Labor durchzuführen. Darüber hinaus sind auch Vorfürungen direkt bei Ihnen vor Ort möglich. Durch das globale Vertriebsnetz von BAQ stehen hierzu in nahezu jedem Gebiet der Erde geschulte Partner zur Verfügung.

Probendicke

Das vom Schwingstab erzeugte Ultraschallsignal wird zum Teil in die Probe übertragen, breitet sich in dieser aus und wird an Grenzflächen reflektiert. Damit es nicht zur Überlagerung dieser Reflexion mit dem eigentlichen Signal kommt, sollte die Wandstärke laut DIN 50159-1 mindestens 5 mm betragen.

Wird diese Anforderung nicht erfüllt, besteht die Möglichkeit der Ankopplung. Dabei wird ein dünner Ölfilm zwischen Probe und einem massiven Körper gebracht, wodurch das Ultraschallsignal nicht reflektiert, sondern in den massiven Körper übertragen wird, sodass es zu keiner Überlagerung kommen kann. Als massiver Körper eignet sich beispielsweise die Grundplatte des Präzisionsmessstativs. Den gleichen Effekt wie durch das Ankoppeln kann auch durch das Einbetten der Probe erreicht werden, was insbesondere bei Flächenmessungen mit dem UT200 angewandt wird. Beide Methoden ermöglichen auch die Prüfung kleiner Bauteile.

Oberflächenrauheit

Wie bei sämtlichen Härteprüfverfahren gibt es auch beim UCI-Verfahren gewisse Anforderungen an die Oberfläche der Probe. Laut DIN 50159-1 bzw. ASTM A1038 gelten die folgenden Richtwerte für die maximale mittlere Rautiefe R_a :

Prüfkraft	$R_{a_{max}}$ in μm	
	Nach DIN 50159	Nach ASTM A 1038
98 N	1	15
50 N	0,8	10
10 N	0,5	5
3 N	-	2,5

Hinweis: Im Gegensatz zum Vickers-Verfahren, bei dem die Diagonalen des Härteeindrucks ausgemessen werden, deren Eckpunkte sich bei rauen Oberflächen teilweise nicht exakt bestimmen lassen, geht beim UCI-Verfahren die gesamte Kontaktfläche in die Berechnung des Härtewerts ein. Dies hat eine mittelnde Wirkung, weshalb die Streuungen der Messwerte beim UCI-Verfahren deutlich geringer sind.

Zur Einhaltung der Vorgaben kann die Oberfläche entsprechend präpariert werden. Dabei ist es ausreichend die Messstelle partiell anzuschleifen, wobei die folgende Tabelle als Orientierungshilfe dient:

Körnungsgrößen nach FEPA-Standard	120	180	240
Ra	ca. 1,2 µm	ca. 1,0 µm	ca. 0,6 µm

Schichtdicke

Mit dem UCI-Verfahren kann auch die Härte von Beschichtungen geprüft werden. Um einen Einfluss durch den Grundwerkstoff zu vermeiden, sollte die Eindringtiefe des Vickers-Diamanten maximal $\frac{1}{10}$ der Schichtdicke betragen. Zur Orientierung kann das folgende Diagramm verwendet werden.

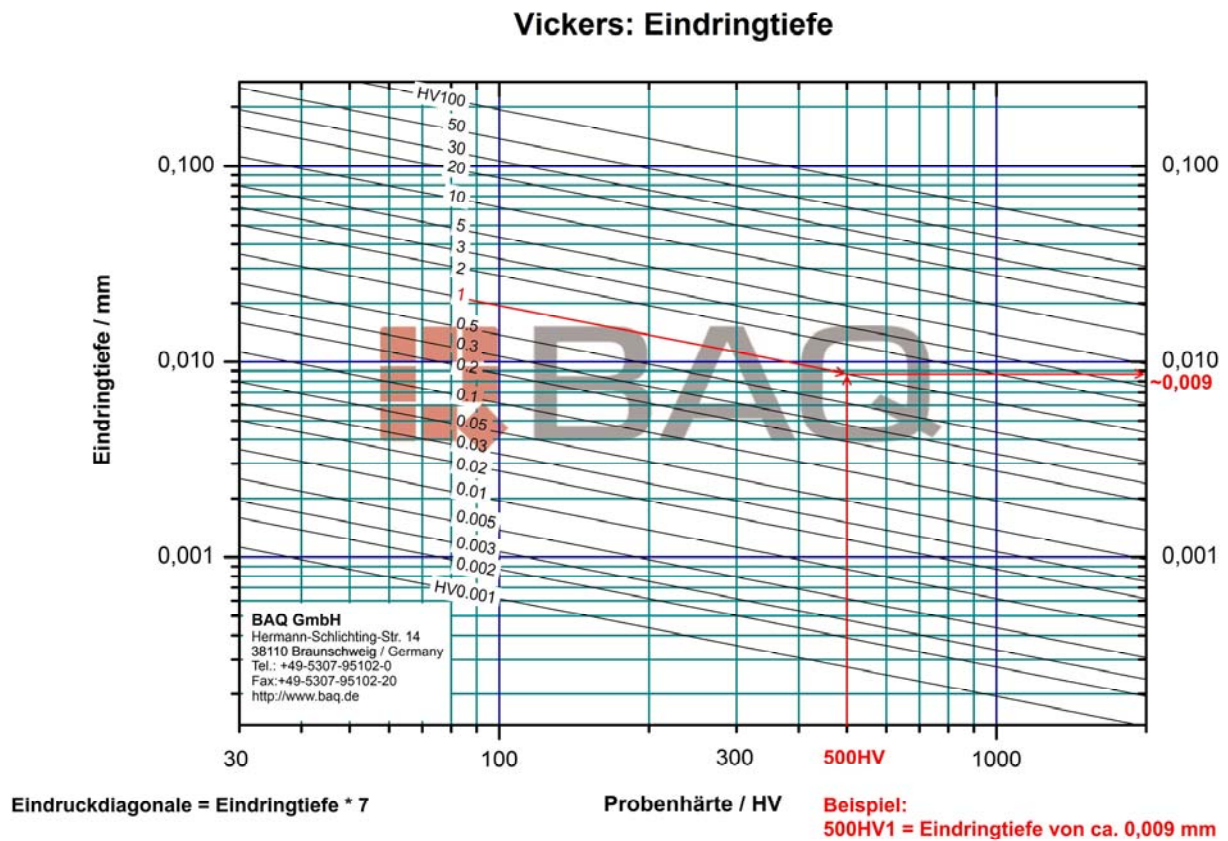


Abbildung 7: Diagramm Eindringtiefe

Auswahl der Prüflast

Die UCI-Prüfsonden sind mit unterschiedlichen Prüflasten von 3 N (HV0,3) bis 98 N (HV10) erhältlich. Sämtliche Sonden sind für alle Härtebereiche geeignet und unterscheiden sich nur in der Handhabung. Die Auswahl der Prüflast hängt daher vor allem von der Oberflächenrauheit der Probe ab. Prinzipiell gilt:

„je größer die Oberflächenrauheit der Probe, desto größer die Prüflast der Sonde!“

Eine Orientierungshilfe zur Auswahl der richtigen Prüfsonde liefern die in der DIN 50159-1 beispielhaften Anwendungsfälle:

Prüfkraft	Typische Anwendungen
98 N	Kleine Schmiedeteile, Schweißnahtprüfung, Prüfung der Wärmeeinflusszone
49 N	Induktions- bzw. einsatzgehärtete Maschinenteile, z. B. Nockenwellen, Turbinen, Schweißnähte, Prüfung der Wärmeeinflusszone
10 N	Ionennitrierte Prägwerkzeuge und Matrizen, Formen, Pressen
3 N	Schichten, z. B. Kupfer- und Chromschichten auf Stahlzylindern ($t \geq 0,040$ mm), Kupfertiefdruckzylinder, Beschichtungen, gehärtete Schichten ($t \geq 0,020$ mm)

Vorteile des UCI-Verfahrens

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ▪ Mobile Prüfung ▪ Richtungsunabhängigkeit ▪ Schnell ▪ Verbesserte Genauigkeit und Reproduzierbarkeit ▪ Quasi zerstörungsfrei ▪ Leichte Automatisierbarkeit ▪ Kompaktes Messgerät | <p>Messungen direkt am Bauteil</p> <p>Messung in beliebiger Orientierung</p> <p>keine optische Auswertung des Eindrucks erforderlich
der Härtewert wird aus der gesamten Kontaktfläche berechnet und nicht nur aus den Diagonalen
→ bessere Zuverlässigkeit bei asymmetrischen Eindrücken</p> <p>Eindrücke kaum sichtbar (vgl. Abbildung 8)</p> <p>einfache Integration in Produktionslinie</p> <p>Messung an unzugänglichen Stellen, schwierigen Bauteilgeometrien und engen Platzverhältnissen</p> |
|--|--|

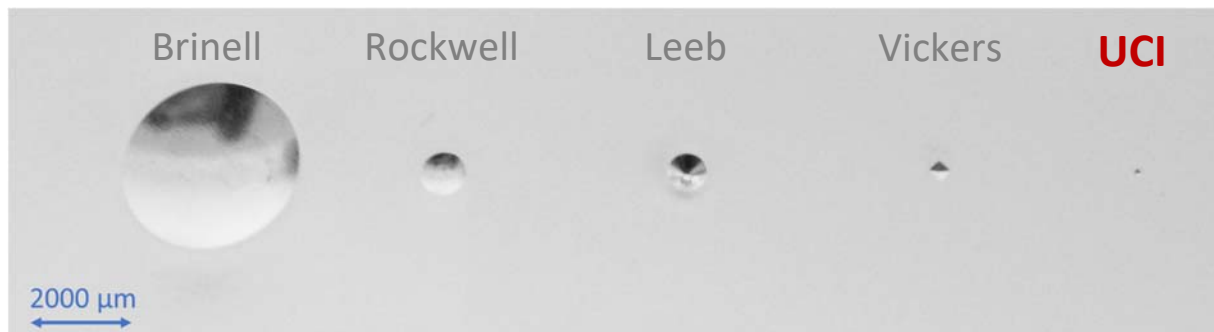
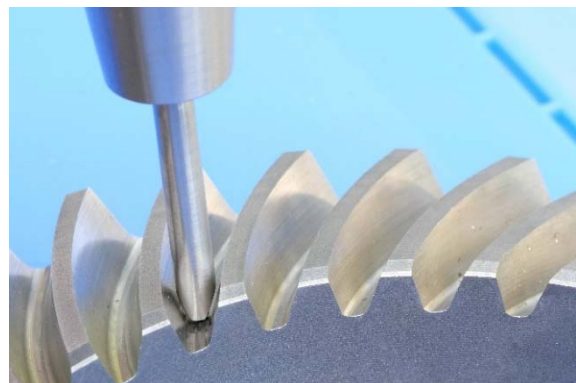


Abbildung 8: Vergleich der Eindruckgrößen unterschiedlicher Härteprüfverfahren
Brinell HBW 10/3000; Rockwell HRC; Leeb HLD; Vickers HV10; UCI HV1

Anwendungsgebiete

- **Qualitätssicherung**
- **Wareneingangskontrolle**
- **Produktionskontrolle**
- **Gut/Schlecht – Unterscheidung**
- **Verwechslungsprüfung**
- **Schweißnahtprüfung**
- **Einhärtetiefe/Härte-Tiefen-Profil**
- **Gehärtete und ungehärtete Teile**
- **Beschichtungen**
- **Komplexe Probengeometrien**
- **Flächenscans und Linienmessungen**
- **Überprüfung eingebauter Komponenten**



Normen

- DIN 50159-1,2
- ASTM A 1038
- ASTM E 140-13 (Umwertungen)
- EN ISO 18265 (Umwertungen)