

# Mechanische Werkstoffprüfung – klassische Verfahren und neue Entwicklungen

Vorlesung Abt. IID/SS02

Dozent: Dr. H.J. Schindler  
schindler@mat-tec.ch

## Teil III: Härteprüfung durch instrumentierte Eindringungsmessung

Die Härteprüfung ist eine der ältesten und populärsten mechanischen Prüfungen. Populär ist sie vor allem deshalb, weil sie über Korrelationsformeln eine einfache und quasi-zerstörungsfreie Methode zur Abschätzung der Zugfestigkeit darstellt.

Zur Charakterisierung der Härte elastisch-plastischer Werkstoffe existieren verschiedene Prüfverfahren. Sie basieren im Allgemeinen darauf, dass ein harter Stempel einer bestimmten geometrischen Form durch eine definierte Kraft in die Oberfläche des Prüflings gedrückt wird. Die Grösse oder Tiefe des entstehenden Eindrucks in Bezug auf die angewendete Prüfkraft ist ein Mass für die Werkstoffhärte. Die bekanntesten Härtedefinitionen sind jene nach den Normen EN ISO 6506 (Brinell), EN ISO 6507 (Vickers) oder und EN ISO 6508 (Rockwell). Neben diesen als klassisch zu bezeichnenden Härteprüfverfahren gibt es die instrumentierte Eindringprüfung, bei der die Eindringung als Funktion der Druckkraft gemessen wird. Daraus lassen sich bei Verwendung entsprechender Eindringkörper einerseits die klassischen Härtewerte und andererseits weitere Kennwerte des elastisch-plastischen Werkstoffverhaltens ermitteln.

Zur Umrechnungen der Härtewerte auf die Zugfestigkeit liegen für verschiedene Werkstoffe empirische Korrelationen vor. Theoretisch basiert dieser Zusammenhang darauf, dass die Zugfestigkeit duktiler und zäher Werkstoffe durch den plastischen Kollaps der Zugprobe beim Beginn der Einschnürung bestimmt wird, der vom Fliessverhalten des Werkstoffs abhängt. Man muss sich aber folgender Einschränkung bewusst sein: Wenn die Zugfestigkeit nicht durch den plastischen Kollaps (Einschnürbeginn) der Probe, sondern durch die Zähigkeit des Werkstoffs bestimmt wird, wie dies bei spröderen Werkstoffen der Fall ist, ist dieser Zusammenhang allerdings nicht mehr gültig. Die plastischen Deformationen bei Härteeindrücken erfolgen unter grossem allseitigem Druck, der das Auftreten von Bruchmechanismen verhindert. Aussagen über die Bruchzähigkeit sind deshalb aufgrund von Härtewerten somit aus prinzipiellen Gründen nicht möglich.

Die Vorteile der Härteprüfung sowie der instrumentierten Eindringprüfung als quasi-zerstörungsfreie Prüfung kommen vor allem dann zum Tragen, wenn die Messungen an ganzen Bauteilen und Konstruktionen, also auch ausserhalb des Labors, durchgeführt werden können. Da sie eine präzise Belastungseinheit und ein optisches System bzw. Tiefenmessung zur Ausmessung der Eindrücke vorliegen muss, ist die Härtemessung im allgemeinen eine Laborprüfung, die im allgemeinen an aus dem zu prüfenden Bauteil oder Halbzeug entnommen Proben durchgeführt wird. In der praktischen Materialprüfung gibt es aber oft auch das Bedürfnis einer Härtemessung direkt an Objekten wie Bauteilen, Tragstrukturen oder Halbzeug. Für diesen Zweck gibt es andere Härtemessverfahren und -geräte. Bekannt hierzu sind namentlich drei Messprinzipien bzw. Typen von mobilen Prüfgeräten: der Rückprall-Härteprüfer, das Ultraschallverfahren und der Poldihammer. Die so ermittelten Kennwerte entsprechen allerdings nicht direkt den Norm-Härtewerten, sondern erfordern eine auf

empirischen Vergleichen beruhende Umrechnung. Da die Messung von verschiedenen, von der Form, Masse und Oberflächenbeschaffenheit des Prüflings abhängigen Faktoren beeinflusst wird, sind die Ergebnisse der mobilen Härteprüfung grösseren Streuungen und Unsicherheiten unterworfen.

Die gleichen Vorteile wie die klassischen Härteprüfung weist auch die instrumentierte Eindringprüfung nach der neuen internationalen Norm prEN ISO 14557 auf – aber mit klar höherer Aussagekraft und erweitertem Anwendungsbereich. Damit lassen sich neben den klassischen Härtewerten auch die Universalhärte sowie zahlreiche weitere charakteristische Werkstoffparameter wie Zugfestigkeit und E-Modul auf einfache und weitgehend zerstörungsfreie Weise ermitteln. Sie eröffnet vor allem auch weitere Möglichkeiten in der mobilen Härteprüfung.

Unter instrumentierter Eindringprüfung versteht man die Messung der Eindringtiefe  $h$  eines Eindringkörpers – z.B. einer Vickers-Pyramide oder eines Rockwell-Konus - als Funktion der angewendeten Kraft. Aus der gemessenen Kraft-Eindringungskurve - in Fig. 1 ist ein Beispiel gezeigt - lassen sich die oben genannten Parameter bestimmen. Der primäre Kennwert ist die Universalhärte  $HU$ , die nach prEN ISO 14557 als der Quotient aus Kraft  $F$  und Oberfläche  $A_s$  des Eindrucks definiert ist, wobei letztere rechnerisch aus der Eindringtiefe bestimmt wird.

$$HU = \frac{F}{A_s(F, h)}$$

Für einen Eindruckkörper nach Vickers gilt beispielsweise

$$HU = \frac{F}{A_s(F, h)} = \frac{F}{26.43 \cdot h^2}$$

Aus  $HU$  lassen sich die meisten andern Härtewerte entweder direkt (Rockwell C), durch Umrechnung (Vickers) oder durch empirische Korrelationen (Brinell) bestimmen.

Aus einer gemessenen Eindringkurve  $F(h)$  lässt sich nicht nur der  $HU$ -Wert bei der Maximalkraft, sondern der Verlauf der Härte  $HU$  als Funktion der Eindringung oder der Prüfkraft angeben. Ein Beispiel ist in Fig. 2 gezeigt. Dadurch erhält man Informationen zur Homogenität der Randschicht.

Aus dem Entlastungsteil der Kurve (abfallender Teil nach dem Kraftmaximum in Fig. 1), der typischerweise wegen dem Kontaktproblem einen nicht-linearen Verlauf zeigt, sind Näherungswerte des E-Moduls zu gewinnen.

Ein praktischer Vorteil der instrumentierten Eindringprüfung ist, dass das optische Ausmessen entfällt, und dass die Vor-Bearbeitung der Oberfläche weniger wichtig ist, wenigstens bei der Anwendung grösserer Prüfkraft. Dadurch wird die Methode leicht automatisierbar. Das Verfahren eignet sich auch besser für den mobilen Einsatz als die klassischen Methoden. In letzter Zeit wurden auch entsprechende mobile Prüfgeräte entwickelt, z.B. der Mat-Tec Unihard (Fig. 3), mit dem sich die Universalhärte und die weiteren Parameter der instrumentierten Eindringprüfung direkt an Bauteilen durchführen lässt.

Angesichts dieser offensichtlichen Vorteile ist anzunehmen, dass die instrumentierte Eindringprüfung auf Kosten der klassischen Härteprüfung zunehmende Verbreitung finden wird. Die Zukunft gehört wohl der Eindringprüfung.

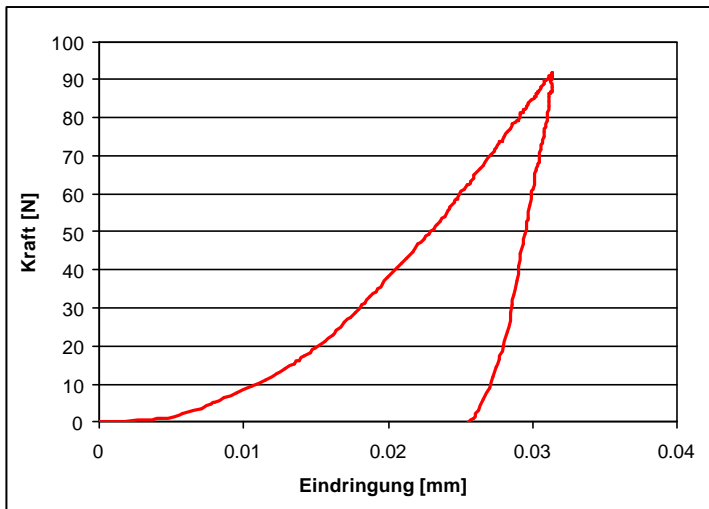


Fig. 1:  
Beispiel einer gemessenen  
Eindringkurve an hochfestem  
Baustahl

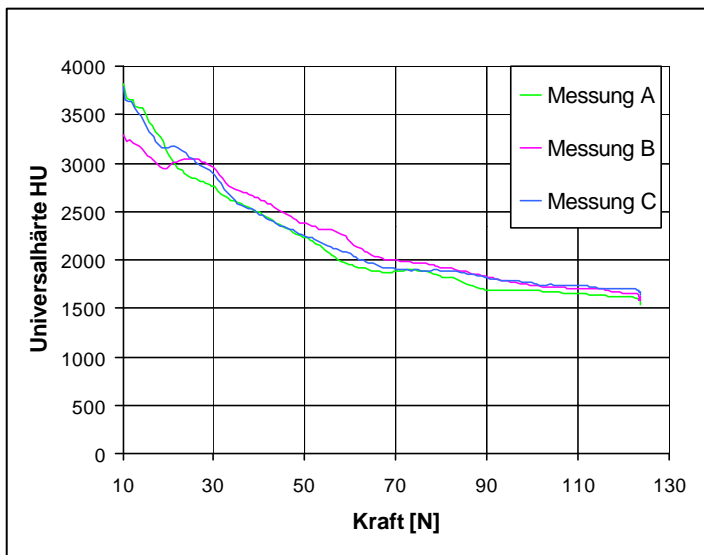


Fig. 2:  
Verlauf der Universalhärte als  
Funktion der Kraft am Beispiel  
von drei Messungen auf  
Stahlprofil



Fig. 3:  
Der instrumentierte Indenter  
Mat-Tec Unihard S1 im  
freihändigen Einsatz der  
Härtemessung auf einem  
Aluminiumprofil  
(Bild Mat-Tec AG)