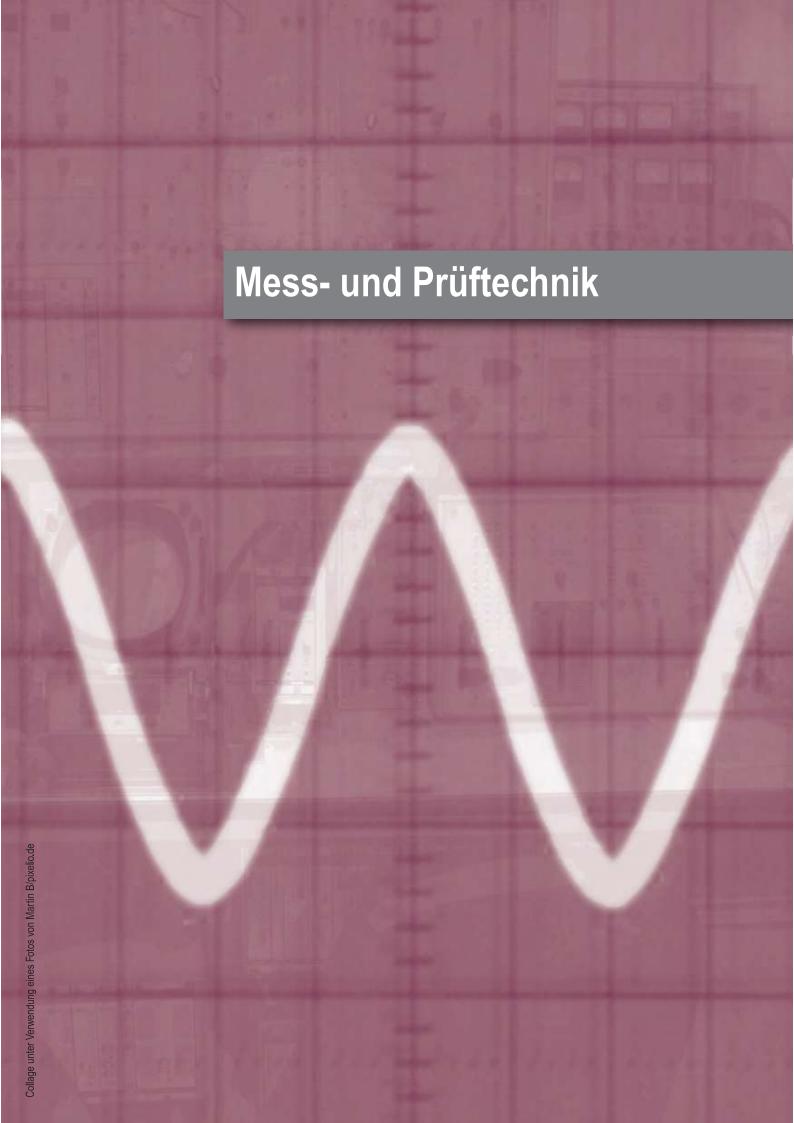
Berger/Kiefer (Hrsg.)

DICHTUNGS TECHNIK

JAHRBUCH 2017





Rückblick auf mehr als 100 Jahre Shore A – Härteprüfung mit Bezug zur heutigen Prüfpraxis

Interessanterweise findet sich in moderner Fachliteratur zur Elastomerprüfung wenig zur Entstehung und zu den Hintergründen der wichtigen Grundprüfarten, wie z.B. zum Zugversuch, der Heißluftalterung, dem Druckverformungsrest oder der Härteprüfung. Wie haben sich die jeweiligen Verfahren entwickelt? Warum hat sich das eine Verfahren durchgesetzt und warum geriet das andere in Vergessenheit? Die Befassung mit der Geschichte technischer Prüfverfahren und der deren Etablierung in der Praxis ist deshalb nicht nur interessant oder mitunter kurios, sondern sie kann im heutigen Prüfalltag zu einem besseren und tieferen Verständnis und damit auch zur besseren Umsetzung von bereits lange eingeführten Prüfverfahren dienen.

Bereits in der Antike ist der Begriff der Härte bekannt, als eine Eigenschaft von Materialien. In der im englischsprachigen Sprachgebrauch üblichen Bezeichnung für Shore A Härteprüfgeräte "Durometer" steckt das lateinische "durus" (= hart), also ein Gerät zum Messen der Härte. Um die Funktion von Eisenerzeugnissen sicherzustellen ist schon seit alters her eine Prüfung der Härte interessant. Erwähnenswert ist die Ritzhärte des Friedrich Mohs (1773-1839) und später die Härteprüfung nach Brinell und Martens. Letzterer führte das Indentationsprinzip ein, das auch für die Gummiprüfung von Bedeutung ist.

Das Verhältnis von plastischen und elastischen Anteilen eines Werkstoffes

Werden Eindruckversuche zur Bestimmung der Härte durchgeführt, kann zwischen drei Fällen unterschieden werden:

- vorwiegend elastische, d.h. reversible Verformungen (gilt für fast alle Gummiwerkstoffe),
- vorwiegend plastische, also bleibende Verformungen und
- Mischformen von elastischen und plastischen Verformungen.

Verschiedene Prinzipien der Härtemessung an Elastomeren

Das bekannte Bonmot von Metallwerkstoffprüfern: "Wenn wir Härte messen, hinterlassen wir immer einen guten Eindruck", trifft für Gummiwerkstoffe nicht zu. Bei Elastomeren kann keine bleibende Verformung nach dem Entfernen eines Eindringkörpers gemessen werden. Die extrem hohe Elastizität von Gummi, d.h. seine spontane Rückverformung nach Belastung, ist wohl eine der wichtigsten Eigenschaften dieses Werkstoffes. Die plastischen Anteile von Elastomeren sind bei so geringen Belastungen wie der Härteprüfung, die bei Raumtemperatur stattfindet, verschwindend gering.

Bereits um die vorletzte Jahrhundertwende entwickelten sich zwei wichtige verschiedene Prinzipien zur Härtemessung von Elastomeren, die im Laufe der Jahrzehnte präzisiert und verfeinert wurden und bis heute noch angewendet werden:

Härteprüfgeräte mit einem Belastungsgewicht

Der Eindringkörper wird meist mit einem kleinen Vorgewicht belastet, um den Kontakt mit dem Probekörper sicherzustellen. Dann erfolgt die Zugabe des eigentlichen Belastungsgewichtes. Nach einer vorgegebenen Prüfzeit (heute meist länger als bei Feder belasteten Geräten) wird der Härtewert abgelesen. Bei diesem Prinzip besteht der Härtewert aus dem Eindringen des Indentors aufgrund von plastischem Fließen und einem zweiten Anteil, der durch die elastische Deformation hervorgerufen wird. Während die im Folgenden vorgestellten mit Federkraft aktivierten Prüfgeräte mehr oder weniger nur die elastische Indentation wiedergeben [1]. Um die Mitte des 20. Jahrhunderts gab es eine Vielzahl von Prüfgeräten, die nach diesem Prinzip arbeiteten (z.B. der DVM-Weichheitsprüfer). Im heutigen Prüfalltag hat sich das IRHD-Verfahren mit seinen ganzen Untervarianten (z.B. Mikrohärte) durchgesetzt.

Härteprüfgeräte mit Federkraft (kurz: Federdruckgeräte)

Hierbei wird mittels einer Feder die Prüfkraft auf den Indentor übertragen. Das Durometer von Albert Shore ist zweifelsohne der prominenteste Vertreter. Allerdings gab es auch Varianten anderer Hersteller, teilweise mit anderen Eindringkörpern, wie sie Shore verwendete.

1915 [2] gilt als das offizielle Jahr der Einführung des Durometers Typ A durch Albert Ferdinand Shore (1876-1936). Jedoch konnte durch Patentrecherchen nachgewiesen werden, dass bereits 1911 von William F. Shore, vermutlich ein



>>1: Ein späteres Beispiel eines ShoreD Handprüfgerätes ("quadrant type") mit dazugehöriger Ledertasche (Abdruck mit freundlicher Genehmigung von "Toronto Surplus & Scientific", Kanada)



>>2: Ein frühes Taschenprüfgerät Typ "HP" von Bareiss noch ganz dem ursprünglichen "quadrant style" eines A. F. Shore verpflichtet und mit einer Skaleneinteilung in 5 ShA-Schritten (Bild: Archiv Bareiss Prüfgerätebau GmbH)

Bruder von Albert Shore, ein sehr ähnliches Taschenprüfgerät zum Patent angemeldet wurde [3]. Die ersten Geräte hatten die Form eines Viertelkreises >>1 und wurden deshalb als "quadrant type"-Geräte bezeichnet. Dieser Typ und das runde Durometer (eingeführt 1944) erfreuten sich großer Beliebtheit. Bis 1957 wurden bereits 15.000 "quadrant type"-Durometer und 9.000 runde Durometer verkauft [4]. Dieser hohe Nutzungsgrad lässt auch auf die gute und robuste Qualität der Geräte schließen. Soden [5] schreibt 1952, dass das runde Prüfgerät bereits vollständig die bisherigen "quadrant type"-Geräte des gleichnamigen Herstellers verdrängt hat. Obwohl es größer und schwerer war als sein Vorgänger, hat es sich innerhalb weniger Jahre durchgesetzt. Grund hierfür war sicherlich die höhere Genauigkeit, da nun eine Ablesung in 1 ShA-Schritten möglich war. In der Folgezeit wurden Geräte für weichere und härtere Materialien entwickelt, wobei die Härte und teilweise die Anpresskraft mit dem im Alphabet aufsteigenden Buchstaben zunimmt (z.B. Shore D für Kunststoffe). Außerdem gibt es auch unterschiedliche Indentorgeometrien.

Die Produktion von ShA Taschenprüfgeräten in Deutschland

Schon bald werden auch in Deutschland Shore Härteprüfgeräte in großer Vielfalt hergestellt. So werden in der Fachliteratur [6] 1942 bereits drei verschiedene deutsche Hersteller beschrieben. Alle Geräte sind noch Variationen des ursprünglichen "quadrant type" Stils der US-amerikanischen Firma Shore. Die Ableseskala dieser Taschenprüfer ist in Schritten von jeweils 5 ShA Härtegraden eingeteilt. Es kann angenommen werden, dass die bis heute übliche ±5 ShA-

Toleranz bei der Angabe von Härtewerten noch auf diese grobe Einteilung der Anfangszeit zurückgeht, obwohl heutzutage viele Elastomerprodukte auch in einem Härtefenster von ±3 ShA produziert werden können. Nach 1945 wurden weiterhin Taschenprüfgeräte hergestellt, die noch die klassische 5 ShA-Einteilung besaßen >>2. In den 1960er Jahren kommen dann auch hierzulande genauere runde Taschenprüfgeräte mit einer Skalenteilung in 1 ShA-Schritten auf.

Vor- und Nachteile, Kritikpunkte an der ShA-Prüfmethode und den -geräten

Manche der im Folgenden beschriebenen Vor- und Nachteile gelten für die heutige ShA-Prüfung nicht mehr bzw. nicht mehr in vollem Umfang. So hat sich die Präzision des Verfahrens in den letzten Jahrzehnten stark verbessert. Dennoch helfen diese Kritikpunkte, die Prüfmethode immer wieder neu wachsam und kritisch zu hinterfragen. Die große Popularität der Geräte von A. F. Shore, die nicht nur auf die USA beschränkt blieb, lag zweifellos in der Vielfalt ihrer Vorteile:

- · geringes Gewicht,
- · einfache Herstellung,
- einfache Kalibrierung und leicht zu reparieren,
- · geringer Anschaffungspreis,
- wenige bewegte und in ihrer Form sehr einfache Teile (viel einfacher aufgebaut als eine mechanische Armbanduhr dieser Zeit),
- · einfach zu bedienen,
- Prüfung am Fertigteil möglich,
- zerstörungsfreie Prüfmethode,
- leicht zu transportieren.

Durch die Geometrie des Kegelstumpfes liegt am Beginn der Prüfung eine runde und ebene Fläche auf dem Probekörper. Dadurch kommt es – im Vergleich zu spitzen Eindringkörpern – zu einer geringeren Empfindlichkeit gegenüber unterschiedlichen Oberflächenstrukturen.

Über viele Jahre hatte es als Taschenprüfgerät kaum ernstzunehmende Konkurrenz [7]. Die einzigen "Mitbewerber" waren unhandliche und schwerer zu bedienende große Labortischgeräte mit Belastungsgewichten. Alternative Taschengeräte mit Federkraft kamen erst auf, als das Shore Durometer bereits etabliert war bzw. oft waren diese Alternativen eine mehr oder weniger genaue Kopie des Originals von A. F. Shore. Die geringe Empfindlichkeit des Gerätes erzeugt mitunter eine Gleichförmigkeit in den Ergebnissen, was man wohl oft fälschlicherweise der Genauigkeit des Gerätes zuschrieb [8]. Die Einteilung der Skala von 0 (sehr

weich) bis 100 (unendlich hart) ist auch für den Laien eher logisch und nachvollziehbar als die bis dahin übliche Eindringtiefe der Standgeräte mit Belastungsgewicht. Dort war eine hohe Eindringtiefe, also ein hoher Wert, ein Zeichen für einen weichen Werkstoff und eine geringer Wert für einen harten Werkstoff. Das handliche Prüfgerät war besonders unter Praktikern und Anwendern von Elastomeren sehr beliebt. So kam es, dass auch bei der Bestellung von Dichtungen oder anderen Elastomerbauteilen, die Härte mittels des ShA-Prüfverfahrens definiert wurde [9].

Aber es gab auch Kritik an den Geräten und deren Qualität. Larrick [10] beschreibt 1940 das Problem, dass bei einem zu starken Anpressen des Taschenprüfgerätes ein weiches Elastomer in die Bohrung, aus welcher der Indentor herausragt, hineingepresst werden kann. Dadurch wird der Indentor nach oben gedrückt und zeigt ein fälschlicherweise härteres Material an. Durch die Einführung des runden Durometers 1944 mit einem vergrößerten Druckfuß wurde diese Gefahr reduziert, weil nun der Benutzer eine viele größere Kraft hätte aufbringen müssen, um den gleichen negativen Effekt wie mit dem kleinen Druckfuß des "quadrant-style" Durometers zu erhalten. Hinzu kommt, dass heutzutage die meisten Labore Durometerstative verwenden, mit deren Hilfe die Prüfgeräte – mit in den jeweiligen Normen vorgeschriebenen Gewichten (meist 1 kg) – an den Probekörper angedrückt werden.

Für den "quadrant-style" Durometer gab es verschiedene Justiermöglichkeiten. Larrick untersuchte in aufwändigen Versuchsplänen die teilweise verfälschenden Einflüsse der jeweiligen Justiermöglichkeit auf die Messergebnisse. Es ist davon auszugehen, dass diese Erkenntnisse auch in die spätere Normung des Verfahrens (ASTM D676: 1942) und in Weiterentwicklungen eingeflossen sind. In einem weiteren Versuch wurde die aus dem Gerät hervorragende Länge des Indentors variiert. So zeigte sie beim Aufsetzen des Durometers auf eine Glasplatte 95,5 bzw. 100 bzw. 105 ShA an. Mit diesen abgewandelten Geräten wurden verschiedene Härteklassen von Elastomeren gemessen. Die größten Abweichungen zwischen den Gerätevarianten ergaben sich bei sehr harten Elastomeren [11]. Durch hohe Präzision in der modernen Fertigung und durch Festlegung enger Toleranzen in der Norm ist dieser Effekt relativ unbedeutend. An den frühen Shore Geräten wurde auch deren Federcharakteristik kritisiert. Die von Larrick [12] untersuchten, fünf verschiedenen Shore A Durometer erforderten alle eine niedrigere Vorkraft (also < 2oz./57 g), um den Wert Null anzuzeigen als für die Geräte angegeben war. Auch zur Anzeige des Wertes 100 wurden

unterschiedliche Gewichte benötigt, als die geforderten 29 oz. (822 g). Außerdem zeigten sich auch größere Maßabweichungen an den verschiedenen Durchmessern des Kegelstumpfes. Diese haben nicht unerheblichen Einfluss auf die Ergebnisse. Durch die engen Toleranzen in heutigen Normen ist dieser Einfluss gering, jedoch nicht gänzlich zu vernachlässigen.

Kluckow bemängelt 1942 das Fehlen einer "Eichmöglichkeit, um die erhaltenen Shorehärten durch eine Korrektur jeweils auf einen bestimmten Einheitswert zurückzuführen." [13] "Eichmöglichkeit" ist in diesem Kontext mit unserem heutigen Begriff "Kalibriermöglichkeit" zu verstehen. Durch die Vorgaben der Federcharakteristik (sei es in Tabellenform oder als Berechnungsformel) in den aktuell gültigen Normen zum ShA Prüfverfahren wurde dieser Einwand gelöst.

In den 1940er Jahren wurden die Geräte mit Kontrollfedern aus Stahl ausgeliefert. Solche Kontrollfedern sind auch heute noch erhältlich, doch meist verwendet man inzwischen Referenzelastomere. Diese historischen Kontrollfedern waren i.d.R. auf 50 ShA eingestellt. Jedoch wurden auch hier schon zu große Schwankungen in der damaligen Literatur bemängelt [14]. Bei frühen Taschenprüfgeräten mit Schleppzeiger wurde auch eine niedrigere Anzeige als bei Festzeigergeräten beanstandet. Begründet wurde das mit der zusätzlichen Reibung, die durch den Schleppzeiger entstand [15]. Außerdem wurden die mit – in der Hand gehaltenen – ShA-Durometern ("quadrant type") ermittelten Messergebnisse kritisiert. Händler und Kainradl bemerkten: "Da der Gehäuseschwerpunkt nicht in der Achse des Eindringkörpers liegt und das in Deutschland verbreitete Quadrantengerät auf Schubkräfte sehr empfindlich ist, müssen Freihandmessungen meist mit einem erheblichen Fehler verbunden sein" [16]. Durch Einführung von Durometerstativen ist dieses Problem größtenteils gelöst worden.

Aber es gab auch Kritikpunkte am Verfahren. Wichtig ist dabei eine nähere Betrachtung der Gerätefeder. Nach Späth hat sie zwei Funktionen: Zum einen übt die Feder die Belastung auf den Probekörper aus, und zum anderen wird die Federverformung zur Ermittlung der Eindringtiefe verwendet. Die Belastung welche die Feder ausübt, ist nicht konstant, sondern "sie hängt in hohem Maße von dem zu messenden Wert selbst ab. Würde man die Aufrechterhaltung einer konstanten Belastung anstreben, so müßte diese Gerätefeder so groß ausfallen, dass der ganze Meßhub der Prüfspitze keinen wesentlichen Einfluß auf die Federkraft ausübt" [17]. Würde man diese Forderung umsetzen, könnte man logischerweise keine Härteprüfgeräte mehr im Taschenformat produzieren.

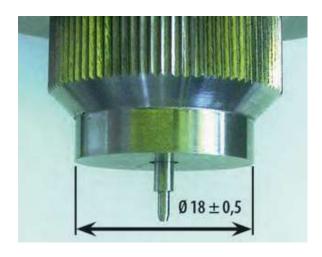
Bei den Härteprüfmethoden mit Belastungsgewicht wird der Prüfdruck konstant gehalten, bei Geräten mit einem Federmechanismus hingegen hängt der Prüfdruck von der jeweiligen Härte des Probekörpers ab. Späth kritisierte 1956, dass "die lineare Zuordnung der Härteskalenwerte zu der Verformung der Gerätefeder dem Begriff der Härte nicht gerecht" [18] wird. Deswegen ist auch immer größte Vorsicht geboten, wenn bei Untersuchungen Änderungen der Shore A-Härte im Vergleich zu Änderungen anderer wichtiger Eigenschaften (z.B. aus dem Zugversuch, Druckverformungsrest usw.) gedeutet werden.

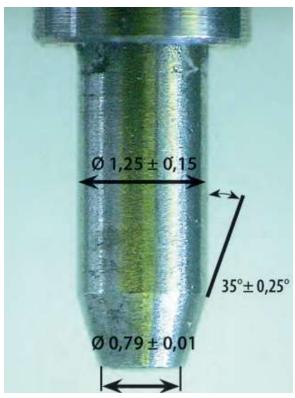
Die willkürliche Festlegung der Härteskala ist ein sehr berechtigter Kritikpunkt, da sie keine einfachen Rückschlüsse auf andere mechanische Werkstoffeigenschaften zulässt. Laut Definition entsprechen 100 ShA der Härte einer Glasplatte. Gemessen werden aber mit dem Durometer Gummiwerkstoffe, die i.d.R. ein Vielfaches weicher sind. Dadurch bekommt man bei höheren Härtegraden (> 90 ShA) eine extreme Zusammenpressung verschiedener Härteklassen. Ähnliches gilt für das untere Ende der Skala. Der Wert 0 wird bis zum Aufbringen einer Kraft von 550 mN angezeigt, ein minimaler Wert im Vergleich zur maximalen Prüfkraft von 8050 mN bei 100 ShA. Da auch im unteren Bereich die Auflösung extrem gering ist, wird empfohlen erst ShA-Härten > 20 ShA-Härtegraden in Auswertungen aufzunehmen bzw. bei weicheren Qualitäten ein anderes Prüfverfahren zu verwenden. Durch diese Willkürlichkeit der Festlegung der Shore A-Härteskala lässt sich auch erklären, dass kein linearer Zusammenhang zwischen der ShA-Härte und den aus statischen Belastungsversuchen gewonnenen E-Modulen besteht.

Schon sehr früh wird die große Ungenauigkeit des ShA-Messverfahrens bemängelt. Mitte der 1930er Jahre konnte es noch vorkommen, dass die ShA-Härte ein und desselben Compounds, die in unterschiedlichen Laboren gemessen wurde, zwischen 10 und 15 Härtegraden voneinander abwich [19]. Kimmich berichtet 1940 auf einer Tagung des ASTM Committee-D11, dass "das gleiche Stück Gummi, mit fünf verschiedenen Shore-Härteprüfern durch verschiedene Personen gemessen, (...) um mehr als 5 Punkte differieren" [20] kann. Er warnt außerdem davor, dass die Shore-Härte oft fälschlicherweise für die Steifheit, also für die Kraft, die zum Zusammendrücken eines Elastomerprobekörpers benötigt wird, gehalten wird. Durch Druckversuche konnte er aber nachweisen, dass eine Differenz von nur fünf Härtegraden eine Änderung von 15 bis 20% in der tatsächlichen Steifheit bedeuten kann [21]. Jedoch war Kimmich bereits davon überzeugt, dass ein Kalibrieren und eine verbesserte Anwendung des Verfahrens die

genannten Probleme reduzieren könne. Ein wichtiger Schritt in Richtung einer höheren Präzision war die Einführung der runden Durometer (inkl. Stativ) mit einer Anzeigeskala in Einserschritten und einer viel größeren Auflösung als bei den "quadrant-style"-Durometern. Weitere Effekte hatten die immer genauere Normung des Prüfverfahrens (besonders in der DIN 53 505 und ihrer Nachfolgenorm DIN ISO 7619-1) über die letzten Jahrzehnte, die Einführung digitaler Anzeigen und nicht zuletzt die gestiegene Präzision heutiger feinmechanischer Fertigungen.

Eine grundsätzliche Kritik am klassischen Indentorprinzip, sei es mit Federkraft oder konstantem Belastungsgewicht, bringen Buist und Kennedy in einer Patentschrift vor, in der sie einen Härteprüfer mit konstantem Indentorweg vorstellen. Sie kritisieren, dass die üblichen Härtemessungen an Elastomeren "nicht richtig vergleichend oder vergleichend in der benötigten Präzision sind, weil der Indentor in das Elastomer in der Weise eindringt, dass die Kontaktdrücke zwischen Indentor und Elastomer auf eine unbekannte Weise variieren können" [22].





>>3: Indentor und Anpressfläche einer Shore A Prüfeinheit (Vergrößerung fünffach), unten: Shore A - Indentor in fünfzigfacher Vergrößerung (Maße nach DIN ISO 7619-1, Ausg. 02-2012)

Kritikpunkte und Verbesserungsvorschläge zur Indentorgeometrie

Es gab immer wieder Anregungen die Indentorgeometrie des ShA Taschenprüfers zu ändern, sei es aus praktischen oder wissenschaftlichen Gründen. Nichts konnte sich jedoch dauerhaft etablieren. Sich aber tiefer mit den damit verbundenen Argumenten auseinanderzusetzen, kann zu einem besseren Verständnis

der ShA-Härteprüfung führen. Schon früh weisen Untersuchungen immer wieder auf die Gefahr der Abnutzung des Kegelstumpfes hin >>3. Diese Gefahr ist aufgrund seiner Geometrie höher als bei Härteprüfgeräten mit Kugeln als Eindringkörper. Deswegen ist es notwendig, den Kegelstumpf in regelmäßigen Abständen unter einem Mikroskop zu überprüfen und bei Abnutzungserscheinungen bzw. Verlassen der vorgegebenen Maßtoleranzen zu erneuern.

Exemplarisch seien drei Literaturstellen genannt, die Empfehlungen zur Modifikation des ShA-Indentors und des damit verbundenen Prüfverfahrens vorschlugen: Larrick [23] kritisiert 1940 den Kegelstumpf als Indentor und schlägt stattdessen eine Kugel als Eindringkörper vor. Diese zeigt viel geringere Abnutzungserscheinungen, da die Druckbelastung am Rande des Kontaktes zwischen Kugel und Probekörper auf null abfällt. Dies ist bei einem Kegel oder Kegelstumpf nicht der Fall. Mathematisch konnte er nachweisen, dass Abweichungen von den Durchmessertoleranzen bei einer Kugel einen geringeren verfälschenden Einfluss auf die Prüfergebnisse haben als Toleranzabweichungen am Kegelstumpf. Ferner schlägt er vor, dass der Eindringweg in das Elastomer 10 bis 15% des Durchmessers des Kugelindentors betragen sollte und bemängelt, dass manche Härteprüfgeräte mehr als 300% des Kugelindentors als Eindringtiefe besitzen.

Kluckow [24] schlägt 1942 Federtaschenprüfgeräte mit einer Kugel von 5 mm Durchmesser vor. Außerdem sollten diese Geräte über den gesamten Indentorweg praktisch ein- und dieselbe Belastung ausüben, um mit Standgeräten (mit Belastungsgewichten) vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Ferner forderte er die Einführung von Kalibriertabellen mit vereinbarten Lastkurven, die es jedem Benutzer von Härteprüfgeräten erlaubt hätten, seine Abweichungen von einem "Urgerät" festzustellen.

Sponagel, Unger und Spies schlugen 2003 eine modifizierte ShA-Prüfung vor, die u.a. anstelle des Kegelstumpfes einen Zylinder als Indentor verwendet. Durch die dadurch "einfache Bestimmbarkeit des Gleit- oder Schubmoduls mit Hilfe der von Oberflächeneigenschaften unabhängigen Halbraumlösung gelingt die Verknüpfung des technischen Maßes Härte mit dem physikalischen Maß Schubmodul, das zugleich den Elastizitätsmodul als physikalisches Maß für die Steifigkeit des Materials festlegt" [25].

Wichtige historische und aktuelle nationale und internationale Normen zur Shore A Härteprüfung im Vergleich

Die ältesten ShA Taschenprüfgeräte waren bereits über 25 Jahre im Einsatz bevor die erste ASTM-Norm zu diesem Prüfverfahren erschien. Im Jahr 1942 wurde die "ASTM Tentative (= vorläufig) Method of Test for Indentation of Rubber by means of a Durometer" herausgegeben. Dass damals bei dieser Prüfmethode noch vieles im Werden war, zeigen die zahlreichen Revisionen des Standards: 1944, 1946, 1947 und 1949. Bis 1949 waren alle Revisionen bzw. Ausgaben der Norm noch vorläufiger Natur [26].

Die deutsche Normung gab bereits kurz nach der ersten ASTM-Norm ein eigenes Blatt mit Vorgaben zur Bestimmung der Shore A-Härte an Fertigteilen heraus. So erschien im März 1943 die DIN 53503-2: Prüfung von Gummi – Vorläufige Richtlinie für die Härteprüfung an Fertigteilen. Die DIN 53503 wurde im August 1948 in einer neuen Ausgabe (Prüfung von Gummi – Bestimmung der Weichheit von Weichgummi – Vorläufige Richtlinie für die Härteprüfung an Fertigteilen) herausgegeben, die aber nur eine unveränderte Zusammenfassung bisheriger Normen zum Härteprüfverfahren darstellte [27]. In diesen Ausgaben von 1943 und 1948 finden sich keine Forderungen zu Maßen und Toleranzen des ShA Taschenprüfgerätes. Außerdem werden auch keine Angaben gemacht, welcher Anzeigewert welcher Federkraft entspricht.

Erst im September 1953 kommt es dann mit der Neuausgabe der DIN 53 505, welche die DIN 53 503 (08-1948), Abschnitt 2 ersetzt, zu einer endgültigen Norm. Diese trägt schließlich auch einen eindeutigen Titel: "Prüfung von Gummi Bestimmung der Shore-Härte A" und stimmt im Wesentlichen mit der ASTM D 676-49 T und der BS 90:1950 Part 20 überein. Ab diesem Zeitpunkt ist das in der deutschen Industrie schon länger etablierte ShA Messverfahren – auch aus normungstechnischer Sicht – endgültig etabliert.

Mit der DIN 53505 vom August 2000 endet die rein deutsche Normung für das ShA-Verfahren. Diese letzte DIN wurde schließlich im Februar 2012 durch die DIN ISO 7619-1/-2 ersetzt.

Die japanische Norm JIS K 6253-3: 2012: "Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of hardness – Part 3: Durometer method" basiert – abgesehen von einigen technischen Abweichungen – auf der ISO 7619-1 (Ausgabe 2010).

In der Norm definierter Parameter	ISO 7619-1 (Ausgabe 10-2010) [28]	DIN EN ISO 868 (Ausgabe 10-2003) [29]	ASTM D 2240 (Ausgabe 2010) [30]	JIS K 6253-3 (Ausgabe 2012) [31]
Eindringkörper	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,01 mm 35° ± 0,25° Ø 1,25 mm ± 0,15 mm	35° ± 0,25°	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,03 mm 35° ± 1/4° Ø 1,27 mm ± 0,12 mm	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,01 mm 35° ± 0,25° Ø 1,25 mm ± 0,15 mm
Federvorkraft bei 0 ShA	550 mN	550 mN	0,55 N	550 mN
Federkraft bei 100 ShA	8050 mN	8050 mN	8,05 N	8050 mN
Messweg (volle Auslenkung)	2,5 mm ± 0,02 mm	2,5 mm ± 0,04 mm	2,5 mm ± 0,04 mm	2,5 mm ± 0,02 mm
Messdauer	3 Sek. für Elastome- re, 15 Sek. für TPE	(15 ± 1) Sek. bzw. bei Forderung nach so- fortiger Ablesung in- nerhalb 1 Sek.	(1 ± 0,1) Sek. oder nach individueller Vereinbarung	3 Sek. für Elastomere, 15 Sek. für TPE
Probendicke	Mind. 6 mm (max. 3-fache Schichtung erlaubt)	Mind. 4 mm (Schichtungen erlaubt ohne Begren- zung deren Anzahl)	Mind. 6 mm (Schichtungen erlaubt ohne Begren- zung deren Anzahl)	Mind. 6 mm (max. 3-fache Schichtung erlaubt)

>>4: Vergleichende Betrachtung wichtiger aktuell gültiger nationaler und internationaler Normforderungen für das Prüfverfahren Shore A: Bedeutende Unterschiede zwischen den Normen sind rot markiert

In der heutigen Normenlandschaft verwundert den Laien, dass sich zwei verschiedene ISO Normen mit der Prüfung der ShA Härte befassen. Zum einen ist dies die ISO 868 (März 2003) und zum anderen die ISO 7619-1 (Oktober 2010). Die ISO 868 befasst sich in erster Linie mit der Härteprüfung an Kunststoffen, während die ISO 7619-1 sich explizit auf Elastomere bezieht. Die Normen wurden also in unterschiedlichen Arbeitskreisen erarbeitet. Die ISO 868 ist sehr verwandt mit der ASTM D2240 und erlaubt auch größere Toleranzen. In der ISO 7619-1 konnte sich die europäische und deutsche Forderung nach engeren Toleranzen, wie sie in der DIN 53 505 üblich waren, durchsetzen. Die genauen Unterschiede werden >>4 ersichtlich.

Befasst man sich näher mit den Normen zur ShA-Prüfung, mag man sich über manche eigenartigen Maße und Toleranzen des Indentors, seinen maximalen

Genormter Geräteteil (Auszug)	Originale Werte von A.F. Shore [32]	Umrechnung in SI-Einheiten (1 inch = 25,4 mm 1 oz. ≈ 28,35 gr. entspricht ca. 278,11 mN)	Normforderungen nach DIN EN ISO 868 (10-2003)	Normforderungen nach ASTM D2240 – 05 (2010)
Großer Ø des Indentors	3/64 inch	1,1906 mm	1,25 ± 0,15 mm	1,27 ± 0,12 mm (0,050 ± 0,005 inch)
Ø der flachen Spitze des Kegel- stumpfes	1/32 inch	0,7938 mm	0,79 ± 0,03 mm	$0.79 \pm 0.03 \text{ mm}$ (0.031 ± 0.001 inch)
Anpresskraft	2 oz.	556,2 mN	550 mN ± 75 mN	0,55 N ± 0,075 N
Federkraft bei 100 ShA	29 oz.	8065,2 mN	8050 mN ± 75 mN	8,05 N ± 0,075 N
Gesamtweg des Indentors (=volle Auslenkung)	1/10 inch	2,54 mm	2,5 ± 0,04 mm	2.5 ± 0.04 mm (0.098 ± 0.002 inch)
Nadelweg pro 1 Härtegrad ShA	1/1000 inch	0,0254 mm	0,025 mm	0,025 mm (0,001 inch)

>>5: Herleitung der heute SI-Einheiten konformen Maße bzw. Kräfte eines Durometers von den originalen US-amerikanischen Maßeinheiten (Bilder: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Weg und die Anpressdrücke wundern. Ein Blick auf die amerikanischen Einheiten löst so manches "Geheimnis". Beim Umrechnen der originalen Maße und Kräfte fällt auf, dass man in der vordigitalen Zeit noch mehr mit Brüchen als mit Kommazahlen gearbeitet hat >>5.

Wie bereits oben erwähnt besitzt die ISO 7619-1 (Oktober 2010) präzisere Anforderungen an die Herstellung der Geräte als die ISO 868 (März 2003). Dies hat selbstverständlich Auswirkungen auf die Qualität der Prüfergebnisse. Herrmann [33] berichtet von Untersuchungen, welche die unterschiedlichen Messunsicherheiten ermittelten, wenn die Toleranzen der jeweiligen Normen eingehalten wurden >>6.

	Erzielbare Messunsicherheit für das Messverfahren ShA	
DIN ISO 7619-1	1,1	
ISO 868	4,2	

>>6: Erzielbare Messunsicherheiten bei Einhaltung der Toleranzen für Prüfgeräte nach den beiden verschiedenen ISO-Normen zur ShA-Prüfung (Unsicherheit der Härteprüfgeräte (k = 2))

Das Problem der Vergleichbarkeit mit anderen Prüfmethoden

Obwohl Albert F. Shore 1932 in einem Beitrag zu dem Buch "Symposium on Rubber" schriftlich mitteilte, dass der Weg der Indentornadel 0,1 inch beträgt, hatten alle Taschenprüfgeräte der Shore Instruments & Mfg. Co. bis Mitte der 1950er Jahre maximale Indentorwege zwischen 0,092 und 0,095 inch. Ab der Typennummer 16901 (März 1955) weisen alle folgenden Shore Durometer durchgängig die normgerechten 0,1 inch Verfahrweg auf [34]. Anfang der 1950er Jahre arbeitete das ISO Komitee TC45 an einer internationalen Härteprüfmethode und Härteskala. Wegweisend war die Einbindung einer Härteprüfmethode mit Belastungsgewicht (engl.: "dead weight"), die ähnlich wie Shore A eine Skala von 0 (sehr weich) bis 100 (sehr hart) aufwies. Der "Wallace dead weight tester" erfüllte die Anforderungen dieser ISO. In der Praxis zeigten sich jedoch noch größere Abweichungen zwischen Prüfergebnissen, ermittelt mit letzterem Gerät, und solchen mit einem klassischen ShA Durometer. Die britische Normung, die hier entscheidende Vorarbeit für die ISO Kommision leistete, ging davon aus, dass ein ShA Härteprüfer einen Indentorweg von 0,1 inch hatte, jedoch sah, wie oben beschrieben, die Realität anders aus. Da die ShA Skala in den USA für die Spezifizierung von Werkstoffen sehr gut eingeführt war, konnten große Abweichungen zu dem neuen Standard (Prüfung mit Belastungsgewicht) nicht hingenommen werden. Deswegen wurden zwei Änderungen vorgenommen: Zum einen veränderte die Fa. Shore Instruments & Mfg. Co. ihren maximalen Indentorweg auf 0,1 +0,000/-0,003 inch und die ISO Gruppe bewegte ihre Skala leicht in Richtung der Shore Skala. Dadurch gab es für bestimmte Elastomertypen gute Übereinstimmungen [35]. Jedoch schon im oben zitierten Artikel (1957) wird deutlich, dass bereits damals die Vergleichbarkeit von Härteprüfergebnissen, die mit verschiedenen Methoden ermittelt wurden, mitunter sehr schwierig war. Neben Naturkautschuk waren in den 1950er Jahren schon einige Synthesekautschuke in Gebrauch. Vor allem deutlich wurde der Unterschied aber durch verschieden lange Messdauern der Methoden. Prüfmethoden mit Belastungsgewicht haben seit jeher ein Ablesen nach längerer Belastungszeit des Indentors (30 bis 60 s).

Auch in Deutschland gab es Versuche, die DVM-Weichheitszahlen (Prüfmethode mit Belastungsgewicht) in Shore-Werte umzurechnen. Aber auch hier stellte sich das Problem der unterschiedlichen Belastungszeiten (ShA-Härte: 3 s (DIN53505 vom Sept. 1953) bzw. DVM-Weichheit: 10 s (nach DIN-DVM 3503 Blatt1, Juni 1938)). In der Fachliteratur gab es auch Tabellen zur Umrechnung von Ergebniswerten der beiden Prüfverfahren. Sogar die DIN Norm 53503, Blatt 2

führte zeitweise eine Bezugskurve zwischen den beiden Härteprüfmethoden ShA und DVM-Weichheit. Breuers und Luttropp bemerken aber bereits 1954 bei der Vorstellung dieser ShA-Härte- und DVM-Weichheits-Bezugskurve in ihrem Buch "Buna – Herstellung, Prüfung, Eigenschaften": "Es sei ausdrücklich betont, dass es sich hierbei um eine Bezugskurve handelt, von der einzelne Qualitäten beträchtlich abweichen können" [36].

Dieser Rückblick macht deutlich, dass der bis heute von vielen Seiten immer wieder angestellte Versuch, ShA-Prüfergebnisse in IRHD-Werte und umgekehrt umzurechnen, nicht eine neuzeitliche Erfindung ist. Es wird klar, dass sich Elastomertechnologen schon mit Beginn der immensen Popularität des Shore A Taschenprüfgerätes Gedanken machten ShA-Prüfergebnisse, in solche der normalerweise mit viel aufwändigeren Tischhärteprüfgeräten (mit Belastungsgewicht) ermittelten, mit Hilfe von einfachen Tabellen oder Bezugskurven umzurechnen. Während dies in der Frühzeit der Elastomerproduktion vielleicht noch für viele Naturkautschukmischungen einfach möglich war, ist dies heute sehr komplex geworden und wird wohl noch auf längere Sicht erfahrenen Materialphysikern vorbehalten sein.

Doch nun zurück zur betrieblichen Praxis: Bei Betrachtung der Unterschiede zwischen dem ShA- und IRHD, M-Prüfverfahren und den heutigen Gegebenheiten der Elastomerindustrie wird schnell ersichtlich, warum eine einfache Umrechnung nicht möglich ist:

- Indentortyp: Der Eindringkörper beim ShA-Verfahren ist ein Kegelstumpf, bei der Mikrohärteprüfung (IRHD, M) eine Kugel.
- Belastungszeit bzw. Messdauer: Die meisten Normen fordern bei ShA ein Ablesen nach 3 s, während zur Ermittlung der IRHD-Kennwerte das Ergebnis nach 30 s abgelesen wird. Bei Mischungen mit starker Fließneigung werden sich hier deutliche Unterschiede in den verschiedenen Härtewerten ergeben.
- Aufbringen der Kraft auf den Indentor: Bei ShA-Verfahren wird der Indentor mittels Federkraft in den Werkstoff gedrückt, die sich mit der Härte des Werkstoffes ändert, bei IRHD, M mit Hilfe eines konstanten Belastungsgewichtes.
- Mischungen: Heute kommen weltweit Hunderttausende, wenn nicht Millionen verschiedener Elastomermischungen täglich zum Einsatz. Es gibt eine nur noch schwer zu überblickende Anzahl verschiedener Polymertypen, Mischungsbestandteile und Vernetzungssysteme, sodass Vorhersagen, ob die verschiedenen Härtewerte vergleichbar sein werden, praktisch unmöglich sind. Ein kleiner "Trost" für den Praktiker ist hier das üblicherweise große Toleranz-

fenster von Härtevorgaben an Elastomermischungen und -produkten. Die meisten Fertigteile sind in einem Fenster von \pm 5 Härtegraden spezifiziert, jedoch liegen die Mischungen typischerweise in einem Toleranzfeld von max. \pm 3 Härtegraden. Dies ermöglicht es häufig, dass trotz geometrie- und verarbeitungsbedingter Einflüsse am Fertigteil das Zielfenster von \pm 5 Härtegraden bezogen auf die Nennhärte der Rezeptur erreicht wird.

Trotz der beschriebenen Schwierigkeiten, die ein einfaches Umrechnen unmöglich machen, gibt es dennoch in der aktuellen Fachliteratur Diagramme, die die ungefähren Beziehungen zwischen ShA, ShD und IRHD aufzeigen. Ein solches Diagramm findet sich z.B. im aktuellen Standardwerk zur Elastomerprüfung von Roger Brown, "Physical Testing of Rubber" [37].

Abschließend sei noch bemerkt, dass sich auch die moderne Materialphysik dieser Problematik angenommen hat. Zu erwähnen seien hier die Arbeiten von Briscoe und Sebastian (1993) [38], die mithilfe der Elastizitätstheorie den Eindringvorgang bei der ShA-Prüfung analysiert haben. Sie verglichen dann die theoretischen Beziehungen zwischen ShA- und IRHD-Härte und die entsprechenden Elastizitätsmodule. Sie geben auch eine grobe Näherungsformel zur gegenseitigen Umrechnung von IRHD und ShA-Werten, mit Angaben zu den Einschränkungen zu dieser Näherung.

Im Jahr 2011 entwickelten Mix und Giacomin [39] eine dimensionslose Härtemessung ("dimensionless durometry"). Durch ihre Forschungen soll es möglich sein, den Elastizitätsmodul des Werkstoffes aus der Härtemessung zu bestimmen. Außerdem sagen sie, dass ihre "Ergebnisse auch zur Umrechnung verschiedener Härteskalen verwendet werden können – nicht nur zwischen Härteskalen gleicher Indentorgeometrien, sondern auch zwischen denen unterschiedlicher Geometrie" [40].

Diese für den Theoretiker sicherlich interessanten Literaturstellen, dürften aber in ihrer Anwendung für den industriellen Praktiker wohl zu komplex und aufwändig sein.

Empfehlungen für die heutige Prüfpraxis

Für viele Anwender ist die Härte überhaupt die einzige Werkstoff-Prüfung, die durchgeführt wird. Entsprechend hoch werden dann Härteabweichungen vom Sollwert bewertet. Deshalb soll hier die Frage gestellt werden, warum und wozu die Härteprüfung wichtig ist und in welchen Bereichen sie nicht weiterhilft.

Auswahl einer geeigneten Härteprüfmethode

Aufgrund der großen Popularität und Einfachheit des ShA-Härtemessverfahrens ist diese Prüfmethode meist die erste Wahl. Jedoch sollte in vielen Fällen diese Entscheidung zuerst kritisch hinterfragt werden:

- Zu Beginn muss geklärt werden, ob eine normgerechte Prüfung möglich ist. Bei ShA heißt das, ob ein planparalleler Probekörper von min. 6 mm Dicke (ISO 7619-1) vorhanden ist bzw. sich durch Schichtung herstellen lässt. Ferner muss untersucht werden, ob der genormte Mindestabstand vom Rand des Probekörpers in Höhe von 12 mm eingehalten werden kann. Soll bei Nichteinhaltung obiger Forderungen dennoch an Fertigteilen geprüft werden, so ist dies unter Berücksichtigung folgender Punkte möglich: "Für Fertigteilprüfungen können sich geometriebedingte Abweichungen von der Normhärte ergeben. An Formteilen ist zu vereinbaren, an welcher Stelle gemessen wird. (...) In der Praxis ist hier vor allem darauf zu achten, dass der Probekörper planparallele Stellen besitzt, notfalls können Profilschnitte dazu aus Fertigteilen hergestellt werden. Sind die Voraussetzungen an bestimmten Fertigteilen für reproduzierbare Messungen erfüllt, ist das Härteprüfverfahren eine einfache und effektive Methode der Werkstoffüberprüfung." [41] Eine nicht normgerechte Prüfung muss bei den Prüfergebnissen vermerkt werden, idealerweise mit einem Foto der Prüfsituation.
- Ist die Härte gänzlich unbekannt, muss durch Voruntersuchungen erst festgestellt werden, in welchem Härtefenster man sich befindet. In den Randbereichen der ShA-Skala ist deren Auflösung sehr gering, deswegen sollte bei Härtewerten kleiner 20 ShA Härtegraden auf Prüfverfahren für sehr weiche Elastomere ausgewichen werden, z.B. ShA0 nach ISO 7619-1 bzw. ShE oder ShOOO nach ASTM D 2240. Bei ShA-Prüfergebnissen größer 90 Härtegraden sollte z.B. alternativ mit dem ShD-Verfahren nach ASTM D 2240 geprüft werden [42].

Ferner sind nach Hermann [43] noch folgende Punkte zu bedenken:

- Art der Messaufgabe dabei ist zwischen Routinemessungen (...) und Werkstoffuntersuchungen zu unterscheiden. Bei zahlreichen Reihenuntersuchungen wird man sicherlich – wo möglich – das ShA-Prüfverfahren mit 3 s dem IRHD-Verfahren mit 30 s Prüfzeit vorziehen.
- Zulässige Beschädigung der Probe.
- Zulässige Messunsicherheit.
- Prüfkosten.
- · Verfügbare Prüfgeräte.

Vorbereitung der Probekörper und Durchführung der Härteprüfung

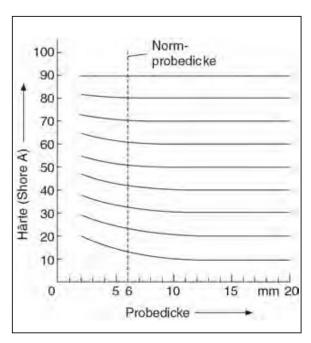
Die wichtigste Voraussetzung für eine reproduzierbare Härtemessung sind planparallele Proben. Bei der nicht normgerechten Prüfung von Fertigteilen müssen hier vorab definierte Kompromisse getroffen werden, wie z.B. spezielle Halterungen oder Fixierungen, da "bereits geringfügig hohl liegende Proben zu erheblichen Messfehlern" [44] führen. Und es muss vermieden werden, dass diese Halterungen Spannungen innerhalb des Probekörpers erzeugen.

Bezüglich der Konditionierung (Lufttemperatur und -feuchte) gibt es unterschiedliche Angaben in den Normen. Üblich sind die Standardlabortemperatur von 23 °C ± 2 °C und eine relative Luftfeuchte von 50% (± 10%). Laut Herrmann ist "eine Konditionierdauer von 16 h für viele Arten von Gummi und Kunststoffen ausreichend." [45] Bei bestimmten Kunststoffen, wie z.B. Polyamid, ist der gravierende Einfluss des Feuchtegehaltes auf verschiedene Werkstoffeigenschaften, wie u.a. auch auf die Zugfestigkeit oder die Härte allgemein bekannt. Bei Elastomeren gibt es ähnliche Effekte, jedoch schwächer ausgeprägt als bei Polyamid. Hervorzuheben seien hier meist farbige Mischungen mit hydrophilen und mineralischen Füllstoffen, wie z.B. diverse FKM Compounds. Durch eine Vortrocknung über wenige Stunden zeigen sich teilweise erhebliche Festigkeitsunterschiede im Zugversuch. [46] Für die Härte ist dieser Einfluss geringer und geht in der zufälligen Messunsicherheit unter.

Normalerweise wird als Härte von O-Ringen die Mikrohärte (IRHD, M nach ISO 48) erfasst. Die sehr praxisorientierte ASTM D 1414 – 94 (Reapproved 2008): Standard Test Methods for Rubber O-Rings erlaubt auch unter bestimmten Bedingungen eine Prüfung von O-Ringen mit Hilfe der ShA-Prüfmethode. Es wird jedoch in der "Note 6" angemerkt, dass das ShA Prüfverfahren nicht für O-Ringe mit einer Schnurstärke von weniger als 6 mm empfohlen wird. Wenn nun dennoch Prüfungen an O-Ringen mit geringeren Schnurstärken durchgeführt werden, kann es zu einer Abweichung zu den an Standardprobekörpern ermittelten Härtewerten kommen. Da die volle Auslenkung der Indentornadel 2,5 mm beträgt, empfiehlt die ASTM D 1414 bei Prüfung von O-Ringen mit einer Schnurstärke von kleiner als 3 mm den Einsatz einer Halterung, die ein Übereinanderlegen von zwei O-Ringen ermöglicht. So soll ein Probekörper entstehen, der höher als die volle Auslenkung der Indentornadel ist [47]. Letztere Empfehlung der Schichtung von O-Ringen kommt aber in der Prüfpraxis nicht zur Anwendung, da nach der O-Ring Norm ISO 3601-5 O-Ringe generell nach ISO 48M gemessen werden.

Aussagen der Prüfergebnisse

Die Härte gibt eine ungefähre Aussage über das Verformungsverhalten von Elastomeren, jedoch ist sie nur sehr eingeschränkt auch ein Maß für die Steifheit eines Gummiwerkstoffes, da sie nur minimale Deformationen des Werkstoffes erfasst. Nur bei normgerechter Prüfung gilt die Härte als Materialkennwert und ist dann auch - zusammen mit anderen Parametern – zur Rezepturidentifikation geeignet. In Bezug auf die Messmittelfähigkeit ist die Härteprüfung eines der unsichersten Grundprüfverfahren der physikalischen Gummiprüfung. Aus historischen Traditionen wird die Härteprüfung manchmal noch zur Messung des Vulkanisationsgrades herangezogen. Dafür ist sie eigentlich zu ungenau und es kann heute auf effektivere Metho-



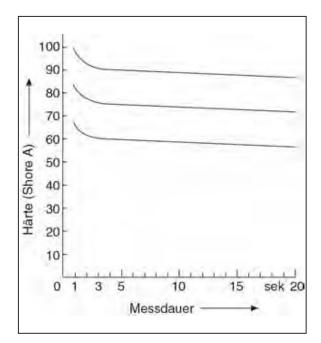
>>7: Einfluss der Probendicke auf die Ergebnisse der ShA-Härteprüfung, dargestellt an neun Qualitäten mit unterschiedlichen Härteniveaus [50] (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Dr. Gupta Verlages, Ratingen)

den (z.B. DVR-Prüfung) zurückgegriffen werden [48].

Bei der nicht normgerechten Prüfung von Fertigteilen ist die Berücksichtigung des Einflusses der Höhe der Probekörper auf die Härte von Bedeutung. Das Thema wurde wissenschaftlich 1986 von Bassi und Casa untersucht [49]. >>7 veranschaulicht für den Praktiker in einfacher Form die Zusammenhänge.

Beim Vergleich von ShA-Prüfergebnissen muss auch die tatsächlich angewandte Prüfzeit, also Eindringdauer des Indentors bis zum Ablesen des Messwertes, berücksichtigt werden. Normalerweise beträgt diese nach der ISO 7619-1 nur 3 s, während die ISO 868 die fünffache Zeit (15 s) fordert. >>8 macht die Zusammenhänge deutlich.

So gut wie alle Elastomerbauteile unterliegen in ihrer praktischen Anwendung ganz anderen statischen Belastungen als sie die Härteprüfung ausübt. Ebenso gibt die Härteprüfung auch keine Aussage zur dynamischen Belastbarkeit eines Werkstoffes. "Eine Absicherung der gewünschten Eigenschaften "Frequenz"



>>8: Einfluss der Messdauer auf die Ergebnisse der ShA-Härteprüfung, dargestellt an drei Qualitäten mit unterschiedlichen Härteniveaus [51] (Abdruck mit freundlicher Genehmigung des Dr. Gupta Verlages, Ratingen)

oder "Federrate" für das spätere Fertigteil ist mit dieser Prüfung kaum möglich" [52].

Unterschiede in den Härtewerten können auch in seltenen Fällen in der Qualität der Prüfplatten liegen. So kann z.B. der im Labor hergestellte Compound schlecht gemischt sein. Bei ungleich verteilten Vulkanisationsmitteln bzw. Füllstoffen, kann es zu unterschiedlichen Härten auf ein und derselben Platte kommen. Bei unvollständigen Prüfplatten (nicht vollständige Formfüllung) kann man ebenfalls mit Härteabweichungen innerhalb dieser Prüfplatte rechnen [53]. Ein Sondergebiet der Härteprüfung ist die Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei tiefen Temperaturen. Im Bereich

der Temperatur des Glasübergangs verhärten Elastomere relativ schnell und gehen in einen glasartigen Zustand über, so dass es zu einem signifikanten Anstieg der Härte kommt.

Literatur

- [1] Vgl. CARPENTER, Arthur W.: Physical Testing and Specifications in: DAVIS, Carroll C.: The Chemistry and Technology of Rubber, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1937, S. 812
- [2] Shore[®] An Instron Company (Hrsg.): Shore[®] Durometers (Werbeprospekt), Instron Corporation, Canton, MA, 2004, S. 8
- [3] US-Patent 1042721 ("Gage") von William F. Shore, patentiert am 29.10.1912, Link zur Vollversion des Patents: http://patft.uspto.gov/netahtml/PTO/patimg.htm
- [4] JUVE, A. E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S. 367
- [5] SODEN, A. L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 37
- [6] KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18. Jg., 1942, S.82
- [7] SODEN, A. L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 34

- [8] Ebd., S. 34
- [9] Ebd., S. 9
- [10] LARRICK, Lewis: The Standardization of Durometers in: Rubber Age, Sept. 1940, S. 389
- [11] Ebd., S. 390
- [12] Ebd., S. 390
- [13] KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18. Jg., 1942, S.8 3
- [14] Vgl. ebd., S. 83
- [15] Vgl. ebd., S. 84
- [16] HÄNDLER, F. und KAINRADL, P.: IR-Härte, Mikro-Härte und Shore-Härte, Vortragstagung der Deutschen Kautschuk-Gesellschaft, 4.-8.Oktober 1960 in West-Berlin, S. 16
- [17] SPÄTH, Wilhelm: Beiträge zur Technologie der Hochpolymeren Gummi und Kunststoffe, A. W. Gentner Verlag, Stuttgart, 1956, S. 128
- [18] Ebd., S. 128
- [19] JUVE, A. E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S. 367
- [20] KIMMICH, E. G.: Gummi unter Druck in: Kautschuk, 18. Jg., 1942, S.2 6
- [21] Vgl. hierzu auch: SMITH, L. P.: The Language of Rubber, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 1993, S. 13
- [22] BUIST, J. M. und KENNEDY, R. L.: Apparatus for Measuring the Hardness of Rubber and similar Materials, Britisches Patent GB617465 (a) 1949-02-07, S. 1
- [23] LARRICK, Lewis: The Standardization of Durometers in: Rubber Age, Sept. 1940, S. 391f.
- [24] Vgl. KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S. 86
- [25] SPONAGEL, S.; UNGER, J.; SPIES, K. H.: Härtebegriff im Zusammenhang mit Vernetzung, Bruchdehnung und Dauerfestigkeit eines Elastomers in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe, 56. Jg., Nr. 11, 2003, S. 613
- [26] Vgl. SODEN, A. L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 9
- [27] E-Mail Mitteilung des Kundenservices des Beuth-Verlages vom 28.08.2015
- [28] International Standard ISO7619-1 Second edition 2010-10-01 Rubber, vulcanized or thermoplastic
- Determination of indentation hardness Part 1: Durometer method (Shore hardness)
- [29] DIN Deutsches Institut für Normung e.V.: DIN EN ISO 868 (Oktober 2003): Kunststoffe und Hartgummi Bestimmung der Eindruckhärte mit einem Durometer (Shore-Härte) (ISO 868:2003)
- [30] ASTM –International: Designation: D2240-05 (Reapproved 2010): Standard Test Method for Rubber Property–Durometer Hardness
- [31] JIS Japanese Industrial Standard: JIS K 6253-3: 2012: "Rubber, vulcanized or thermoplastic Determination of hardness Part 3: Durometer method"
- [32] SHORE, Albert, F.: Discussion on Shock and Vibration Properties in: AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS (Hrsg.): Symposium on Rubber held at Cleveland Regional Meeting 1932, Philadelphia, 1932, S. 96

- [33] HERRMANN, Konrad: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren, Expert-Verlag, Renningen, 2014, S. 155
- [34] JUVE, A. E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S. 370
- [35] Nach ebd., S. 370f.
- [36] BREUERS, W. und LUTTROPP, H.: Buna Herstellung Prüfung Eigenschaften, VEB Verlag Technik, Berlin, 1954, S .228
- [37] BROWN, Roger: Physical Testing of Rubber, Springer Verlag, New York, 42006 S. 131
- [38] BRISCOE, Brian J. und SAVIO SEBASTIAN, K.: An Analysis of the "Durometer" Indentation in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster Pa, Jg. 66, Heft 5, Nov. 1993, S. 827 836
- [39] MIX, A.W. und GIACOMIN, A.J.: Dimensionless Durometry in: Polymer Plastics Technology and Engineering, 50, 2011, S. 288 296
- [40] Ebd., S. 295
- [41] BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Härteprüfung, Internetveröffentlichung, 05/2014, S.4 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_h__rtepr__fung_05_2014_1.pdf)
- [42] Siehe hierzu auch die Empfehlungen in: ASTM –International: Designation: D2240-05 (Reapproved 2010): Standard Test Method for Rubber Property–Durometer Hardness, S.12, Table X1.1
- [43] HERRMANN, Konrad: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren, Expert-Verlag, Renningen, ²2014, S .148
- [44] Ebd., S. 149
- [45] Ebd., S. 150
- [46] Vgl. BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Zugversuch Prüftechnische Grundlagen und Empfehlungen für die praktische Anwendung, Internetveröffentlichung, 10/2014, S.23 (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-zugversuch_10_2014.pdf) [47] ASTM International: Designation: D1414 94 (Reapproved 2008): Standard Test Methods for Rubber O-Rings, S.5, Note 6
- [48] Eine ausführliche Abhandlung zu "Aussagen der Prüfergebnisse" findet sich in: BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Härteprüfung, Internetveröffentlichung, 05/2014, S.3 f. und BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Grenzen und Möglichkeiten von Prüfverfahren Teil 1: Die Härteprüfung wichtig, aber oftmals überbewertet in: ISGATEC GmbH (Hrsg.): DICHT!-Trialog der Dichtungs-, Klebe- und Elastomertechnik, 04/2014, S. 28 f.
- [49] BASSI, A. C.; CASA, F.; MENDICHI, R.: Shore A Hardness and Thickness in Polymer Testing 7, Elsevier Applied Science Publishers Ltd., 1987, S. 165-175
- [50] NAGDI, K.: Gummi-Werkstoffe Ein Ratgeber für Anwender, Dr. Gupta Verlag, Ratingen, 2002, S. 286 [51] Ebd., S. 286

[52] Bußmann, M.: Elastomermischungen spezifizieren und prüfen in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe 52. Jahrgang, Nr. 11, 1999, S. 744

[53] Vgl. KLUCKOW, Paul: Die Praxis des Gummichemikers, Berliner Union, Stuttgart, 1954, S. 293

Eine Langfassung des Beitrages steht unter http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen-100_-jahre_-shorea-12_2015.pdf zur Verfügung





VAKUUMLÖSUNGEN AUS EINER HAND

Pfeiffer Vacuum steht weltweit für innovative und individuelle Vakuumlösungen, für technologische Perfektion, kompetente Beratung und zuverlässigen Service. Wir verfügen als einziger Anbieter von Vakuumtechnik über ein komplettes Produktsortiment:

- Pumpen zur Vakuumerzeugung bis 10⁻¹³ hPa
- Vakuummess- und Analysegeräte
- Lecksucher und Dichtheitsprüfgeräte
- Systemtechnik und Kontaminationsmanagement
- Kammern und Komponenten

Sie suchen eine perfekte Vakuumlösung? Sprechen Sie uns an: **Pfeiffer Vacuum GmbH** · Headquarters/Germany · T +49 6441 802-0 www.pfeiffer-vacuum.com

