

FACHWISSEN PRÜFVERFAHREN FÜR ELASTOMERE

Ein Angebot des

 **RING**

PRÜFLABOR

RICHTER

PRÜFEN BERATEN ENTWICKELN

Quelle: www.o-ring-prueflabor.de

Stand der Information: 12/2015

1915 – 2015: 100 Jahre Shore A – Härteprüfung

Ein historischer Rückblick auf Entwicklung und Forschung zur Shore A – Messmethode mit Bezug zur heutigen Prüfpraxis

Autor:

O-Ring Prüflabor Richter GmbH,
Dipl.-Ing. (FH) Ulrich Blobner

*„Shore Durometer Hardness, although perhaps
the least precisely defined of all hardness standards,
has been nearer than most to being accepted
as a universal standard.”¹*

A.L. SODEN:

A Practical Manual of Rubber Hardness Testing
London, 1952

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 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. Einen kleinen Beitrag in dieser Richtung soll der folgende Artikel für die vielleicht populärste Prüfmethode der Gummiindustrie, die Shore A – Härteprüfung leisten.

¹ SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons, Ltd., London, 1952, S.9

1915 gilt als das offizielle Einführungsjahr der Shore A Prüfmethode. Aus Anlass dieses 100 jährigen Jubiläums erscheint dieser Artikel, der sich mit folgenden Themen befasst: Allgemeine Geschichte der Härteprüfung von Werkstoffen, Besonderheiten bei der Härteprüfung von Polymeren, verschiedene Prinzipien der Härtemessung an Elastomeren, Einführung in die ehemals wichtige Unterscheidung zwischen Härte und Weichheit, 2015: 100 Jahre Shore A – Härteprüfgeräte und Vorstellung seiner Weiterentwicklungen, Erklärung der Funktionsweise der frühen Shore A - Durometer, Vorteile, aber auch Kritikpunkte an der Prüfmethode, Vorstellung wichtiger internationaler Normen zur Shore A - Härte, Vergleichbarkeit mit anderen Härteprüfmethode und abgeschlossen wird die Serie mit Empfehlungen für die heutige Prüfpraxis.

ABSTRACT  

Interestingly it is hard to find in modern technical literature on testing of rubber something on the development and the backgrounds of the important basic test methods, as e.g. the tensile test, heat ageing, compression set or hardness measurement. How have these test methods been evolved? Why has one test method been established and why has the other sunk in oblivion? Due to that reason it is not only interesting and sometimes quaint to deal with the history of technical test methods, but the occupation with their history can help us in today's testing of elastomers for a better and deeper understanding and can therefore also serve for a better implementation of already long ago introduced test methods. This paper, split in several parts, should make a contribution in this direction for maybe the most popular test method of the rubber industry, the Shore A hardness measurement.

1915 is said to be the official year of the introduction of the Shore A test method. This article is being published to mark this centennial jubilee. It will deal with the following topics: General history of the hardness testing on materials, special features for the hardness test on polymers, different principles of hardness testing on elastomers, introduction to the formerly important distinction between hardness and softness, 2015: 100 years of Shore A durometers and presentation of further historical developments, explanation of the mechanisms of early Shore A durometers, advantages but also points of criticism of the test method, presentation of important international standards for the Shore A hardness, comparability with other hardness test methods and finally recommendations for today's hardness testing.

RICHTER

1. Zur Geschichte der Härteprüfung

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. Einen richtigen Schub vorwärts auf dem Gebiet der Härteprüfung gab es gegen Ende des Mittelalters durch die Mineralogie. Besonders erwähnenswert ist hier die sogenannte Ritzhärteskala von Friedrich Mohs (1773-1839), die auf der Erfahrung beruhte, dass harte Materialien weichere ritzen. Er stellte nun 10 Mineralien in einer nach zunehmender Härte aufsteigenden Reihenfolge zusammen. Die Mohshärte wird bestimmt, indem man die beiden benachbarten Referenzwerkstoffe sucht, die den zu untersuchenden Körper gerade noch ritzen bzw. nicht mehr ritzen.

Mit der Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurde der Ruf nach Härteprüfverfahren für Metalle immer lauter. Sie waren wichtig zur Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität. Nach 1870

kommen erste dynamische Härteprüfverfahren auf. Uchatius ließ einen Meißel aus einer bestimmten Höhe auf ein Metall fallen.²

Im Jahr 1900 stellt der Schwede Johan August Brinell (1849-1925) den nach ihm benannten Kugeldruckversuch auf der Pariser Weltausstellung vor. Dabei wird eine Kugel in den Werkstoff gedrückt und mit Hilfe des gemessenen Durchmessers wird die Eindruckoberfläche berechnet. Die Brinellhärte ist dann das Verhältnis von der aufgewandten Prüfkraft zur bleibenden Eindruckoberfläche.

Um ca. 1905³ entwickelt Martens (1850-1914) das sogenannte Indentationsprinzip. Es wurde also nicht nur der Abdruck bspw. einer Prüfkugel gemessen, sondern Eindringtiefe und Prüfkraft wurden gleichzeitig erfasst. Dieses Verfahren ermöglichte mehr Aussagen über den Werkstoff als nur über dessen plastisches Verhalten.

Der Name Albert Shore tritt zum ersten Mal 1907 einer größeren Öffentlichkeit in Erscheinung. In diesem Jahr wurde das 1906 entwickelte⁴ Rücksprungverfahren („Shore Scleroscope“, Abb.1 und 2) vorgestellt (1910 patentiert). Ein Hammer mit einer Diamantspitze wurde auf das zu prüfende Werkstück fallengelassen. Über die Rücksprunghöhe konnte die Härte klassifiziert werden.

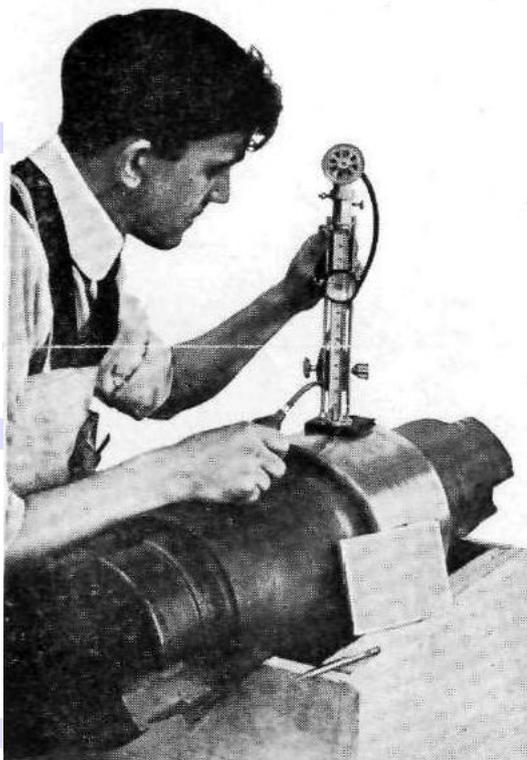


Abb. 1: Darstellung eines Shore-Scleroscopes mit einer vertikalen Skala aus einem frühen Firmenprospekt von „The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.“⁵ Ein Arbeiter bestimmt die Härte einer metallenen Welle.

² Vgl. HERRMANN, Konrad: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen – Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren, Expert-Verlag, Renningen, 2014, S.1f.

³ Vgl. <https://www.ptb.de/cms/ptb/fachabteilungen/abt5/fb-51/ag-511/haerte-und-haertepruefverfahren.html> (Webseite abgerufen am 20.07.2015)

⁴ SHORE, Albert F. : The Shore scleroscope for measuring hardness of metals, Shore instrument & mfg. Co., New York, 1910, S.3 Buch digitalisiert online verfügbar: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044091972851;view=1up;seq=23>

⁵ The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R4: The durometer and elastometer 20th year: an international standard of measurement for hardness and elasticity of rubber, Jamaica, N.Y., Jan.1934, S.4 (Abdruckerlaubnis der Fotografie mit freundlicher Genehmigung des Hagley Museum and Library, USA)

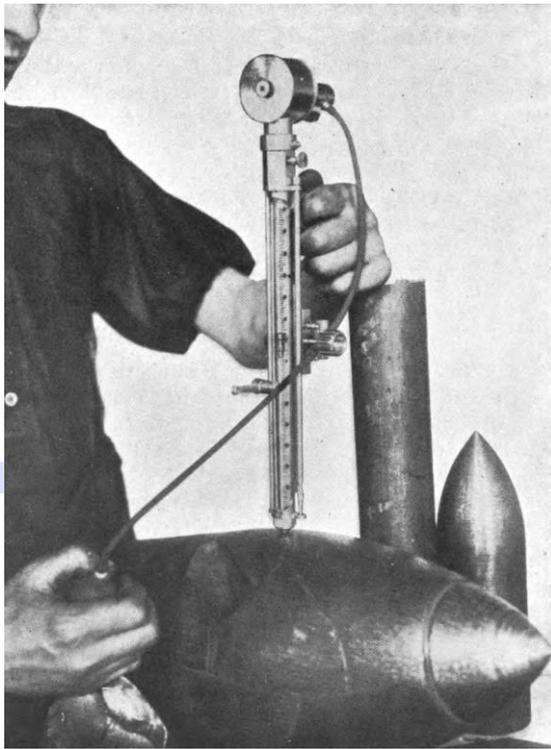


Abb. 2: Darstellung eines Shore-Scleroscopes mit einer vertikalen Skala aus dem Jahr 1910 in einem Buch Albert F. Shores zu seinem Scleroscope.⁶ Ein Arbeiter bestimmt die Härte eines Geschosses.

Obwohl es sich hier um ein reines Metallprüfgerät handelte, weist es bereits einige sehr praxisorientierte Eigenschaften auf, die später auch beim Shore-Durometer zur Bestimmung der Elastomerhärte zum Tragen kamen.

Die Härteskala wurde beim Scleroscope in 100 Härtegrade eingeteilt, wobei der Wert 100 für einen martensitischen kohlenstoffreichen Stahl stand, also wie bei der Shore A Elastomerprüfung repräsentierte die Zahl 100 den härtesten Wert. Das Scleroscope war tragbar, relativ preisgünstig im Vergleich zu anderen Härteprüfgeräten und konnte einfach von einer angelernten Kraft bedient werden.⁷ Außerdem war dieses Prüfverfahren zeitlich um ein Vielfaches schneller als damals vergleichbare Härteprüfmethode. Und es konnten beliebig große Probekörper untersucht werden.⁸ Alle diese Eigenschaften zeichneten auch die ersten Shore A Härteprüfgeräte für Elastomere aus.

RICHTER

2. Das Verhältnis von plastischen und elastischen Anteilen eines Werkstoffes

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

„Entweder treten unter den gewählten Bedingungen des Einpunktversuches vorwiegend elastische Verformungen auf, oder aber die bleibenden Verformungen sind vorherrschend, denen gegenüber die elastischen Verformungen zu vernachlässigen sind. Hierzu tritt als dritter Fall die gleichzeitige Entstehung elastischer und plastischer Verformung vergleichbarer Größe.“⁹

⁶ SHORE, Albert F. : The Shore scleroscope for measuring hardness of metals, Shore instrument & mfg. Co., New York, 1910, S.17

Buch digitalisiert online verfügbar: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044091972851;view=1up;seq=23>

⁷ Vgl. https://sizes.com/units/shore_scleroscope.htm (Webseite abgerufen am 20.07.2015)

⁸ The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R4: The durometer and elastometer 20th year: an international standard of measurement for hardness and elasticity of rubber, Jamaica, N.Y., Jan.1934, S.4

⁹ SPÄTH, Wilhelm: Beiträge zur Technologie der Hochpolymeren – Gummi und Kunststoffe, A.W. Gentner Verlag, Stuttgart, 1956, S.123

Der erste Fall ist typisch für Elastomere. Entscheidend für die Ermittlung der Härte ist die elastische Rückstellkraft. Deswegen gibt es eine starke Abhängigkeit zwischen elastischen Kennwerten und Härtewerten. Da in der Regel der Eindringkörper bei der Shore Härtmessung einen kaum sichtbaren bleibenden Abdruck hinterlässt, muss man den Verformungsweg unter Belastung messen. Die Härte eines Elastomers wird stark von der Gummimischung beeinflusst, v.a. durch die Füllstoffe bzw. deren Dichte und das Vernetzungssystem. Elastomere zeigen im Zugversuch kein lineares Spannungs-Dehnungsdiagramm, so dass man auch keinen eindeutigen E-Modul wie bei Metallen erhält. Der E-Modul von Gummi ändert sich mit der zunehmenden Dehnung.

Der zweite Fall, bei welchem die plastische Verformung deutlich höher ist als die elastische tritt meist bei Metallen auf. „Hier kann die entstehende Verformung nach Wegnahme der Last gemessen werden. Bekanntlich besteht zwischen dieser so gewonnenen Härte und der Zerreißfestigkeit bei Eisen ein gewisser Zusammenhang. Selbstverständlich kann ein solcher Zusammenhang nicht erwartet werden, wenn beim Eindruckversuch im Wesentlichen der elastische Bereich erfasst wird, wie dies bei Gummi der Fall ist.“¹⁰ Im Bereich der metallischen Werkstoffe wird außerdem sehr klar zwischen Härte und Steifigkeit unterschieden. „Bei Metallen ist der Begriff der Härte offensichtlich mit der plastischen Eigenschaft verbunden. Mit dem Begriff der Steifigkeit wird dagegen das elastische Verhalten des Materials beschrieben. Für die Steifigkeit wird im Ingenieurwesen der Elastizitätsmodul E als physikalisches Maß und für die Härte werden technische [dimensionslose] Maße eingeführt“¹¹ (z.B. Härte nach Rockwell, Brinell usw.).

Die dritte Variante, ein relativ ausgeglichenes Verhältnis von elastischen und plastischen Anteilen, tritt meist bei Kunststoffen auf. Dies macht verständlicherweise die Definition von und die Bestimmung der Härte schwierig. Deswegen existieren bei der Prüfung von Kunststoffen Härteprüfmethoden sowohl wie in der Gummiindustrie (Messung der Eindringtiefe) als auch wie in der Metallbranche (Messung des Abdrucks nach Wegnahme der Kraft) nebeneinander.

3. Verschiedene Prinzipien der Härtemessung an Elastomeren

Das bekannte Bonmot von Metallwerkstoffprfern: „Wenn wir Härte messen, hinterlassen wir immer einen guten Eindruck“, trifft für Gummiwerkstoffe nicht zu.

„Bei Elastomeren kann nicht wie bei Metallen eine 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.“¹²

Dennoch wurde in den 1940er Jahren versucht, ein vereinheitlichtes Eindruckprfverfahren für verschiedene Werkstoffe (Metalle, Elastomere, Kunststoffe) zu entwickeln. KUNTZE empfiehlt 1940 in der Fachzeitschrift „Kautschuk“¹³ ein „Prüfgerät, bei dem der Eindringkörper eine Pyramide ist und bei dem die Feder auf Druck in Gramm geeicht wurde, damit ein Meßwert erzielt wird, der den Eindringwiderstand in kg/mm² darstellt.“¹⁴ Solche Versuche einer Vereinheitlichung konnten sich aber nicht durchsetzen.

¹⁰ Ebd., S.123f.

¹¹ SPONAGEL, S. ; UNGER, J.; SPIES, K.H.: Hrtebegriff im Zusammenhang mit Vernetzung, Bruchdehnung und Dauerfestigkeit eines Elastomers in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe, 56.Jg., Nr.11, 2003, S.608

¹² Natürlich besitzen Elastomere auch plastisch verformbare Anteile, die aber bei den durch die Eindringkörper der Härtemessung verursachten Verformungen (bei 23°C) und Kräften so gering sind, dass sie messtechnisch nicht einfach und reproduzierbar zu erfassen sind.

Ein Prüfverfahren zur Messung der bleibenden Verformung nach Belastung ist die Druckverformungsrestprüfung bei erhöhten Temperaturen. Hier geht es aber in erster Linie nicht um plastische Verformungen, sondern um den Bruch alter Netzwerkstrukturen und eine Neuvernetzung in der verpressten Position.

¹³ KUNTZE, W.: Einheitliche Eindruckhrteprfung für Gummi, Kunststoffe und Metalle in: Kautschuk, 16, 1940, S. 83-87

¹⁴ BREUERS, W. und LUTTROP, H.: Buna – Herstellung Prüfung Eigenschaften, VEB Verlag Technik, Berlin, 1954, S.225

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:

3.1 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 auf Grund 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.¹⁵

Um die Mitte des 20. Jahrhunderts gab es eine Vielzahl von Prüfgeräten, die nach diesem Prinzip arbeiteten (z.B. **GB**: Wallace Gauge, R.A.B.R.M. Pattern Gauge, Admiralty Rubber Meter, **USA**: Tinius Olsen Gauge, **D**: DVM-Weichheitsprüfer von L. Schopper in Leipzig (siehe Abb. 3), Zwick „Zet 8“, **F**: Lhomme & Argy). Im heutigen Prüfalltag hat sich das IRHD-Verfahren mit seinen ganzen Untervarianten (z.B. Mikrohärt) durchgesetzt. Nur noch spezielle Branchen verwenden Sonderprüfverfahren, so wird der Pusey & Jones Plastometer zur Härtebestimmung von Gummiwalzen in der Papierindustrie eingesetzt.

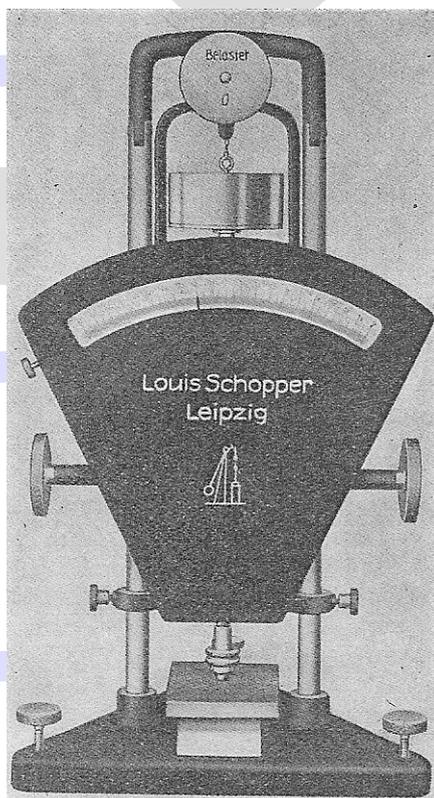


Abb. 3: Ein DVM-Weichheitsprüfer mit Belastungsgewicht (1kg, oberhalb der Anzeigeskala) von Louis Schopper, Leipzig, um 1940¹⁶ - ein Vorläufer der heutigen IRHD-Prüfgeräte

3.2 Härteprüfgeräte mit Federkraft (kurz: Federdruckgeräte)

Hierbei wird mittels einer Feder die Prüfkraft auf den Indentor übertragen. Das Durometer von Albert Shore ist hier zweifelsohne der prominenteste Vertreter. Allerdings gab

¹⁵ 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

¹⁶ KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.82

es auch Varianten anderer Hersteller, teilweise mit anderen Eindringkörpern, wie sie Shore verwendete (z.B. **GB**: Wallace Pocket Meter, **USA**: Adams Densimeter, Firestone Penetrometer, Rex Gauge, Dunlop Hardness Gauge).

3.3 Weitere alternative Härteprüfmethoden für Elastomere

In der älteren Literatur wird als dritte Methode noch das sogenannte „Herbert Pendulum“¹⁷ genannt. Diese Härteprüfmethode basiert nicht auf dem Penetrationsprinzip, sondern es wird mit dieser Methode meist gemessen, welchen Einfluss die Härte eines Werkstoffes auf die Schwingzeit eines sich bewegenden Pendels hat. Das Pendel wird mit einer Halbkugel auf dem zu prüfenden Material gelagert, in eine vorab definierte Ausgangslage gebracht und dann losgelassen. Das System stammt aus den 1920er Jahren, hat sich in der Elastomerindustrie aber nicht in größerem Stil durchgesetzt, wie SCOTT bereits 1955 anmerkte¹⁸. Vereinzelt wird dieses Verfahren mit Modifikationen heute bei der Härteprüfung von Metallen eingesetzt.¹⁹

Einen ebenfalls interessanten Ansatz zur Härtemessung ließen sich BUIST und KENNEDY, Mitarbeiter der britischen ICI, 1949 patentieren.²⁰ Ihre Erfindung beschreibt einen Apparat, der einen Indentor einen vorab festgelegten Weg in den Probekörper eindringen lässt, wobei die dazu benötigte Kraft mit Hilfe eines hydraulischen Systems gemessen wird. Diese aufgewendete Kraft ist dann ein Maß für die Härte des Werkstoffes. So eine Art von Prüfgerät war auch nur als Tischgerät gedacht. Es wurde also nicht wie bisher das Belastungsgewicht konstant gehalten, sondern der Eindringweg des Indentors. JUVE merkt hierzu an, dass mit diesem Gerät auch extrem weiche Elastomere gemessen werden können, ohne dass hier der Effekt eines begrenzten Eindringweges angetroffen wird.²¹ Bei den klassischen Härteprüfern (Federprinzip bzw. konstantes Belastungsgewicht) verfälscht bei gleichhohen Probekörpern die harte Stahlunterlage beim Messen weicher Elastomere stärker das Ergebnis als beim Messen harter Elastomere. Durch diese Erfindung von BUIST und KENNEDY könnte dieser unerwünschte Effekt stark reduziert werden, er wäre dann nur noch von der Probendicke abhängig und nicht mehr von der Härte selbst.

Im Jahr 1997 wurde die Idee der Härtemessung mit einer konstanten Deformation wieder von KUCJERSKII und KAPOROVSKII²² aufgegriffen. Mit dieser Methode lassen sich nach Ihren Ergebnissen u.a. angemessenere Aussagen über die wirkliche Steifheit eines Materials geben. Allerdings konnte dieses Prüfverfahren in der Elastomerindustrie nicht die etablierten Härteprüfmethoden auch nur ansatzweise verdrängen.

Das oben beschriebene Scleroscope nach Shore stellt ein dynamisches Härteprüfverfahren für Metalle dar, die Entsprechung im Gummibereich wäre die Prüfung der Rückprallelastizität. Hier wird dieses Verfahren aber nicht zur Bestimmung der Härte eingesetzt, da bspw. Elastomere gleicher Shore-Härte sehr unterschiedliche Rückprallelastizitäten aufweisen können. Die Rückprallelastizität bei Elastomeren ermöglicht eine Aussage über den Hystereseverlust bei

¹⁷ Weblink zur einer frühen Beschreibung der Funktionsweise des Herbert Pendulums in: FLIGHT – The Aircraft Engineer and Airships, 13.09.1923: <http://www.flightglobal.com/pdfarchive/view/1923/1923%20-%2000550.html> (Webseite abgerufen am 31.07.2015)

¹⁸ SCOTT, J.R.: Rubber Hardness Testing in: Rubber Age, New York, Vol. 77, No.4, July, 1955, S.544

¹⁹ SUZUKI, R., KABURAGI, T., MATSUBARA, M., TASHIRO, T. und KOYAMA, T. (2015), Hardness Measurement for Metals Using Lightweight Herbert Pendulum Hardness Tester With Cylindrical Indenter. In: Experimental Techniques, Feb. 2015, doi: 10.1111/ext.12121 <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ext.12121/abstract> (Webseite abgerufen am 22.09.2015)

²⁰ BUIST, J. M. und KENNEDY, R. L.: Apparatus for Measuring the Hardness of Rubber and similar Materials, Britisches Patent GB617465 (a) – 1949-02-07 (Weblink zum Patent (abgerufen am 01.09.2015): http://worldwide.espacenet.com/publicationDetails/originalDocument?CC=GB&NR=617465A&KC=A&FT=D&ND=3&date=19490207&DB=worldwide.espacenet.com&locale=de_EP)

²¹ JUVE, A.E.: Physical Test Methods and Polymer Evaluation (chapter 12) in: WHITBY, G.S. et al. (Hrsg.): Synthetic Rubber, Jon Wiley & Sons, Inc. New York, 1954, S.445

²² KUCHERSKII, A.M. und KAPOROVSKII, B.M.: A promising method for measuring hardness of rubbers in: Polymer Testing, Vol.16, Issue 5, October 1997, S.481-490

schlagartiger Beanspruchung. Sie ist also in erster Linie ein Maß für das rein elastische Verhalten des Werkstoffes, während die heute üblichen Härte-Prüfmethoden auch die plastischen Anteile eines Elastomers erfassen. (Effekt der Abnahme der Härte bei längeren Prüfzeiten).

Ferner gibt es bei bestimmten Werkstoffen auch Beziehungen zwischen Härte und Abriebwiderstand. Doch auf Grund der vielen Variablen bei der Abriebprüfung (Oberfläche, Prüfgeschwindigkeit, Verhältnis Reibung-Schmierung usw.) ist es nicht sinnvoll mit so einem Verfahren die Härte eines Werkstoffes zu bestimmen.²³

Weitere Härteprüfmethoden, wie bspw. die Härteprüfung durch Ritzen oder Schneiden kommen bei Elastomeren nicht zum Einsatz. Durch die elastische Rückfederung dieses Werkstofftyps sind solche definiert zugefügten Verletzungen schwer bzw. nicht reproduzierbar zu erfassen. Außerdem ist die Schneid- und Ritzbarkeit eines Elastomers auch mehr oder weniger stark von den Füllstoffen beeinflusst.

4. Härte vs. Weichheit

Bis in die 1950er Jahre wurde in Deutschland neben dem allgemein eingeführten Begriff der Härte parallel auch der Begriff der „Weiche“ bzw. „Weichheit“ propagiert und verwendet. Diese beiden letzteren Begriffe sind heute aus der Prüfpraxis verschwunden, jedoch ist es lohnenswert sich mit dem interessanten Gedankengang dahinter zu beschäftigen, da er zu einem vertieften Verständnis der Härteprüfung beitragen kann.

So lautet die im Juni 1938 erschienene DIN-DVM²⁴-Norm zur Härteprüfung mit einem Belastungsgewicht „Prüfung von Gummi – Bestimmung der Weichheit von Weichgummi“.

SPÄTH definiert es 1940 wie folgt: „Die Weiche eines Werkstoffes ist (...) die Nachgiebigkeit, die der Prüfkörper [= Probekörper] beim Eindringen eines anderen (härteren) [= Indentor] zeigt. (...) Es mag vielleicht auf den ersten Blick befremden, anstatt von der Härte, umgekehrt von der Weiche eines Werkstoffes zu sprechen. Immerhin benutzt der heutige Sprachgebrauch die Eigenschaftswörter "weich" und "hart" in völlig gleichwertigem Sinne. Man kann sagen, ein Werkstoff A ist härter als ein Werkstoff B, oder, der Werkstoff B ist weicher als der Werkstoff A. Dieser völligen Gleichberechtigung der beiden Ausdrücke "hart" und "weich" ist aber die Sprachschöpfung bei der Bildung entsprechender Hauptwörter nicht gefolgt. Man spricht lediglich von der Härte, und dieser Begriff ist auch allgemein in die wissenschaftliche Betrachtung eingegangen; man spricht also nicht vom Umkehrwert, also von der Weiche. Diese einseitige Entwicklung ist eigentlich sehr verwunderlich, denn gerade aus dem täglichen Umgang mit den Werkstoffen hätte eher sich das Wort Weiche bilden müssen. Die sinnliche Wahrnehmung bezieht sich in erster Linie auf die Größe der durch äußere Einwirkungen erzielbaren Verformung, also auf die Weiche, und nicht auf die Härte.“²⁵

Bei der Härtemessung mit dem DVM-Weichheitsprüfer wurde das Ergebnis in 1/100mm Eindringtiefe des Indentors (Kugel-Ø = 10mm) bei einer Belastung mit 1000gr (+ 50 gr. Vorlast) nach 10 Sekunden angegeben. D.h. bei einem weichen Werkstoff erhielt man so eine große Eindringtiefe, also einen hohen Ergebniswert.²⁶ Dieser Ergebniswert hieß „Weichheitszahl“, diese konnte auch größer als 100 sein. Bei der ShA- Härtemessung ist es genau andersherum: Ein

²³ Vgl. TOBOLSKI, Ed: Back To Basics: Hardness Testing in: QUALITY MAGAZINE, April 2007, Weblink: <http://www.qualitymag.com/articles/89348-back-to-basics-hardness-testing> (abgerufen am 12.08.2015)

²⁴ DVM: Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik, Webseite der heutigen Nachfolgeorganisation: www.dvm-berlin.de

²⁵ SPÄTH, Wilhelm: Physik und Technik der Härte und Weiche, Verlag von Julius Springer, Berlin, 1940, S.24f.

²⁶ Dieses Prinzip „weicher Werkstoff => hoher Ergebniswert“ gab es auch bei vielen anderen ausländischen Härteprüfgeräten der 1930er Jahre (z.B. Hardness Gauge R.A.B.R.M., Hardness Gauge A.S.T.M., Penetrometer, Firestone Tire & Rubber Co. u.v.m.). Bei dem bis heute angewendeten Prüfverfahren nach Pusey&Jones (ISO 7267-3, ASTM D 531) hat sich dieses Prinzip erhalten.

weicher Werkstoff ergibt einen niedrigen Messwert. Eine ShA Härte von 40 entsprach in etwa einer DVM-Weichheitszahl von 90.²⁷ Insofern war diese unterschiedliche Bezeichnung sinnvoll, weil nun derselbe Werkstoff z.B. einen hohen Härtewert (nach ShA) bzw eine niedrige Weichheitszahl (nach DIN-DVM 3503, Juni 1938) hatte.

Vermutlich hat diese Unterscheidung der Begrifflichkeiten und das Denken in Umkehrungen im Berufsalltag zu Verwirrungen geführt, trotz ihrer Exaktheit. So wurde schließlich beim IRHD-Verfahren die Eindringtiefe auch in eine Skala von 0 bis 100 umgerechnet, wobei wie beim ShA-Verfahren 100 für den härtesten Wert steht.

5. Einführung des Durometers (Type „A“) vor 100 Jahren und Weiterentwicklungen in der Frühphase

1915²⁸ gilt als das offizielle Jahr der Einführung des Durometers Typ A durch Albert Ferdinand Shore.

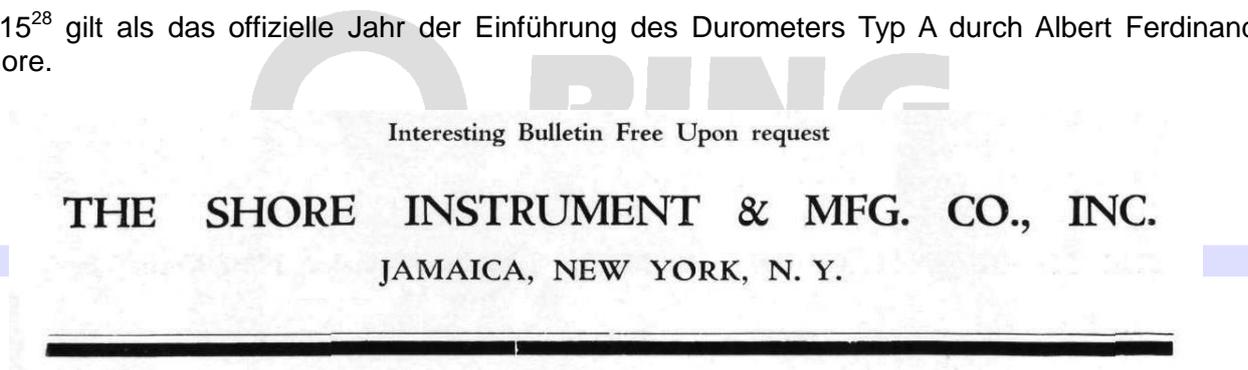


Abb. 4: Aus einem frühen Werbespropekt , dem Bulletin R4²⁹

5.1 Frühe US-Patente zu Taschenprüfgeräten für Elastomere

Durch Patentrecherchen konnte jedoch eine frühere sehr ähnliche Erfindung nachgewiesen werden, die von William F. Shore bereits 1911 zum Patent angemeldet und am 29. Oktober 1912 unter der Nummer 1,042,721 patentiert wurde. Bei William handelte es sich vermutlich um Alberts Bruder.³⁰ In diesem Dokument wird ein rundes Härtemessgerät im Taschenformat vorgestellt, das viele Eigenschaften des späteren runden Durometers („round style“) vorwegnimmt. Auf der Patentzeichnung (Abb.5) ist sogar der kegelstumpfförmige Eindringkörper (Indentor) zu erkennen, es wird auch die Verwendung eines spitzeren Indentors für härtere Materialien vorgeschlagen. Die Härteskala geht bereits von 0 bis 100, allerdings ist die Bewegung des Zeigers von 100 in Richtung 0. Der gravierendste Unterschied zu dem 1915 eingeführten Durometer ist jedoch die Verwendung einer Schraubendruckfeder statt der später üblichen Blattfedern. Diese Erfindung wurde besonders auf das Prüfen von Gummi ausgerichtet, wie gleich zu Beginn des Patents beschrieben wird. Außerdem wurde schon erkannt, dass nicht nur die Härte sondern v.a. auch andere Eigenschaften des Materials damit gemessen werden können, wie z.B. Nachgiebigkeit und Elastizität.

²⁷ Vgl. BREUERS, W. und LUTTROPP, H.: Buna – Herstellung – Prüfung – Eigenschaften, VEB Verlag Technik Berlin, 1954, S.228, Bild 128

²⁸ Shore® An Instron Company (Hrsg.): Shore® Durometers (Werbespropekt), Instron Corporation, Canton, MA, 2004, S.8

²⁹ The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R4: The durometer and elastometer 20th year: an international standard of measurement for hardness and elasticity of rubber, Jamaica, N.Y., Jan.1934, S.4 (Abdruckerlaubnis der Fotografie mit freundlicher Genehmigung des Hagley Museum and Library, USA)

³⁰ E-Mail Mitteilung vom 12.01.2015 von Alan Garrett, (ehem. Commercial Director der brit. Hampden Test Equipment), der noch persönlich den letzten General Manager (ca. 1970-1996) der SHORE Mfg. Co., Bill Galbraith kannte. Es gibt auch ein gemeinsames US Patent (US 1,768,639 vom 01.Juli 1930) Albert F. und William F. Shore, was diese These stützt.

Fig. 1.

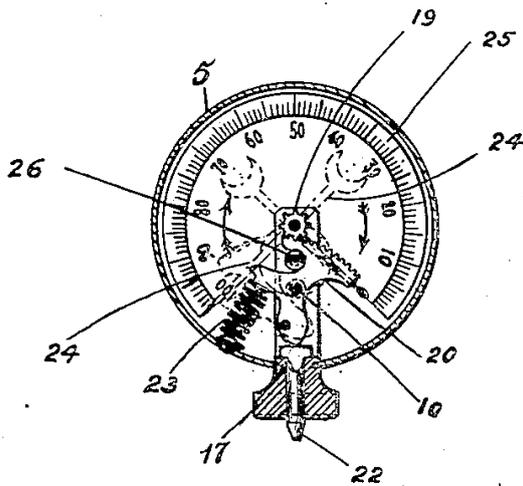


Fig. 2.

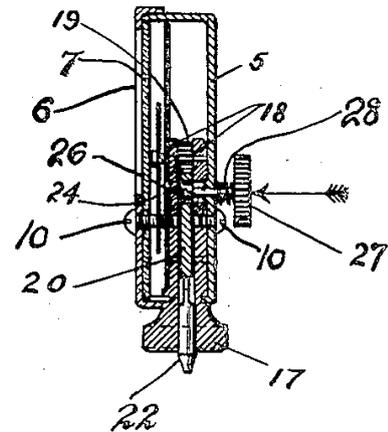


Abb. 5: Zeichnung aus US-Patent 1,042,721 („Gage“) vom 29.10.1912 von William F. Shore: Der hier dargestellte Härtemesser weist bereits viele Eigenschaften der späteren runden Durometer auf: Runde Skala von 0 bis 100 in Einserschritte unterteilt (25), Indentor als Kegelstumpf (22), verbreiterter Fuß zum planparallelen Aufsetzen (17), Presskraft des Indentors federaktiviert (23)

Warum es 1915 zur Einführung des „quadrant type“³¹ Durometers (siehe Kap. 5.3) mit einer viel ungenaueren Ableseskala kam, ist heute nicht mehr zu klären. Vielleicht wollte Albert das Patent seines Bruders umgehen. Bei Einführung des runden Durometers 1944 war dieses ja bereits abgelaufen.

Allerdings wird es nach Durchsicht dieses Dokumentes schwierig Albert F. Shore als den alleinigen Erfinder des Shore Durometers zu bezeichnen.

Das „quadrant type“ und das runde Durometer erfreuten sich großer Beliebtheit. Bis 1957 wurden bereits 15.000 „quadrant type“-Durometer und 9.000 runde Durometer verkauft, wovon 1957 je nach Typ noch 80 bzw. 90% in Benutzung waren³². Dieser hohe Nutzungsgrad lässt auch auf die gute und robuste Qualität der Geräte schließen.

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, siehe Abb. 6). Dieser Artikel befasst sich nur mit dem am weitesten verbreiteten Typ „A“. Unterschiedliche Indentorgeometrien wurden gemeinsam von Albert F. und William F. Shore 1924 zum Patent angemeldet und 1930 schließlich patentiert (US1,768,639).

Fig. 3.

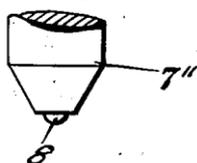


Fig. 4.

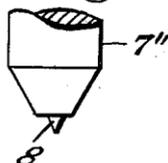


Fig. 5.

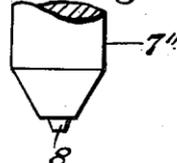


Abb. 6: Zeichnung aus US-Patent 1,768,139 („Gauge“) vom 01.07.1930 von Albert F. und William F. Shore: Neben der Patentierung eines Härtemessgeräts des runden Typs wurden auch die nebenstehenden Indentorentypen in der Patentzeichnung dargestellt.

³¹ Vereinzelt findet sich in der historischen deutschsprachigen Fachliteratur der Begriff „Quadrantengerät“, so z.B. in: 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

³² JUVE, A.E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S.367

5.2 Albert Ferdinand Shore – sein Leben und Umfeld

Albert Ferdinand Shore wurde 1876 geboren und starb 1936. Er war der Gründer der auf seinen Nachnamen lautenden Firma „The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.“, die ihren in Sitz in Jamaica, New York hatte. Shores Sohn Fred führte die Geschäfte nach dem Tod seines Vaters weiter.³³

Albert Shore hat wenig publiziert, erhalten sind nur ein Buch über das Scleroscope³⁴, bei dem allerdings seine alleinige Autorenschaft nicht eindeutig ist und ein Aufsatz in einem Tagungsband eines „Regional Meeting“ der ASTM in Cleveland.³⁵ Hingegen sind aber über 30 Patente eines Albert F. Shore bzw. Albert Ferdinand Shore aus New York im Zeitraum von 1899 bis 1934 (jeweils Prioritätsdatum) nachweisbar. Die letzte Veröffentlichung eines Patentes mit ihm als Erfinder erfolgte 1936.³⁶

Albert Ferdinand Shore scheint ein umfassend technisch interessierter und gebildeter Mensch gewesen zu sein. Neben Patenten zu Härteprüfgeräten finden sich auch solche zu optischen Problemen (z.B. US1590448: 1926-06-29: Photographic camera and lens), zu Bereichen im Fahrzeugbau (z.B. US1054992: 1913-03-04: Locomotive driving wheel oder US1520483: 1924-12-23: Spring support for vehicles) oder der Wehrtechnik (z.B. US1089161: 1914-03-03: Projectile). In je einem Patent von Albert F. Shore erscheint zusätzlich ein Charles P. Shore und ein William F. Shore, die auch zu seiner Familie gehörten und vermutlich seine Brüder waren.³⁷



Albert F. Shore

Abb. 7: Albert Ferdinand Shore (1876 – 1936), Erfinder des Shore A Durometers^{38 39}

5.3 Produkte aus den ersten Jahrzehnten der Shore Instruments Mfg.&Co., Einführung des runden Durometers 1944

Die ältesten noch in öffentlichen Bibliotheken auffindbaren Firmenprospekte stammen aus den 1930er Jahren. In Form von Veröffentlichungen mit teilweise wissenschaftlichen Fachartikeln, wie z.B. dem sogenannten „Bulletin R-4“, wurde auch Werbung für die Produkte gemacht. Die folgenden Bilder (Abb. 8-10) sind solchen „Bulletins“ entnommen.

³³ Vgl. GARRATT, Alan F.: The History and Origins of the Durometer, online veröffentlicht: <http://shore-durometer-history.blogspot.de/> (Zugriff auf Webseite am 21.07.2015)

³⁴ SHORE, Albert F.: The Shore scleroscope for measuring hardness of metals, Shore instrument & mfg. Co., New York, 1910, 64 Seiten, illustriert

Buch digitalisiert online verfügbar: <http://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=hvd.32044091972851;view=1up;seq=23>

³⁵ 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.93-97

³⁶ Da die Unterschriften des Erfinders auf den Patentzeichnungen eine große Übereinstimmung aufweisen, kann davon ausgegangen werden, dass es sich bei allen Patenten unter dem Namen Albert F(erdinand) Shore um ein und denselben Erfinder handelt. Hinzu kommt, dass alle Prioritätsdaten in seine aktive Arbeitszeit fallen.

³⁷ E-Mail Mitteilung vom 12.01.2015 von Alan Garrett, (ehem. Commercial Director der brit. Hampden Test Equipment), der noch persönlich den letzten General Manager (ca. 1970-1996) der SHORE Mfg. Co., Bill Galbraith kannte.

³⁸ Quelle der Fotografie: GARRATT, Alan F.: The History and Origins of the Durometer, online veröffentlicht: <http://shore-durometer-history.blogspot.de/>

³⁹ Die Unterschrift Albert F. Shores wurde entnommen von: US-Patent 1,770,045 vom 08.Juli 1930: Apparatus for the Measuring the Hardness of Materials, Erfinder: Albert F. und Charles P. Shore, S.1 (Patentzeichnung)

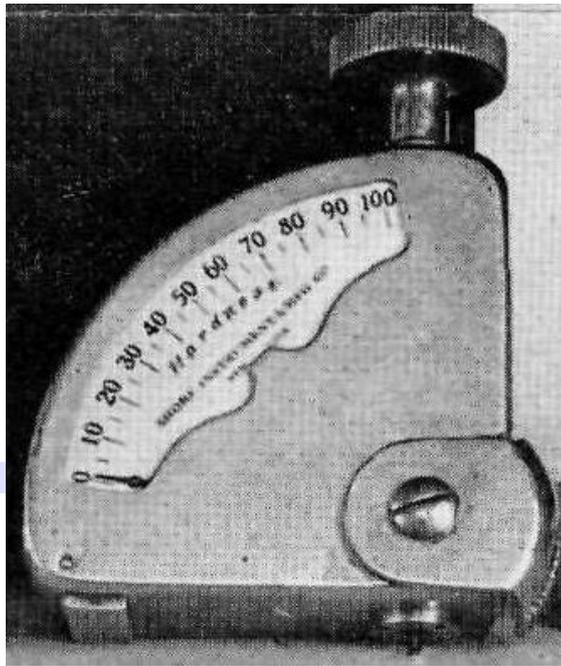


Abb. 8: Ein frühes ShA Härteprüfgerät („quadrant type“) der „The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.“, um 1935⁴⁰

PRÜFL RICHTER

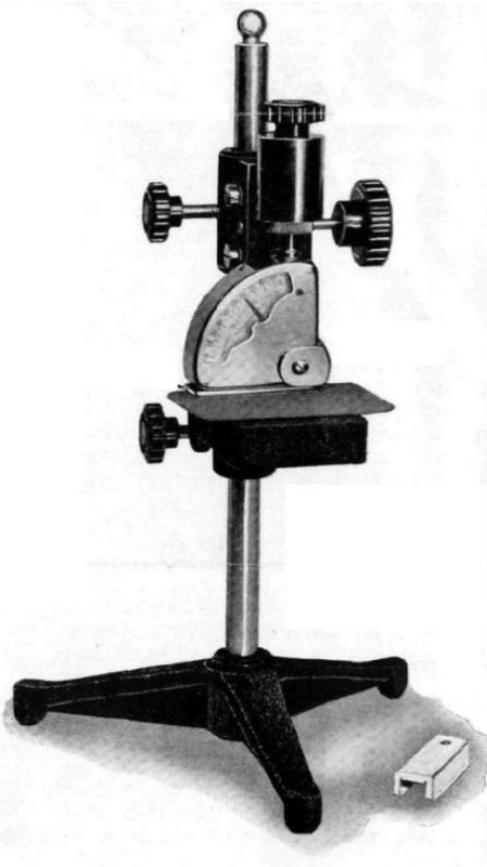


Abb. 9: Schon bald wurde das Problem des großen Bedienerinflusses bei der ShA-Prüfung erkannt. Um diesen Einflussfaktor zu reduzieren wurde bereits um 1935 ein Ständer angeboten.⁴¹

⁴⁰ The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R4: The durometer and elastometer 20th year: an international standard of measurement for hardness and elasticity of rubber, Jamaica, N.Y., Jan.1934, S.3 (Abdruckerlaubnis der Fotografie mit freundlicher Genehmigung des Hagley Museum and Library, USA)

⁴¹ Ebd., S.1 (Abdruckerlaubnis der Fotografie mit freundlicher Genehmigung des Hagley Museum and Library, USA)

Nicht ganz 30 Jahre nach Einführung des ersten ShA Härteprüfgerätes, nämlich im Jahr 1944, kommt von „The Shore Instrument & MFG Co.“ ein rundes Prüfgerät mit einer deutlich genaueren Ableseskala heraus.



Abb. 10: Vorstellung des runden Shore A Messgerätes der Shore Instrument & MFG Co., Jamaica, N.Y. mit dazugehörigem Ständer (eingeführt 1944). Es erhielt die Bezeichnung „A2-Durometer“. ⁴² Mit dem Drehknopf rechts oberhalb des Durometers konnte dieses nach oben oder unten bewegt werden. Anfang der 1950er Jahre war bereits ein Ständer der Fa. ZWICK & Co.KG erhältlich, der das Durometer mit Hilfe eines Belastungsgewichtes auf die Probe drückte. Dies führte zu einer besseren Wiederholbarkeit der Anpresskraft bei unterschiedlichen Bedienern. ⁴³



Abb. 11: Ein späteres Beispiel eines Shore D Handprüfgerätes („quadrant type“) mit dazugehöriger Ledertasche, (Abdruckerlaubnis mit freundlicher Genehmigung von „Toronto Surplus & Scientific“, Kanada)

Nach einigen Besitzerwechseln erwarb 1995 INSTRON die Firma inklusive der Rechte für die Bezeichnung „Shore Durometer“. ⁴⁴ Jedoch stellt Instron heute keine Durometer mehr her und die Webseite www.shoreinstruments.com ist inzwischen inaktiv.

⁴² The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R6: A2-Durometer (adopted 1944), Jamaica, N.Y., ca. 1945, S.1 (Abdruckerlaubnis der Fotografie mit freundlicher Genehmigung des Hagley Museum and Library, USA)

⁴³ Vgl. SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S.39

⁴⁴ Vgl. GARRATT, Alan F.: The History and Origins of the Durometer, online veröffentlicht: <http://shore-durometer-history.blogspot.de/> (Zugriff auf Webseite am 21.07.2015)

5.4 Die Produktion von ShA Taschenprüfgeräten in Deutschland

Schon bald werden auch in Deutschland Shore Härteprüfgeräte in großer Vielfalt hergestellt. So beschreibt KLICKOW⁴⁵ 1942 bereits drei Shore-Härteprüfer aus deutscher Produktion, die in den Abb. 12-14 dargestellt werden. Alle Geräte sind noch Variationen des ursprünglichen „quadrant type“ Stils der US-amerikanischen Firma Shore. Die Außenabmessungen entsprechen in etwa einer Viertelkreisfläche. Außerdem ist auch ersichtlich, dass die Ablese skala in Schritten von jeweils 5 ShA Härtegraden eingeteilt ist. 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.

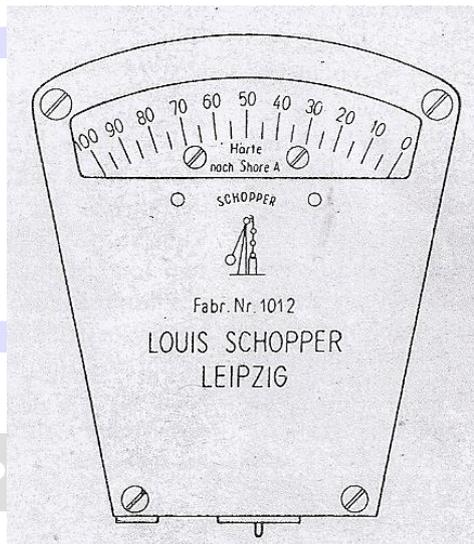


Abb. 12: Schemazeichnung eines Shore A Härteprüfgerätes von Louis Schopper, Leipzig, um 1940⁴⁶

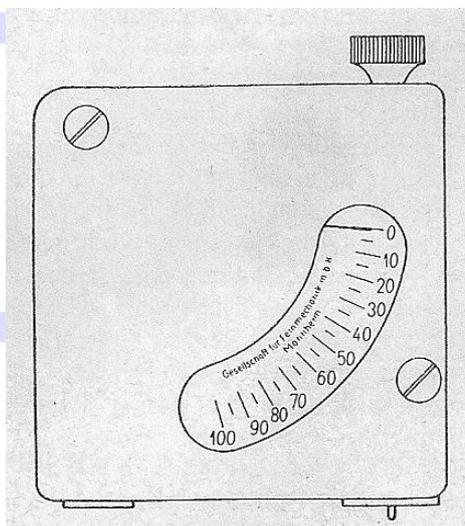


Abb. 13: Schemazeichnung eines Shore A Härteprüfgerätes der Gesellschaft für Feinmechanik m.b.H., Mannheim, um 1940⁴⁷ Ein sehr ähnliches Gerät in dieser quadrat. Form war um 1950 auch von den „Otto Wolpert-Werken G.m.b.H. Ludwigshafen a.Rh.“ erhältlich.⁴⁸

⁴⁵ KLICKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.82

⁴⁶ Ebd., S.82

⁴⁷ Ebd., S.82

⁴⁸ MAU, K.: Aus der Praxis des Gummifachwerkers, Berliner Union, Stuttgart, 1951, S.316

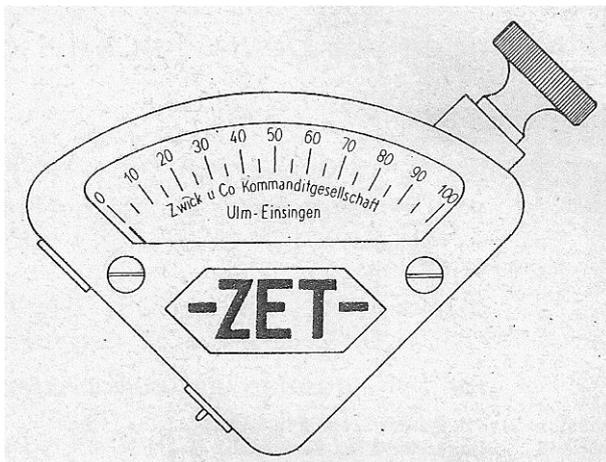


Abb. 14: Schemazeichnung eines Shore A Härteprüfgerätes der Zwick u.Co. Kommanditgesellschaft, Ulm.-Einsingen, um 1940⁴⁹

Nach 1945 wurden weiterhin Taschenprüfgeräte hergestellt, die noch die klassische 5ShA-Einteilung besaßen. Abb. 15 zeigt ein Handprüfgerät der Fa. Karl Frank, das stark an das Schopper Gerät aus den 1940er Jahren erinnert. Die Fa. Louis Schopper ging nach dem Zweiten Weltkrieg in der DDR im „VEB Werkstoffprüfmaschinen Leipzig“ auf.⁵⁰

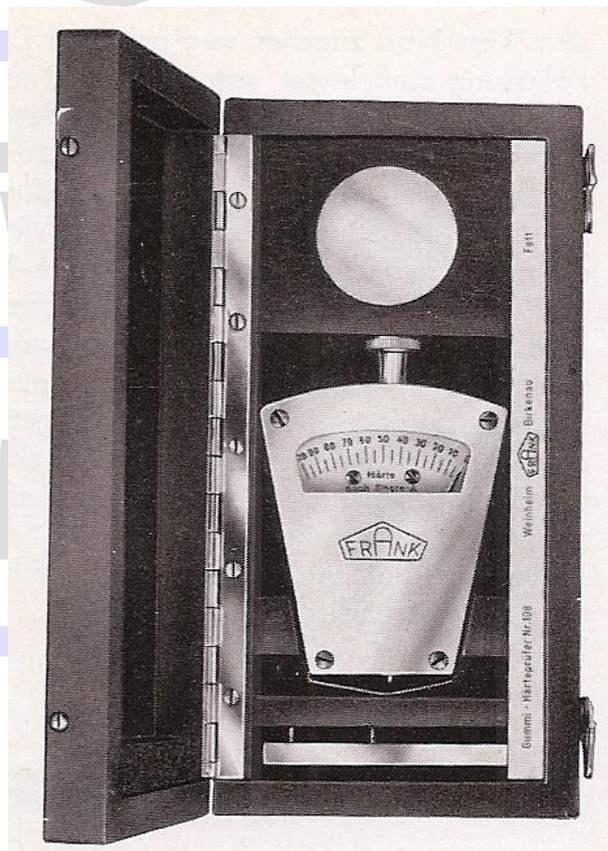


Abb. 15: ShA Härteprüfgerät der Fa. Karl Frank, Weinheim Birkenau aus dem Jahre 1955⁵¹

⁴⁹ KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.82

⁵⁰ <http://www.werkstoffpruefmaschinen-leipzig.de/4507.html> (Zugriff auf Webseite am 22.09.2015)

⁵¹ FRANK, K. (Hrsg.): Prüfungsbuch für Kautschuk und Kunststoffe, Berliner Union, Stuttgart, 1955, S.37



Abb. 16: Ein frühes Taschenprüfgerät HP der Fa. Bareiss, noch ganz dem ursprünglichen „quadrant style“ eines A.F. Shore verpflichtet. (Foto: Bareiss Prüfgerätebau GmbH, www.bareiss.de)

Später wurden auch in Deutschland runde Durometer Taschenprüfgeräte (Abb.17) hergestellt, u.a. durch die Fa. Bareiss aus Oberdisingen, die 1954 gegründet wurde.



Abb. 17: Ein historisches rundes Taschenprüfgerät HP der Fa. Bareiss, bereits mit einer Einteilung der Härtegrade in Einserschritten (Foto: Bareiss Prüfgerätebau GmbH, www.bareiss.de)

6. Funktionsweise des ursprünglichen Durometers („quadrant type“) und der ersten runden Ausführung des Taschenprüfgerätes

Die folgende Abb. 18 zeigt ein auf der Rückseite geöffnetes Shore Durometer in der klassischen „quadrant type“-Form.

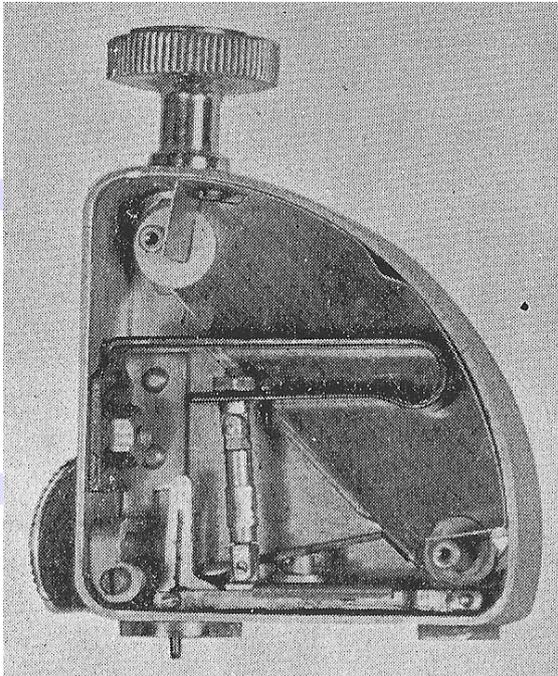


Abb. 18: Mechanismus des ursprünglichen Shore A Härteprüfgerätes („quadrant type“), Blick auf die geöffnete Rückseite⁵²

Die Funktionsweise dieses klassischen Durometers („quadrant type“) ist mit Hilfe der folgenden Abb. 19 schnell erklärt.⁵³

Wird das Prüfgerät mit seinem Druckfuß samt herausragendem Indentor auf den Elastomerprobekörper aufgesetzt, wird der Indentor nach oben gedrückt. Dadurch bewegt sich der Hebel (2) ebenfalls nach oben, der in einem Angelpunkt (3) gelagert ist. Das Gestell (4) dreht das Rädchen (5), an welchem der Zeiger (6) befestigt ist. Dieser zeigt dann auf der Skala die entsprechende Härte als Eindringtiefe an.

Die Blattfeder (8) überträgt ihre Kraft über einen Verbindungsarm (7) auf den Schlitten (9).

Vier Elemente konnten in diesem klassischen Durometertyp justiert werden:

- Die aus der Kontaktfläche herausragende Spitze des Eindringkörpers
- Die Länge des Verbindungsarmes (7)
- Änderung des Winkels des Verbindungsarmes (7) durch Verschiebung des Schlittens (9) auf dem Hebel (2)
- Die Position der Feder im Verhältnis zum Gehäuse

⁵² SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 35

⁵³ Freie Übersetzung der englischen Funktionsbeschreibung bei: SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 34

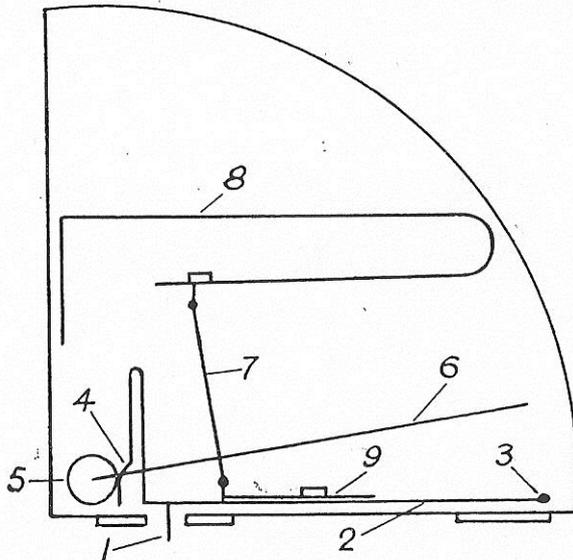


Abb. 19: Schematische Skizze des Innenlebens des Shore A Härteprüfers („quadrant type“) ⁵⁴

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

Genormter Geräteteil (Auszug)	Originale Werte von A.F. Shore ⁵⁵	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 (Ausgabe Okt. 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 Kegelstumpfes	1/32 inch	0,7938 mm	0,79 ± 0,03 mm	0,79 ± 0,03 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)
Newton / 1 Härtegrad ShA			k.A. in der Norm	0,075 N / 1°ShA

Tab. 1: Herleitung der heute SI-Einheiten konformen Maße bzw. Kräfte eines Durometers von den originalen US-amerikanischen Maßeinheiten.

Im Jahr 1944 brachte die Shore Instrument & Mfg. Co. das erste runde Taschenprüfgerät heraus. SODEN⁵⁶ schreibt 1952, dass dieses Gerät 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

⁵⁴ SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 35

⁵⁵ 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

⁵⁶ SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 37

höhere Genauigkeit, da nun eine Ablesung in 1ShA- Schritten möglich war. Durch den größeren Druckfuß wurde ein zu großer Anpressdruck des Gerätes durch den Bediener vermieden, was ebenfalls die Präzision erhöhte. Hinzu kam auch noch, dass dieses verbesserte Gerät zusammen mit einem Stativ um das Jahr 1945 genau so viel kostete wie sein Vorgänger im Jahr 1934, nämlich 125 US-\$.⁵⁷

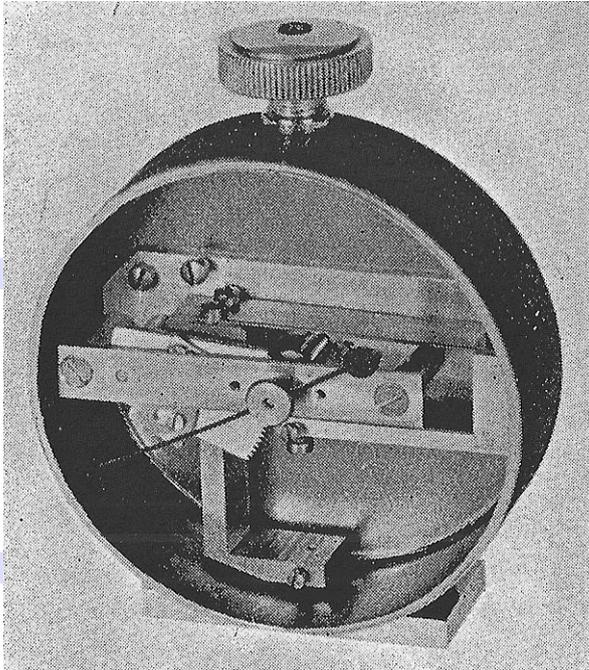


Abb. 20: Mechanismus des runden Shore A Härteprüfgerätes („round style“), Blick auf die geöffnete Rückseite⁵⁸

Die Funktionsweise dieses runden Taschenprüfgerätes (Abb.21) ist grundlegend anders als die des bis dahin üblichen „quadrant type“. A.L. SODEN beschreibt sie wie folgt⁵⁹:

Zwei parallele Blattfedern (1) werden an beiden Enden durch die kleinen Metallblöcke (2) und (3) auseinander gehalten. Der Metallblock (2), ein Abstandshalter für die Blattfedern (1), ist fest am Gehäuse fixiert. Der andere Metallblock (3) kann sich frei nach oben oder unten bewegen. Diese Bewegung wird durch den Indentor (5) verursacht, der mit dem Block (3) mittels eines Verbindungsarmes (4) verbunden ist. Die vertikale Bewegung des Indentors (5) und der damit verbundenen bewegten Teile (4 und 3) wird folgendermaßen in eine Kreisbewegung umgewandelt: Die vertikale Bewegung von (3) wird von dem Plättchen (6) – einem trapezförmigen Kreissegment – übertragen. Dieses Plättchen (6) besitzt an seinem rechten Radius Zähne, die das Zahnrad (7) bewegen. Dieses Zahnrad (7) ist fest mit dem Zeiger verbunden, der die entsprechenden Härtegrade anzeigt. Das trapezförmige Plättchen (6) wird durch einen Stift (8) in Bewegung versetzt, der auf der Unterseite des Plättchens (9) befestigt ist und sich horizontal in der Nut (10) des Blockes (3) bewegen kann.

Die Position des Stiftes (8) relativ zum Angelpunkt (11) des trapezförmigen Plättchens (6) kann durch Drehen des Plättchens (9) um die obere Stellschraube verändert werden. Die untere Stellschraube kann im Schlitz (12) bewegt werden. Je näher der Stift (8) zum Angelpunkt (11) rückt, umso größer wird die Zeigerbewegung auf der Anzeigeskala für jede beliebige Bewegung des Indentors. Position (13) ist eine Stoppschraube zur Einstellung der minimalen Federspannung.

⁵⁷ Preisangabe für das „quadrant type“ Durometer: The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R4: The durometer and elastometer 20th year: an international standard of measurement for hardness and elasticity of rubber, Jamaica, N.Y., Jan.1934, S.1 und Preisangabe für das „round style“ Durometer: The Shore Instrument & Mfg. Co. Inc.: Bulletin R6: A2-Durometer (adopted 1944), Jamaica, N.Y., ca. 1945, S.1

⁵⁸ SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 37

⁵⁹ Ebd., S. 37f.

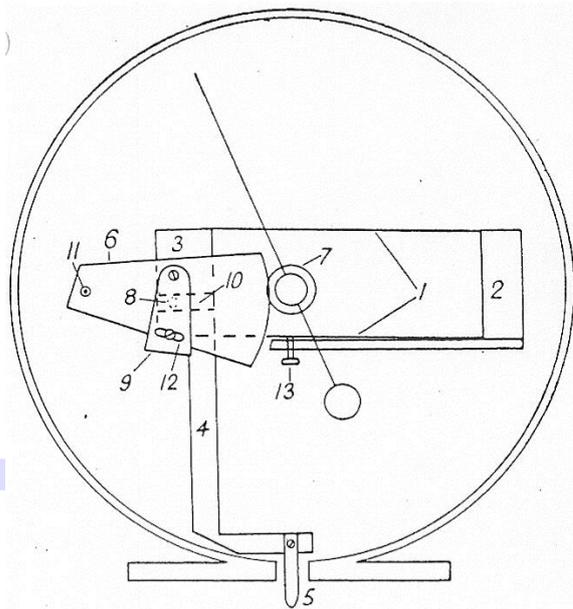


Abb. 21: Schematische Skizze des Innenlebens des runden Shore A Härteprüfers („round style“)⁶⁰

SODEN bringt Unterschiede in den Justiermöglichkeiten des runden Durometers im Vergleich des klassischen „quadrant style“-Durometers, wovon im Folgenden eine näher betrachtet werden soll:

- Die Bewegung des Zeigers auf der Anzeigeskala lässt sich in Bezug auf den Eindringweg regulieren. Aus diesem Grund können u.U. die Anzeigewerte nicht einen definierten Eindringweg repräsentieren wie beim klassischen Prüfgerät „quadrant type“.

7. Vor- und Nachteile, Kritikpunkte

Manche der im Folgenden beschriebenen Vor- und Nachteile gelten für die heutige ShA-Prüfung nicht mehr bzw. nicht mehr in vollem Umfang. V.a. die Präzision des Verfahrens hat sich in den letzten Jahrzehnten stark verbessert. Dennoch helfen uns diese Kritikpunkte die Prüfmethode immer wieder neu wachsam und kritisch zu hinterfragen.

7.1 Allgemeine Vorteile des ShA Härteprüfverfahrens

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 reparieren⁶¹
- 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

⁶⁰ SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S. 37

⁶¹ In der Fachliteratur der 1950er Jahre gibt es exakte Anweisungen und Empfehlungen zum selbstständigen Auseinander- und Zusammenbauen eines klass. „quadrant type“ ShA Durometers, z.B. in: SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S.34f.

- 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.⁶² 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.⁶³
- 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. Diese Eindringtiefe wäre ja dann ein Maß für die Weichheit⁶⁴ (siehe hierzu Kap.4 „Härte vs. Weichheit“).
- 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.⁶⁵

7.2 Kritikpunkte an den Geräten und deren Qualität

LARRICK⁶⁶ 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 viel 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 1kg) – an den Probekörper angedrückt werden.

Im vorhergehenden Kapitel wurden die verschiedenen Justiermöglichkeiten für den „quadrant-style“ Durometer vorgestellt. LARRICK untersuchte nun in aufwendigen Versuchsplänen die teilweise verfälschenden Einflüsse der jeweiligen Justiermöglichkeit auf die Messergebnisse. Es ist davon auszugehen, dass diese Erkenntnisse auch die spätere Normung des Verfahrens (ASTM D676: 1942) und in die Weiterentwicklungen der Shore Instruments & Mfg. Co. 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.⁶⁷ 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 LARRICK⁶⁸ untersuchten, fünf verschiedenen Shore A Durometer erforderten alle eine niedrigere Vorkraft (also < 2oz./57 gr.), um den Wert Null anzuzeigen als für die Geräte angegeben war. Auch zur Anzeige

⁶² SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S.34

⁶³ Ebd., S.34

⁶⁴ Ebd., S.9

⁶⁵ Ebd., S.9

⁶⁶ LARRICK, Lewis: The Standardization of Durometers in: Rubber Age, Sept. 1940, S.389

⁶⁷ Ebd., S.390

⁶⁸ Ebd., S.390

des Wertes 100 wurden unterschiedliche Gewichte benötigt, als die geforderten 29 oz. (822gr.). 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, wie Tab.3 im folgenden Kapitel zeigen wird.

KLUCKOW bemängelt 1942 das Fehlen einer „Eichmöglichkeit, um die erhaltenen Shorehärten durch eine Korrektur jeweils auf einen bestimmten Einheitswert zurückzuführen.“⁶⁹ „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 sogenannten Kontrollfedern aus Stahl ausgeliefert. Solche Kontrollfedern sind auch heute noch erhältlich, doch meist verwendet man inzwischen sogenannte Referenzelastomere. Diese historischen Kontrollfedern waren in der Regel auf 50 ShA (beim Zwick Taschenprüfgerät ZET auf 60 ShA) eingestellt. Jedoch wurden auch hier schon zu große Schwankungen in der damaligen Literatur bemängelt.⁷⁰

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.⁷¹

Außerdem wurden die mit – in der Hand gehaltenen – ShA-Durometern („quadrant type“) ermittelten Messergebnisse kritisiert. „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.“⁷² Durch Einführung von Durometerstativen ist dieses Problem größtenteils gelöst worden.

7.3 Kritikpunkte am Verfahren

Wichtig ist auch 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.“⁷³ 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 kritisiert 1956, dass „die lineare Zuordnung der Härteskalenwerte zu der Verformung der Gerätefeder dem Begriff der Härte nicht gerecht“⁷⁴ wird. Deswegen ist auch immer größte Vorsicht geboten, wenn bei Untersuchungen Änderungen der ShoreA-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

⁶⁹ KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.83

⁷⁰ Vgl. KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.83

⁷¹ Vgl. Ebd., S.84

⁷² 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

⁷³ SPÄTH, Wilhelm: Beiträge zur Technologie der Hochpolymeren – Gummi und Kunststoffe, A.W. Gentner Verlag, Stuttgart, 1956, S.128

⁷⁴ Ebd., S.128

Gummiwerkstoffe, die in der Regel 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 550mN 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-Moduln besteht.

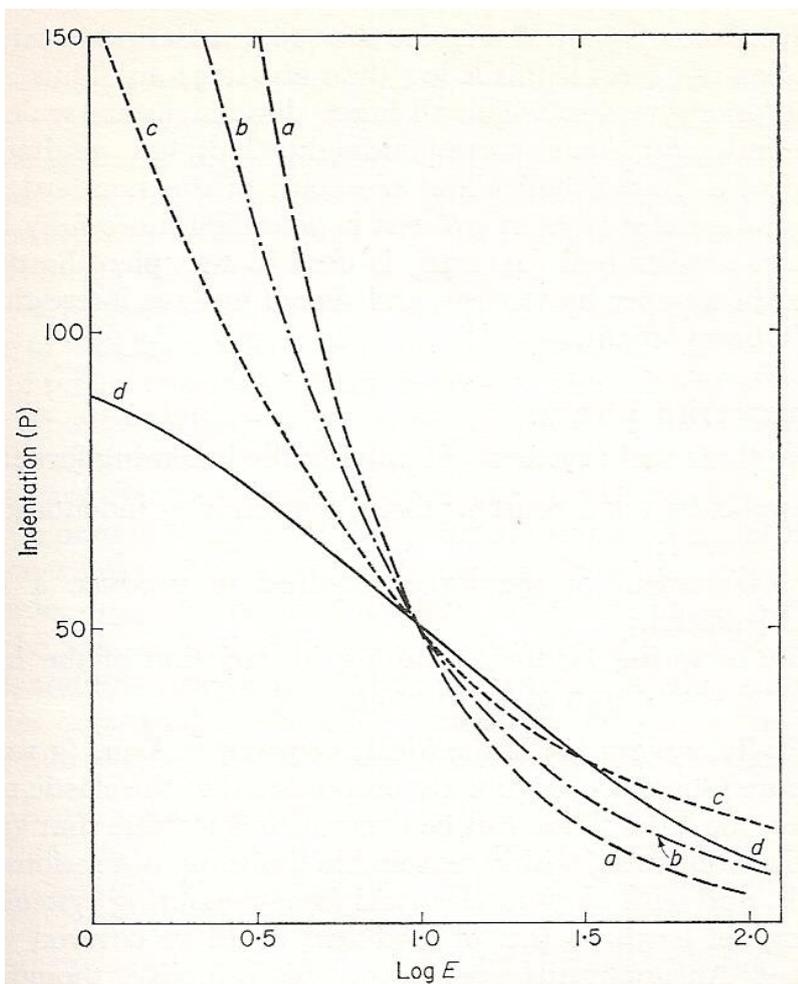


Abb. 22: „Verhältnis zwischen der Eindringtiefe P und dem Logarithmus des Elastizitätsmoduls E für verschiedene Indentorgeometrien:
a = flacher zylindrischer Stempel
b = Kugel
c = Kegel
d = variable Kraft auf den Indentor (Durometer nach Shore)
P und E sind in arbiträren Einheiten.⁷⁵

⁷⁵ SCOTT, J.R.: Physical Testing of Rubbers, Maclaren & Sons Ltd., London und Palmerton Publishing Co.Inc., New York, 1965, S.93

Diese geringe Auflösung in den Randbereichen ist bei anderen Härteprüfgeräten, wie z.B. beim IRHD-Verfahren in ähnlicher Weise zu erkennen:

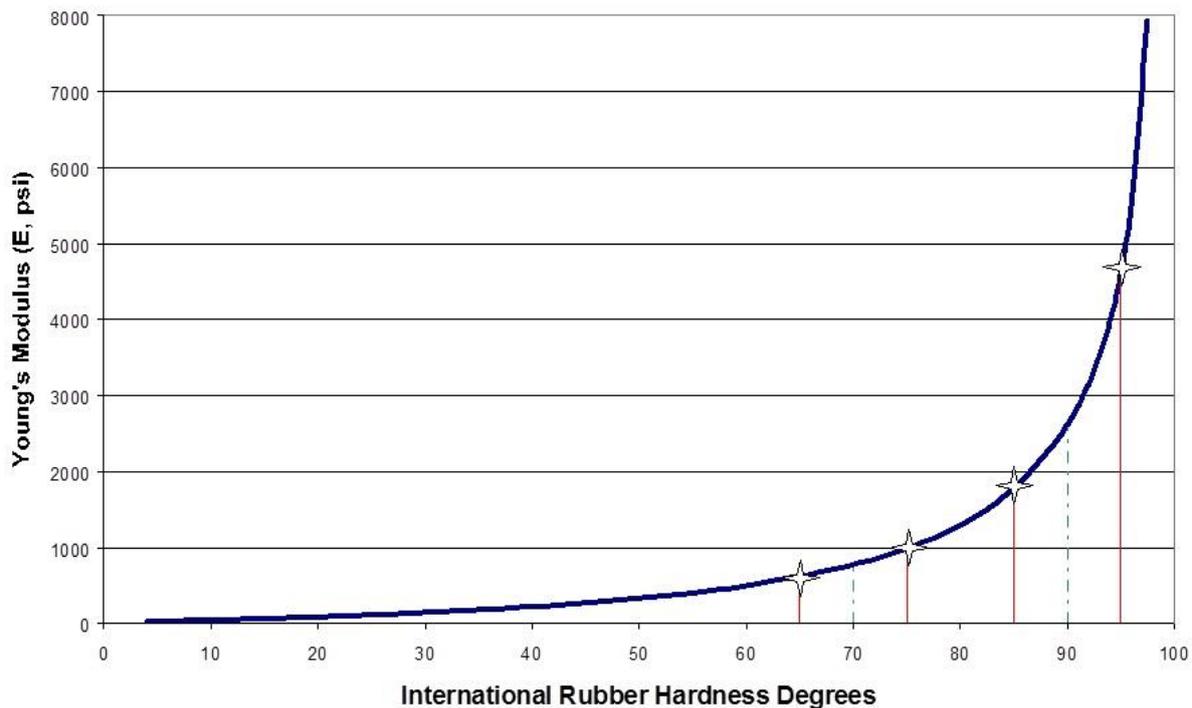


Abb. 23: Darstellung des E-Moduls über zwei Elastomerwerkstoffen mit einer Härte von 70±5 bzw. 90±5 IRHD. Während bei einem Compound von 70 IRHD das ±5 Toleranzfenster nur einem Bereich von ca. 300psi entspricht, so sind es bei 90IRHD fast 3000 psi. Durch die nicht logarithmische Darstellung des Sachverhalts wird der Zusammenhang auch dem Laien schnell ersichtlich. (1.000 psi ≈ 6,9 N/mm²)⁷⁶

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, der in unterschiedlichen Laboren gemessen wurde, zwischen 10 und 15 Härtegraden voneinander abwich.⁷⁷ KIMMICH berichtet 1940 auf einer Tagung des ASTM Committee-D11, dass „das gleiche Stück Gummi, mit 5 verschiedenen Shore-Härteprüfern durch verschiedene Personen gemessen, (...) um mehr als 5 Punkte differieren“⁷⁸ 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 5 Härtegraden eine Änderung von 15 bis 20% in der tatsächlichen Steifheit bedeuten kann.⁷⁹ Jedoch ist KIMMICH bereits davon überzeugt, dass ein Kalibrieren und eine verbesserte Anwendung des Verfahrens die genannten Probleme reduzieren könnte. 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“-Duometern, die immer genauere Normung des Prüfverfahrens (besonders in der DIN 53 505 und ihrer Nachfolgenorm DIN ISO 7619-1) über die

⁷⁶ HERTZ, D.L. und FARINELLA, A.C.: Shore A Durometer and Engineering Properties, vorgetragen bei: The Fall Technical Meeting of the New York Rubber Group, 24.09.1998, digital verfügbar unter: <http://www.sealseastern.com/PDF/Shore-A%20Durometer%20and%20Engineering%20Properties.pdf> (Webseite abgerufen am 01.09.2015)

⁷⁷ JUVE, A.E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S.367

⁷⁸ KIMMICH, E.G.: Gummi unter Druck in: Kautschuk, 18. Jg., 1942, S.26

⁷⁹ Vgl. hierzu auch: SMITH, L.P.: The Language of Rubber, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 1993, S.13

letzten Jahrzehnten, 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 welcher sie den bereits oben beschriebenen 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.“⁸⁰

7.4 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.

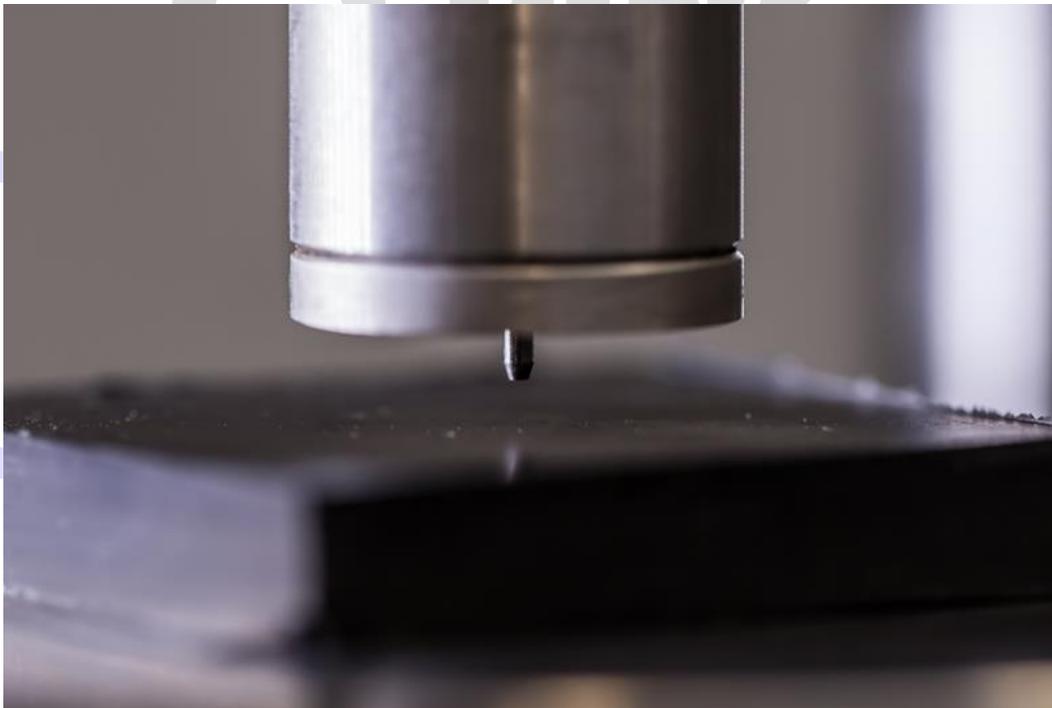


Abb. 24: Seitenansicht des kegelstumpfförmigen Indentors eines modernen Shore A-Prüfgerätes über einer Elastomerplatte (Foto: O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

Schon früh weisen Untersuchungen immer wieder auf die Gefahr der Abnutzung des Kegelstumpfes hin. Diese Gefahr ist auf Grund 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:

⁸⁰ 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

LARRICK⁸¹ 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 Durchmesser toleranzen 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 Prozent des Durchmessers des Kugelindentors betragen sollte und bemängelt, dass manche Härteprüfgeräte mehr als 300% des Kugelindentors als Eindringtiefe besitzen.

KLUCKOW⁸² schlägt 1942 Federtaschenprüfgeräte mit einer Kugel von 5mm 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“⁸³

8. Wichtige historische und aktuelle nationale und internationale Normen zur ShoreA 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.⁸⁴

Die deutsche Normung gab bereits kurz nach der ersten ASTM-Norm ein eigenes Blatt mit Vorgaben zur Bestimmung der ShoreA-Härte an Fertigteilen heraus. So erschien im März 1943 erschien 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 ungeänderte Zusammenfassung bisheriger Normen zum Härteprüfverfahren darstellte.⁸⁵ 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

⁸¹ LARRICK, Lewis: The Standardization of Durometers in: Rubber Age, Sept. 1940, S.391f.

⁸² Vgl. KLUCKOW, P.: Härteprüfung von Weichgummi in: Kautschuk, 18.Jg., 1942, S.86

⁸³ 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

⁸⁴ Vgl. SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S.9

⁸⁵ E-Mail Mitteilung des Kundenservices des Beuth-Verlages vom 28.08.2015

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 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 in der folgenden Tab.2 ersichtlich.

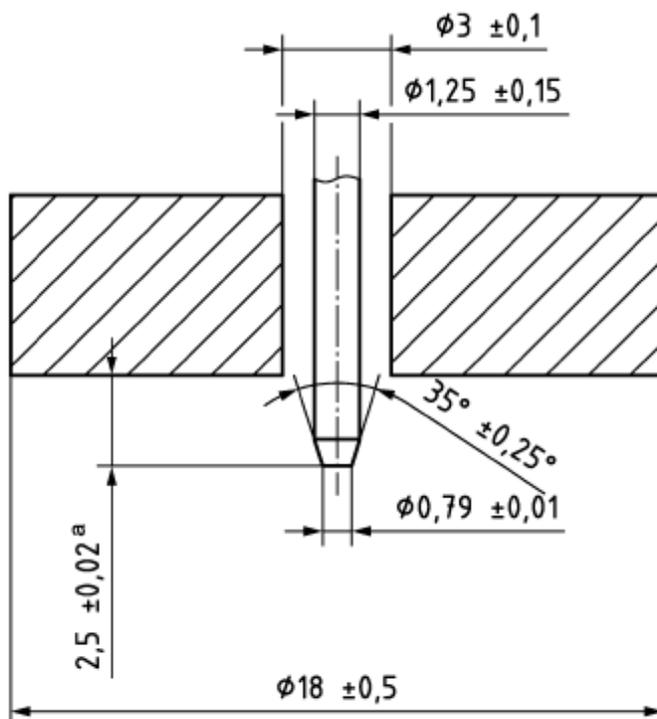


Abb. 25: Schnittzeichnung eines Shore A Indentors in der DIN ISO 7619-1 (Feb. 2012)⁸⁶

⁸⁶ DIN ISO 7619-1 (Ausgabe Februar 2012): Elastomere oder thermoplastische Elastomere – Bestimmung der Eindringhärte – Teil 1: Durometer-Verfahren (Shore-Härte) (ISO 7619-1:2010), S.8, Bild 1 (Abb. wiedergegeben mit Erlaubnis von DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Am DIN Platz, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. www.beuth.de, www.din.de)

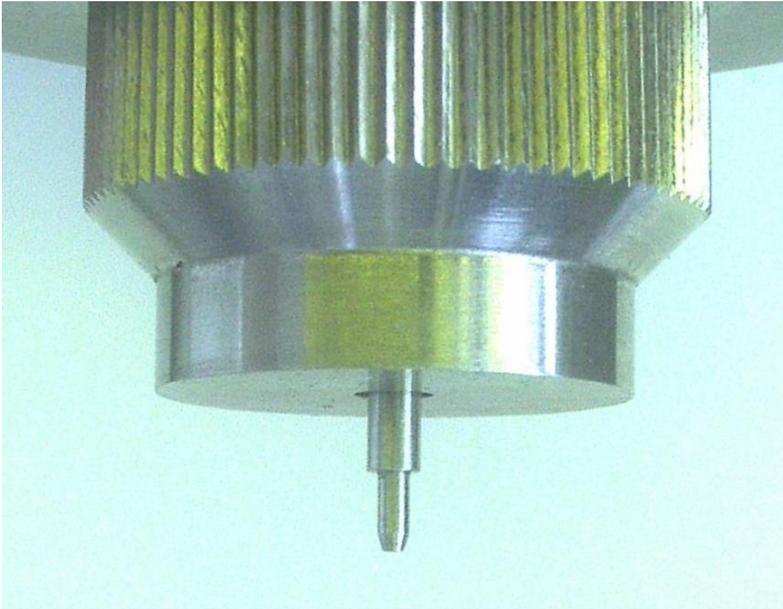


Abb. 26: Indentor und Anpressfläche einer Shore A Prüfeinheit (Vergrößerung fünf-fach) (Foto: G.Reiner, O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

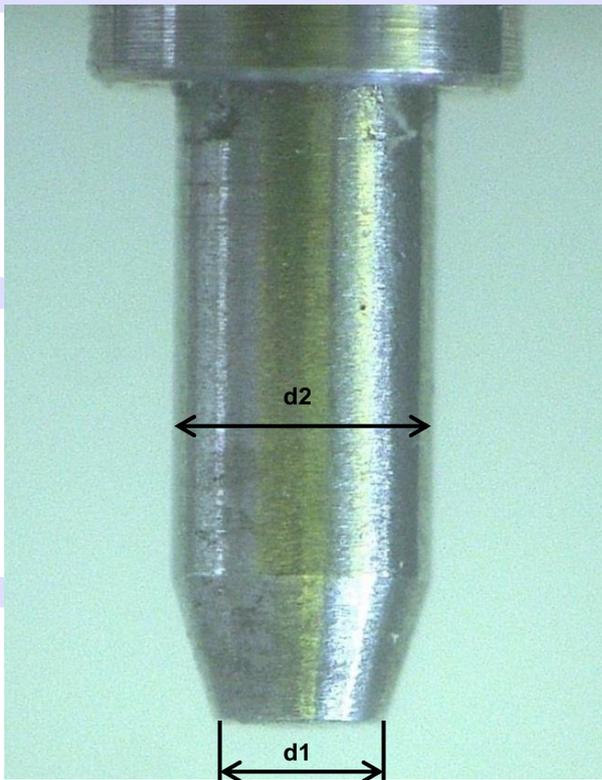


Abb. 27: Shore A - Indentor in fünfzig-facher Vergrößerung:
 $d1 = \varnothing 0,79 \pm 0,01\text{mm}$
 $d2 = \varnothing 1,25 \pm 0,15\text{mm}$
 (Foto: G.Reiner, O-Ring Prüflabor Richter GmbH)

In der Norm definierter Parameter	DIN 53 505 (Ausgabe 09-1953) ⁸⁷ <i>zurückgezogen rein informativ</i>	ISO 7619-1 (Ausgabe 10-2010) ⁸⁸	DIN EN ISO 868 (Ausgabe 10-2003) ⁸⁹	ASTM D 2240 (Ausgabe 2010) ⁹⁰	JIS K 6253-3 (Ausgabe 2012)
Eindringkörper	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,01mm 35° ± 1/4° Ø 1,3 mm ± 0,1mm	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,01 mm 35° ± 0,25° Ø 1,25 mm ± 0,15 mm	Kegelstumpf: Ø 0,79 mm ± 0,03 mm 35° ± 0,25° Ø 1,25 mm ± 0,15 mm	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	56 gr.	550 mN	550 mN	0,55 N	550 mN
Federkraft bei 100 ShA	822 gr.	8050 mN	8050 mN	8,05 N	8050 mN
Federkraft-toleranz	± 4gr.	± 37,5 mN	± 75 mN	± 0,075 N	± 37,5 mN
Messweg (volle Auslenkung)	2,540 mm	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.	3 Sek. für Elastomere, 15 Sek. für TPE	(15 ± 1) Sek. bzw. bei Forderung nach sofortiger Ablesung innerhalb 1 Sek.	(1 ± 0,1) Sek. oder nach individueller Vereinbarung	3 Sek. für Elastomere, 15 Sek. für TPE
Messbereich	0 – 100 (mit Verweis auf die Entwicklung von Spezialgeräten für die ShA-Bereiche 0-30 und 70-100)	Keine genauen Angaben, nur: ShA ist für Elastomere im normalen Härtebereich	Bis 90 ShA (Empfehlung)	20-90 (Empfehlung)	k.A.
Probendicke	6mm (bei dünneren Proben Unterlage aus gleichem bzw. gleichhartem Material gefordert)	Mind. 6 mm (max. 3.fache Schichtung erlaubt)	Mind. 4 mm (Schichtungen erlaubt ohne Begrenzung deren Anzahl)	Mind. 6 mm (Schichtungen erlaubt ohne Begrenzung deren Anzahl)	Mind. 6 mm (max. 3.fache Schichtung erlaubt)
Abstände	Mind. 5mm zwischen einzelnen Messpunkten und vom Rand	Mind 12 mm vom Rand, mind. 6mm von anderen Messpunkten	Mind 12 mm vom Rand, mind. 6mm von anderen Messpunkten	Mind 12 mm vom Rand, mind. 6mm von anderen Messpunkten	Mind 12 mm vom Rand, mind. 6mm von anderen Messpunkten
Anzahl der Messwerte	mind. 3	5	5	5	5

⁸⁷ Deutsche Normen: DIN 53 505, September 1953: Prüfung von Gummi Bestimmung der Shore-Härte A, DK 678.1: 620.178.15

⁸⁸ International Standard ISO7619-1 Second edition 2010-10-01 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of indentation hardness – Part 1: Durometer method (Shore hardness)

⁸⁹ 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)

⁹⁰ ASTM –International: Designation: D2240-05 (Reapproved 2010): Standard Test Method for Rubber Property–Durometer Hardness

In der Norm definierter Parameter	DIN 53 505 (Ausgabe 09-1953) ⁹¹ <i>zurückgezogen rein informativ</i>	ISO 7619-1 (Ausgabe 10-2010) ⁹²	DIN EN ISO 868 (Ausgabe 10-2003) ⁹³	ASTM D 2240 (Ausgabe 2010) ⁹⁴	JIS K 6253-3 (Ausgabe 2012)
Messwertauswertung	Einzelwerte und Mittelwert auf 1 Shore Einheit gerundet/Abweichung der Einzelwerte vom Mittelwert in %	Medianwert	Mittelwert	Mittelwert, alternativ Medianwert	Medianwert
Prüftemperatur	20° C ± 2°	Nach ISO 23529 (meist: 23° C ± 2°)	Normklima nach ISO 291 (meist: 23° C ± 2°)	Nach ASTM D 1349	Nach JIS K 6250: 11.2.1
Einspannvorrichtung für Härteprüfer (Durometerstativ) mit Anpressgewicht	Optional möglich, Anpressen des Prüfgerätes mit der Kraft von 1kg	Durometerstativ wird empfohlen, Anpressen des Gerätes mit 1 +0,1kg und max. 3,2mm/s	Durometerstative wird empfohlen, Anpressen des Gerätes mit 1kg	Es werden für ShA zwei verschiedene Durometerstative spezifiziert. Typ 2 erlaubt ein Anpressen mit einer max. Geschwindigkeit von 3,2mm/s und eine Anpresskraft größer als die Vorkraft der Feder	Durometerstativ wird empfohlen, Anpressen des Gerätes mit 1 +0,1kg und max. 3,2mm/s
Besonderheiten			Prüfresultate können verkürzt wiedergegeben werden. A/15:45 bedeutet 45 Sh A-Härtegrade nach 15 Sekunden Messdauer.	Alle in Klammern in dieser Norm haben rein informativen Charakter. (vgl. Tab.1 Spalte zur ASTM D2240) Signaleinrichtung für Messdauer wird als Option angegeben. (NB: Dies ist bei modernen ShA Härteprüfern Stand der Technik.)	

Tab. 2: Vergleichende Betrachtung wichtiger historischer und aktuell gültiger nationaler und internationaler Normforderungen für das Prüfverfahren Shore A: Bedeutende Unterschiede zwischen den Normen sind rot markiert.

RICHTER

⁹¹ Deutsche Normen: DIN 53 505, September 1953: Prüfung von Gummi Bestimmung der Shore-Härte A, DK 678.1: 620.178.15

⁹² International Standard ISO7619-1 Second edition 2010-10-01 Rubber, vulcanized or thermoplastic – Determination of indentation hardness – Part 1: Durometer method (Shore hardness)

⁹³ 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)

⁹⁴ ASTM –International: Designation: D2240-05 (Reapproved 2010): Standard Test Method for Rubber Property–Durometer Hardness

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. HERRMANN⁹⁵ berichtet von Untersuchungen, welche die unterschiedlichen Messunsicherheiten ermittelten, wenn die Toleranzen der jeweiligen Normen eingehalten wurden:

Metrolog. nach	Anforderungen	Erzielbare Messunsicherheit für das Messverfahren ShA
DIN ISO 7619-1		1,1
ISO 868		4,2

Tab. 3: Erzielbare Messunsicherheiten bei Einhaltung der Toleranzen für Prüfgeräte nach den beiden verschiedenen ISO-Normen zur ShA-Prüfung (Unsicherheit der Härteprüfgeräte (k = 2))

9. Das Problem der Vergleichbarkeit mit anderen Prüfmethode

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 Verfahrensweg auf.⁹⁶

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 Kommission 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 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.⁹⁷

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. Prüfmethode mit Belastungsgewicht haben seit jeher ein Ablesen nach längerer Belastungszeit des Indentors (30 bis 60 Sekunden).

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: 3Sek. (DIN53505 vom Sept. 1953) bzw. DVM-

⁹⁵ HERRMANN, Konrad: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen – Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren, Expert-Verlag, Renningen, 2014, S.155

⁹⁶ JUVE, A.E.: Recent Developments in Hardness Testing in: American Chemical Society (Hrsg.): Rubber chemistry and technology, Lancaster, Pa, Heft 2, 1957, S.370

⁹⁷ Nach ebd., S.370f.

Weichheit: 10 Sek. (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 Härteprüfmethode ShA und DVM-Weichheit (siehe Abb.28). BREUERS und LUTTROPP bemerken aber bereits 1954 bei der Vorstellung einer ShA-Härte- und DVM-Weichheits-Bezugskurve: „Es sei ausdrücklich betont, dass es sich hierbei um eine Bezugskurve handelt, von der einzelne Qualitäten beträchtlich abweichen können.“⁹⁸

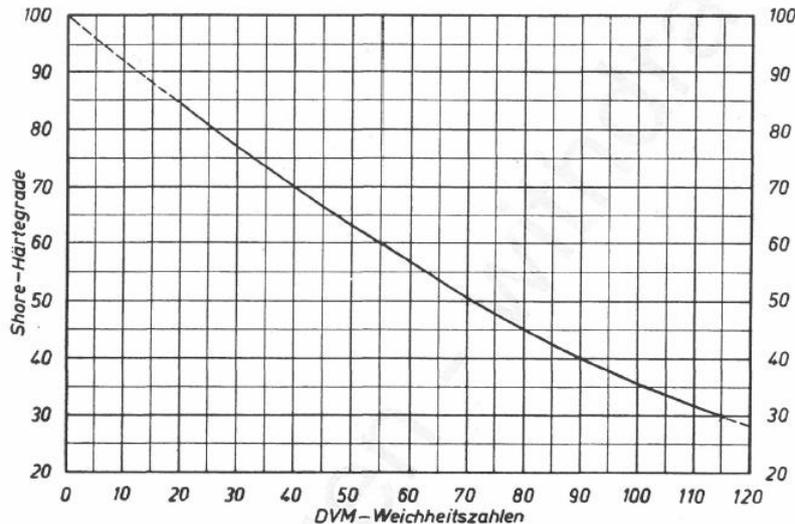


Abb. 28: Historische Bezugskurve zur Umrechnung von ShA Härtegraden in DVM Weichheitszahlen aus der ersten Deutschen Norm zum Shore A Prüfverfahren, der DIN 53 503, Blatt 2 vom März 1943⁹⁹

Ein interessantes Beispiel aus der Prüfpraxis der 1950er Jahre ist ein ShA-Taschengerät der Fa. Zwick GmbH&Co. KG (Abb. 29). Es verwendete die in der DIN 53503, Blatt 2 (März 1943) vorgestellte Bezugskurve zwischen ShA-Härte und DVM-Weichheit, um daraus eine Anzeigeskala zu schaffen, auf der beide Werte abgelesen werden konnten.



Abb. 29: Schön früh gab es Versuche ShA-Härtegrade in andere Härteeinheiten umzurechnen. Das links dargestellte historische Durometer (klass. „quadrant type“) der Fa. Zwick ist ein interessantes Beispiel einer Doppelskala mit ShA-Härte (rote Skala) und DVM-Weichheitszahl (schwarze Skala).¹⁰⁰ (Foto: Zwick GmbH & Co. KG, Ulm)

⁹⁸ BREUERS, W. u. LUTTROPP, H.: Buna – Herstellung Prüfung Eigenschaften, VEB Verlag Technik, Berlin, 1954, S.228

⁹⁹ Deutsche Normen: DIN 53 503, Blatt2: Prüfung von Gummi, Vorläufige Richtlinien für die Härteprüfung an Fertigteilen, März 1943, DK 678.1 (Abb. wiedergegeben mit Erlaubnis von DIN Deutsches Institut für Normung e. V. Maßgebend für das Anwenden der DIN-Norm ist deren Fassung mit dem neuesten Ausgabedatum, die bei der Beuth Verlag GmbH, Am DIN Platz, Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin, erhältlich ist. www.beuth.de, www.din.de)

¹⁰⁰ SODEN schreibt bereits 1952 von der Existenz solche Zwick-Prüfgeräte mit Doppelskala: SODEN, A.L.: A Practical Manual of Rubber Hardness Testing, MacLaren & Sons Ltd., London, 1952, S.43

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 Sekunden, während zur Ermittlung der IRHD-Kennwerte das Ergebnis nach 30 Sekunden 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 Elastormischungen täglich zum Einsatz. Es gibt eine nur noch schwer zu überblickende Anzahl verschiedener Polymertypen, Mischungsbestandteile und Vernetzungssysteme, so dass Vorhersagen, ob die verschiedenen Härtewerte vergleichbar sein werden praktisch unmöglich sind.

Ein kleiner „Trost“ für den Praktiker ist hier das üblicherweise große Toleranzfenster von Härtevorgaben an Elastormischungen und -produkten. Die meisten Fertigteile sind in einem Fenster von ± 5 Härtegraden spezifiziert, jedoch liegen die Mischungen typischerweise in einem Toleranzfeld von max. ± 3 Härtegraden. Dies ermöglicht es häufig, dass trotz geometrie- und verarbeitungsbedingter Einflüsse am Fertigteil das Zielfenster von ± 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 kann bspw. im aktuellen Standardwerk zur Elastomerprüfung von Roger BROWN, „Physical Testing of Rubber“, nachgeschlagen werden.¹⁰¹

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)¹⁰², die mit Hilfe der Elastizitätstheorie den Eindringvorgang bei der ShA-Prüfung analysiert haben. Sie verglichen dann die theoretischen Beziehungen zwischen ShA- und IRHD-Härte und die entsprechenden Elastizitätsmoduln. Gegen Ende ihres Artikels geben sie 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 GIACOMIN¹⁰³ eine dimensionslose Härtemessung („dimensionless durometry“). Durch Ihre Forschungen soll es möglich sein den Elastizitätsmodul

¹⁰¹ BROWN, Roger: Physical Testing of Rubber, Springer Verlag, New York, ⁴2006 S.131

¹⁰² 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

¹⁰³ MIX, A.W. und GIACOMIN, A.J.: Dimensionless Durometry in: Polymer Plastics Technology and Engineering, 50, 2011, S.288-296

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.“¹⁰⁴

Der an der Theorie tiefer interessierte Leser sei auf diese interessanten Quellen verwiesen, deren Anwendung aber für den industriellen Praktiker wohl zu komplex und aufwändig sein dürfte.

10. 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:

10.1 Auswahl einer geeigneten Härteprüfmethode

Auf Grund 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. 6mm 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 Fertigteilverprüfungen 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.“¹⁰⁵ Eine nicht normgerechte Prüfung muss – wie bereits oben angedeutet – 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, bspw. 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.¹⁰⁶

¹⁰⁴ MIX, A.W. und GIACOMIN, A.J.: Dimensionless Durometry in: Polymer Plastics Technology and Engineering, 50, 2011, S.295

¹⁰⁵ 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)

¹⁰⁶ 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

Ferner sind noch folgende Punkte zu bedenken:

- „Art der Messaufgabe; dabei ist zu unterscheiden zwischen Routinemessungen (...) und Werkstoffuntersuchungen [Bei zahlreichen Reihenuntersuchungen wird man sicherlich – wo möglich – das ShA-Prüfverfahren mit 3 Sekunden dem IRHD-Verfahren mit 30 Sekunden Prüfzeit vorziehen.] (...)
- Zulässige Beschädigung der Probe
- Zulässige Messunsicherheit
- Prüfkosten
- Verfügbare Prüfgeräte“¹⁰⁷

10.2 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 v.a. „bereits geringfügig hohl liegende Proben zu erheblichen Messfehlern“¹⁰⁸ 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° und eine relative Luftfeuchte von (50±10)%. Laut HERRMANN ist „eine Konditionierdauer von 16h für viele Arten von Gummi und Kunststoffen ausreichend.“¹⁰⁹

Bei bestimmten Kunststoffen, wie bspw. 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.¹¹⁰ Für die Härte ist dieser Einfluss geringer und geht in der zufälligen Messunsicherheit unter.

In der Regel wird als Härte von O-Ringen die Mikrohärtigkeit (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 6mm 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 3mm 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.¹¹¹ Letztere Empfehlung der Schichtung von O-Ringen kommt aber in der Prüfpraxis unseres Labors nicht zur Anwendung, da nach der O-Ring Norm ISO 3601-5 O-Ringe generell nach ISO 48M gemessen werden.

¹⁰⁷ HERRMANN, Konrad: Härteprüfung an Metallen und Kunststoffen – Grundlagen und Überblick zu modernen Verfahren, Expert-Verlag, Renningen, 2014, S.148

¹⁰⁸ Ebd., S.149

¹⁰⁹ Ebd., S.150

¹¹⁰ 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)

¹¹¹ ASTM – International: Designation: D1414 – 94 (Reapproved 2008): Standard Test Methods for Rubber O-Rings, S.5, Note 6

10.3 Aussagen der Prüfergebnisse

Die folgenden Ausführungen wurden bereits vom Autor dieses Artikels zusammen mit Bernhard Richter im Internet (www.o-ring-prueflabor.de) veröffentlicht, mögen aber an dieser Stelle der Vollständigkeit halber wiedergegeben werden:

- „Die Härte gibt einen Anhaltswert für das Verformungsverhalten des Werkstoffes. Ein harter Werkstoff (90 Shore A / IRHD-M) hat einen höheren Widerstand gegen Spaltextrusion bei hohen Drücken (> 70 bar), darüber hinaus bietet er einen höheren Schutz gegen Montagebeschädigungen. Ein weicher Werkstoff (50 Shore A / IRHD-M oder weniger) verformt sich leichter und kann Oberflächenfehler, z.B einen Formtrenngrat in einem Kunststoff - Spritzteil, besser abdichten. Daher bestimmt die Wahl der Nennhärte in einem gewissen Rahmen die Funktionsfähigkeit einer Dichtung.
- „Oft wird die Härte fälschlicherweise als Maß für die Steifheit eines Werkstoffes herangezogen. Zwar sagen sowohl die Härte als auch das Zug-Dehnungsdiagramm (siehe Zugversuch) etwas aus über die Steifheit eines Elastomers, aber es handelt sich dabei um grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Verformung. Bei Zugdehnungsmessungen geht es um große Deformationen der ganzen Masse, während bei der Härteprüfung nur kleine Deformationen stattfinden. Auch wenn Härte und Steifigkeit (mittels Zugdehnungsdiagramm dargestellt) eine bessere Korrelation hätten, so würde die allgemein vorgegebene Schwankungsbreite von +/-5 Härtepunkten bei der Shore A-Messung bereits einer Streubreite von ca. 15- 20% in der Steifheit entsprechen, bei harten Werkstoffen (>80 Shore A) sogar noch deutlich mehr. Darin wird ersichtlich, dass die Festlegung der Härte allein bei der Auslegung von Elastomerbauteilen, bei denen eine definierte Steifigkeit von Bedeutung ist, unzureichend ist.“¹¹² So liefern zum Beispiel die Härtewerte an O-Ringen nur grobe Hinweise auf den Widerstand gegen Spaltextrusion, weitere wertvolle Hinweise für die Resistenz kann man über Spannungswerte und Festigkeitswerte aus einem Zugversuch ableiten.
- Die Härte kann nur dann als Materialkennwert betrachtet werden, wenn normgerecht geprüft wird, das heißt an Prüfplatten.
- Als Fertigteilprüfung bietet die Härte eine einfache Möglichkeit der Rezepturidentifikation, wenn diese zusammen mit anderen Prüfungen (z.B. Dichte) bewertet wird. (...)
- Die Härteprüfung ist bezüglich der Messmittelfähigkeit deutlich schlechter als andere Messverfahren, daher stellt eine Abweichungen vom Sollwert nicht zwangsläufig eine wesentliche Qualitätsminderung dar. Dies kann nur im Zusammenhang mit anderen Prüfungen sicher beurteilt werden (z.B. durch den Druckverformungsrest oder den Zugverformungsrest) Genaue Angaben finden sich hierzu in den Anhängen der jeweiligen Normen.“¹¹³ Ebenso gibt es Untersuchungen zur Reproduzierbarkeit der Härteprüfung in der Fachliteratur.¹¹⁴ Als allgemeine Regel für den Anwender gilt auf Grund der schlechten Messmittelfähigkeit, dass Toleranzfenster kleiner als ± 5 Härtegraden nicht in der Bestellung bzw. Zeichnung vorgeschrieben werden sollten.
- Ob ein Werkstoff genügend ausvulkanisiert ist, zeigt die Härtemessung nur sehr ungenau an. Dafür gibt es heute effektivere Prüfmethoden, wie z.B. den Druckverformungsrest. Dass Härtemessungen nach wie vor fälschlicherweise zur Bestimmung des Vulkanisationsgrades herangezogen werden, hat wohl historische Ursachen. So wurde der DVM-Weichheitsprüfer zur Bewertung der unterschiedlichen Vulkanisationsgrade aus Stufenheizungen von Elastomerbauteilen herangezogen. Es wurde die Erholung des Probekörpers nach Wegnahme der Prüflast bspw. in 5 Sekundenschritten notiert. Dadurch erhielt man eine Aussage über die plastischen und elastischen Anteile im Werkstoff und

¹¹² Freie Übersetzung des englischen Originals: SMITH, L.P: The Language of Rubber, Oxford, 1993, S.12

¹¹³ BLOBNER, U. und RICHTER, B.: Fachwissen Prüfverfahren für Elastomere: Härteprüfung, Internetveröffentlichung, 05/2014, S.3f. (http://www.o-ring-prueflabor.de/files/fachwissen_h_rtepr_fung_05_2014_1.pdf)

¹¹⁴ z.B. BROWN, R.P. und SOEKARNEIN, A.: An Investigation of the Reproducibility of Rubber Hardness Tests in: Polymer Testing, Elsevier Science Publishers Ltd., 10.Jg., 1991, S.117-137

indirekt über den Vernetzungsgrad. Dies war ein allerdings ein aufwändigeres Verfahren, das Fachwissen und viel Erfahrung erforderte.¹¹⁵

- Oft wird die Härte auch an vorgealterten Proben gemessen, z.B. nach Heißluftkontakt. Da die Heißluftalterung zuerst und auch am stärksten in den äußeren Schichten eines Elastomers in Erscheinung tritt, ist die Messung der Härte ein gutes Mittel um kleine Änderungen in den Randschichten aufzuzeigen. Allerdings wird hier die IRHD,M – Prüfmethode auf Grund der geringeren Eindringtiefe und höheren Präzision der ShA – Prüfmethode vorzuziehen sein.
- 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.¹¹⁶ Folgendes Diagramm (Abb.30) veranschaulicht für den Praktiker in einfacher Form die Zusammenhänge:

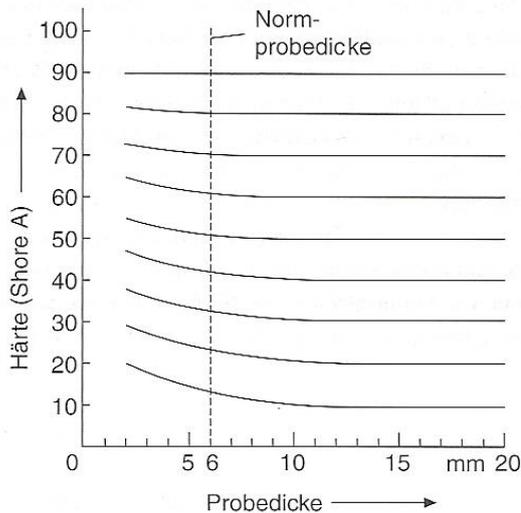


Abb. 30: Einfluss der Probendicke auf die Ergebnisse der ShA-Härteprüfung, dargestellt an neun Qualitäten mit unterschiedlichen Härteniveaus¹¹⁷

- Beim Vergleich von ShA-Prüfergebnisse muss auch die tatsächlich angewandte Prüfzeit, also Eindringdauer des Indentors bis zum Ablesen des Messwertes, berücksichtigt werden. In der Regel beträgt diese nach der ISO 7619-1 nur 3 Sekunden, während die ISO 868 die fünffache Zeit (15 Sekunden) fordert. Das folgende Diagramm (Abb.31) macht die Zusammenhänge deutlich:

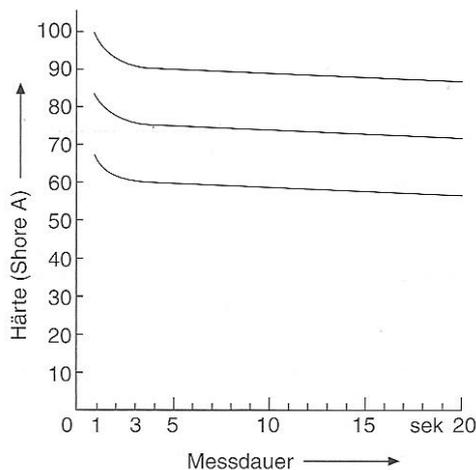


Abb. 31: Einfluss der Messdauer auf die Ergebnisse der ShA-Härteprüfung, dargestellt an drei Qualitäten mit unerschiedlichen Härteniveaus¹¹⁸

¹¹⁵ Vgl. KLUCKOW, Paul: Die Praxis des Gummichemikers, Berliner Union, Stuttgart, 1954, S.252f.

¹¹⁶ 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

¹¹⁷ NAGDI, K.: Gummi-Werkstoff Ein Ratgeber für Anwender, Dr. Gupta Verlag, Ratingen, 2002, S.286

¹¹⁸ Ebd., S.286

- 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“ oder „Federrate“ für das spätere Fertigteil ist mit dieser Prüfung kaum möglich.“¹¹⁹
- Unterschiede in den Härtewerten können auch in seltenen Fällen in der Qualität der Prüfplatten liegen. So kann bspw. der im Labor hergestellte Compound schlecht gemischt sein. Bei ungleich verteiltem 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.¹²⁰
- Ein Sondergebiet der Härteprüfung ist die Untersuchung des Werkstoffverhaltens bei tiefen Temperaturen. Im Bereich der Temperatur des Glasübergangs verhärteten Elastomere relativ schnell und gehen in einen glasartigen Zustand über, so dass es zu einem signifikanten Anstieg der Härte kommt. ECKER forschte bereits in den 1950er Jahren an Tieftemperatur ShA Messungen. Er beschreibt den Eindringvorgang des Indentors als eine Überlagerung von statischen Zug- und Druckverformungen. „Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn die Temperaturabhängigkeit der Shore-Härte symbat geht mit der des statischen oder auch dynamischen E-Moduls. Allerdings darf man dabei nicht übersehen, daß bei dieser Bestimmung besonders stark die Oberflächenspannung in die Messung mit eingeht. Die Differenzierung der einzelnen Qualitäten ist nicht so ausgeprägt wie bei den E-Modulbestimmungen [in der Kälte] (...).“¹²¹ Dieses Sondergebiet der Härteprüfung ist aktuell in der ISO 3387: Rubber- Determination of crystallization effects by hardness measurements (Ausgabe 07-2012) genormt. Allerdings gewinnt man heute über dynamisch mechanische Analysen (DMA) weitaus mehr Informationen über das physikalische Verhalten von Elastomeren in der Kälte, weshalb die Härtemessung in der Kälte deutlich an Bedeutung verloren hat.

11. Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Bernhard Richter, Geschäftsführer des O-Ring Prüflabors Richter, der die sehr umfangreichen Recherchen ermöglicht und tatkräftig unterstützt hat. Ihm und meinem Kollegen Bernd Sprenger danke ich für die kritische Durchsicht des Manuskripts.

Von großem Wert waren die zahlreichen Hinweise von Alan Garrett, ehemals Commercial Director of Hampden Test Equipment UK, zur Geschichte der Shore Instruments & Mfg. Co. Unser Dank gilt auch den zahlreichen Verlagen, Instituten und Unternehmen, die uns eine Abdruckerlaubnis erteilten oder weiterführende Informationen bzw. Fotomaterial zur Verfügung stellten.

¹¹⁹ Bußmann, M.: Elastormischungen spezifizieren und prüfen in: KGK Kautschuk Gummi Kunststoffe 52. Jahrgang, Nr. 11, 1999, S. 744

¹²⁰ Vgl. KLUCKOW, Paul: Die Praxis des Gummichemikers, Berliner Union, Stuttgart, 1954, S.293

¹²¹ ECKER, R.: Statische und dynamische Verformungseigenschaften von Kautschuk-Vulkanisaten und anderen Hochpolymeren, Vortragstagung Deutsche Kautschuk-Gesellschaft, München, 1954, in: SPÄTH, W.: Bemerkungen zur Shore-Härte in: Gummi und Asbest, 8.Jg., 1955, S.420