

DIN CEN ISO/TR 21555

ICS 87.040

Ersatz für
DIN SPEC 91064:2015-02

**Beschichtungsstoffe –
Übersicht über Prüfverfahren zur Härte und Verschleißfestigkeit von
Beschichtungen (ISO/TR 21555:2019);
Deutsche Fassung CEN ISO/TR 21555:2020**

Paints and varnishes –
Overview of test methods on hardness and wear resistance of coatings (ISO/TR 21555:2019);
German version CEN ISO/TR 21555:2020

Gesamtumfang 85 Seiten

DIN-Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB)

Nationales Vorwort

Der Text von ISO/TR 21555:2019 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 35 „Paints and varnishes“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als CEN ISO/TR 21555:2020 durch das Technische Komitee CEN/TC 139 „Lacke und Anstrichstoffe“ übernommen, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitskreis NA 002-00-07-14 AK „Haftfestigkeit und Härte“ im DIN-Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB).

Technische Reporte sind nicht Bestandteil des Deutschen Normenwerks.

Erfahrungen mit diesem Technischen Report sind erbeten:

- vorzugsweise als Datei per E-Mail an nab@din.de in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an DIN Deutsches Institut für Normung e. V., Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB), Burggrafenstraße 6, 10787 Berlin.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 105-X12	siehe	DIN EN ISO 105-X12
ISO 1518-1	siehe	DIN EN ISO 1518-1
ISO 1518-2	siehe	DIN EN ISO 1518-2
ISO 1522	siehe	DIN EN ISO 1522
ISO 2808	siehe	DIN EN ISO 2808
ISO 2813	siehe	DIN EN ISO 2813
ISO 2815	siehe	DIN EN ISO 2815
ISO 4545-1	siehe	DIN EN ISO 4545-1
ISO 4618	siehe	DIN EN ISO 4618
ISO 5725-1:1994	siehe	DIN ISO 5725-1:1997-11
ISO 7784-1	siehe	DIN EN ISO 7783-1
ISO 7784-2	siehe	DIN EN ISO 7783-2
ISO 7784-3:2016	siehe	DIN EN ISO 7783-3:2016-12
ISO 11664 (all parts)	siehe	DIN EN ISO 11664 (alle Teile)
ISO 11998	siehe	DIN EN ISO 11998
ISO 12137	siehe	DIN EN ISO 12137
ISO 13076	siehe	DIN EN ISO 13076
ISO 13803	siehe	DIN EN ISO 13803
ISO 14577-1	siehe	DIN EN ISO 14577-1
ISO 14577-4	siehe	DIN EN ISO 14577-4

ISO 15184	siehe	DIN EN ISO 15184
ISO 20566	siehe	DIN EN ISO 20566
ISO 21546	siehe	DIN EN ISO 21546
ISO 22557:2019	siehe	DIN EN ISO 22557:2021-02

Änderungen

Gegenüber DIN SPEC 91064:2015-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) der Text wurde redaktionell überarbeitet und die normativen Verweisungen wurden aktualisiert;
- b) der Status wurde durch Übernahme des Europäischen Fachberichtes CEN ISO/TR 21555 geändert;
- c) technische Änderungen wurden nicht vorgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN SPEC 91064: 2015-02

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 105-X12, *Textilien — Farbechtheitsprüfungen — Teil X12: Farbechtheit gegen Reiben*

DIN EN ISO 1518-1, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Kratzbeständigkeit — Teil 1: Verfahren mit konstanter Last*

DIN EN ISO 1518-2, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Kratzbeständigkeit — Teil 2: Verfahren mit kontinuierlich ansteigender Last*

DIN EN ISO 1522, *Beschichtungsstoffe — Pendeldämpfungsprüfung*

DIN EN ISO 2808, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Schichtdicke*

DIN EN ISO 2813, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Glanzwertes unter 20°, 60° und 85°*

DIN EN ISO 2815, *Beschichtungsstoffe — Eindruckversuch nach Buchholz*

DIN EN ISO 4545-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Knoop — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 4618, *Beschichtungsstoffe — Begriffe*

DIN EN ISO 7784-1, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Abriebwiderstandes — Teil 1: Verfahren mit Schleifpapierbelegten Rädern und rotierender Probe*

DIN EN ISO 7784-2, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Abriebwiderstandes — Teil 2: Verfahren mit Reibrädern aus Gummi und rotierender Probe*

DIN EN ISO 7784-3:2016-12, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Abriebwiderstandes — Teil 3: Verfahren mit Schleifpapierbelegtem Rad und sich hin- und herbewegender Probe (ISO 7784-3:2016); Deutsche Fassung EN ISO 7784-3:2016*

DIN EN ISO 11664 (alle Teile), *Farbmetrik*

DIN EN ISO 11998, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Nassabriebbeständigkeit und der Reinigungsfähigkeit von Beschichtungen*

DIN EN ISO 12137, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Beständigkeit gegen Verkratzen*

DIN EN ISO 13076, *Beschichtungsstoffe — Beleuchtung und Durchführung für visuelle Abmusterungen von Beschichtungen*

DIN EN ISO 13803, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Schleiers von Beschichtungen bei 20°*

DIN EN ISO 14577-1, *Metallische Werkstoffe — Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 14577-4, *Metallische Werkstoffe — Instrumentierte Eindringprüfung zur Bestimmung der Härte und anderer Werkstoffparameter — Teil 4: Prüfverfahren für metallische und nichtmetallische Schichten*

DIN EN ISO 15184, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Härte von Beschichtungen durch Testen mit Bleistiften*

DIN EN ISO 20566, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung der Kratzbeständigkeit von Beschichtungen mit einer Labor-Automobilwaschanlage*

DIN EN ISO 21546, *Beschichtungsstoffe — Bestimmung des Widerstandes gegen Verkratzen mit einem Linearhubgerät (Crockmeter)*

DIN EN ISO 22557:2021-02, *Beschichtungsstoffe — Kratzprüfung mit einem Härteprüfstab (ISO 22557:2019); Deutsche Fassung EN ISO 22557:2020*

DIN ISO 5725-1:1997-11, *Genauigkeit (Richtigkeit und Präzision) von Messverfahren und Messergebnissen — Teil 1: Allgemeine Grundlagen und Begriffe (ISO 5725-1:1994)*

Deutsche Fassung

**Beschichtungsstoffe —
Übersicht über Prüfverfahren zur Härte
und Verschleißfestigkeit von Beschichtungen
(ISO/TR 21555:2019)**

Paints and varnishes —
Overview of test methods on hardness
and wear resistance of coatings
(ISO/TR 21555:2019)

Dieser Technische Bericht wurde vom CEN am 4. Oktober 2020 angenommen. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 139 erstellt.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Härteprüfungen	9
4.1 Eindringprüfungen mit ruhendem Eindringkörper	9
4.1.1 Eindringprüfung mit Buchholz-Eindringkörper	9
4.1.2 Eindringprüfung mit Knoop-Eindringkörper	11
4.1.3 Eindringprüfung mit Pfund-Eindringkörper	13
4.1.4 Eindringprüfung mit Vickers-Eindringkörper	15
4.2 Eindringprüfungen mit oszillierendem Eindringkörper	17
4.2.1 Schwingungsdämpfungsprüfung mit König-Pendel	17
4.2.2 Schwingungsdämpfungsprüfung mit Persoz-Pendel	18
4.2.3 Schwingungsdämpfungsprüfung mit Schaukelrad	20
5 Verschleißfestigkeitsprüfungen	21
5.1 Einzelkratzprüfungen	21
5.1.1 Kratzprüfung mit Bleistiften	21
5.1.2 Kratzprüfung mit Kugelstichel 1	24
5.1.3 Kratzprüfung mit Kugelstichel 2	27
5.1.4 Kratzprüfung mit Kugelstichel 3	29
5.1.5 Kratzprüfung mit Kugelstichel 4	32
5.1.6 Kratzprüfung mit Kugelstichel 5	35
5.1.7 Kratzprüfung mit Kugelstichel 6	38
5.1.8 Kratzprüfung mit scheibenförmigem Stichel	41
5.1.9 Kratzprüfung mit U-förmigem Stichel	44
5.2 Multikratzprüfungen	46
5.2.1 Multikratzprüfung mit feststehendem Reibrad	46
5.2.2 Multikratzprüfung mit Reibzapfen	48
5.2.3 Multikratzprüfung mit rotierenden Reibrädern	50
5.2.4 Multikratzprüfung mit rotierender Bürste	51
5.3 Trockenabriebprüfungen	53
5.3.1 Abriebprüfung mit feststehendem Reibrad	53
5.3.2 Abriebprüfung mit rotierenden Reibrädern 1	55
5.3.3 Abriebprüfung mit rotierenden Reibrädern 2	56
5.3.4 Abriebprüfung mit rotierenden Reibrädern 3	58
5.3.5 Abriebprüfung mit rotierenden Reibrädern 4	59
5.4 Nassabriebprüfungen	61
5.4.1 Scheuerprüfung mit Bürste	61
5.4.2 Scheuerprüfung mit Schleifvlies 1	64
5.4.3 Scheuerprüfung mit Schleifvlies 2	66
5.5 Strahlprüfungen	68
5.5.1 Strahlprüfung mit Korund-Granulat	68
5.5.2 Strahlprüfung mit Quarzsand	70

Anhang A (informativ) Übersichtstabellen über Prüfverfahren zur Härte und Verschleißfestigkeit
von Beschichtungen..... 73

Literaturhinweise 79

Europäisches Vorwort

Der Text von ISO/TR 21555:2019 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 35 „Paints and varnishes“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als CEN ISO/TR 21555:2020 durch das Technische Komitee CEN/TC 139 „Lacke und Anstrichstoffe“ übernommen, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/TR 21555:2019 wurde von CEN als CEN ISO/TR 21555:2020 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 35, *Paints and varnishes*, Unterkomitee SC 9, *General test methods for paints and varnishes* erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Die Bestimmung der Härte und der Verschleißfestigkeit ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Beurteilen der Widerstandsfähigkeit von Beschichtungen gegen mechanische Beanspruchung.

Die in diesem Dokument wiedergegebenen Durchführungen und Zahlenangaben geben einen groben Überblick; Details finden sich in den maßgeblichen Normen.

Bei allen Verfahren zur Beurteilung der Härte und der Verschleißfestigkeit haben die viskoelastischen Eigenschaften einen großen Einfluss auf das Prüfergebnis. Daher wird die Zeit zwischen Prüfung und Beurteilung vereinbart und eingehalten.

Mechanische Eigenschaften von Beschichtungen hängen u. a. von Temperatur und Feuchtegehalt ab. Daher sollten die Prüfungen unmittelbar nach der Konditionierungsphase durchgeführt werden.

Vorzugsweise werden die Prüfungen im Klimaraum durchgeführt.

Jedes Verfahren hat seine spezifische Anwendung. Ein ungeeignetes Verfahren kann zu einer falschen Aussage führen. Alle Prüfverfahren erfordern eine gewisse Übung des Prüfers. Bei den meisten Prüfverfahren sind die Prüfergebnisse u. a. von der Schichtdicke der zu untersuchenden Beschichtung abhängig.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument bietet eine Übersicht zur Auswahl des am besten geeigneten Prüfverfahrens bezüglich der Beurteilung der Härte und Verschleißfestigkeit von Beschichtungen.

Im Anhang A werden die Prüfverfahren zum Beurteilen der Härte und der Verschleißfestigkeit von Beschichtungen bei unterschiedlicher Beanspruchung zusammenfassend aufgelistet.

Verfahren zur Prüfung der Vernetzung (Verschleißprüfung in Verbindung mit Lösemitteln) und Abriebprüfungen mit Multischlagbeanspruchung sind nicht Gegenstand dieses Dokumentes.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 4618, *Paints and varnishes — Terms and definitions*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 4618 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

Härte

Eigenschaft eines trockenen Films oder einer trockenen Beschichtung oder einer Schicht, dem Eindringen oder Durchdringen eines festen Körpers zu widerstehen

[QUELLE: ISO 4618:2014, 2.136]

3.2

Verschleiß

irreversible Veränderung einer Beschichtung, die durch das mechanische Einwirken von bewegten Gegenständen hervorgerufen wird

3.3

Stichel

Kratzwerkzeug mit festgelegter Geometrie

[QUELLE: ISO 22557:2019, 3.1]

3.4

Kratzer

linienförmige Schädigung einer Beschichtung, die durch das Einwirken eines belasteten und über die Beschichtung bewegten Gegenstands hervorgerufen wird

3.5

Verkratzung

Schädigung der Oberfläche einer Beschichtung, die sich über eine begrenzte Fläche der Beschichtung erstreckt und die wegen der unterschiedlichen Lichtreflexion an der betroffenen Fläche im Vergleich zu den angrenzenden Flächen sichtbar ist

[QUELLE: ISO 4618:2014, 1.152]

3.6

Abrieb

Verschleiß (3.2), der durch flächiges Abtragen von Beschichtungsmaterial hervorgerufen wird

3.7

Wiederholbedingungen

Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens am identischen Untersuchungsobjekt im selben Labor durch denselben Bearbeiter mit derselben Geräteausrüstung in kurzen Zeitabständen

[QUELLE: ISO 5725-1:1994, 3.14]

3.8

Wiederholgrenze

r

Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter *Wiederholbedingungen* (3.7) gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann

[QUELLE: ISO 5725-1:1994, 3.16]

3.9

Vergleichbedingungen

Bedingungen bei der Gewinnung von voneinander unabhängigen Ermittlungsergebnissen, bestehend in der Anwendung desselben Verfahrens an identischen Untersuchungsobjekten in verschiedenen Labors durch verschiedene Bearbeiter mit verschiedenen Geräten

[QUELLE: ISO 5725-1:1994, 3.18]

3.10

Vergleichgrenze

R

Wert, unter dem oder gleich dem der Betrag der Differenz zwischen zwei unter *Vergleichbedingungen* (3.8) gewonnenen Ermittlungsergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % erwartet werden kann

[QUELLE: ISO 5725-1:1994, 3.20]

4 Härteprüfungen

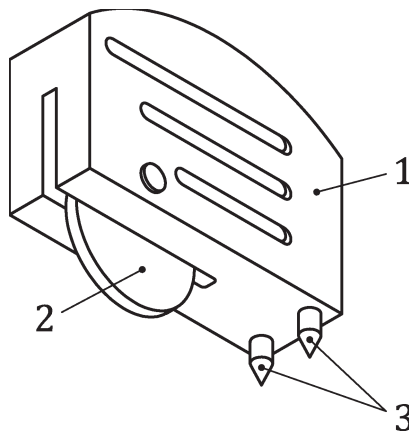
4.1 Eindringprüfungen mit ruhendem Eindringkörper

4.1.1 Eindringprüfung mit Buchholz-Eindringkörper

— Beschreibung

Ein nach Buchholz durch Form und Bemaßung festgelegter Eindringkörper aus gehärtetem Stahl wirkt unter Last (500 g, entsprechend 4,96 N) 30 s auf die Beschichtung ein und erzeugt einen Eindruck. Nach einer Erholzeit von 35 s wird die Eindrucklänge (mm) unter festgelegten Beleuchtungsbedingungen mit einem Messmikroskop (20-fache Vergrößerung) bestimmt.

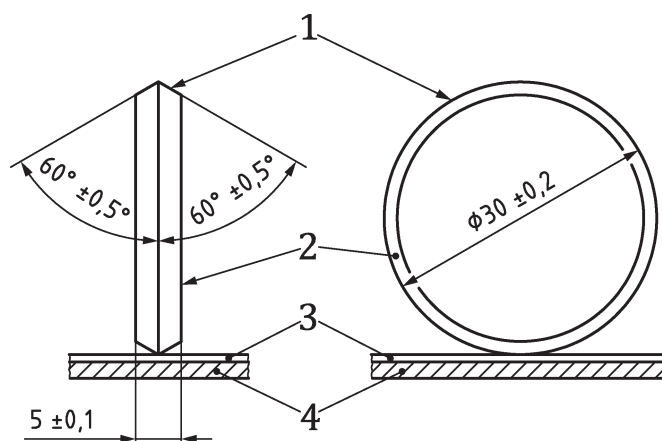
Bild 1 zeigt das Prüfgerät, und im Bild 2 ist der Buchholz-Eindringkörper dargestellt. Bild 3 veranschaulicht das mikroskopische Ausmessen des Eindrucks.



Legende

- 1 Stahlblock
- 2 Eindringkörper
- 3 Aufsetzspitze

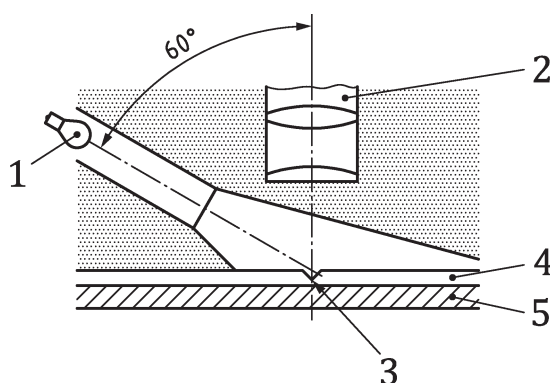
Bild 1 — Eindringprüfgerät nach Buchholz



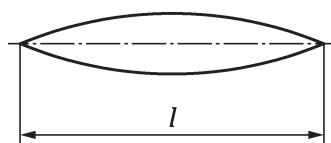
Legende

- 1 Eindringkante
- 2 Eindringkörper
- 3 Beschichtung
- 4 Substrat

Bild 2 — Buchholz-Eindringkörper



a) Anordnung der Lichtquelle und des Mikroskopes



b) Ansicht des Buchholz-Eindrucks

Legende

- 1 Lichtquelle
- 2 Mikroskop
- 3 Eindruck
- 4 Beschichtung
- 5 Substrat
- l Eindrucklänge

Bild 3 — Ausmessen des Buchholz-Eindrucks

— **Anwendung**

Die Eindringprüfung mit Buchholz-Eindringkörper ist allgemein anwendbar.

— **Kalibrierung**

Ein Kalibrierverfahren ist nicht festgelegt.

— **Durchführung**

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 16 h).
- Zuerst die Spitzen des Prüfgerätes auf die Beschichtung setzen, dann den Eindringkörper vorsichtig absenken.
- Den belasteten Eindringkörper 30 s auf der Beschichtung belassen und in umgekehrter Reihenfolge abnehmen.
- 35 s nach der Entlastung die Eindrucklänge (mm) mit dem Messmikroskop bestimmen (siehe Bild 3).

— **Auswertung**

Prüfergebnis ist die Eindrucklänge (mm), als Mittelwert von fünf Bestimmungen.

— **Präzision**

Die Wiederholgrenze r beträgt 0,23 mm.

Die Vergleichgrenze R beträgt 0,45 mm.

— **Literatur**

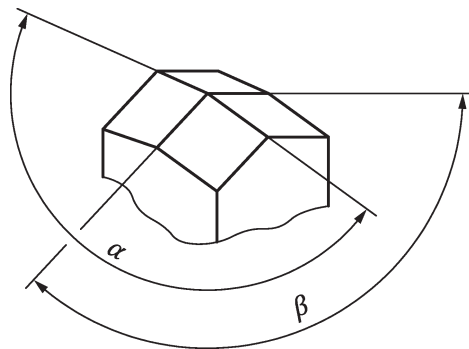
Der Eindruckversuch nach Buchholz ist in ISO 2815 festgelegt.

4.1.2 Eindringprüfung mit Knoop-Eindringkörper

— **Beschreibung**

Ein nach Knoop durch Form und Bemaßung festgelegter Eindringkörper aus Diamant wirkt unter einer Last (25 g, entsprechend 0,245 N) 18 s auf die Beschichtung ein und erzeugt einen Eindruck. Unmittelbar nach dem Entlasten wird die Länge (mm) der großen Diagonale des Eindrucks mit einem Messmikroskop bestimmt. Daraus wird die „Knoop Hardness Number“ KHN (kg/mm^2) berechnet.

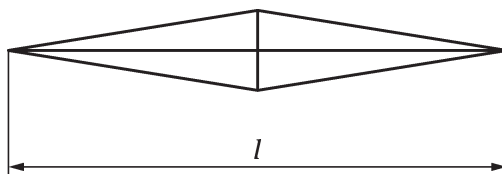
Bild 4 zeigt die Bemaßung des Knoop-Eindringkörpers. Im Bild 5 ist die Aufsicht des Knoop-Eindrucks dargestellt.



Legende

- α Längskantenwinkel (172,5°)
 β Querkantenwinkel (130°)

Bild 4 — Bemaßung des Knoop-Eindringkörpers



Legende

- l Eindrucklänge

Bild 5 — Aufsicht des Knoop-Eindrucks

— Anwendung

Die Eindringprüfung mit Knoop-Eindringkörper ist allgemein anwendbar.

— Kalibrierung

Auf einer Härtevergleichsplatte wird der KHN-Wert bestimmt und mit dem Sollwert verglichen.

— Durchführung

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Feuchte / ≥ 24 h).
- Das Prüfgerät in einem glatten Bereich auf die Beschichtung setzen.
- Den Eindringkörper absenken und die festgelegte Prüflast aufbringen.
- Den belasteten Eindringkörper 18 s auf der Beschichtung belassen.
- Sofort nach dem Entlasten mit dem Messmikroskop die Eindrucklänge l (mm) bestimmen (siehe Bild 5).

— Auswertung

Mit der gemessenen Länge l den KHN-Wert berechnen: $KHN = 0,356 / l^2$. (Der Faktor 0,356 ergibt sich aus der Prüflast und dem Formfaktor des Eindringkörpers.)

Prüfergebnis ist der KHN-Wert (kg/mm), als Mittelwert aus n Bestimmungen. (Die Anzahl n wird vereinbart.)

ANMERKUNG Nach ISO 4545-1 wird die Knoop-Härte in HK angegeben, die von der hier verwendeten KHN (Knoop Hardness Number) abweicht.

— Präzision

Die Wiederholpräzision (nach ASTM D1474/D1474M) beträgt 9 %.

Die Vergleichpräzision (nach ASTM D1474/D1474M) beträgt 24 %.

— Literatur

Eine Eindringprüfung mit Knoop-Eindringkörper ist in ASTM D1474/D1474M-13, Method A: Knoop Indentation Hardness, festgelegt.

Ein allgemeines Verfahren zum Bestimmen der Knoop-Härte HK ist in ISO 4545-1 festgelegt.

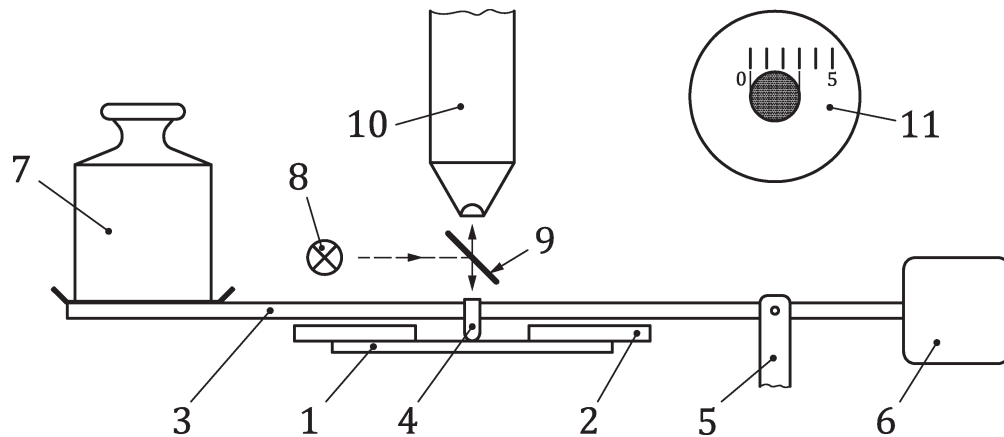
Für die Prüfung von Automobilbeschichtungen ist das Verfahren auch in den Literaturhinweisen [47] und [56] beschrieben.

4.1.3 Eindringprüfung mit Pfund-Eindringkörper

— Beschreibung

Ein nach Pfund durch Form und Bemaßung festgelegter Eindringkörper (Halbkugel Ø 0,318 mm) aus durchsichtigem Quarz oder Saphir wirkt unter Last (1 kg, entsprechend 9,8 N) 60 s auf die Beschichtung ein und erzeugt einen Eindruck. Unmittelbar danach wird der Durchmesser (mm) des Eindrucks unter Last durch den transparenten Eindruckkörper mit einem Messmikroskop bestimmt. Daraus wird die „Pfund Hardness Number“ PHN (kg/mm²) berechnet.

Bild 6 zeigt das Prinzip der Eindringprüfung mit Pfund-Eindringkörper.



Legende

- 1 Probenplatte
- 2 Probenanschlag
- 3 Lastarm
- 4 transparenter Eindringkörper
- 5 Drehlager
- 6 Taringewicht
- 7 Lastgewicht
- 8 Lichtquelle
- 9 halbdurchlässiger Spiegel
- 10 Messmikroskop
- 11 Mikroskopbild (Pfund-Eindruck und Skale)

Bild 6 — Prinzip der Eindringprüfung

— Anwendung

Die Eindringprüfung mit Pfund-Eindringkörper ist allgemein anwendbar.

— Kalibrierung

Auf einer Härtevergleichsplatte wird der PHN-Wert bestimmt und mit dem Sollwert verglichen.

— Durchführung

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 24 h).
- Das Prüfgerät in einem glatten Bereich auf die Beschichtung setzen
- Den Eindringkörper absenken und die festgelegte Prüflast aufbringen.
- Den belasteten Eindringkörper 60 s auf der Beschichtung belassen.
- Danach und noch unter Last mit dem Messmikroskop durch den transparenten Prüfkörper hindurch den Durchmesser d (mm) des Eindrucks bestimmen.

— **Auswertung**

Mit dem gemessenen Durchmesser d den PHN-Wert berechnen: $PHN = 1,27/d^2$. (Der Faktor 1,27 ergibt sich aus der Prüflast und dem Formfaktor des Eindringkörpers.)

Prüfergebnis ist der PHN-Wert (kg/mm^2), als Mittelwert aus mindestens 5 Bestimmungen.

— **Präzision**

Die Wiederholpräzision (nach ASTM D1474/D1474M) beträgt 18 %.

Die Vergleichpräzision (nach ASTM D1474/D1474M) beträgt 36 %.

— **Literatur**

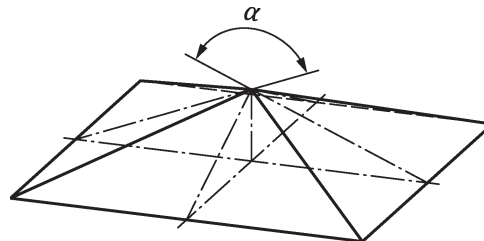
Eine Eindringprüfung mit Pfund-Eindringkörper ist in ASTM D1474/D1474M-13, Method B: Pfund Indentation Hardness, festgelegt.

4.1.4 Eindringprüfung mit Vickers-Eindringkörper

— **Beschreibung**

Ein nach Vickers durch Form und Bemaßung festgelegter Eindringkörper aus Diamant wird mit zunehmender, geregelter Last in die Beschichtung eingedrückt. Aus der dabei gemessenen Eindringtiefe (μm) und der zugehörigen Prüfkraft (N) wird die Martenshärte HM (N/mm^2) in Abhängigkeit von der Eindringtiefe berechnet.

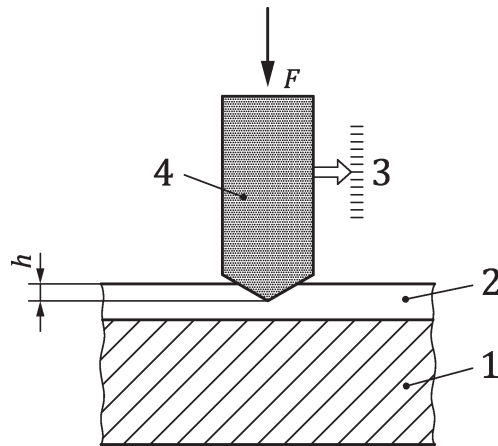
Bild 7 zeigt die Bemaßung des Eindringkörpers, und im Bild 8 ist das Prüfprinzip dargestellt.



Legende

α Pyramidenwinkel (136°)

Bild 7 — Schematische Darstellung des Vickers-Eindringkörpers



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Wegmessvorrichtung für die Eindringtiefe
- 4 Eindringkörper mit Vickers-Geometrie
- h Eindringtiefe
- F Prüfkraft

Bild 8 — Prinzip der Eindringprüfung mit Vickers-Eindringkörper

— Anwendung

Die Eindringprüfung mit Vickers-Eindringkörper ist allgemein anwendbar.

— Kalibrierung

Auf einer zertifizierten Kalibrierplatte (z. B. Glas der Sorte BK 7) wird ein Eindruckversuch mit einer vorgegebenen Kraft durchgeführt. Aus der Kraft-Eindringkurve wird der HM-Wert bestimmt und mit dem zertifizierten Wert verglichen.

— Durchführung

— Die Prüfparameter vereinbaren:

— die Anzahl und die Werte der Prüfkraftstufen (N) [die Prüfkraftstufen werden üblicherweise proportional $(\text{Prüfkraft})^{1/2}$ gewählt].

— Die Probenplatte in das Prüfgerät einspannen und die vereinbarten Prüfparameter einstellen.

— Den Prüfablauf starten und die Eindringtiefe h (μm) in Abhängigkeit von der Prüfkraft F (N) aufzeichnen.

— Auswertung

Aus den h -Werten und den zugehörigen F -Werten die Werte für die Martens-Härte $HM = F/26,43 h^2$ (N/mm^2) berechnen. (Der Faktor 26,43 ergibt sich aus dem Formfaktor des Eindringkörpers.)

Prüfergebnis ist die Martens-Härte HM (N/mm^2) für eine vereinbarte Eindringtiefe h (μm) und/oder das Härteprofil (HM in Abhängigkeit von h).

— **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

— **Literatur**

Eine Eindringprüfung mit Vickers-Eindringkörper ist in ISO 14577-1 und ISO 14577-4 festgelegt.

Für die Prüfung von Automobilbeschichtungen sind in den Literaturhinweisen [42] und [45] geringfügig abweichende Verfahren beschrieben.

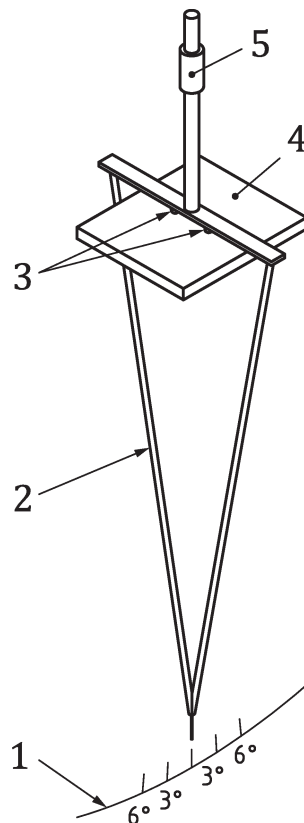
4.2 Eindringprüfungen mit oszillierendem Eindringkörper

4.2.1 Schwingungsdämpfungsprüfung mit König-Pendel

— **Beschreibung**

Ein nach König durch Form, Masse und Bemaßung festgelegtes Pendel wird mit seinen zwei integrierten Hartmetallkugeln ($\varnothing 5\text{ mm}$) auf die Beschichtung gesetzt, um 6° ausgelenkt und freigegeben. Bestimmt wird die Dämpfungsdauer (s) der Pendelschwingungen bis zur festgelegten Endauslenkung (3°).

Im Bild 9 ist das Prinzip der Prüfung dargestellt.



Legende

- 1 Winkelskala
- 2 König-Pendel
- 3 Hartmetallkugel
- 4 Probenplatte
- 5 Justiergewicht

Bild 9 — Prinzip der Prüfung mit König-Pendel

— **Anwendung**

Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit König-Pendel ist allgemein anwendbar.

— **Kalibrierung**

Auf einer polierten, ebenen Glasplatte werden die Dauer einer Pendelschwingung und die Dämpfungsdauer bestimmt und mit den zugeordneten Sollwerten verglichen.

— **Durchführung**

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 16 h).
- Die Probenplatte in das Prüfgerät einspannen.
- Das Pendel mit den integrierten Hartmetallkugeln so auf die Beschichtung setzen, dass die Pendelspitze mit dem Nullpunkt der Skale fluchtet.
- Das Pendel um 6° auslenken und freigeben.
- Mit einer Stoppuhr die Dämpfungsdauer (s) bis zum Erreichen der Endauslenkung (3°) bestimmen.

— **Auswertung**

Prüfergebnis ist die Dämpfungsdauer (s), als Mittelwert von drei Bestimmungen.

— **Präzision**

Die Wiederholgrenze r beträgt 7 s, entsprechend 5 Schwingungen.

Die Vergleichsgrenze R beträgt 14 s, entsprechend 10 Schwingungen.

— **Literatur**

Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit König-Pendel ist in ISO 1522 und ASTM D4366 festgelegt.

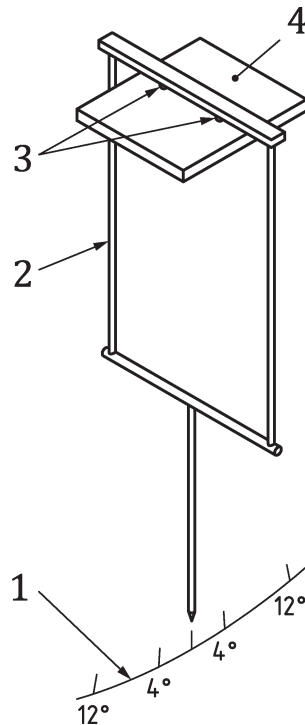
Für die Prüfung von Automobilbeschichtungen ist in Literaturhinweis [61] ein geringfügig abweichendes Verfahren beschrieben.

4.2.2 Schwingungsdämpfungsprüfung mit Persoz-Pendel

— **Beschreibung**

Ein nach Persoz durch Form, Masse und Bemaßung festgelegtes Pendel wird mit seinen zwei integrierten Hartmetallkugeln ($\varnothing 8$ mm) auf die Beschichtung gesetzt, um 12° ausgelenkt und freigegeben. Bestimmt wird die Dämpfungsdauer (s) der Pendelschwingungen bis zur festgelegten Endauslenkung (4°).

Im Bild 10 ist das Prinzip dargestellt.



Legende

- 1 Winkelskala
- 2 Persoz-Pendel
- 3 Hartmetallkugel
- 4 Probenplatte

Bild 10 — Prinzip der Prüfung mit Persoz-Pendel

— Anwendung

Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit Persoz-Pendel ist allgemein anwendbar.

— Kalibrierung

Auf einer polierten, ebenen Glasplatte werden die Dauer einer Pendelschwingung und die Dämpfungsdauer bestimmt und mit den zugeordneten Sollwerten verglichen.

— Durchführung

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 16 h).
- Die Probenplatte in das Prüfgerät einspannen.
- Das Pendel mit den integrierten Hartmetallkugeln so auf die Beschichtung setzen, dass die Pendelspitze mit dem Nullpunkt der Skale fluchtet.
- Das Pendel um 12° auslenken und freigeben.
- Mit einer Stoppuhr die Dämpfungsdauer (s) bis zum Erreichen der Endauslenkung (4°) bestimmen.

— Auswertung

Prüfergebnis ist die Dämpfungsdauer (s), als Mittelwert von drei Bestimmungen.

— **Präzision**

Die Wiederholgrenze r beträgt 3 %.

Die Vergleichgrenze R beträgt 8 %.

— **Literatur**

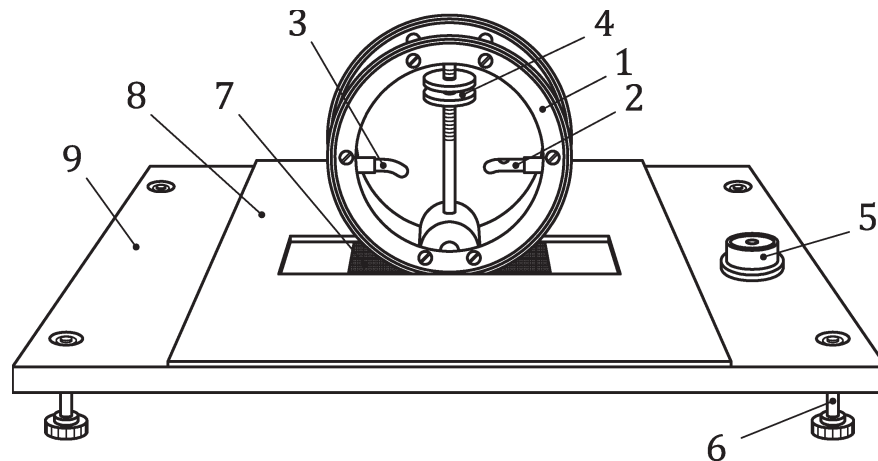
Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit Persoz-Pendel ist in ISO 1522 und ASTM D4366 festgelegt.

4.2.3 Schwingungsdämpfungsprüfung mit Schaukelrad

— **Beschreibung**

Ein nach Sward durch Form, Masse und Bemaßung festgelegtes Schaukelrad wird mit seinen zwei Laufringen auf die Beschichtung gesetzt, um 22° ausgelenkt und freigegeben. Bestimmt wird die Anzahl Schwingungen bis zur festgelegten Endauslenkung (16°).

Im Bild 11 ist die Prüfanordnung dargestellt.



Legende

- 1 Laufring
- 2 Libelle für Endauslenkung
- 3 Libelle für Startauslenkung
- 4 Justiervorrichtung
- 5 Nivellier-Libelle
- 6 Justierfuß
- 7 Probenplatte
- 8 Klemm-Maske
- 9 Glasplatte

Bild 11 — Anordnung der Schwingungsdämpfungsprüfung mit Schaukelrad

— **Anwendung**

Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit Schaukelrad ist allgemein anwendbar.

— **Kalibrierung**

Auf einer Glasplatte wird die Anzahl der Schwingungen innerhalb einer Zeitspanne von 60 s bestimmt und mit dem Sollwert verglichen.

— **Durchführung**

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 24 h).
- Die Probenplatte mit der Klemm-Maske auf der nivellierten Glasplatte fixieren (siehe Bild 11).
- Das Schaukelrad mit den Laufringen auf die Beschichtung setzen, um 22° auslenken und freigeben.
- Die Anzahl der Schwingungen bis zum Erreichen der Endauslenkung (16°) bestimmen.

— **Auswertung**

Prüfergebnis ist die mit zwei multiplizierte Anzahl Schwingungen im festgelegten Winkelbereich, als Mittelwert aus vier Bestimmungen.

— **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

— **Literatur**

Die Schwingungsdämpfungsprüfung mit Schaukelrad ist in ASTM D2134 festgelegt.

5 Verschleißfestigkeitsprüfungen

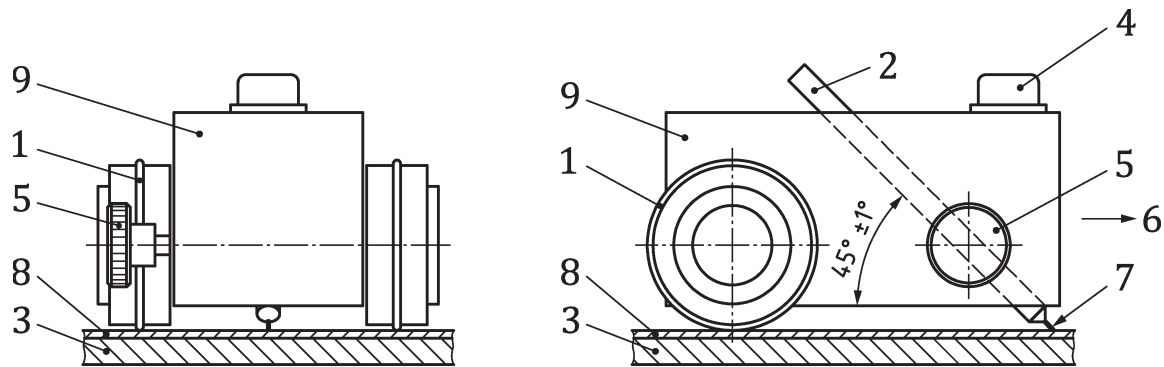
5.1 Einzelkratzprüfungen

5.1.1 Kratzprüfung mit Bleistiften

— **Beschreibung**

Eine Bleistiftmine mit festgelegter Geometrie wird unter einem Winkel von 45° und einer Prüflast von 7,5 N über die Beschichtung geschoben. Der Härtegrad wird im Bereich 9B bis 9H schrittweise erhöht, bis eine Schädigung der Beschichtung sichtbar ist. Bestimmt wird der größte Härtegrad, bei dem noch keine Schädigung festgestellt wird.

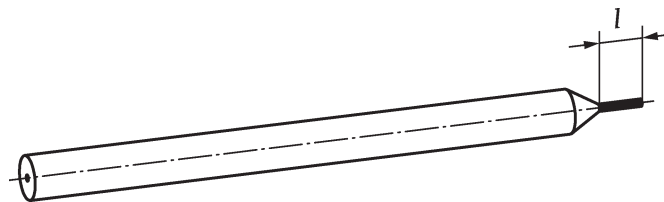
Bild 12 zeigt den Aufbau des Gerätes. Im Bild 13 ist die Form der Bleistiftmine nach Anwenden eines Spezialanspitzers dargestellt.



Legende

- 1 Gummi-O-Ring
- 2 Bleistift
- 3 Substrat
- 4 Nivelliergerät
- 5 Klemmschraube
- 6 Prüfrichtung („Schieben“)
- 7 Bleistiftmine
- 8 Beschichtung
- 9 Metallblock

Bild 12 — Gerät für die Kratzprüfung mit Bleistiften



Legende

- l Minenlänge (5 mm bis 6 mm)

Bild 13 — Bleistift nach dem Spitzen

— Anwendung

Die Kratzprüfung mit Bleistiften ist allgemein anwendbar.

— Kalibrierung

Ein Kalibrierverfahren ist nicht festgelegt.

— Durchführung

- Die Probenplatte konditionieren (23 °C / 50 % relative Luftfeuchte / ≥ 16 h).
- Die Bleistifte nach Bild 13 vorbereiten und die Enden der Minen plan schleifen.
- Einen Bleistift „mittleren“ Härtegrades im horizontal ausgerichteten Gerät nach Bild 12 fixieren und dieses auf die Beschichtung setzen.
- Die belastete Bleistiftmine mit konstanter Geschwindigkeit in Richtung von Pfeil 6 im Bild 12 über die Beschichtung schieben.