

DIN SPEC 91063



ICS 87.040

Ersatz für
DIN-Fachbericht 63:1997

Haftfestigkeit von Beschichtungen

Adhesion of coatings

L'adhésion du revêtements

Zur Erstellung einer DIN SPEC können verschiedene Verfahrensweisen herangezogen werden:
Das vorliegende Dokument wurde nach den Verfahrensregeln eines Fachberichts erstellt.

Gesamtumfang 86 Seiten

Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB) im DIN

Inhalt

Seite

Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen.....	4
3 Begriffe.....	5
4 Haftfestigkeitsprüfungen ohne Ritz/Schnitt.....	7
4.1 Prüfungen mit mechanischer Schichtbeanspruchung	7
4.2 Prüfungen mit kontinuierlicher Probendeformation	14
4.3 Prüfungen mit Schlagbeanspruchung	27
5 Haftfestigkeitsprüfungen mit Ritz/Schnitt.....	55
5.1 Prüfungen mit Einzelritz	55
5.2 Prüfungen mit Mehrfachritz (ohne Probendeformation).....	59
5.3 Prüfungen mit Mehrfachritz (mit Probendeformation)	72
6 Auswerteverfahren zur Haftfestigkeit.....	74
6.1 Hilfsverfahren	74
6.2 Visuelle Verfahren	75
6.3 Instrumentelle Verfahren	79
Anhang A Übersichtstabellen zu den Verfahren	81

Vorwort

Die Bestimmung der Haftfestigkeit ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für das Beurteilen der Schutzfunktion von Beschichtungen.

Ziel ist es, Prüfverfahren zum Beurteilen der Haftfestigkeit von Beschichtungen bei unterschiedlicher Beanspruchung zusammenfassend aufzulisten.

Diese DIN SPEC (Fachbericht) bietet zum Beurteilen der Haftfestigkeit von Beschichtungen eine hilfreiche Übersicht bei der Auswahl des für den Einzelfall am besten geeigneten Prüfverfahrens.

Diese DIN SPEC (Fachbericht) wurde vom Arbeitsausschuss NA 002-00-07 AA „Allgemeine Prüfverfahren für Beschichtungsstoffe und Beschichtungen“ des Normenausschusses Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB) im DIN ausgearbeitet.

Änderungen

Gegenüber dem DIN-Fachbericht 63:1997 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Es wurde eine Vielzahl neuer Verfahren ergänzt, insbesondere auch aus dem OEM-Bereich.
- b) Alle Verfahren werden einheitlich nach dem gleichen Schema vorgestellt:
 - Beschreibung (einschließlich einer Prinzipskizze)
 - Anwendung
 - Durchführung
 - Auswertung
 - Präzision
 - (bekannte) Literatur
- c) Auswerteverfahren zur Haftfestigkeit wurden neu aufgenommen.

Frühere Ausgaben

DIN-Fachbericht 63: 1997

1 Anwendungsbereich

Diese DIN SPEC (Fachbericht) ist eine Zusammenfassung der gebräuchlichen Verfahren zum Beurteilen der Haftfestigkeit von Beschichtungen auf einem Untergrund, wobei dieser eine darunterliegende Beschichtung oder das Substrat sein kann. Die Prüf- und Auswerteverfahren werden in den Abschnitten 4, 5 und 6 beschrieben. Im Fall von genormten Prüfverfahren wird für die Durchführung und Auswertung auf die entsprechenden Normen verwiesen. Im Anhang A werden die Verfahren in den Übersichtstabellen A.1, A.2 und A.3 vergleichend gegenübergestellt.

Die Haftfestigkeit lässt sich meistens nicht ausreichend mit nur einem Verfahren beurteilen.

Die rein physikalischen Verfahren zum Messen der Haftfestigkeit sind solche, bei denen direkt mechanische Größen (z. B. Kraft oder Drehmoment) gemessen werden.

Alle übrigen Verfahren beruhen auf der Beurteilung des Verhaltens bei mechanischer Beanspruchung in Anlehnung an praktische Bedingungen. Bei diesen Verfahren haben die viskoelastischen Eigenschaften einen großen Einfluss auf die Beurteilung der Haftfestigkeit, so dass nur vergleichend innerhalb eines Verfahrens geprüft werden kann.

Jedes Verfahren hat seine spezifische Anwendung. Ein ungeeignetes Verfahren kann zu einer falschen Aussage führen. Alle Prüfverfahren zum Beurteilen der Haftfestigkeit erfordern eine gewisse Übung des Prüfers, insbesondere beim Erkennen der Trennebene. Bei den meisten Prüfverfahren sind die Prüfergebnisse u. a. von der Schichtdicke der zu untersuchenden Beschichtung abhängig. Außerdem können bei einigen Verfahren auf Grund der unterschiedlichen Rauheit des Untergrundes Unterschiede zwischen Prüfungen auf einem Probenblech und der Praxis auftreten.

Enthftungseffekte, die durch Bewitterungs- und Korrosionseinflüsse hervorgerufen werden, sind nicht Gegenstand dieser DIN SPEC (Fachbericht).

Wenn bei einer Haftfestigkeitsprüfung vorwiegend Kohäsionsbrüche auftreten, ist dies kein Maß für die Haftfestigkeit, es kann jedoch eine Aussage über die Schutzwirkung der Beschichtung gegen Korrosion getroffen werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokumentes erforderlich. 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).

DIN EN ISO 4618, *Beschichtungsstoffe — Begriffe*

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

Die relevanten Dokumente zu den entsprechenden Verfahren sind unter „Literatur“ bei jedem einzelnen Verfahren aufgeführt.¹⁾

1) Über Bezugsquellen der nicht normativen Dokumente erteilt Auskunft: Normenausschuss Beschichtungsstoffe und Beschichtungen (NAB) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V., 10772 Berlin oder über www.nab@din.de.

3 Begriffe

Für dieses Dokument gelten die Begriffe nach DIN EN ISO 4618 und die folgenden Begriffe.

3.1

Adhäsion

durch innere Kräfte bewirkter Verbund zwischen Beschichtung und Untergrund²⁾

3.2

Kohäsion

durch innere Kräfte bewirkter Zusammenhalt einer Beschichtung in sich

3.3

Adhäsionsbruch

durch äußere Kräfte bewirkte Abtrennung einer Beschichtung vom Untergrund²⁾

3.4

Kohäsionsbruch

durch äußere Kräfte bewirkter Verlust des Zusammenhalts innerhalb einer Beschichtung

3.5

Haftfestigkeit

Maß für den Widerstand eines Schicht-Untergrund-Verbundes²⁾ gegen Adhäsionsbruch

3.6

Nasshaftfestigkeit

Haftfestigkeit unmittelbar nach vorangegangener Feuchtigkeitsbeanspruchung

3.7

Trennebene

Grenzfläche, in der Adhäsionsbruch vorliegt

3.8

Bruchbild

Gesamtheit der sichtbaren Beschichtungsschäden, die durch eine Haftfestigkeitsprüfung hervorgerufen werden

3.9

Bruchbildbewertung

Klassifizierung eines Bruchbildes anhand von Kriterien oder Vergleichsbildern

3.10

Bruchbildanalyse

quantitative Auswertung eines Bruchbildes mit Angabe der relativen Flächenanteile für Adhäsions- und Kohäsionsbruch sowie der Trennebene(n)

3.11

Haupttrennebene

Trennebene mit dem größten Flächenanteil

2) Der Untergrund kann eine darunterliegende Beschichtung oder das Substrat sein.

3.12

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

[DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.14]

3.13

Wiederholgrenze

r

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

[DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.16]

3.14

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

[DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.18]

3.15

Vergleichgrenze

R

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

[DIN ISO 5725-1:1997-11, 3.20]

4 Haftfestigkeitsprüfungen ohne Ritz/Schnitt

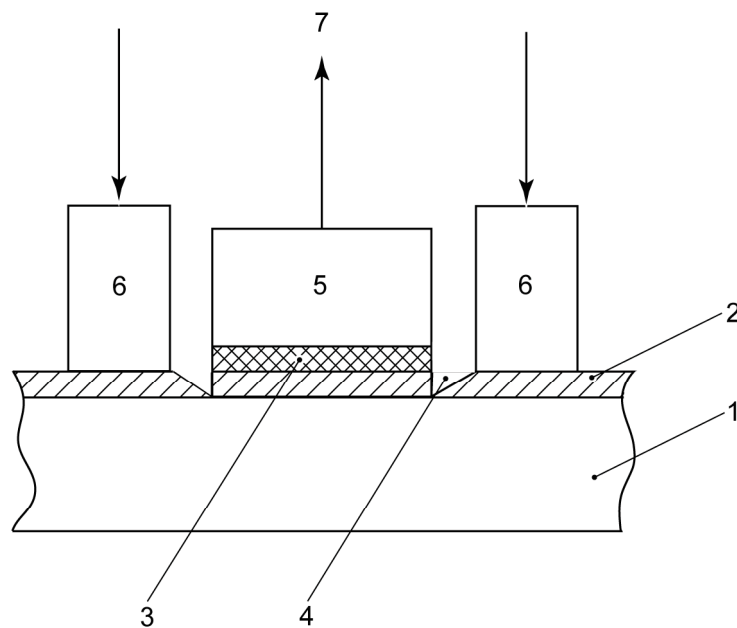
4.1 Prüfungen mit mechanischer Schichtbeanspruchung

4.1.1 Abreißprüfung (Pull-off Test)

- **Beschreibung**

Ein auf die Beschichtung aufgeklebter Prüfstempel (Metallzylinder mit Durchmesser 20 mm) wird mit konstant ansteigender Zugkraft belastet, bis er abreißt. Bestimmt wird die aus der Zugkraft bei Prüfstempelabriss und der Prüfstempelfläche berechnete Abreißfestigkeit.

Im Bild 1 ist das Prinzip der Abreißprüfung schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Klebstoffschicht
- 4 Freischnitt
- 5 Prüfstempel
- 6 Äußerer Ring zum Abstützen der Probenplatte
- 7 Abzugrichtung

Bild 1 — Prinzip der Abreißprüfung

- **Anwendung**

Die Abreißprüfung ist allgemein anwendbar.

- **Durchführung**

- Prüfstempel mit einem durch Vorversuche erprobten Klebstoff auf die Beschichtung aufkleben.

- Beschichtung um den Prüfstempel herum mit einem geeigneten Werkzeug bis zum Substrat freischneiden (siehe Bild 1).
- Probe so an das Prüfgerät ankoppeln, dass sie abgestützt und der Prüfstempel unverkantet-zentriert mit der Zugvorrichtung verbunden ist.
- Den Abzugvorgang mit konstant ansteigender Zugkraft einleiten und diese bei Prüfstempelabriss ablesen.

- **Auswertung**

Prüfergebnis ist die Abreißfestigkeit (MPa) = Zugkraft bei Prüfstempelabriss dividiert durch die Prüfstempelfläche.

Ergebnis der Bruchbildanalyse (siehe Verfahren 6.2.1) angeben.

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

DIN EN ISO 4624, *Beschichtungstoffe — Abreißversuch zur Beurteilung der Haftfestigkeit*

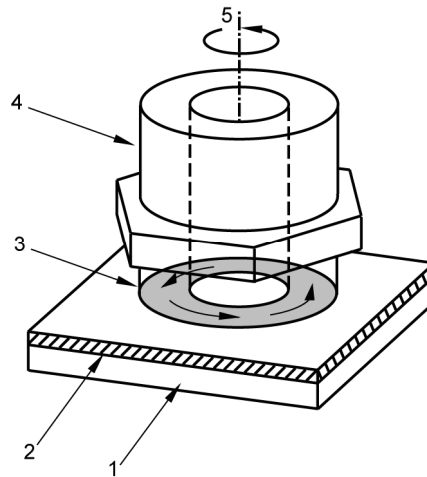
DIN EN ISO 16276-1, *Korrosionsschutz von Stahlbauten durch Beschichtungssysteme — Beurteilung der Adhäsion/Kohäsion (Haftfestigkeit) einer Beschichtung und Kriterien für deren Annahme — Teil 1: Abreißversuch*

4.1.2 Abscherprüfung (Twist-off Test)

- **Beschreibung**

In einen auf die Beschichtung aufgeklebten Prüfstempel (Metallzylinder mit Durchmesser 12 mm oder 15 mm und 6-mm-Bohrung) wird mit einem motorisch angetriebenen Prüfgerät ein konstant ansteigendes Drehmoment eingeleitet, bis er durch Scherung abreißt. Die Haftfestigkeit („Abscherfestigkeit“) kann direkt am Prüfgerät als Scherspannung ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$) abgelesen werden.

Im Bild 2 ist das Prinzip der Abscherprüfung schematisch dargestellt. Bild 3 zeigt den Mindestabstand der Prüfstempel bei Mehrfachprüfungen.



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Klebstoff
- 4 Prüfstempel
- 5 Drehachse

Bild 2 — Prinzip der Abscherprüfung

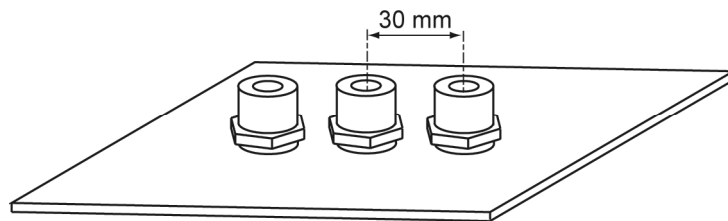


Bild 3 — Mindestabstand der Prüfstempel

• Anwendung

Die Abscherprüfung ist allgemein anwendbar.

• Durchführung

- Ausreichend dickes (min. 0,7 mm) oder mit rückseitig aufgeklebter Verstärkung ausgestattetes Substrat verwenden, um ein Verformen während der Prüfung zu verhindern.
- Prüfstempel mit einem durch Vorversuche erprobten Klebstoff auf die Beschichtung aufkleben. Bei Mehrfachprüfungen einen Mindestabstand der Prüfstempel zueinander einhalten (siehe Bild 3).
- Das Prüfgerät am Sechskant des Prüfstempels (siehe Bild 1) ankoppeln und die Probenplatte gegen Verdrehen sichern.
- Drehmomentbelastung starten und bei Prüfstempelabriss am Gerät die Scherspannung ablesen.

- **Auswertung**

Prüfergebnis ist die am Gerät abgelesene und als Abscherfestigkeit interpretierte Scherspannung ($\text{N/mm}^2 = \text{MPa}$).

Ergebnis der Bruchbildanalyse (siehe Verfahren 6.2.1) angeben.

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

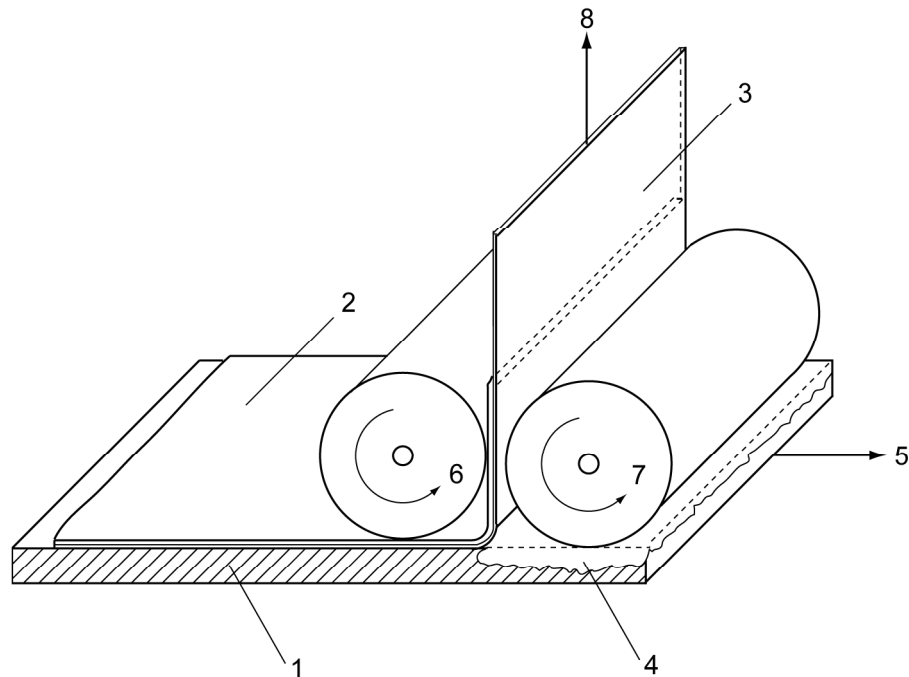
W. Boller, A. G. Epprecht, farbe + lack **80** (1974) 936 *Zur Bestimmung der Festigkeit von Lackfilmen mit Hilfe eines neuen Torsionsmessgerätes*

4.1.3 Abschälprüfung 1 (Peel-off Test 1)

- **Beschreibung**

In den frisch applizierten Beschichtungsstoff wird ein durch Material, Fadenstärke und Maschenweite spezifiziertes Gewebe partiell eingebettet. Nach Aushärten der Beschichtung greift eine Zugprüfmaschine am überstehenden Gewebe an, und die Beschichtung wird durch kontinuierlichen Zug unter 90° vom Substrat abgeschält. Bestimmt wird die Abschälfestigkeit als die für das Abschälen erforderliche und auf die Probenbreite bezogene Kraft.

Bild 4 zeigt schematisch den Abschälvorgang und die Funktion einer 90° -Abschälvorrichtung.



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Gewebe
- 4 Klebeband (unbeschichtetes Ende der Probenplatte)
- 5 Bewegungsrichtung der Probenplatte
- 6 Drehrichtung der Andruckwalze auf der Beschichtung
- 7 Drehrichtung der Andruckwalze auf der unbeschichteten Probenplatte
- 8 Abzugrichtung (Zugprüfmaschine)

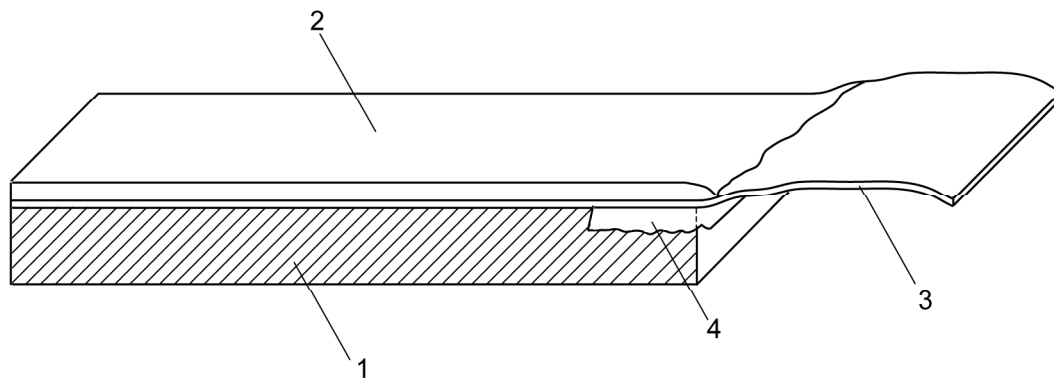
Bild 4 — Prinzip der Abschälprüfung 1

- **Anwendung**

Die Abschälprüfung 1 wird bevorzugt an Automobilbeschichtungen durchgeführt.

- **Durchführung**

- Probenplatte (Format 15 mm × 100 mm) bis auf einen 10 mm breiten Streifen am Rand der Schmalseite beschichten. Danach das Gewebe so einbetten, dass es am unbeschichteten Ende der Probenplatte um etwa 50 mm unbeschichtet übersteht (siehe Bild 5).



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Gewebe
- 4 Klebeband (unbeschichtetes Ende der Probenplatte)

Bild 5 — Probenplatte mit Beschichtung und Gewebe

- Nach Trocknen/Härten der Beschichtung die Probenplatte in die mit einer 90°-Abschälvorrichtung (siehe Bild 4) ausgestatteten Zugprüfmaschine einsetzen und das freie Ende des Gewebes einspannen.
- Abschälvorgang starten und die für das Abschälen erforderliche Zugkraft (Abschälkraft) aufzeichnen.

• Auswertung

Für fünf Proben die mittlere Abschälkraft über einem Abschälweg von mindestens 50 mm bestimmen, wobei der Beginn und das Ende der Prüfung unberücksichtigt bleiben.

Prüfergebnis ist der Mittelwert (mit Standardabweichung) aus den fünf Einzelbestimmungen, der als Abschälfestigkeit (N/15 mm Probenbreite) bezeichnet wird.

Ergebnis der Bruchbildanalyse (siehe Verfahren 6.2.1) angeben.

• Präzision

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

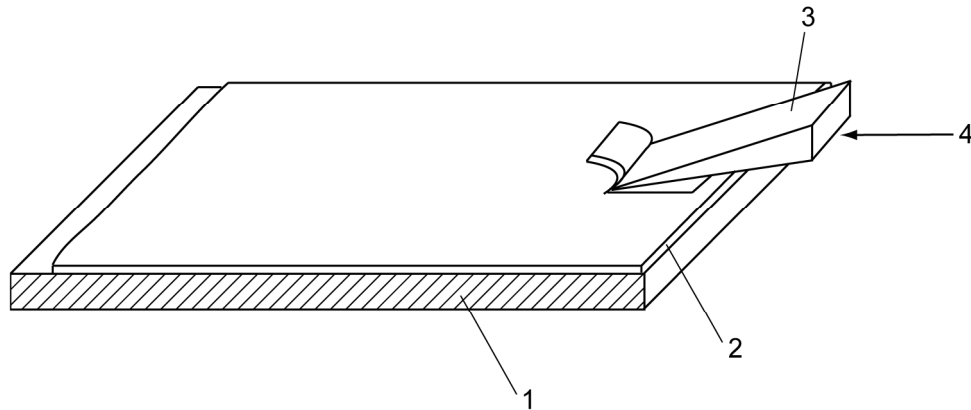
• Literatur

VOLVO STD 1029,5476, *Adhesion in accordance with the peel-off method*

4.1.4 Abschälprüfung 2 (Peel-off Test 2)

• Beschreibung

Die Beschichtung wird mit einem elektromotorisch angetriebenen Prüfgerät unter festgelegten Bedingungen vom Substrat abgeschält. Bestimmt wird die für das Abschälen erforderliche und auf die Abschälbreite bezogene Kraft. Im Bild 6 ist der Abschälvorgang schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Substrat
- 2 Beschichtung
- 3 Abschälwerkzeug
- 4 Abschälkraft

Bild 6 — Prinzip der Abschälprüfung 2

- **Anwendung**

Die Abschälprüfung 2 ist allgemein anwendbar.

- **Durchführung**

- Abschälwerkzeug (Schneidenwinkel/-breite), Anstellwinkel, Abschälgeschwindigkeit und Abschälweg festlegen.
- Probenplatte in das Abschälgerät einspannen und den Abschälvorgang starten.
- Während der Prüfung die zum Abschälen erforderliche Kraft (Abschälkraft) aufzeichnen.

- **Auswertung**

Die mittlere Abschälkraft über dem Abschälweg bestimmen, wobei der Beginn und das Ende des Abschälvorgangs unberücksichtigt bleiben.

Prüfergebnis ist die mittlere Abschälkraft dividiert durch die Breite des Abschälwerkzeugs (N/mm).

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

G. G. Sward: Paint Testing Manual (ASTM STP 500) **13** (1972) 319 ff und darin zitierte Fachartikel

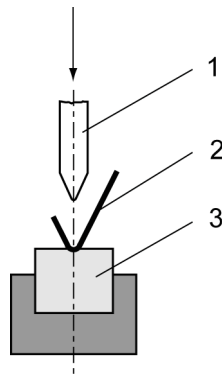
4.2 Prüfungen mit kontinuierlicher Probendeformation

4.2.1 Dornbiegeprüfung mit keilförmig-konischem Dorn

- **Beschreibung**

Die Probenplatte wird von der Substratseite her durch Eindrücken eines keilförmig-konischen Dorns mit festgelegter Geometrie umgeformt. Bestimmt wird der kleinste Dornradius, für den im Umformbereich kein Enthaftungsschaden feststellbar ist.

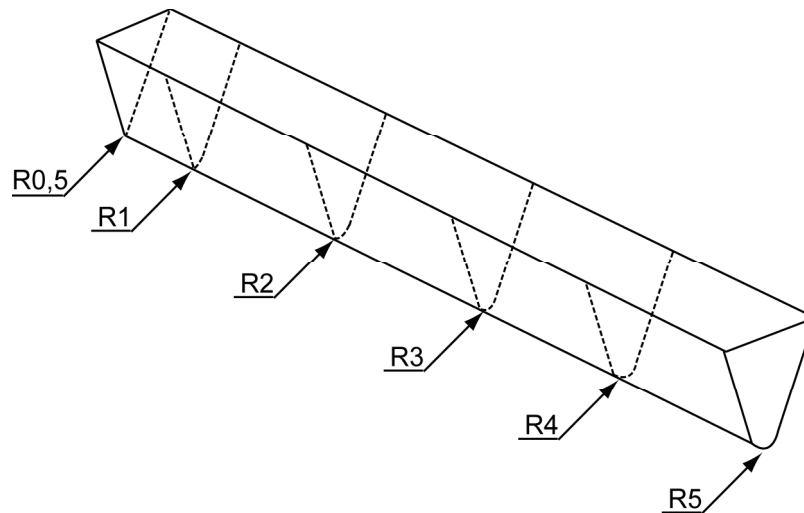
Bild 7 zeigt schematisch das Prinzip der Prüfung. Im Bild 8 ist die Bemaßung des keilförmig-konischen Dorns dargestellt.



Legende

- 1 keilförmig-konischer Dorn
- 2 Probenplatte (nach Umformen)
- 3 elastische Unterlage

Bild 7 — Prinzip der Dornbiegeprüfung mit keilförmig-konischem Dorn



Legende

R Radius – die Zahl gibt den Biegeradius in mm an

Bild 8 — Bemaßung des keilförmig-konischen Dorns

- **Anwendung**

Die Dornbiegeprüfung mit keilförmig-konischem Dorn wird bevorzugt an Bandbeschichtungen durchgeführt.

- **Durchführung**

- Die Probenplatte mit der beschichteten Seite auf eine Elastomerplatte legen.
- Von der Substratseite her den keilförmig-konischen Dorn von Hand (mit Hebel-Übersetzung) oder mit einer pneumatischen Vorrichtung eindrücken, bis die Probenplatte V-förmig umgeformt ist. Dabei muss die Längsachse des Dorns parallel zur Walzrichtung des Substrates orientiert sein.

- **Auswertung**

Beschichtung im Umformbereich mit einer Lupe auf Enthaftung untersuchen und den kleinsten Biegeradius bestimmen, bei dem noch kein Schaden feststellbar ist.

Prüfergebnis ist dieser Biegeradius (mm) dividiert durch die Substratdicke (mm).

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

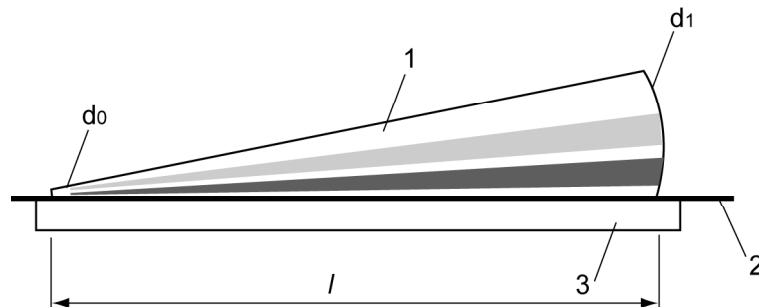
DIN EN 13523-7, *Bandbeschichtete Metalle — Prüfverfahren — Teil 7: Widerstandsfähigkeit gegen Rissbildung beim Biegen (T-Biegeprüfung)*

4.2.2 Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn

- Beschreibung**

Die Probenplatte wird um einen konischen Dorn mit festgelegten Abmessungen gebogen und dabei entsprechend umgeformt. Bestimmt wird die Länge (mm) der erzeugten Schädigung.

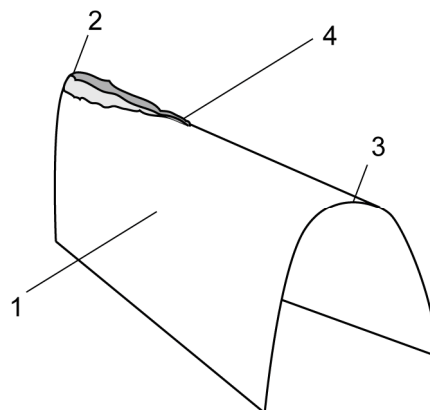
Bild 9 zeigt das Prinzip der Biegeprüfung mit konischem Dorn. Bild 10 zeigt die gebogene Probenplatte.



Legende

- 1 konischer Dorn
- 2 Probenplatte
- 3 Klemmvorrichtung
- l Länge des Dorns (203 mm)
- d₀ kleinster Durchmesser des Dorns (3,1 mm)
- d₁ größter Durchmesser des Dorns (38 mm)

Bild 9 — Prüfanordnung der Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn



Legende

- 1 Probenplatte
- 2 kleiner Radius der gebogenen Probenplatte
- 3 großer Radius der gebogenen Probenplatte
- 4 Ende des Risses in der Beschichtung

Bild 10 — Gebogene Probenplatte mit Enthftung

- Anwendung**

Die Dornbiegeprüfung mit konischem Dorn ist allgemein anwendbar für Beschichtungen auf verformbaren Substraten.

- **Durchführung**

- Probenplatte mit der Beschichtung nach außen in das Prüfgerät einspannen und gleichmäßig um den Dorn biegen.

- **Auswertung**

Enthäfteten Bereich der Beschichtung visuell (10-fach-Lupe) inspizieren.

Prüfergebnis ist die Länge (mm) der Enthäftung (auf ganze Zahlen gerundeter Mittelwert von drei Einzelbestimmungen).

- **Präzision**

Die Wiederholgrenze r beträgt 23 mm.

Die Vergleichgrenze R beträgt 46 mm.

- **Literatur**

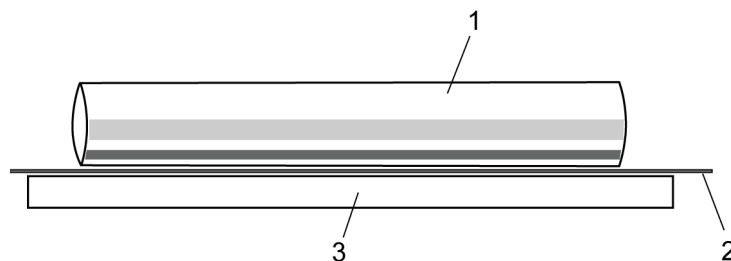
DIN EN ISO 6860, *Beschichtungsstoffe — Dornbiegeversuch (mit konischem Dorn)*

4.2.3 Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn 1

- **Beschreibung**

Die Probenplatte wird um einen zylindrischen Dorn gebogen und dabei entsprechend umgeformt. Die im Biegegerät austauschbaren Dorne haben die Durchmesser 2 mm, 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm, 8 mm, 10 mm, 12 mm, 16 mm, 20 mm, 25 mm und 32 mm. Bestimmt wird der größte Dorn Durchmesser (mm), bei dem nach Umformen um diesen Dorn ein Beschichtungsschaden sichtbar ist. Das Verfahren kann auch als „ja/nein“-Prüfung durchgeführt werden.

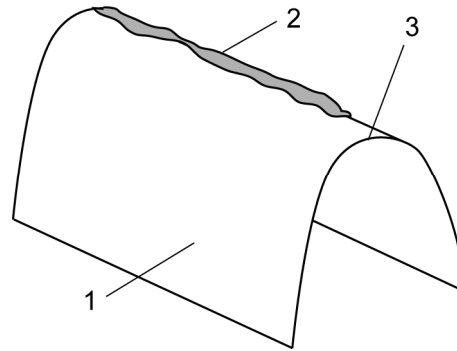
Bild 11 zeigt das Prinzip des Biegens um einem zylindrischen Dorn. Bild 12 zeigt die gebogene Probenplatte.



Legende

- 1 zylindrischer Dorn
- 2 Probenplatte
- 3 Klemmvorrichtung

Bild 11 — Prüfanordnung der Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn 1



Legende

- 1 Probenplatte
- 2 Riss in der Beschichtung
- 3 Radius der gebogenen Probenplatte

Bild 12 — Gebogene Probenplatte mit Enthftung

• Anwendung

Die Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn 1 ist allgemein anwendbar für Beschichtungen auf verformbaren Substraten.

• Durchführung

- Dorn mit mittlerem Durchmesser in das Biegegerät einsetzen.
- Probenplatte mit der Beschichtung nach außen in das Prüfgerät einspannen und gleichmäßig um den Dorn biegen.
- Beschichtung auf der umgeformten Probenplatte visuell auf Beschädigungen untersuchen und den Dorndurchmesser für den nächsten Biegeversuch festlegen:
 - a) wenn die Beschichtung beschädigt wurde, den nächstgrößeren Dorn auswählen;
 - b) wenn die Beschichtung nicht beschädigt wurde, den nächstkleineren Dorn auswählen.
- Biegeversuche fortsetzen, bis das Endergebnis feststeht.
- Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung die Probe um den Dorn mit dem vereinbarten Durchmesser biegen und die Beschichtung visuell auf Beschädigungen untersuchen.

• Auswertung

Prüfergebnis ist der größte Dorndurchmesser (mm), bei dem nach Umformen um diesen Dorn ein Beschichtungsschaden sichtbar ist oder die Angabe, dass bei allen Dornen nach dem Biegen keine Beschädigung festgestellt werden kann.

Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung angeben, ob die Beschichtung bei dem vereinbarten Dorndurchmesser geschädigt wurde („nein“) oder nicht („ja“).

- **Präzision**

Das Verfahren sollte lediglich als Näherungsprüfung betrachtet werden und nicht als eines, das präzise Ergebnisse liefert. Die Vergleichsgrenze R , bestimmt in einem Ringversuch mit sechs Teilnehmern und zwei Beschichtungssystemen, wurde bei 50 % angesetzt, und ist hier nur angegeben, um einen ungefähren Eindruck der Präzision zu vermitteln.

- **Literatur**

DIN EN ISO 1519, *Beschichtungsstoffe — Dornbiegeversuch (mit zylindrischem Dorn)*

4.2.4 Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn 2

- **Beschreibung**

Die Probenplatte wird um einen zylindrischen Dorn gebogen und dabei entsprechend umgeformt. Die im Biegegerät austauschbaren Dorne haben Durchmesser im Bereich 0,5 mm bis 5,0 mm, in Stufen von 0,5 mm. Bestimmt wird der kleinste Dorndurchmesser, bei dem nach Umformen um diesen Dorn kein Beschichtungsschaden sichtbar ist.

Bild 13 zeigt ein typisches Dornbiegegerät für austauschbare Zylinderdorne.

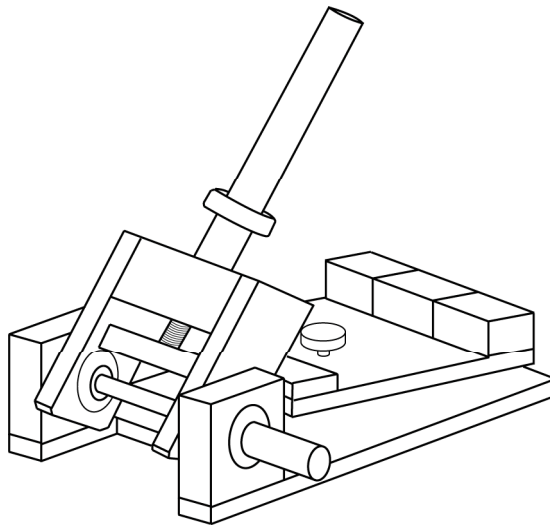


Bild 13 — Dornbiegegerät für austauschbare Zylinderdorne

- **Anwendung**

Die Dornbiegeprüfung mit zylindrischem Dorn 2 wird bevorzugt an Bandbeschichtungen durchgeführt.

- **Durchführung**

- Dorn mit mittlerem Durchmesser in das Biegegerät einsetzen.
- Probenplatte so in das Prüfgerät einspannen, dass die unbeschichtete Seite dem Dorn zugewandt ist.
- Probenplatte gleichmäßig um den Dorn biegen.

- Beschichtung auf der umgeformten Probenplatte auf Beschädigung untersuchen und den Dorndurchmesser für den nächsten Biegeversuch festlegen:
 - a) wenn die Beschichtung beschädigt wurde, den nächstgrößeren Dorn auswählen;
 - b) wenn die Beschichtung nicht beschädigt wurde, den nächstkleineren Dorn auswählen.
- Biegeversuche fortsetzen, bis das Endergebnis feststeht.

- **Auswertung**

Beschichtung im Umformbereich mit einer Lupe auf Enthaftung untersuchen und den kleinsten Biegeradius bestimmen, bei dem noch keine Enthaftung feststellbar ist.

Prüfergebnis ist dieser Biegeradius (mm) dividiert durch die Substratdicke (mm).

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

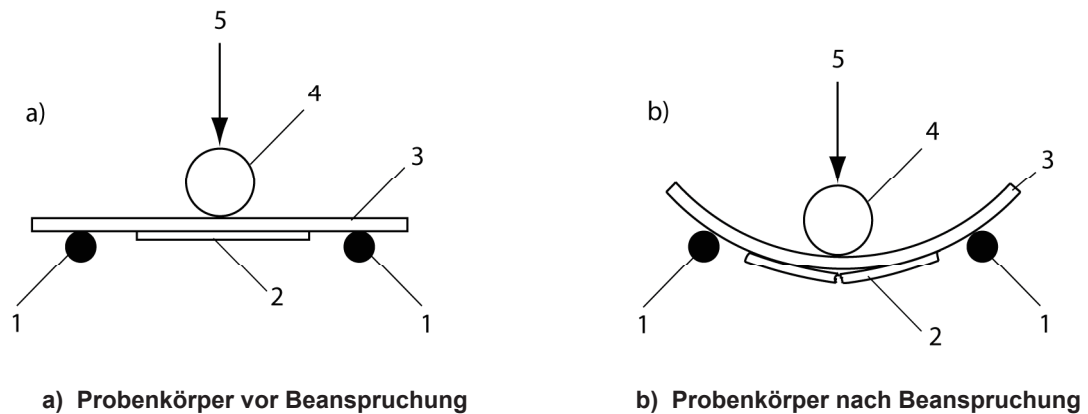
DIN EN 13523-7, *Bandbeschichtete Metalle — Prüfverfahren — Teil 7: Widerstandsfähigkeit gegen Rissbildung beim Biegen (T-Biegeprüfung)*

4.2.5 Dreipunktbiegeverfahren

- **Beschreibung**

Die Beschichtung wird auf ein Substrat mit festgelegtem Format in vorgegebener Weise appliziert. Mit einer Biegemaschine wird die Probe mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm/s kontinuierlich verbogen. Aus dem dabei aufgenommenen Kraft-Weg-Diagramm werden Aussagen über die Schichthaftung abgelesen.

Bild 14 illustriert das Prüfprinzip.



Legende

- 1 Stützstäbe (Ø 6 mm, Länge > 15 mm, Mittenabstand 33 mm)
- 2 Beschichtung (25 mm x 5 mm)
- 3 Substrat (30 mm x 10 mm)
- 4 Druckstab (Ø 12 mm, Länge > 15 mm)
- 5 Belastungsrichtung

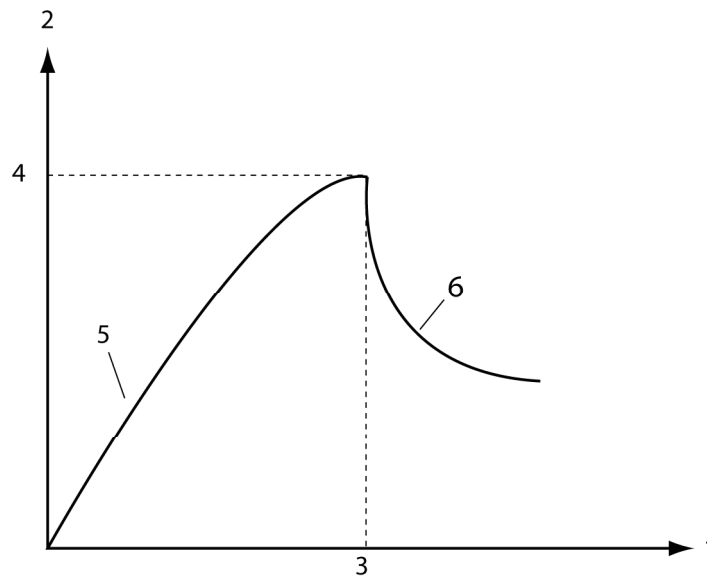
Bild 14 — Prinzip der Dreipunktbiegeprüfung

- **Anwendung**

Das Dreipunktbiegeverfahren ist anwendbar für Beschichtungen auf biegsamen Substraten.

- **Durchführung**

- Substratplatten mit Hilfe einer Schablone beschichten.
- Die Beschichtung trocknen/härten und die Trockenschichtdicke bestimmen.
- Die Probe nach Bild 14 in das Prüfgerät einsetzen und den Biegeprozess starten.
- Während des Biegevorgangs das Kraft-Weg-Diagramm (siehe Bild 15) aufnehmen.



Legende

- 1 Biegeweg
- 2 Biegekraft
- 3 max. Biegeweg
- 4 max. Biegekraft
- 5 linearer Bereich
- 6 Bruchausbreitung

Bild 15 — Kraft-Weg-Diagramm

• Auswertung

Aus dem Kraft-Weg-Diagramm (siehe Bild 15) ablesen:

- die Steigung der Kurve (N/mm) im linearen Bereich,
- die max. Biegekraft (N) und den max. Biegeweg (mm),
- eine qualitative Beschreibung der Bruchausdehnung.

• Präzision

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

• Literatur

NF T 30-010, *Peintures et vernis — Évaluation de l'adhérence ou de la cohésion — Méthode par flexion trois points* (en: *Paints and varnishes — Evaluation of adhesion or cohesion — Three point bending method*)

Ein ähnliches Verfahren wird beschrieben in:

DIN EN 1966, *Strukturklebstoffe — Charakterisierung einer Oberfläche durch Messung der Adhäsion nach dem Dreipunkt-Biegeverfahren*

4.2.6 T-Biegeprüfung 1

- Beschreibung**

Die Probenplatte wird sukzessive um sich selbst gefaltet. Dabei muss die Beschichtung außen sein. Bestimmt wird der kleinste Radius, um den die Probenplatte ohne Haftfestigkeitsverlust gebogen werden kann.

Bild 16 zeigt eine übliche Biegevorrichtung und erläutert den Biegeprozess. Im Bild 17 sind die einzelnen Stadien des Faltvorgangs dargestellt.

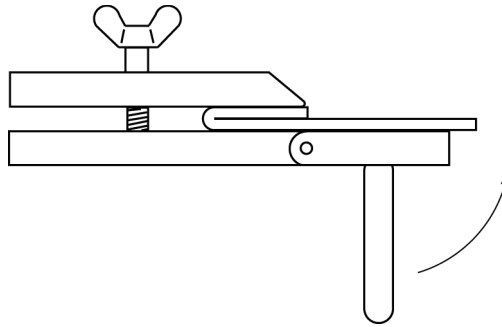


Bild 16 — Übliche Biegevorrichtung

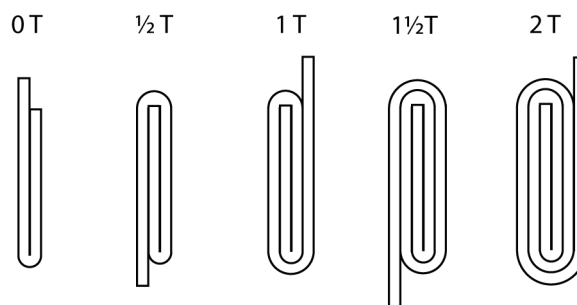


Bild 17 — Stadien des Faltvorgangs von 0 T bis 2 T

- Anwendung**

Die T-Biegeprüfung 1 wird bevorzugt an Bandbeschichtungen durchgeführt.

- Durchführung**

- Die Probenplatte mit der beschichteten Seite nach unten in das Biegeprüfgerät einspannen und die Biegeplatte bis zum Anschlag einschwenken.
- Die so gebogene Probenplatte ausspannen und dann mit der Biegevorrichtung die 180°-Biegung vollenden, so dass das in Bild 16 dargestellte Faltstadium vorliegt.
- In der gleichen Weise die gebogene Probenplatte weiter falten.
- Nach jeder Faltung den Biegebereich mit einer Lupe auf Enthftung untersuchen.
- Die Prüfung ist abgeschlossen, wenn erstmalig keine Enthftung feststellbar ist.

- **Auswertung**

Bestimmt wird der kleinste Radius, um den die Probenplatte ohne Enthaftung gebogen werden kann, ausgedrückt in „T-Einheiten“ (siehe Bild 17).

- **Präzision**

Zurzeit liegen keine Präzisionsdaten vor.

- **Literatur**

DIN EN 13523-7, *Bandbeschichtete Metalle — Prüfverfahren — Teil 7: Widerstandsfähigkeit gegen Rissbildung beim Biegen (T-Biegeprüfung)*

4.2.7 T-Biegeprüfung 2

- **Beschreibung**

Die Probenplatte wird mit der Beschichtung nach außen um ein Abstandsteil gebogen. Dieses kann ein massives Biegestück sein oder aus einem Stapel von Substratplatten bestehen. Alternativ kann die Probenplatte auch um sich selbst gefaltet werden. Bestimmt wird der kleinste Biegeabstand, bei dem kein Haftfestigkeitsverlust feststellbar ist. Das Verfahren kann auch als „ja/nein“-Prüfung durchgeführt werden.

Bild 18 zeigt den Ablauf der T-Biegeprüfung um ein massives Biegestück unter Verwendung eines Schraubstocks. In Bild 19 sind repräsentative Beispiele für die beiden anderen Ausführungsvarianten dargestellt.

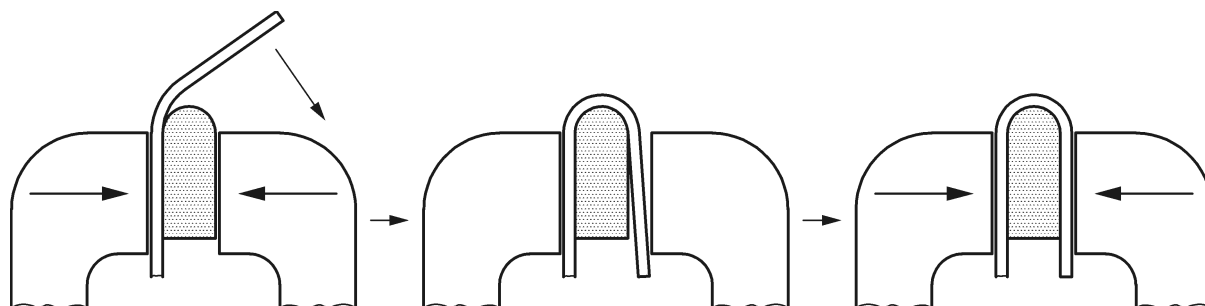
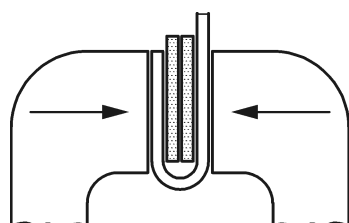
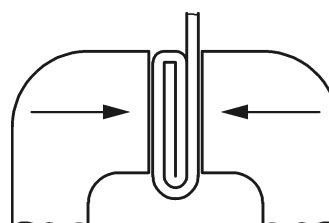


Bild 18 — Biegen um ein Biegestück



**a) Biegen mit Platten als Abstandsstücke
(Beispiel 2T)**



**b) Faltverfahren mit einem Schraubstock
(Beispiel 2T)**

Bild 19 — Weitere Ausführungsvarianten

- **Anwendung**

Die T-Biegeprüfung 2 ist allgemein anwendbar für Beschichtungen auf verformbaren Metallsubstraten.

- **Durchführung**

- Ausführungsvariante festlegen:
 - a) Biegen um massive Biegestücke,
 - b) Biegen um aus Substratplatten zusammengesetzte Biegestücke,
 - c) Faltverfahren.
- Biegeversuch nach Bild 18 oder Bild 19 durchführen und den Biegebereich mit einer Lupe auf Enthaftung untersuchen.
- Weitere Biegeversuche mit zunehmendem Biegeabstand durchführen, bis kein Haftfestigkeitsverlust festgestellt wird.
- Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung die T-Biegeprüfung mit dem vereinbarten Biegeabstand ausführen und dann auf Enthaftung untersuchen.

- **Auswertung**

Prüfergebnis ist der kleinste Biegeabstand, bei dem kein Haftfestigkeitsverlust feststellbar ist, ausgedrückt durch die äquivalente Anzahl von Substratplatten in T-Einheiten.

Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung angeben, ob die Beschichtung nach dem Biegen mit dem vereinbarten Biegeabstand geschädigt wurde („nein“) oder nicht („ja“).

- **Präzision**

Die Wiederholgrenze r beträgt 0,7 T.

Die Vergleichsgrenze R beträgt 1,2 T.

- **Literatur**

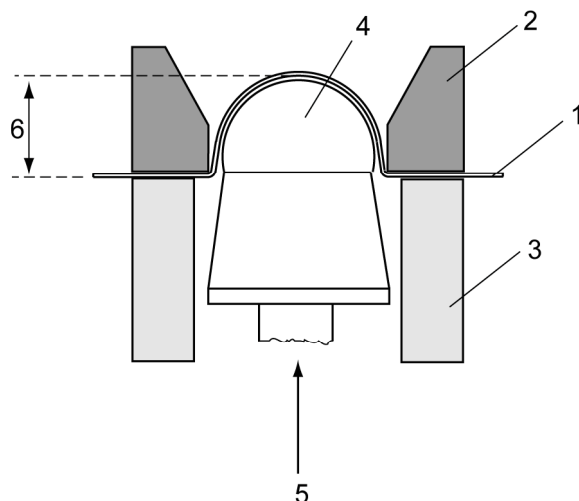
DIN EN ISO 17132, *Beschichtungsstoffe — T-Biegeprüfung*

4.2.8 Tiefungsprüfung 1

- **Beschreibung**

Die Probenplatte wird zwischen einer Matrize (Innendurchmesser 27 mm) und einem Niederhalter festgeklemt. Von der unbeschichteten Seite verformt ein Kugelstößel (Durchmesser 20 mm) die Probenplatte mit konstanter Geschwindigkeit. Bestimmt wird der Weg des Stößels (Tiefung), bis visuell Schäden erkennbar sind. Das Verfahren kann auch als „ja/nein“-Prüfung durchgeführt werden.

Im Bild 20 ist die Prüfanordnung einer Tiefungsmaschine schematisch dargestellt.



Legende

- 1 Probenplatte
- 2 Matrize
- 3 Niederhalter
- 4 Kugelstößel
- 5 Bewegungsrichtung des Stößels
- 6 Tiefung

Bild 20 — Prinzip der Tiefungsprüfung 1

• Anwendung

Die Tiefungsprüfung 1 ist allgemein anwendbar für Beschichtungen auf verformbaren Substraten.

• Durchführung

- Probenplatte mit der beschichteten Seite nach außen in die Tiefungsmaschine einspannen.
- Den Stößel mit gleichbleibender Geschwindigkeit (0,1 mm/s bis 0,3 mm/s) von der Probenrückseite eindrücken. Dabei die Beschichtung mit optischen Hilfsmitteln im Ausbeulbereich beobachten.
- Wenn die ersten Beschichtungsschäden sichtbar sind, die Stößelbewegung anhalten und den Weg (Tiefung) am Gerät ablesen.
- Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung die Probe bis zu dem vereinbarten Weg (Tiefung) ausbeulen und dann auf Beschichtungsschäden untersuchen.

• Auswertung

Prüfergebnis ist der Mittelwert (mm) aus einer Doppelbestimmung, der dann als Tiefungswert bezeichnet wird.

Bei Durchführung als „ja/nein“-Prüfung angeben, ob die Beschichtung bis zum vereinbarten Tiefungswert geschädigt wurde („nein“) oder nicht („ja“).