

# HANSER

Leseprobe

Haftklebebänder, selbstklebende Folien und Etiketten

Entwicklung, Verarbeitung und industrieller Einsatz

Herausgegeben von Georg Krüger

ISBN (Buch): 978-3-446-42281-0

ISBN (E-Book): 978-3-446-43270-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42281-0>

sowie im Buchhandel.

Ab dem Jahr 2000 hat sich die Firma Orafol, Oranienburg, mit der Entwicklung einer mehrschichtigen Castfolie befasst und zuerst die Serie Oracal 870 auf den Markt gebracht, später die Serie Oracal 970. Diese mehrschichtige Folie mit einem flexiblen Deckcoat erfüllt alle Anforderungen, die heute an selbstklebende Folien für Fahrzeuge gestellt werden.

Selbstklebende Folien dienen nicht nur Werbezwecken, sondern auch dem Oberflächenschutz. Ein besonderes Beispiel sind Schutzfolien auf Hochseeschiffen, die seit 1992 zum Korrosionsschutz solcher Schiffe eingesetzt werden [9].

## ■ 1.3 Grundprinzip des Haftklebens

### 1.3.1 Besonderheit der Haftklebstoffe

Im Gegensatz zu den meisten Klebstoffen, die als ein- und zweikomponentige Reaktionsklebstoffe, schmelzbare Klebstoffe, lösemittelhaltige Klebstoffe, vulkanisierende Klebstoffe oder wässrige Dispersionen eingesetzt werden und die möglichst dauerhafte Verbindungen ergeben sollen, nehmen Haftklebstoffe eine Sonderstellung unter den Klebstoffen ein. Die Sonderstellung ergibt sich aufgrund besonderer Eigenschaften, die andere Klebstoffe nicht besitzen. Allerdings existieren inzwischen Übergänge zwischen den verschiedenen Klebstoffklassen, so dass eine eindeutige Abgrenzung zwischen den Klebstoffklassen nicht oder nur schwierig möglich ist. So werden auf dem Markt Klebstoffe angeboten, die den Schmelzklebstoffen zugeordnet, wie Hotmelts verarbeitet und wie schmelzbare Haftklebstoffe angewendet werden.

#### 1.3.1.1 Soforthaftung – Tack

Die typische Eigenschaft aller Haftklebstoffe besteht darin, dass sie „sofort“ nach dem Kontakt mit einem Substrat auf diesem Substrat haften [10]. Durch einen zusätzlichen Druck auf den Klebstoff lässt sich die Haftung deutlich steigern. Die sofortige Haftung ohne einen gezielten Anpressdruck wird auch als Tack bezeichnet. Durch die Soforthaftung ergibt sich eine sofortige Klebkraft, die teilweise als Anfangsklebkraft oder Anfangsklebrigkeit bezeichnet wird, d. h. Begriffe wie Soforthaftung, Tack, Anfangsklebkraft oder Anfangsklebrigkeit werden in der Literatur und in Firmenschriften häufig gleichgestellt. Streng genommen ist eine Gleichstellung von Soforthaftung und Anfangsklebkraft nicht zulässig, da die Soforthaftung ein physikalisches Phänomen beschreibt und die Anfangsklebkraft eine Messgröße für die sich beim Substratkontakt ausbildenden Hafteffekte ist.

Bei der Beurteilung von Haftklebstoffen ist es erforderlich, zwischen Tack bzw. Anfangsklebrigkeit oder Anfangsklebkraft und der dauerhaften Klebkraft nach einem

entsprechenden Anpressdruck zu unterscheiden. Bei der Messung der Anfangsklebkraft wird ausschließlich die Klebrigkeit bzw. die Haftung eines bestimmten Substrates beim kurzzeitigen Kontakt mit der Oberfläche einer Klebstoffschicht bestimmt. Solche Messungen liefern Aussagen über die Oberflächenklebrigkeit, so dass es möglich ist, zwischen „aggressiven“ und „weniger aggressiven“ Haftklebstoffen zu unterscheiden. Unter einem „aggressiven“ Klebstoff versteht man dabei eine Klebstoffschicht, die relativ weich ist und ohne größeren Anpressdruck auf vielen Substraten sofort haftet. Bei den weniger aggressiven Klebstoffschichten ist ein höherer Anpressdruck erforderlich, um die Anfangsklebkraft und permanente Klebkraft zu erreichen.

Bei den Prüfmethoden zur Ermittlung des Tacks bzw. der Anfangsklebkraft existieren Verfahren, die die Haftung nur indirekt beurteilen. Andere Verfahren, die noch beschrieben werden, erfassen Schäl- oder Zugkräfte und ermöglichen so einen direkten quantitativen Vergleich der Anfangsklebkraft oder der Anfangsklebrigkeit.

Eine weitere Besonderheit von Haftklebstoffen besteht darin, dass die Soforthaftung nach mehrmaligen Trenn- und Klebvorgängen nicht verloren geht. Die Rezepturen von Haftklebstoffen können so abgestimmt sein, dass ein möglichst permanent haftender Klebstofffilm entsteht oder das Klebeband, die Etiketten und die selbstklebenden Folien rückstandsfrei abgezogen und erneut wieder aufgeklebt werden können.

### 1.3.2 Viskoelastische Eigenschaften

Bei Haftklebstoffen handelt es sich um viskoelastische Materialien, die als Film im „trockenen“ (festen) Zustand klebrig bleiben und dadurch mehrmals als Klebstoff genutzt werden können [11]. Der Begriff „trockener Zustand“ ist dabei nur im Vergleich mit vielen anderen Klebstoffen, die in flüssiger oder pastöser Form verarbeitet werden, gerechtfertigt. Gänzlich „trocken“ sind Haftklebstoffschichten nicht, da sie sich aus physikalischer Sicht wie hochviskose, plastisch und elastisch verformbare Flüssigkeiten verhalten.

Bei reaktiven Klebstoffen entstehen polymere Netzwerke mit hoher Netzwerkdichte oder bei anderen Klebstoffen Polymere mit hoher Molmasse und großen physikalischen Wechselwirkungen, die dann große innere Festigkeiten, auch als Kohäsion bezeichnet, bewirken. Die Polymerketten bei nichtreaktiven Klebstoffen (zum Beispiel reine Hotmelteklebstoffe, Lösemittelklebstoffe, Dispersionsklebstoffe, Kontaktklebstoffe) liegen nicht nur als Fadenmoleküle mit unterschiedlicher Packungsdichte vor, sondern weisen Verschlaufungen auf, die dann die Kohäsion beeinflussen. Bei Haftklebstoffen bestehen diese Voraussetzungen für eine hohe Kohäsion nur begrenzt. Da es sich um hochviskose Flüssigkeiten handelt, die man auch als amorphe Festkörper mit hoher Duktilität bezeichnen kann, können sich

die Basispolymere und die weiteren Bestandteile einer Haftklebstoffmischung unter Druck und insbesondere bei Scherung sehr langsam, aber stetig „verschieben“. Haftklebstoffe neigen daher zum „Fließen“. Das Fließen kann durch geeignete Rezepturen stark eingeschränkt werden. Bei Haftklebstoffen haben die Effekte der Polymerphysik wie die Rheologie, das Fließ- und Kriechverhalten in Abhängigkeit von der Temperatur, die innermolekulare Molekülbeweglichkeit und die Verträglichkeit der Rezepturbestandteile untereinander eine viel größere Bedeutung als die chemische Zusammensetzung der Polymere.

Eine Aushärtung wie bei reaktiven Klebstoffen, eine Abkühlung wie bei Hotmelts und wärmeaktivierbaren Klebstoffen oder die Verdunstung einer Trägerflüssigkeit wie bei physikalisch abbindenden Klebstoffen findet bei Haftklebstoffen nicht statt, so dass diese Prozessschritte entfallen, d. h. Haftklebstoffe sind sofort nutzbar. Allerdings hat sich in der Praxis gezeigt, dass die Klebkraft eines Haftklebstoffes in den ersten Stunden, nachdem die Klebverbindung hergestellt wurde, bis zu einem Maximalwert ansteigt. Dabei wirken keine äußeren Faktoren auf die Klebverbindung ein, die eine solche Klebkrafterhöhung begründen könnten. Es ist davon auszugehen, dass sich der Haftklebstoff, der sich wie eine viskoelastische und bei bleibender Verformung wie eine viskoplastische Masse verhält, mit der Zeit besser an die Substratoberfläche anpasst und so die Wechselwirkungskräfte verstärkt.

Da es sich bei Haftklebstoffen um Flüssigkeiten mit sehr hoher Viskosität handelt, gelten im Vergleich mit anderen Klebstoffen andere Gesetzmäßigkeiten, um hohe Haftkräfte zu erreichen. Die theoretischen Zusammenhänge zwischen Benetzung, Oberflächenenergie, Rauheit und Haftung, die für reaktive und nichtreaktive Klebstoffe und hochfeste Verbindungen erarbeitet wurden, sind nur teilweise oder gar nicht auf Haftklebstoffe übertragbar, d. h. auf Substraten mit niedrigen Oberflächenenergien lassen sich zum Beispiel relativ hohe Haftwerte erreichen. Die für hochfeste Verbindungen erarbeiteten Berechnungsgrundlagen sind ebenfalls nicht auf Verbindungen mit Haftklebstoffen übertragbar.

Da die viskoelastischen Eigenschaften der Haftklebstoffe zum großen Teil die Haftung bestimmen und nicht die Aushärtung wie bei reaktiven Klebstoffen, wirken Haftklebstoffe weitgehend stoffunspezifisch, das heißt, sie können ohne nennenswerte Unterschiede in der Haftfestigkeit sehr verschiedene Materialien miteinander verbinden, ohne dass die zu verklebenden Flächen durch vergleichsweise aufwändige Verfahren, wie sie bei hochfesten Metallverbindungen erforderlich sind (zum Beispiel Beizen, Strahlen, Schleifen, Primern, Atmosphärenplasma), vorbehandelt werden müssen. Dieses Verhalten von Haftklebstoffen gilt nicht für alle Materialien, so dass bei Polyolefinen, Silikonen, Fluorpolymeren oder bei Blechen mit Sonderlackschichten eine Vorbehandlung sinnvoll ist, um zuverlässige Klebverbindungen herzustellen. Andererseits gibt es inzwischen Haftklebebänder, die ganz gezielt entwickelt wurden, um selbst auf Polyolefinen und anderen schwer beklebbaren

Substraten zu haften. Vorausgesetzt wird immer, dass die Substrate, unabhängig von ihrer Oberflächenenergie, sauber sind. Geeignete Vorbehandlungen sind vor allem dann sinnvoll, wenn von Haftklebstoffen eine hohe Haftung über lange Zeiträume gefordert wird, eine andauernde Schubbelastung gegeben ist und die Klebverbindungen einem feuchten Klima ausgesetzt sind.

### 1.3.3 Anpressdruck

Ein charakteristisches Merkmal von Haftklebstoffen besteht darin, dass sich Adhäsionskräfte, die die Summe aller adhäsiven Bindungen und Wechselwirkungen an der Grenzschicht sind, nur dann ergeben, wenn sich die beiden zu verbindenden Partner so nahe wie möglich kommen. Im physikalischen Sinn ist ein direkter Kontakt der Atome der Polymermoleküle des Klebstofffilmes mit den Atomen der Substrate nicht möglich. Im technischen Sinn wird der intensive Kontakt durch einen entsprechenden Anpressdruck, auch als Andruck bezeichnet, erreicht. Der Anpressdruck ist keine konstante Größe und gilt nicht für alle Haftklebstoffe in gleicher Höhe.

Wenn ein Haftklebeband aufgetragen und mit einer Rolle per Hand oder einem Spendegerät angepresst wird, entspricht das einem Kaschiervorgang. Dafür genügt bei den allermeisten Haftklebstoffbändern bei einer Klebbreite von 25 mm eine Anrollkraft von 50 N (etwa 5 kg), bei weicheren Klebstoffschichten von 20 N (etwa 2 kg). Da die tatsächlich unter Druck stehende Klebfläche etwa 25 mm × 2 mm groß ist, ergibt sich ein Anrolldruck von etwa 1 MPa bzw. von 0,4 MPa. Um hohe Scher- und Schälfestigkeitswerte beim Kaschieren zu erreichen, muss ein Andruck von 1,5 MPa gewählt werden. Beim schnellen Abrollen besteht die Gefahr, dass Luftblasen eingeschlossen werden. Gleichbleibende Anpresskräfte lassen sich bei flexiblen Substraten (Kunststofffolien, Gewebe, Vliese) gewährleisten, wenn die Folien und Haftklebebänder oder selbstklebenden Folien durch Laminatoren mit zwei Gummiwalzen zusammengepresst werden.

Mit steigender Anpresskraft steigt der Schälwiderstand. Nach einer optimalen Anpresskraft fallen bei einigen Substraten und Trägermaterialien, so zum Beispiel bei Schaumstoffträgern, die Schälkräfte bei zu hohen Anpresskräften wieder ab.

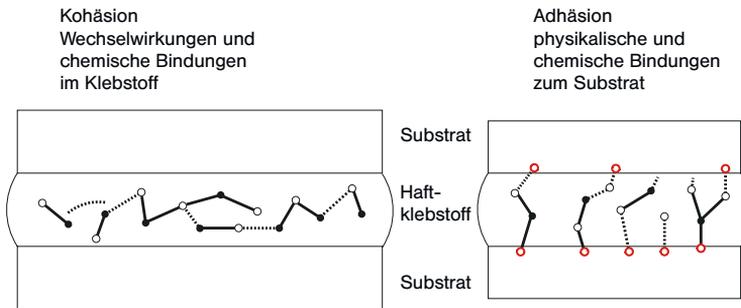
Bei druckempfindlichen, weichen Haftklebstoffen und hohen Anpressdrücken besteht die Gefahr, dass der Klebstoff am Rand austritt und ungewollte Klebeffekte auftreten.

Von reaktiven und anderen Klebstoffen ist bekannt, dass durch eine gezielte Rauheit und Sauberkeit der Substratoberfläche hohe Haftkräfte erreicht werden. Bei einer guten Benetzung findet eine mikromechanische Verankerung der festen Klebstoffe statt, manchmal fälschlicherweise als mechanische Adhäsion bezeichnet. Bei vielen Haftklebstoffen werden selbst auf sehr glatten Oberflächen hohe Haftwerte erreicht,

d.h., die Rauheit ist kein wichtiges Kriterium für eine hohe Haftung. Allerdings besteht bei größerer Rauheit die Möglichkeit, dass die Klebstoffschicht, besonders bei einem entsprechenden Anpressdruck, in die Mikrounebenheiten fließt und so eine größere Kontaktfläche zwischen Substrat und Klebstoffschicht entsteht. Es ergibt sich ein "Verzahnungseffekt", der sich in einer größeren Haftung ausdrückt. Die mechanische Verankerung bewirkt höhere Wechselwirkungskräfte, da die tatsächliche Kontaktfläche ansteigt.

### 1.3.4 Kohäsion und Adhäsion

Wie bei allen Klebverbindungen treten bei der Anwendung von Haftklebstoffen zwei festigkeitsbestimmende Kräfte auf, die Kohäsions- und die Adhäsionskräfte, siehe Bild 1.4.



**BILD 1.4** Kohäsion und Adhäsion von Haftklebstoffen in Klebverbindungen

#### 1.3.4.1 Kohäsion

Die Kohäsion ist ein Maß für die „innere Festigkeit“ bzw. den „inneren Zusammenhalt“ der einzelnen Rezepturbestandteile eines Klebstoffs. Sie ist deshalb eine charakteristische Größe für die inneren Wechselwirkungen in der Grundsubstanz eines Klebstoffs und für die Wechselwirkungen der einzelnen Klebstoffbestandteile untereinander. Die Wechselwirkungen treten in atomaren, intermolekularen und innermolekularen Bereichen auf und setzen sich aus den Bindungsenergien zwischen den Atomen, zwischen den Makromolekülen oder Segmenten der Makromoleküle und aus „Verhakungen“ der Molekülseitenketten und -enden zusammen. Bindungsenergien ergeben sich auch beim Aufbau von interpenetrierenden Netzwerken (IPN), wenn mindestens 2 unterschiedliche Polymere mit geeigneter Verträglichkeit gemischt werden. Auf Grund der wesentlich größeren Annäherung im atomaren Bereich liegen die sich dabei ergebenden Wechselwirkungskräfte weit über den intermolekularen Kräften, die sich zwischen mehreren verschiedenen Molekülen ausbilden.

Bei Haftklebstoffen mit einer geringen Kohäsion tritt der Bruch bei mechanischen Belastungen innerhalb der Klebstoffschicht auf. Man bezeichnet dies als einen kohäsiven Bruch, wobei Klebstoffreste auf beiden zu verbindenden Substratoberflächen zurückbleiben. Genauer handelt es sich beim kohäsiven „Bruch“ um eine räumliche Trennung der Makromoleküle innerhalb der Klebstoffschicht. Die Trennung der Makromoleküle kann durch Zusätze wie Wachse und Harze erleichtert werden, so dass harzreiche Klebstoffschichten eher „versagen“. Der kohäsive Bruch tritt deshalb oft bei sehr weichen, an der Oberfläche stark klebrigen Haftklebstoffen auf, besonders bei Verbindungen, die mechanisch belastet und zugleich einer Wärmebeanspruchung ausgesetzt sind.

### 1.3.4.2 Adhäsion

Die Adhäsion ist ein Ausdruck für das Vermögen einer Klebverbindung, über die Grenzfläche zweier zu verbindender Stoffe Kräfte zu übertragen. Sie bringt den eigentlichen Verbund zwischen zwei Fügepartnern zustande. Verantwortlich für die Adhäsion sind chemische und physikalische Wechselwirkungen in der Grenzschicht von Substrat und Haftklebstoff.

#### 1.3.4.2.1 Zusammenhang zwischen Löslichkeit und Klebfähigkeit

Die adhäsive Bindung auf unvorbehandelten polymeren Werkstoffen wird besonders durch den chemischen Aufbau der Polymermoleküle, insbesondere deren Löslichkeit bestimmt. Dabei gelten für thermoplastische und duromere Kunststoffe folgende Regeln:

- Schlecht lösliche Kunststoffe sind auch schlecht klebbar.  
Beispiele: PTFE, Polyolefine, Duromere und Polyamid PA6.
- Gut lösliche Kunststoffe sind auch gut klebbar.  
Beispiele: Polystyrol PS und PVC-U.

Den Zusammenhang zwischen Löslichkeit und Klebfähigkeit zeigt Tabelle 1.2.

**TABELLE 1.2** Zusammenhang zwischen Löslichkeit und Klebfähigkeit von Kunststoffen

Material	Löslichkeit	Klebfähigkeit
Polyethylen	schwer löslich	schlecht
Polypropylen	schwer löslich	schlecht
Polyisobutylene	leicht löslich	gut
Polystyrol	löslich	gut
Polyvinylchlorid	löslich	gut
Polyester	unlöslich	schwierig
Polymethylmethacrylat	löslich	gut
Polyamid 6, Polyamid 66	schwer löslich	schwierig

Die Tabelle 1.2 zeigt, dass die Löslichkeit von Kunststoffen im Ausgangszustand einen wichtigen Hinweis liefert, ob eine hohe Haftung erreicht werden kann. Die Polarität der Kunststoffe ist dabei nicht von Bedeutung, d. h. auch polare Stoffe mit jedoch geringer Löslichkeit ergeben keine hohe Haftung.

### 1.3.5 Oberflächenenergie

Sowohl die mechanischen Eigenschaften des Klebstoffs als auch die Oberflächenbeschaffenheit und der oberflächenenergetische Zustand der Fügepartner bestimmen die Kohäsion und Adhäsion. Versuche mit dünnen Klebstofffilmen zeigen, dass sich bei gleichem Haftklebstoff und verschiedenen Substraten mit einer Feinreinigung und gleicher Oberflächenenergie unterschiedliche Kohäsionskräfte ergeben, d. h. die Substrate selbst beeinflussen die Kohäsionskräfte bei der Trennung der Makromoleküle während eines Scher- oder Schälvorganges.

Bei Haftklebstoffen kann alleine durch eine Vorbehandlung, bei der nicht die Rauheit verändert wird, sondern nur die Oberflächenenergie, die mechanische Belastbarkeit erhöht werden, obwohl es im unbehandelten und behandelten Zustand zum Kohäsionsbruch kommt. Besonders die mechanischen Eigenschaften oberhalb der Glasübergangstemperatur (der sogenannte  $T_g$ -Wert) vieler Haftklebstoffe stehen im direkten Zusammenhang mit der Klebkraft, so dass es möglich ist, über die Messung mechanischer Größen, zum Beispiel des Schubmoduls, in gewissen Grenzen quantitative Angaben zur Klebkraft vorauszusagen. Besonders im Bereich unterhalb und oberhalb der Glasübergangstemperatur ändern sich die messbaren Scher- und Schälkräfte einer Klebverbindung sprunghaft. Bei Haftungsmessungen unterhalb der Glasübergangstemperatur, bei der die Klebstoffschicht glasartig-spröde reagiert, wird die messbare Kraft bis zum Bruch stark vom E-Modul bei der jeweiligen Prüftemperatur bestimmt. So steigt mit sinkender Temperatur die „Haftung“ einer Klebverbindung vor allem durch die Erhöhung der Kohäsion bzw. des E-Moduls, sofern eine ausreichende Adhäsion gegeben ist. Mit Haftklebstoffen können Zugscherfestigkeiten von 15 MPa erreicht werden, wenn die Prüfung zum Beispiel bei  $-40\text{ °C}$  durchgeführt wird.

#### 1.3.5.1 Glasübergangstemperatur $T_g$

Die Glasübergangstemperatur ist eine charakteristische Kenngröße der Polymere, bei der sich der innere Zustand der Makromoleküle vom starren (relativ unflexiblen, glasartigen) zum elastischeren (flexibleren) Zustand ändert. Die zunehmende Beweglichkeit der Makromoleküle oberhalb der Glasübergangstemperatur bedeutet für die Praxis, dass einerseits die innere Festigkeit eines Klebstoffs abnimmt, andererseits die Flexibilität zunimmt, so dass der Ausgleich innerer Spannungen erleichtert wird und die Schlagzähigkeiten solcher Klebverbindungen größer werden.

### 1.3.6 Grenzflächen eines doppelseitigen Haftklebebandes

Bei einem Fügevorgang eines doppelseitigen Haftklebebandes mit einem Trägermaterial hat man es mit vier Grenzflächen zu tun. Zwei ergeben sich aus dem Übergang zum Trägermaterial, zwei andere ergeben sich aus dem Übergang zum Substrat. In diesen Fällen können die Klebverbindungen nicht nur auf dem Substrat versagen, sondern auch zwischen dem Trägermaterial und der Klebstoffschicht. Das ist zum Beispiel bei Polyolefin- oder Polyurethan-Trägerfolien (PUR-Trägerfolien) möglich, die vor der Beschichtung nicht ausreichend oder nicht mit einem geeigneten Verfahren vorbehandelt wurden, der Klebstoff gleichzeitig aber sehr gut auf bestimmten Substraten haftet. In solchen Fällen ist die Haftung Klebstoff-Substrat größer als die Haftung Klebstoff-Trägerfolie.

### 1.3.7 Kriterien der Klebkraft

Um eine hohe Haftung zu erreichen und die mögliche Klebkraft von Klebebändern, Etiketten und SK-Folien vollständig auszunutzen, müssen einige wichtige Kriterien erfüllt werden:

- **Der Haftklebstoff muss den oder die Fügepartner ausreichend benetzen.** Die Oberflächen können allerdings im Gegensatz zu anderen Klebstoffsystemen vergleichsweise glatt, rau oder strukturiert sein (Gewebe, Netze, Schäume, Folien).
- **Der Haftklebstoff muss die „richtigen“ rheologischen Eigenschaften besitzen und sich wie eine viskoelastische Flüssigkeit verhalten.** Bei rauen Substraten müssen zum Beispiel weichere Haftklebstoffe (dies entspricht einer Flüssigkeit mit geringerer Viskosität) eingesetzt werden, bei sehr glatten Oberflächen können steifere Haftklebstoffe (entsprechen hochviskosen Flüssigkeiten) bei höheren Anpressdrücken eingesetzt werden.
- **Der Klebstoff muss ein bestimmtes Maß an Fließfähigkeit besitzen.** Um die mikroskopischen Unebenheiten einer Oberfläche, besonders bei Metallen, zu umschließen.
- **Die Wechselwirkungskräfte zwischen dem Substrat und dem Haftklebstoff müssen wirksam werden können.** Diese Kräfte sind umso größer, je näher sich die Fügepartner kommen. Daher bestimmt die Höhe des Anpressdruckes deutlich die Haftung.
- **Bei einigen Kunststoffen steigt die Haftung, wenn die Makromoleküle des Kunststoffs und/oder die Makromoleküle des Klebstoffs im Bereich der Grenzflächen in das jeweils andere Material diffundieren können.**

### 1.3.8 Aufbau der Klebkraft

Restlösemittel in Haftklebstoffen können auf vielen Substraten die Haftung verstärken, da sie in der Anfangsphase nach der Applikation die Benetzung und „Verteilung“ der Klebstoffe fördern. In Verbindung mit der Fähigkeit zum Fließen des Klebstoffs können so mikroskopische Unebenheiten ausgefüllt werden. Dadurch nimmt die tatsächliche Fläche, die zur Haftung beiträgt, mit der Zeit zu. Letztlich ist dies einer der Gründe, warum gerade bei Haftklebstoffen die Haftung mit der Zeit steigt. Man spricht in diesem Zusammenhang davon, dass sich die Klebkraft „aufbaut“. Im Wesentlichen handelt es sich um eine Sättigung der Wechselwirkung funktioneller Gruppen, die aus dem Klebstoff an die Grenzschicht Substrat-Klebstoff diffundieren und so in Abhängigkeit von der Zeit die Adhäsion erhöhen.

Die Fähigkeit, dass sich die Haftung in den ersten Stunden nach der Applikation noch erhöht, sich also noch „aufbaut“, gehört zu den Besonderheiten der Haftklebstoffe gegenüber allen anderen Klebstoffen. Die Zeit bis zum Erreichen der Endfestigkeit von Haftklebebandern wird teilweise als „Reifezeit“ bezeichnet. Nach der Reifezeit wird eine Haftung erreicht, die selbst nach mehreren Tagen nicht mehr weiter steigt. Es handelt sich dann um die tatsächlich nutzbare Klebfestigkeit. Für die verschiedenen Klebstoffe und Klebstoffrezepturen gibt es keine konstanten Reifezeiten. Daher ist es sinnvoll, bei Klebebandern mit unbekanntem Klebstoffsystemen und Eigenschaftsprofil die Endfestigkeit erst nach drei Tagen zu bestimmen. In der Praxis hat sich gezeigt, dass die Reifezeit verkürzt werden kann, wenn die Klebverbindungen etwa eine Stunde bei 60 °C gelagert werden. Diese Erfahrung unterstreicht, dass es sich beim „Reifeprozess“ um einen diffusionsgesteuerten und damit von der Zeit abhängigen Vorgang handelt. Letztlich handelt es sich beim Klebkraftaufbau um einen thermodynamischen Zustand, bei dem erst nach einer bestimmten Zeit die Sättigung der Wechselwirkungskräfte eintritt.

Es ist bekannt, dass die Reifezeit von UV-vernetzten Hotmelts auf Kautschukbasis und von SI-Haftklebstoffen sehr kurz ist und etwa 1 Stunde beträgt, bei Acrylat-haftklebstoffen ist die Reifezeit erst nach 3 Tagen abgeschlossen.

### 1.3.9 Charakteristische physikochemische Eigenschaften

Für Haftklebebander, Etiketten und selbstklebende Folien ist die Haftung nicht alleine entscheidend für eine erfolgreiche Anwendung. Zu den charakteristischen Eigenschaften von Haftklebebandern gehören die chemischen und physikalischen Eigenschaften wie:

- die **Stabilität** bei Einwirkung von Lösemitteln.
- die **Wetterbeständigkeit**.
- der **Abriebwiderstand** bei gleitender und rollender Reibung.
- die **Reißkraft** und **Reißdehnung**.

- der **Berstwiderstand**.
- die **Schmiegsamkeit** (entspricht der Fähigkeit eines Klebebandes, sich der Oberfläche eines gewölbten oder unregelmäßig geformten Gegenstandes anzupassen, ohne sich stellenweise abzuheben oder Falten zu bilden, bei Etiketten oft als Schmetterlingseffekt bezeichnet, wenn sich die Etiketten vom Rand aus ablösen).
- die **Flexibilität** (entspricht der Fähigkeit eines Klebebandes, biegsam und geschmeidig zu sein, besonders im Einsatz bei niedrigen Temperaturen).
- der **Schlagwiderstand** (entspricht der Fähigkeit eines Klebebandes, einem plötzlichem Schlag zu widerstehen).
- die **Abrollkraft** (entspricht der Kraft zum Abrollen eines Klebebandes unter vorgeschriebenen Bedingungen, wichtig bei schnelllaufenden Spendermaschinen).
- die **Bedruckbarkeit** (Druckfarbe muss so auf der Trägerfolie oder dem Etikettenmaterial haften, dass kein Übertragen der Druckfarbe beim Abrollen erfolgt).
- Die rückstandsfreie **Ablösbarkeit**, sofern nur eine zeitweise Nutzung gefordert wird (gilt häufig für Etiketten und SK-Folien).
- die **Lagerfähigkeit** (die Ausgangs-Eigenschaften dürfen sich unter definierten Bedingungen und nach einer vorgegebenen Lagerzeit nicht wesentlich ändern).

Wichtige Eigenschaften sind auch:

- die **Rollneigung** (unerwünschte Fähigkeit eines Klebebandes, sich zu verdrehen, zurückzurollen oder umzuschlagen, nachdem es abgewickelt wurde und von der Rolle hängt).
- die **Schichttrennung** (unerwünschte Trennung der Klebstoffschicht vom Träger, als Delaminierung bezeichnet).
- die **Farbstabilität** bei Bewitterung und Langzeitlagerung.
- der **Versatz** der Hülse, Kernversatz (das Klebeband wurde korrekt und kantengenau aufgewickelt, jedoch nicht zentriert auf der Hülse, auch als Kern bezeichnet).
- die **Nadellöcher** (unerwünschte punktförmige Fehlstellen im Klebeband, die Licht, Elektrizität oder Wasserdampf durchlassen. Die Nadellöcher können sich im Träger und/oder in der Klebstoffschicht befinden. Bei einigen Anwendungen werden gezielt Löcher oder Schlitze in der Trägerfolie hergestellt, um eine Blasenbildung bei großen Klebflächen zu vermeiden.)
- das **Teleskopieren** (entspricht einer konischen oder schüsselartigen Verformung einer sonst ebenen Klebebandrolle durch Gleiten der Klebstoffschicht bei Schubbelastung).

Da es sich bei Haftklebstoffen um hochviskose viskoelastische Flüssigkeiten handelt, lassen sich viele Stoffe wie Vliese, Filze, Gewebe, Folien, Pappen oder Schäume selbstklebend ausrüsten.

## ■ 1.4 Vorteile von Haftklebebändern

Der entscheidende Vorteil von Haftklebstoffen gegenüber allen anderen Klebstoffen ergibt sich aus dem einfachen Fertigungsprozess. Bei den reaktiven und anderen Klebstoffen sind Misch- und Dosierprozesse notwendig, bei wärmehärtenden Klebstoffen der Eintrag von Wärme, bei strahlenvernetzenden Klebstoffen die Behandlung mit Strahlen aus dem sichtbaren und unsichtbaren Strahlungsspektrum, bei lösemittelhaltigen und wässrig dispergierten Klebstoffen die Entfernung der Trägerflüssigkeit oder bei Hotmelts und wärmeaktivierbaren Klebstofffilmen die Zu- und Abführung der Wärme. Außerdem müssen die meisten Klebverbindungen kurzzeitig oder über mehrere Stunden fixiert werden. Diese Prozesse bedeuten, dass das Kleben immer eine bestimmte Zeit und einen geeigneten apparativen Aufwand erfordert.

Haftklebebänder, Etiketten und selbstklebende Folien sind im Vergleich mit anderen Klebstoffen „vorgefertigte“ Klebstoffsysteme, die einen sehr einfachen Fertigungsprozess ergeben. Dadurch, dass die Haftklebstoffe auf Trägermaterialien übertragen wurden, besteht der Klebprozess in der Applikation des Klebebandes und bei doppelseitigen Klebebändern im Fügen der zu verbindenden Substrate verbunden mit einem kurzzeitigen Anpressen. Das Anpressen ist in wenigen Sekunden abgeschlossen. Die Beschichtung von Trägerfolien mit dem eigentlichen Haftklebstoff hat den Vorteil, dass sehr gleichmäßige Schichten hergestellt werden können, also Schichtdickenschwankungen nicht auftreten bzw. die Schichtdicken nur in sehr engen Grenzen schwanken. Dadurch sind Haftklebebänder gleichzeitig „Abstandshalter“ und Klebstoff, was zum Beispiel bei der Herstellung von Solarmodulen genutzt wird.

Da die Klebebänder mit diffusionsdichten Trägerfolien keinen Stoffaustausch zulassen, eignen sie sich zum Abdichten von Gas- und Flüssigkeitsbehältern, sofern keine zu hohen Drücke und chemischen Stoffe auf die Klebungen einwirken. Haftklebebänder werden selbst in Kombination mit Punktschweißverbindungen, beim Toxen, Clinchen oder mit Nietverbindungen eingesetzt, um die Festigkeit, Geräuschkämmung und Dichtheit der mit diesen Fügeverfahren hergestellten Bauteile zu erhöhen.

Haftklebebänder, vorzugsweise dickschichtige Transferklebebänder auf der Basis von Butylkautschuk, auch als Butyl-Tapes bezeichnet, haben sich in der Bau- und Automobilindustrie als Dichtungen bewährt. Die wie Haftklebstoffe funktionierenden Tapes werden dann häufig als Dichtmassen bezeichnet. Durch die Entwicklung UV-polymerisierender und UV-vernetzender Polyacrylate, die bei Schichtdicken bis etwa 5 mm vernetzbar sind, konnten abdichtende Haftklebebänder hergestellt werden, die verbesserte Eigenschaften im Vergleich zu Butylkautschuk-Tapes besitzen.



**BILD 1.5** Anwendung von doppelseitigen Haftklebebändern bei der Herstellung von Solarmodulen  
(Quelle: VITO Irmen GmbH & Co. KG, Remagen)

Die abdichtenden Tapes auf Acrylatbasis sind thermisch höher belastbar, transparent oder transluzent, besitzen eine höhere Witterungsbeständigkeit, neigen weniger zum Kriechen oder „Ausbluten“ und besitzen höhere Scherfestigkeiten und Schälwiderstände. Dadurch konnten diese dickschichtigen Transferklebebänder neue Anwendungen erschließen.

Die Anwendung von doppelseitigen Haftklebebändern in Solarmodulen gehört zum Stand der Technik (siehe Bild 1.5) und ohne diese Klebverbindungen würde die Solartechnik nicht den hohen Stellenwert für die Energiegewinnung besitzen.

Von Haftklebebändern für Solarmodule wird eine 25-jährige Lebensdauer der Verbindungen gefordert, d.h. die Klebebänder müssen der UV-Strahlung standhalten, den Temperaturwechselbeanspruchungen und den Feuchtebelastungen. In Industriegebieten ergeben sich zusätzliche Belastungen durch die Industriegase und auf Schiffen durch das Meeresklima.

Da Klebebänder so konzipiert werden können, dass sie sich den unterschiedlichsten Substratoberflächen anpassen lassen und deshalb als „geometriefreundlich“ bezeichnet werden, eignen sie sich zum Verbinden komplexer Geometrien. Durch das Ausstanzen jeder denkbaren Form ergeben sich vielfältige Designmöglichkeiten und genau angepasste Klebflächen. Selbst bei sehr kleinen Bauteilen ist ein lagegenauer Klebstoffauftrag möglich. Der Haftklebstoff wird nur dort platziert, wo er tatsächlich benötigt wird. Überstehende Klebstoffwulste, wie sie teilweise bei anderen Klebstoffen möglich sind, treten nicht auf. Bei der Anwendung von Haftklebstoffen handelt es sich zugleich um eine sehr „saubere“ Verbindungstechnik. Bei der Applikation von Etiketten und kleinen gestanzten Geometrien, die auf runden Oberflächen aufgeklebt werden, müssen die Rollneigung und das Rückstellvermögen berücksichtigt werden. Bei sehr kleinen Flaschen, Rohren mit geringen Durchmessern oder vergleichbaren runden Bauteilen kann es zur Ablösung der

Etiketten oder Stanzteile kommen, wenn die Haftung auf dem Substrat nicht hoch genug ist. Dabei kann durchaus eine hohe Anfangsfestigkeit gemessen werden. Sobald die Rückstellkräfte ausreichend groß sind, verändert sich die Anfangshaftung, die tatsächliche Haftung verringert sich. Somit kann ein Zustand erreicht werden, bei dem sich die Etiketten allmählich ablösen.

Die Anwendung von Haftklebstoffen gilt als saubere Verbindungstechnik, da ein aufwändiges Reinigen von Misch-, Dosier- oder Auftragsgeräten entfällt. Eine Entsorgung von Material- und/oder Lösemittelresten bis auf die notwendigen Schutzabdeckungen (Liner) entfällt.

Klebebänder, SK-Folien und selbstklebende Haft-Etiketten geben im Vergleich mit lösemittelhaltigen Klebstoffen keine Lösemittel ab, so dass bei industriellen Anwendungen keine besonderen Schutzmaßnahmen am Arbeitsplatz erforderlich sind. Sofern Klebebänder auf der Basis lösemittelhaltiger Rezepturen hergestellt werden, liegen die Restlösemittelanteile unter 0,1 %. Besonders Haftklebstoffe, die in Form wässriger Dispersionen oder als sogenannte 100 %-Solid-Systeme (Hotmelt) verarbeitet werden, gelten als umweltschonend. Diese Vorteile sind der Grund dafür, dass sich Haftklebebänder in vielen Bereichen der Industrie zunehmend durchgesetzt haben.

Die Viskoelastizität der Klebebänder bewirkt beim Verbinden von Metallen, Keramiken, Gläsern und Kunststoffen bei unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten einen Spannungsausgleich. Gerade beim Verbinden großflächiger Bauteile aus unterschiedlichen Materialien ergeben sich Relativverschiebungen der Bauteile, die zu sehr hohen Scher- und Schubkräften führen, wenn die Klebstoffe nicht ausreichend viskoelastisch sind. Bei steifen und spröden reaktiven Klebstoffen können die Spannungen so groß werden, dass es zu einer ungewollten Verformung oder zu hohen inneren Spannungen kommt. Im Extremfall versagen die Klebverbindungen, obwohl bei Klebversuchen sehr hohe Klebfestigkeiten nachgewiesen wurden. Da bei großflächigen Bauteilen große Klebflächen zur Verfügung stehen, eignen sich Haftklebstoffe durchaus zum Verbinden solcher Bauteile, sofern keine hohen Scherkräfte auftreten.

Als vorgefertigte Produkte scheiden bei den Klebebändern, Etiketten und selbstklebenden Folien Fehlklebungen aus, da zum Beispiel falsche Mischungsverhältnisse, ungenaue Dosierungen, zu hohe oder zu niedrige Erwärmungen, die bei anderen Klebstoffen die Qualität der Klebverbindungen bestimmen können, nicht auftreten. Bei reaktiven Klebstoffen gibt es eine sogenannte Topfzeit, die während des Mischens 2-komponentiger Klebstoffe beginnt und bei fortschreitender Reaktion mit dem Übergang in den Gelzustand endet. In diesem Zeitraum muss ein 2-komponentiger Klebstoff aufgetragen und die Fixierung abgeschlossen sein. Wird die Topfzeit überschritten, sinkt die erreichbare Klebfestigkeit durch unzureichende Benetzung oder es kommt sogar zu Fehlklebungen. Dieses Fertigungsrisiko ist bei

Haftklebstoffen ausgeschlossen. Allerdings muss bei Haftklebstoffen berücksichtigt werden, dass bei niedrigen Substrattemperaturen keine ausreichende Benetzung erfolgt und dann die Haftung unzureichend ist. Bei reaktiven Klebstoffen, bei denen die Vernetzungsreaktion nach dem Gelzustand weiter abläuft, kann die Haftung bei niedrigen Umgebungstemperaturen nicht ansteigen, da die Benetzung unzureichend war. Im Gegensatz dazu kann die Haftung von Klebebändern, die bei niedrigen Temperaturen appliziert wurden, deutlich erhöht werden, wenn die Substrattemperatur wieder ansteigt.

Setzt man eine genaue Platzierung der Klebebänder, Etiketten und selbstklebenden Folien voraus, garantieren diese Produkte eine hohe Prozesssicherheit.

Bei flüssigen und pastösen Klebstoffen besteht immer die Gefahr, dass unterschiedliche Anpressdrücke beim Fixieren der Bauteile zu ungleichmäßigen Klebschichtdicken führen. Da gleichzeitig die Klebfestigkeit eine Funktion der Klebschichtdicken ist, ergeben sich dann bei gleichem Klebstoff unterschiedliche Festigkeitswerte. Die Klebstoffhersteller können zwar durch den Zusatz geringer Mengen von Füllstoffen, die wie kleine Distanzelemente wirken, die Voraussetzungen schaffen, dass möglichst konstante Klebschichtdicken erreicht werden, aber diese Methode stößt an Grenzen. Bei Haftklebstoffbändern kann durch die Auswahl der Klebebanddicke die geforderte Schichtdicke genau eingehalten werden. Dadurch können maßgenaue Bauteile hergestellt werden.

Im Vergleich mit den thermischen Fügeverfahren ergeben sich mit warmhärtenden Klebstoffen und insbesondere mit Haftklebstoffen spannungsfreie Verbindungen, da ein Wärmeeintrag gar nicht oder nur unter besonderen Voraussetzungen notwendig ist. Gerade bei Dünnblechschweißungen führt die erforderliche Schmelzwärme zum Verzug der Schweißverbindung, der häufig aus konstruktiver oder ästhetischer Sicht nicht akzeptiert werden kann. In solchen Fällen ist der Einsatz von Haftklebstoffen unter Beachtung der auftretenden Kräfte und verfügbaren Klebflächen möglich und sinnvoll.

Da es sich wie bei allen anderen Klebstoffen um organische, elektrisch nichtleitende Materialien handelt, können sich mit Haftklebstoffen beim Verbinden unterschiedlicher Metalle keine galvanischen Elemente bilden, so dass die Korrosion der Metalle vermieden wird. Bei acrylsäurehaltigen Haftklebstoffen kann es allerdings unter besonderen Bedingungen zur Lokalelementbildung und damit Korrosion kommen. Dieser Effekt muss besonders bei Elektronikanwendungen beachtet werden.

Elektronische Bauteile reagieren empfindlich auf elektrische Felder. In der Nähe solcher Felder besteht die Gefahr, dass die Bauteile in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, sie nicht wie vorgesehen „funktionieren“ und zum Beispiel die Steuerung einer Maschine nicht programmgerecht oder gar nicht ausführen. In solchen Fällen bietet sich die Abschirmung der elektronischen Bauteile mit Haftklebebändern an, die als Träger Cu-Bänder oder verzinnnte Cu-Bänder, die sich löten lassen, besitzen.

Klimaten ausgeführt. Gleichzeitig werden die Klebkräfte nach Einlagerung in verschiedenen Prüfflüssigkeiten wie destilliertes Wasser, Waschlauge, Kaltreiniger, Transformatorenöl, Testbenzin, Antifrostmittel oder Dieselöl ermittelt.

## ■ 4.3 Schälversuch

### 4.3.1 Schälwiderstand, Schälkraft

Die Schälwiderstände und die Schälkräfte im 180°-Schälversuch werden nach den Prüfvorschriften AFERA 5001, Finat FTM 1, PSTC-1 und der europäischen Norm EN 1939: Klebebänder - Bestimmung der Klebkraft ermittelt. Für die gleiche Prüfmethode werden verschiedene Begriffe verwendet, wobei der Schälwiderstand im 180°-Schälversuch den tatsächlichen Versuchsablauf am besten wiedergibt. Die beim Schälversuch ermittelte Schälkraft ist die erforderliche Kraft, um selbstklebende Produkte vom jeweiligen Substrat wieder abzulösen. Die Absolutwerte der Schälkräfte sind vom Abzugswinkel und der Abzugsgeschwindigkeit abhängig.

Da die Schälkraft über einen vorgegebenen Weg ermittelt wird, entspricht das Produkt aus der mittleren Schälkraft und dem Schälweg der Schälenergie, die aufgewendet werden muss, um die Trennung von Haftklebstoff und Substrat zu erreichen.

### 4.3.2 Voraussetzungen und Durchführung

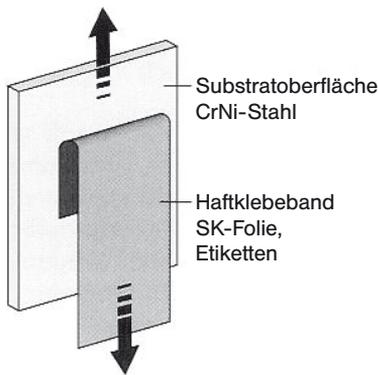
Voraussetzung für die Schälversuche sind feste Substrate, auf die die Klebebänder geklebt werden. Die Norm EN 1939 gilt zwar für Klebebänder, das Messprinzip ist aber auch auf SK-Folien und Etiketten übertragbar. Das Grundprinzip dieser Prüfung zeigt Bild 4.5, ein praktisches Beispiel wird in Bild 4.6 gezeigt.

Die Klebebandbreite für vergleichende Untersuchungen sollte stets 25 mm sein, die Länge der Probestreifen 175 mm. Die normgerechte Schälgeschwindigkeit beträgt 300 mm/min. Sie gilt für vergleichende Untersuchungen, kann aber bei Bedarf oder nach Absprache geändert werden. Bei geringerer Prüfgeschwindigkeit werden stärkere Schwankungen im Kurvenverlauf beobachtet.

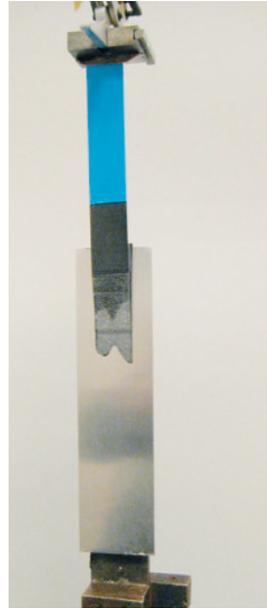
Das zu untersuchende Klebeband ist 24 Stunden vor der Prüfung unter Normalbedingungen zu konditionieren, vorher sind die ersten drei Lagen einer Rolle zu entfernen.

Bei dieser Messung wird der linienförmige Kraftaufwand für jeden Moment des Trennens eines Haftklebbandes vom Substrat ermittelt. Die mechanische Belastung des Klebstoffes im Schälspalt zeigt Bild 4.7.

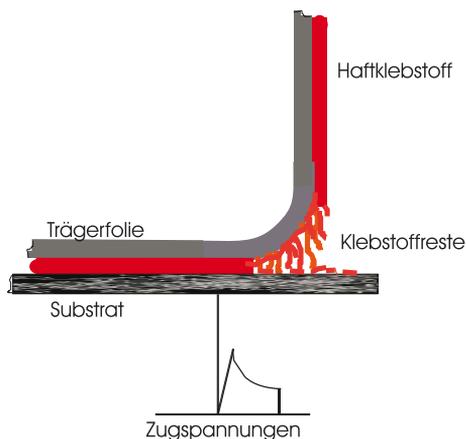
Als Substrate dienen Metall- oder Glasplatten mit den Abmessungen 200 mm × 50 mm × 2 mm. Die Metallplatte besteht auf Empfehlung der AFERA aus der Legierung X12CrNi17.8, hat eine Brinellhärte 230 HB und eine polierte Oberfläche. Vor der Prüfung wird die Platte auf einer Seite gleichmäßig mit einem Schleifpapier Körnung 240 aufgeraut und anschließend mit geeigneten Lösemitteln gereinigt.



**BILD 4.5** Ermittlung des Schälwiderstandes



**BILD 4.6** Schälversuch nach FTM 1 mit Kohäsionsversagen eines geschäumten Dichtklebebandes (Quelle: VITO Irmen GmbH & Co. KG, Remagen)



**BILD 4.7** Belastung, Verformung und Bruchcharakteristik im Schälspalt während eines 90°-Schälversuches

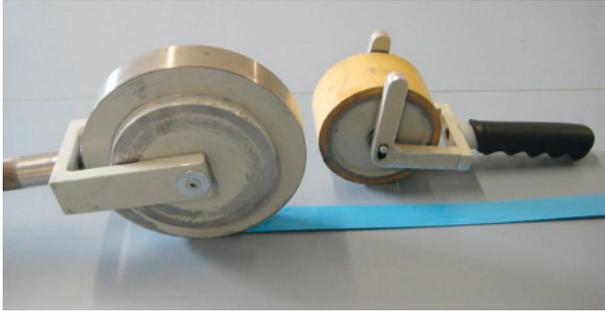
Es kann auch vereinbart werden, andere Materialien einzusetzen, wenn zum Beispiel die Haftung auf Kunststoffen oder anderen Metallen gemessen werden soll. Geeignete Materialien für Vergleichsmessungen sind Polyvinylchlorid (PVC-hart, PVC-U), Polycarbonat (PC), Aluminium oder Gläser. Die FINAT empfiehlt in der Vorschrift FTM 1 für vergleichbare Messungen Testplatten aus Kristallspiegelglas.

Auf vorbereitete Oberflächen werden die zu untersuchenden Streifen aufgelegt und in einer Länge von etwa 150 mm angepresst. Dazu werden polierte Andruckrollen verwendet, die einen Durchmesser von 50 mm besitzen. Die Kraft während des Andrückens ist so zu wählen, dass eine Belastung von 0,2 N/cm entsteht. Bei einer üblichen Breite von 25 mm sind also 0,5 N erforderlich. Der Anpressvorgang ist zweimal durchzuführen. In der Vorschrift FTM 1 werden die Probestreifen mit einer speziellen „Finat-Anpressrolle“ mit 10 mm/s zwei Mal angepresst, d. h. bei 70 mm eines aufgeklebten Streifens sind diese Streifen zwei Mal innerhalb von sieben Sekunden anzupressen. Der restliche Streifen dient zum Umlegen und Einspannen der Schälprobe. Legt man eine Kontaktfläche von 25 mm × 5 mm zugrunde, beträgt die Kontaktzeit beim Anpressen eines 25 mm breiten Klebandes zweimal 0,5 s. Danach können sich die viskoelastischen Klebstoffschichten (reversibler Verformungsanteil) mit einem viskos-plastischen Anteil (irreversibler Verformungsanteil) innerhalb von 20 Minuten, 24 Stunden oder mehreren Tagen mit dem Substrat „verbinden“, d. h. die tatsächliche Kontaktfläche vergrößern und chemisch-physikalische Wechselwirkungen aufbauen.

Beim Schälversuch mit 300 mm/min beträgt die mechanische Belastung im Klebspalt etwa eine Sekunde. Die Polymermoleküle haben nur wenig Zeit, sich der Zerstörung ihres Zusammenhalts durch Verformung oder Fließen in bestimmten Grenzen zu widersetzen. Nur bei hoher Adhäsion versagen die Polymerschichten kohäsiv wie relativ spröde Schichten, d. h. der Schälwiderstand ist vergleichsweise groß. Bei geringer Adhäsion überwiegt der Zusammenhalt der Polymermoleküle und es kommt zum adhäsiven Versagen bei relativ hohen Schälkräften.

Bei Schälgeschwindigkeiten von 5 mm/min beträgt die Zeit der mechanischen Belastung, die zum adhäsiven oder kohäsiven Versagen zur Verfügung steht, 60 s. Diese Zeit ist ausreichend, damit die Wechselwirkungskräfte zwischen den Polymermolekülen nachgeben, sobald die Adhäsionskräfte ausreichend groß sind. Durch die Verschiebung der Polymermoleküle sinkt ihr innerer Zusammenhalt, so dass es bei geringen Schälkräften zum kohäsiven Versagen in der Klebstoffschicht kommt. Entscheidend für den Bruchmechanismus und die Höhe der Schälkräfte ist nicht nur die Prüfgeschwindigkeit, sondern auch die Adhäsion. Sobald die Adhäsion die Schwachstelle einer Klebung ist, spielen die innere Festigkeit der Klebstoffschicht und die Prüfgeschwindigkeit keine große Rolle.

Die Anpressrollen können verschiedene Gewichte haben, siehe Bild 4.8, um die Anpresskraft den Probenbreiten anpassen zu können.



**BILD 4.8** Anpressrollen zur Vorbereitung von Schälproben

Auf eine Platte lassen sich insgesamt fünf Proben aufbringen, so dass die Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet werden können.

Nach 72 Stunden (oder anderen vereinbarten Zeiten) können die Metallplatten bzw. die jeweiligen Substrate einerseits und die um  $180^\circ$  umgelegten Klebebänder andererseits in eine Zugprüfmaschine eingespannt werden. Als Schälwiderstand und zugleich als Ausdruck der Haftung wird die Trennkraft in N/25 mm, teilweise auch in N/cm angegeben. Bei dieser Messung wird vorrangig die Adhäsion zwischen dem Haftklebstoff und dem Substrat bewertet, aber zugleich wird der Messwert in gewissem Umfang von der Kohäsion des Klebstoffs bestimmt. Eine Trennung zwischen Trägerfolie und Klebstoff sollte nicht vorkommen, ist aber nicht ausgeschlossen, wenn die Vorbehandlung der Trägerfolie ungenügend ist und die Substratoberflächen mit einem geeigneten Primer oder mit einem Atmosphärendruck-Plasma behandelt wurden.

Sind die Trägermaterialien für einen zu untersuchenden Haftklebstoff sehr dünn und besitzen sie eine geringe Eigenfestigkeit, kann es vorkommen, dass das Trägermaterial vor der Ermittlung des Schälwiderstandes gedehnt oder zerstört wird. Der zur Zerstörung eines solchen Haftklebebandes erforderliche Kraftaufwand darf nicht in einen Schälwiderstand umgerechnet werden. In diesen Fällen ist es sinnvoller, die Dicke des Trägermaterials zu erhöhen.

Die Vorbereitung der Prüfplatten ist für das Messergebnis von besonderer Bedeutung, die Aufwendungen für die Vorbereitung der Proben bestimmen maßgeblich die Kosten der Prüfung. In Schiedsfällen ist es notwendig, Prüfplatten zu verwenden, die vom Sekretariat der AFERA oder FINAT bezogen wurden.

Der Schälversuch kann je nach Vereinbarung nach 10 Minuten, 20 Minuten, 30 Minuten oder 24 Stunden, besser nach drei Tagen durchgeführt werden, da vor allem am Anfang einer Messreihe nicht ausgeschlossen werden kann, dass sich die Klebkraft mit der Zeit aufbaut, die Klebverbindung also „reift“. Die Tabelle 4.2 zeigt den Klebkraftaufbau eines Klebebandes auf verschiedenen Substraten.

**TABELLE 4.2** Klebkraft nach unterschiedlichen Prüfzeiten

Material	Schälwiderstand N/25 mm nach 30 min	Schälwiderstand N/25 mm nach 72 h	Aufbau in %
Aluminium	12	26	116
Cr-Ni-Stahl	28	41	46
Glas	33	40	21
Polycarbonat	31	37	19
Polypropylen	11	16	45

Kautschuk-Haftklebstoffe erreichen ihre maximale Haftung auf vielen Substraten nach wenigen Minuten. Besonders Acrylat-Haftklebstoffe benötigen teilweise mehrere Tage, bis sich die maximale Haftung einstellt.

Die Wartezeit bis zum Erreichen der Maximalhaftung kann durch eine Warmlagerung verkürzt werden. Bei 50 °C wird die Endfestigkeit nach etwa zwei Stunden erreicht, bei 70 °C nach einer Stunde. Die Zeitspanne zwischen dem Anpressen und der Messung des Schälwiderstandes ist vom Anpressdruck und der Presszeit abhängig, wenn die Klebebänder zwischen zwei Platten mit einem Substrat zusammengedrückt werden. Deshalb ist es möglich, bei hohem Druck über mehrere Minuten die Schälwiderstände nach kurzen Wartezeiten zu messen. Bei höheren Drücken besteht die Gefahr, dass der Klebstoff je nach Trägermaterial in dessen Substratoberfläche oder aus dem Klebspalt gepresst wird und sich dadurch die Klebfuge verringert. Sehr geringe Klebfugendicken wirken sich aber nachteilig auf die Klebkraft aus. Bei der Festlegung des Andruckes muss beachtet werden, dass ein Klebstoffaustritt am Rand eines Klebebandes nicht erwünscht ist. Der mögliche Klebstoffaustritt wird stark von der Fließfähigkeit und der jeweiligen Temperatur, bei der der Andruck ausgeübt wird, bestimmt. Der Klebstoffaustritt bei sehr hohen Drücken ist besonders bei gestapelten Verpackungen von Interesse, da in ungünstigen Fällen unerwünschte Klebeffekte auftreten können. Dieses Problem muss besonders bei der Rezeptentwicklung der Schmelzhaftklebstoffe und der Haftklebstoffe auf Kautschukbasis berücksichtigt werden, wobei die weichmachenden Zusätze das Fließverhalten entscheidend bestimmen. Die Acrylatklebstoffe enthalten praktisch keine niedermolekularen Bestandteile, die ein ausgeprägtes Fließverhalten fördern.

### 4.3.3 FINAT FTM 2, Winkel 90°

Die Prüfmethode FINAT FTM 2 ist eine Schälprüfung bei einem Winkel von 90°. Geprüft wird vorzugsweise nach 24 oder 72 Stunden. Die gleiche Probenherstellung und das gleiche Messprinzip wie beim 180°-Schälversuch gelten auch für 90°-Schälversuche. Ein Abzugswinkel von 90° ist dann von Vorteil, wenn sehr steife Folien

auf Substrate geklebt werden. Bei einer Umlenkung um  $180^\circ$  würden sich alleine durch diesen Vorgang Spannungen ergeben, die das Messergebnis verfälschen. Das Bild 4.9 zeigt den praktischen Versuch.



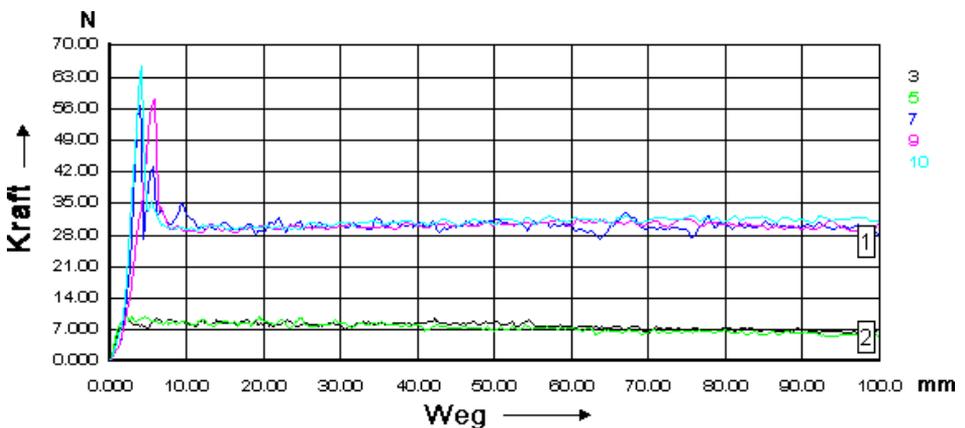
**BILD 4.9** Schälversuch nach FTM 2, Haftung eines Dichtklebstoffes zwischen zwei flexiblen Metallfolien (Quelle: VITO Irmen GmbH & Co. KG, Remagen)

Wenn die Proben bei 70 °C sieben Tage gelagert und nach der Abkühlung geprüft werden, kann sich ein relativer Klebkraftverlust ergeben, der als Beständigkeit gegen hohe Temperaturen ausgewiesen wird (FTM 5). Als relativer Vergleich eignen sich die bekannten Schäl- und Scherprüfmethode. Bei einigen Haftklebstoffen erhöhen sich nach einer Warmlagerung die Schälwiderstände, was auf eine Nachvernetzung durch die Warmlagerung hindeutet. Die Erhöhung der Haftung bei einer Warmlagerung lässt sich auch praktisch nutzen [3].

#### 4.3.4 Prüfung des Niedrigtemperaturverhaltens

Mit den Vorschriften AFERA 5001, FINAT FTM 1 oder der Norm EN 1939 lässt sich das Niedrigtemperaturverhalten von Haftklebstoffen, SK-Folien und Etiketten beurteilen, wenn die selbstklebenden Produkte vor der Prüfung bei einer niedrigen Temperatur konditioniert werden. Wichtig ist, dass die Prüfplatten und die Anpressrollen die gleiche Temperatur haben. Dazu werden die Prüfplatten mit den Klebebandstreifen und der Anpressrolle 16 bis 24 Stunden bei der niedrigen Temperatur gelagert. Danach kann die Ermittlung des Schälwiderstandes bei der niedrigen Temperatur, vorzugsweise bei -20 °C erfolgen.

Mit Schälversuchen lässt sich der Einfluss der Klebschichtdicke auf den Schälwiderstand nachweisen, siehe Bild 4.10. Es zeigt 0,02 und 0,16 mm dicke Schichten des gleichen Haftschnelzklebstoffes auf einem PET-Träger. Die dickere Schicht ergibt deutlich höhere Schälwiderstände. Bei vergleichenden Untersuchungen oder Lieferspezifikationen müssen deshalb immer die jeweiligen Klebschichtdicken angegeben werden.



**BILD 4.10** Einfluss der Klebschichtdicke eines SEBS-Klebstoffes auf den Schälwiderstand (1: 0,16 mm dick; 2: 0,02 mm dick)