

Kleben – das Fügeverfahren des 21. Jahrhunderts

Dr. Hermann Onusseit
Henkel KGaA
Düsseldorf

Die meisten Produkte des täglichen Lebens bestehen aus mehreren Teilen, häufig aus mehreren Materialien. Um diese Teile zusammenzuhalten sind in den letzten Jahrhunderten verschiedene Fügeverfahren wie Schrauben, Schweißen, Löten und Kleben entwickelt worden [Abb. 1]. Ohne diese Fügeverfahren wären viele Produkte des heutigen Lebens nicht vorstellbar. Traditionelle Fügeverfahren wie Nähen, Nageln und Schrauben sind nur für bestimmte Anwendungen und Materialien einsetzbar. Mit Beginn der Industrialisierung im 19. Jahrhundert wurde besonders das Nieten ein wichtiges Fügeverfahren, da es den Bau großer, stabiler Metallkonstruktionen ermöglichte (z. B. der Eiffelturm im Jahre 1889). Im 20. Jahrhundert löste das Schweißen das Nieten für hochfeste Metallkonstruktionen ab (z. B. das erste vollgeschweißte Schiff im Jahre 1919).

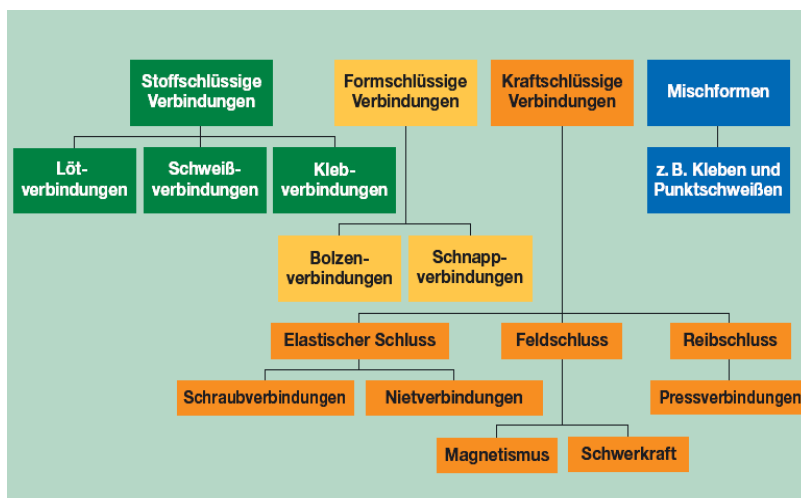


Abb. 1 Einteilung der Verbindungstechniken

Die traditionellen Verbindungstechniken haben wohl bekannte Nachteile. Mechanische Verfahren wie Nieten oder Schrauben ermöglichen nur eine punktförmige Kraftübertragung; außerdem muss man in die zu verbindenden Werkstücke Löcher bohren, den Werkstoff also „verletzen“ und damit u. U. schwächen. Bei thermischen Verfahren, wie dem Schweißen verändert der Werkstoff innerhalb einer Wärmeeinflusszone seine spezifischen Eigenschaften. Es ist daher nicht verwunderlich, dass sich von allen Fügeverfahren das Kleben in den letzten Jahrzehnten am schnellsten weiterentwickelt hat. Besonders im Bereich der Massenfertigung lassen vollautomatisierte Fügeverfahren mit

der Hilfe von Klebstoffen ein rationelles und damit kostengünstiges Produzieren zu.

Die Entwicklung neuer Werkstoffe mit ihren vielfältigen Einsatzmöglichkeiten schaffen neue Herausforderungen an die Verbindungstechnik, insbesondere wenn verschiedene Werkstoffe zu Bauteilen gefügt werden, um ihre unterschiedlichen vorteilhaften Eigenschaften auch im Verbund zu nutzen. Das Kleben ist hier das am häufigsten eingesetzte Fügeverfahren. Die Klebtechnik wird besonders aus vier wesentlichen Gründen zukünftig in Industrie und Handwerk eine Schlüsselstellung einnehmen:

- ? Bei fachgerechtem Einsatz können klebtechnisch nahezu alle Werkstoffe in beliebigen Kombinationen langzeitbeständig miteinander verbunden werden.
- ? Durch den Fertigungsprozess „Kleben“ werden die Werkstoffeigenschaften der Füge Teile in der Regel erhalten: Der Klebprozess ist im Vergleich zum Schweißen oder Löten wärmearm, eine Schwächung der Füge Teile wie beim Nieten oder Schrauben findet nicht statt.
- ? In der Produktherstellung besteht die Möglichkeit, die spezifischen Werkstoffeigenschaften für ein Bauteil optimal zu nutzen. Durch neue Materialkombinationen lassen sich z.B. die Forderungen nach Stabilitätsgewinn und Gewichtsreduktion gleichzeitig erfüllen.
- ? Durch die Klebtechnik ist es möglich, über das eigentliche Verbinden hinausgehende Eigenschaften in das Bauteil zu integrieren, z. B. Isolation, Abdichtung gegen Gase und Flüssigkeiten, Schwingungsdämpfung, Korrosionsschutz, Ausgleich unterschiedlicher Füge Teildynamiken usw.

Kleben ist daher heute in allen Bereichen ein unverzichtbares Fügeverfahren geworden, um zwei oder mehrere Substrate miteinander zu verbinden. Durch dieses Verfahren können Verbundwerkstoffe geschaffen werden, die den Umgang (den Transport und die Lagerung) mit Nahrungsmitteln und allen Produkten des täglichen Lebens erleichtern [Abb.2], die Mobilität [Abb.3] und Kommunikation ermöglichen [Abb.4], Gesundheit und Hygiene sichern [Abb.5], die Wohnqualität [Abb.6] verbessern und die Herstellung innovativer Produkte [Abb.7] in vielen Fällen erst möglich machen. Auf Grund dieser Vorteile ist es nicht verwunderlich dass das Kleben als Verbindungstechnik hat in den letzten Jahrzehnten an Bedeutung stark zugenommen hat. Dies ist auch daran zu erkennen, dass sich weltweit die verarbeitete Menge an Kleb- und Dichtstoffen in den unterschiedlichsten Varianten in den letzten 3 Jahrzehnten mehr als Verfünffacht hat. Im Jahre 2000 erreichte das Marktvolumen an Kleb- und Dichtstoffen sowie von trägergestützten Klebstoffen (Klebebändern und Etiketten) weltweit einen Wert von rund 40 Milliarden Euro. In Europa wurden im Jahr 2000 für ca.14 Milliarden Euro und in Deutschland für ca. 5 Milliarden Euro Klebstoffe verarbeitet.



Abb. 2 Klebstoffanwendungen im Verpackungsbereich

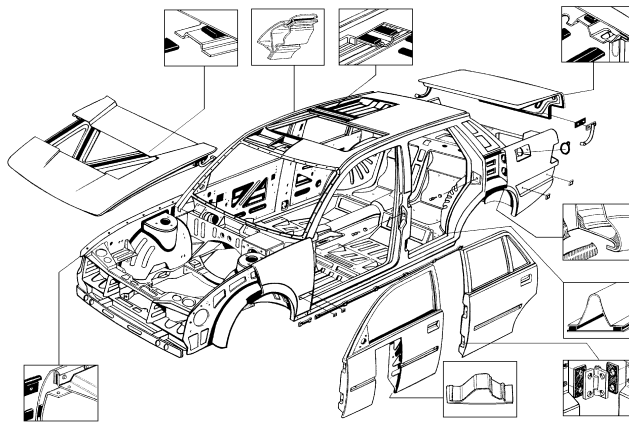


Abb. 3 Einsatz von Klebstoffen im Automobilbau

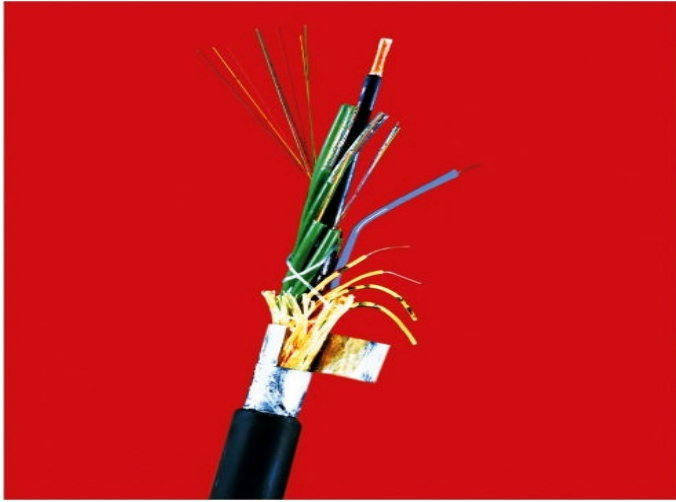


Abb. 4 Geklebttes Lichtwellenleiterkabel



Abb. 5 Verklebte Hygieneprodukte



Abb. 6 Verklebte Möbelteile



Abb. 7 Geklebte Sandwichverbindungen

Neben den technischen Anforderungen die an Verbindungstechniken gestellt werden, spielen auch immer mehr Fragen des Arbeits-, Verbraucher- und Umweltschutzes eine dominante Rolle. Dieser Trend spiegelt sich auch in der Vielzahl von Regulatorien wieder, wobei neben den nationalen Gesetzgebungen heute mehr und mehr europäische Regelungen in Kraft treten. Für die Klebstoffindustrie gilt im Sinne von Responsible Care solche Trends frühzeitig zu erkennen und entsprechend umzusetzen, sowohl bei der Entwicklung von Klebstoffen als auch bei der Verarbeitung von Klebstoffen.

WAS SIND KLEBSTOFFE?

Nach DIN EN 923 wird ein Klebstoff definiert als

- ein Nichtmetall
- ein Bindemittel, das über Adhäsion und Kohäsion wirkt.

Obwohl es auch Klebstoffe auf Basis von anorganischen Substanzen gibt, wie z. B. Wasserglas oder die Produkte auf Basis von Zement, ist die überwiegende Mehrzahl der heute eingesetzten Klebstoffe auf Basis organischer Substanzen formuliert.

Die bekannten Klebstoffarten lassen sich z. B. nach dem Verfestigungsmechanismus oder nach der chemischen Basis klassifizieren.

ADHÄSION UND KOHÄSION

Als Adhäsion bezeichnet man das Haften gleich oder verschiedenartiger Stoffe aneinander.

Damit ein Klebstoff eine ausreichende Adhäsion zu den zu verklebenden Substraten erzielen kann, ist es notwendig, dass die Klebstoffe sehr nah an die Oberfläche des Substrats gelangen. Die Wechselwirkungskräfte, die für das Kleben zuständig sind, z.B. Van-der-Waals-Kräfte (Dispersionswechselwirkungskräfte), Wasserstoffbrückenbindungen oder Kovalente-Bindungskräfte, wirken nur im atomaren Abstand von einigen Angström. Ein solch naher Kontakt ist nur dann gewährleistet, wenn die flüssigen Klebstoffe die zu verklebende Oberfläche ausreichend gut benetzen können. Hierzu ist es notwendig, dass die Oberflächenenergie der zu verklebenden Substrate höher ist als die Oberflächenenergie des Klebstoffes, so dass ein Verlaufen (Spreiten) und damit ein Benetzen erfolgt.

Die adhäsiven Wechselwirkungen zwischen Klebstoff und Füge teil betreffen nicht nur die reine Berührungsf läche (Adhäsionszone) von Klebstoff und Füge teil, sondern beeinflussen auch den Zustand des Klebstoffes in der Nähe der Oberfläche des Füge teils (Übergangszone). In der Adhäsionszone weist der Klebstoff durch die Haftung an der Oberfläche der Füge teile eine modifizierte chemische Struktur und Zusammensetzung auf, die vom Zustand in der Kohäsionszone abweicht. Folglich sind hier auch die makroskopischen Eigenschaften des Klebstoffes verändert. In der Übergangszone zwischen Adhäsions- und Kohäsionszone verändern sich Struktur, Zusammensetzung und makroskopische Eigenschaften des Klebstoffes kontinuierlich. Der Einfluss der Übergangszone kann z. B. darin bestehen, dass eine Entmischung des Klebstoffes auftritt, indem kleine Klebstoffbestandteile in Poren der Oberfläche diffundieren und sich so die Zusammensetzung des Klebstoffes ändert.

Mit Kohäsion wird die innere Festigkeit eines Werkstoffes bezeichnet. In der Kohäsionszone liegt der Klebstoff in seinem durch die Zusammensetzung vorgegebenen Zustand vor.

Die Kohäsion eines Klebstoffes wird durch seine chemische Zusammensetzung, besonders die des Polymers, und durch die Wechselwirkung der einzelnen Bausteine untereinander bestimmt. Vernetzte Systeme zeigen eine deutlich höhere Kohäsion als unvernetzte. Die Vernetzung kann dabei sowohl chemisch erfolgen, als auch physikalischer Natur sein. Bei der Betrachtung der Kohäsion ist zu bedenken, dass die Kohäsion aller Substanzen temperaturabhängig ist. Eine Erhöhung der Temperatur schwächt im Allgemeinen die Kohäsion, was zu beachten ist, wenn die Füge Teile später thermisch belastet werden.

Neben der eigentlichen Festigkeit einer Verklebung kommt es sehr häufig auch auf deren Elastizität an. Elastische Klebefugen können Kräfte wesentlich besser aufnehmen, da die Energien in den Klebfugen verteilt werden. Harte Verklebungen neigen zu sprödem Verhalten, so dass, z. B. bei kurzfristigen Stoßbelastungen, solche Verklebungen trotz der hohen Kohäsion der Klebstoffe, versagen können.

PHYSIKALISCH ABBINDEDE KLEBSTOFFE

Um die Kraftübertragung zwischen den Füge Teilen zu gewährleisten ist es notwendig, dass sich der in der Regel flüssig aufgetragene Klebstoff verfestigt und als abgebundener Klebstofffilm eine entsprechend hohe Kohäsion aufweist. Diese hohe Kohäsion erreichen sie dadurch, dass die Klebstoffe nach dem Abbinden in einem mehr oder weniger hochmolekularen Zustand vorliegen. Dieser für die Kohäsion verantwortliche hochmolekulare Zustand der Polymere kann bereits in den noch nicht verarbeiteten Klebstoffen vorliegen. In diesem Fall können nur Polymere verwendet werden, die sich verflüssigen lassen: z. B. durch Lösen, Dispergieren oder Schmelzen. Die in Frage kommenden Polymere können dabei ganz unterschiedlicher Natur sein. Sowohl natürliche Polymere auf pflanzlicher Basis, wie z. B. Stärken oder Cellulosen, aber auch tierische Produkte, wie Proteine können als Polymere verwendet werden. Für die modernen Hochleistungsklebstoffe werden jedoch i. d. R. maßgeschneiderte Polymere aus der Chemie eingesetzt. Bekannte Polymere, die für Klebstoffe eingesetzt werden, sind Polyester, Polyurethane, Polyvinylacetate, Ethylenvinylcopolymere und viele weitere. Sowohl durch die Auswahl der Monomeren als auch durch deren Zusammensetzung, sowie durch die richtige Wahl der Kettenlänge lassen sich spezifische Eigenschaften erzeugen. Obwohl stark aufquellbare, gering vernetzte Elastomere streng genommen unlöslich sind, können sie doch in bestimmten Fällen noch eingesetzt werden. Dabei genügt es, wenn sie stark aufquellen, damit so die Oberflächen benetzt werden. Neben diesen Polymeren werden noch unterschiedliche Hilfsstoffe in Klebstoffe eingebaut, die auf der einen Seite die notwendige Adhäsion ermöglichen sollen, auf der anderen Seite auch für Verarbeitungseigenschaften wie Viskosität, Abbindezeit und Offene Zeit verantwortlich sind.

Um mit Klebstoffen auch ausreichende Adhäsion zu erhalten, müssen die Klebstoffe während der Verarbeitung (Benetzung der Substratoberflächen) ausreichend mobil sein,

d. h. sie müssen entweder in einem Lösungsmittel gelöst sein, in Wasser dispergiert sein oder als Schmelze vorliegen. In dieser Form können sie dann aufgetragen werden und die Oberflächen benetzen. Nach dem Fügen erfolgt das Abbinden, d. h. das physikalische Festwerden durch das Verdampfen oder Wegschlagen der Lösungs- oder Dispergiermittels oder durch Erstarren beim Abkühlen.

Alle drei Prinzipien werden heute großtechnisch eingesetzt, wobei aus Gründen des Umweltschutzes mehr und mehr versucht wird, lösungsmittelbasierende Klebstoffe durch Klebstoffe auf Basis wässriger Systeme oder durch 100-Prozent-Systeme zu ersetzen.

Lösungsmittelbasierende Klebstoffe

Die überwiegende Zahl der organischen Polymere ist in Wasser unlöslich. Um diese Polymere in Lösung zu bringen, benötigt man organische Lösungsmittel (z. B. Aceton, Benzin). Auf Grund der hohen Wechselwirkung der Polymere mit dem Lösungsmittel und des im Allgemeinen hohen Molekulargewichtes der gelösten Polymere sind die Viskositäten der erhaltenen Lösungen sehr stark vom Feststoffgehalt abhängig. Um verarbeitbare Viskositäten zu erhalten, lassen sich häufig nur relativ geringe Mengen der Polymere einarbeiten, was dazu führt, dass die Abbindezeiten lang sind, da große Mengen an Lösungsmitteln aus der Klebefuge entfernt werden müssen. Um zu höheren Verarbeitungsgeschwindigkeiten zu kommen werden Verklebungen mit lösungsmittelbasierenden Klebstoffen häufig künstlich getrocknet, indem Wärme eingetragen wird die das Verdampfen der Lösungsmittel beschleunigt. Aus Umweltschutzgründen ist es heute Stand der Technik, dass die Lösungsmittel entweder zurückgewonnen werden oder die mit Lösungsmitteln belastete Abluft verbrannt wird.

Wasserbasierende Klebstoffe

Bei den wasserbasierenden Systemen unterscheidet man kolloidale Lösungen der Polymere in Wasser und Dispersionen (bzw. Emulsionen). Kolloidale Lösungen lassen sich herstellen, wenn die Polymere relativ hydrophil sind. Viele natürliche Polymere wie Cellulosen, Stärken und Proteine zeigen solche Eigenschaften, so dass sie als kolloidale Lösungen eingesetzt werden. Ein Problem bei solchen kolloidalen Lösungen besteht darin, dass nur relativ wenig Polymer im Wasser gelöst werden kann, ohne dass die Viskosität so sehr ansteigt, dass die Klebstoffe nicht mehr verarbeitbar sind. Der sich daraus ergebene relativ geringe Festkörpergehalt solcher Klebstoffe hat zur Folge, dass sehr viel Wasser während des Abbindeprozesses entfernt werden muss, sodass das Abbinden eine längere Zeit benötigt. Viele schnelllaufende Produktionsprozesse sind daher mit solchen Systemen nicht realisierbar. Dieses Problem lässt sich dadurch reduzieren, dass man Polymere dispergiert in Wasser einbringt. Bei Dispersionen handelt es sich um die Verteilung feinsten Polymerteilchen in Wasser. Damit solche Systeme stabil sind, müssen die kleinen Teilchen, die in der Regel aus hydrophoben Polymeren bestehen, eine hydrophile Außenschicht erhalten. Diese Schicht aus Schutzkolloiden gewährleistet eine gegenseitige Abstoßung der Teilchen, so dass sie in Wasser in der Schwebe gehalten werden. Bei solchen Dispersionen hat man die Möglichkeit, dass bis zu über 70 Prozent des Produktes Festkörper sind, so dass beim Abbinden relativ wenig Wasser

entfernt werden muss. Da die Systeme insgesamt wesentlich weniger hydrophil sind, wird auch das Wasser schneller abgegeben, so dass Dispersionsklebstoffe auch auf schnellaufenden Produktionsanlagen störungsfrei verarbeitet werden können. Gemeinsam für alle wasserbasierenden Klebstoffe gilt, dass sie hauptsächlich nur dort eingesetzt werden können, wo saugfähige Substrate wie z. B. Papier oder Holz verwendet werden.

Schmelzklebstoffe

Um den immer schneller werdenden Produktionsprozessen Rechnung zu tragen, hat die Klebstoffindustrie mehr und mehr versucht, Systeme in den Markt zu bringen, die zu 100 Prozent aus dem klebenden Material bestehen. Für schnelle Verklebungen haben sich hier besonders die Schmelzklebstoffe bewährt, bei denen es sich um thermoplastische Polymermischungen handelt, die im geschmolzenen Zustand bei Temperaturen, die gewöhnlich zwischen 100°C und 200°C liegen, aufgetragen werden und die durch Abkühlen innerhalb von Bruchteilen von Sekunden eine so hohe Kohäsion aufbauen, dass ein sicheres Handling der verklebten Teile möglich ist. Schmelzklebstoffe können sowohl aus dem für die spätere Kohäsion verantwortlichen Polymer [Abb.8] alleine bestehen (z. B. Schmelzklebstoffe auf Basis von Polyamiden oder Polyestern), häufig sind es jedoch auch Mischungen der Polymere mit anderen Substanzen, die für spezielle Eigenschaften des Klebstoffes notwendig sind. Hierbei sind besonders die Harze zu nennen, bei denen es sich um relativ niedrig-molekulare Substanzen handelt (entweder Naturharze wie Kollophonium oder Kohlenwasserstoffharze), die zugemischt werden, um die Adhäsion der Schmelzklebstoffe zu verbessern. Um die rheologischen Eigenschaften während der Verarbeitung, aber auch die Filmeigenschaften im abgebundenen Zustand je nach Bedarf einzustellen, werden weitere Substanzen, wie z. B. Wachse, Öle, aber auch Füllstoffe in die Schmelzklebstoffe eingearbeitet.

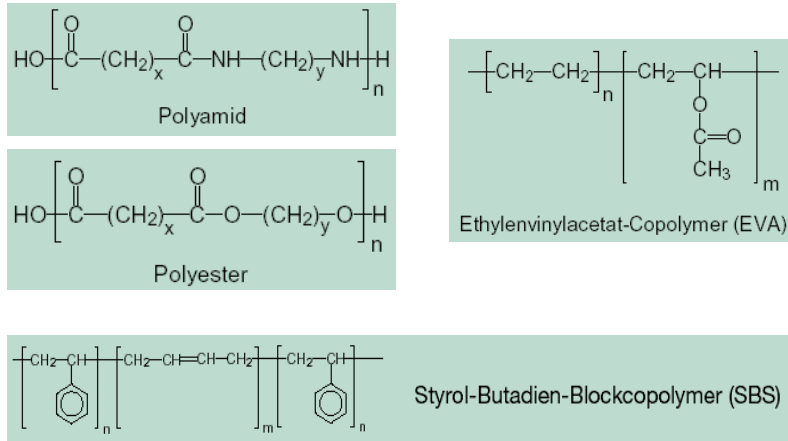


Abb. 8 Polymere für Schmelzklebstoffe

Zum Auftragen der Schmelzklebstoffe werden diese in speziellen Aufschmelzgeräten verflüssigt. Je nach Art der Anwendung kann es sich um Handaufschmelzgeräte handeln (sog. Schmelzklebstoff-Pistolen), aber auch um große Tankanlagen, die große Mengen Schmelzklebstoff aufschmelzen können. Über beheizte Schläuche werden die flüssigen Klebstoffe dann mit Hilfe von verschiedenen Pumpentypen zu den Auftragsaggregaten gefördert. Der Auftrag der Schmelzklebstoffe kann sehr unterschiedlich erfolgen, z. B. über Walzen, Räder oder Düsen. Beim Düsenauftrag unterscheidet man zwischen kontaktlosem Auftrag (z.B. durch Sprühdüsen) oder aber Auftrag im Kontakt.

Haftklebstoffe

Während im Allgemeinen bei einer Verklebung zuerst die Adhäsion zu den beiden Füge-teilen ausgebildet wird und dann anschließend während des Abbindevorgangs die Kohäsion des Filmes, gibt es auch Klebstoffe, bei denen die Filmbildung, d. h. das Ausbilden der Kohäsion aus der flüssigen Phase vor der eigentlichen Verklebung durch Ausbildung der Adhäsion zu einem oder zu beiden zu verklebenden Substraten erfolgt. Bei diesen Klebstoffen handelt es sich gewöhnlich um trägergestützte Klebstoffe, d.h. die Klebstoffe werden auf einem Substrat einseitig aufgetragen. Neben den Siegelklebstoffen und den wasserreaktivierbaren Klebstoffen (wie z. B. bei Briefmarken oder Briefumschlägen) sind hier besonders die Haftklebstoffe zu nennen, die für solche Vorbeschichtungen eingesetzt werden. Bei diesen mit Haftklebstoffen vorbeschichteten Artikeln, z. B. Haftetiketten oder Klebebändern, wird auf einen Träger aus Papier, Kunststoffolie, Gewebe oder Metallfolie ein Klebstoff aufgetragen (es gibt auch die sog. doppelseitigen Klebebänder, in denen der Film kohäsiv genug ist um auch als Träger zu dienen, das Trägermaterial kann sich aber auch innerhalb des klebenden Filmes befinden), der nach dem Abbinden bei Raumtemperatur noch über eine so hohe Klebrigkeit (Tack) verfügt,

dass er ein weiteres Substrat benetzen kann. Haftklebstoffe haben eine unendlich lange Offene Zeit, und Verklebungen sind auch nach längerer Lagerung möglich. Im Allgemeinen handelt es sich um sehr weich eingestellte Filme, da die Adhäsion zum Substrat, auf den diese Artikel geklebt werden, dadurch hergestellt wird, dass durch die Braunsche Molekularbewegung (Bewegung der Moleküle die durch die Umgebungswärme bewirkt wird) der Klebstoff bis auf einige Angström an die Oberfläche gelangt und so genügend Adhäsionsbrücken entstehen können. Was die eingesetzten Klebstoffsysteme angeht, so gibt es Haftklebstoffe sowohl auf Basis von lösungsmittelhaltigen Produkten, wässrigen Produkten, aber auch auf Basis von Schmelzklebstoffen. Die Schichtdicke der Haftklebstoffbeschichtung liegt bei Etiketten gewöhnlich zwischen 15 und 25 μm und kann bis zu mehreren hundert μm bei Klebebändern betragen.

Der Vorteil dieser mit Haftklebstoffen vorbeschichteten Artikel besteht darin, dass beim eigentlichen Verkleben keine speziellen Klebstoffauftragsgeräte notwendig sind, da der Klebstofffilm bereits fertig aufgetragen ist. Auf Grund des hohen Adhäsionsvermögens kleben Haftklebstoffe auf vielen, auch kritischen, Substraten, wobei jedoch zu berücksichtigen ist, dass die Wärmestandfestigkeit (d. h. die Festigkeit der Verklebung bei höheren Temperaturen) nicht so hoch liegt, wie bei vielen anderen Klebstoffsystemen. Ferner ist bei solchen Verklebungen zu beachten, dass Haftklebstoffe besonders auf Peelbeanspruchungen sehr empfindlich reagieren, so dass eine Peelbeanspruchung bei Belastung vermieden werden sollte.

CHEMISCH HÄRTENDE KLEBSTOFFE

Die für die Kohäsion in der Klebefuge verantwortlichen Polymere können jedoch auch erst nach der Applikation durch eine chemische Reaktion in der Klebefuge gebildet werden. Man spricht in diesem Fall von chemisch-härtenden Klebstoffen d.h. dass bei chemisch reagierenden Klebstoffen die für die Kohäsion verantwortlichen Polymere in der Klebefuge synthetisiert werden. Als reaktive Komponenten kommen eine große Variante unterschiedlicher chemischer Bausteine in Frage, wie z. B. Acrylate, Isocyanatgruppen, Epoxide, Cyanacrylate uvm. [Abb.9]. Bei den chemisch-reagierenden Systemen ist es wichtig, dass die Reaktion erst dann einsetzt, wenn sich der Klebstoff in der Klebefuge befindet und das Fügen bereits erfolgt ist. Damit der Klebstoff tatsächlich erst in der Klebfuge aushärtet, haben die Hersteller unterschiedliche Verfahren entwickelt, welche die chemische Reaktion zum festen Klebstoff so lange blockieren oder unterbinden, bis der Klebstoff in der Klebfuge angelangt ist.

stoffe für viele Verbindungen eingesetzt.

Da es sich bei Produkten aus Papier und besonders bei Verpackungen sehr häufig um kurzlebige Güter handelt, die in großen Mengen hergestellt werden, verwundert es nicht, dass Klebstoffe für den Papier- und Verpackungsmarkt das größte Marktsegment der Klebstoffanwendungen bilden [Abb. 10]. Ein weiteres großes Marktsegment für Klebstoffe ist das Bauwesen. Das Verlegen von Wand- und Bodenbelägen ohne Klebstoffe wäre heute undenkbar.

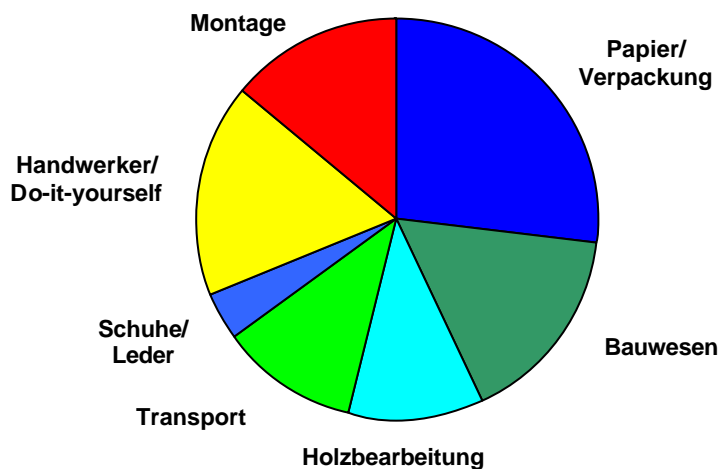


Abb. 10 Klebstoffanwendungen nach Märkten

Konstruktive Verklebungen und Montageverklebungen nehmen ein weiteres großes Segment bei der Verwendung von Klebstoffen ein. Von der Herstellung von DVDs über die Herstellung von Lichtleiterkabeln bis zur Herstellung von Reinraumfiltern findet man heute Klebstoffapplikationen.

Ein weiteres Marktsegment in dem immer mehr Klebstoffapplikationen eingesetzt werden, sind alle Arten von Fahrzeugen. Das Einkleben von Scheiben und das Verkleben von Teilen im Innenraum von PKWs ist seit Jahrzehnten Stand der Technik. Zunehmend werden jedoch auch in der Karosserie Verklebungen eingesetzt. Besonders dort, wo man unterschiedliche Materialien wie z. B. Aluminium, Kunststoff und Stahl miteinander fügen muss. Aber auch der moderne LKW-Bau ist ohne den Einsatz von Klebstoffen nicht denkbar. Moderne Kofferaufbauten auf LKWs werden heute nahezu ausschließlich geklebt, da man beim Kleben gleichzeitig ein Abdichten erreicht. Durch den Sandwichaufbau moderner Wand- und Deckenelemente im LKW-Bau ist es möglich, Leichtgewichtskonstruktionen herzustellen, die man nur mit Kleben fügen kann. Das Thema Gewicht spielt besonders im Flugzeugbau eine entscheidende Rolle. Um zu immer leichteren und doch festen Konstruktionen zu kommen, werden immer mehr Verbundmaterialien eingesetzt, die mit Hilfe von Klebstoffen gefügt werden können. Es ist daher nicht erstaunlich, dass in modernen Verkehrsflugzeugen mehr und mehr Klebstoffapplikatio-

nen eingesetzt werden.

Aber auch traditionelle Märkte, wie die Holzbearbeitung, die Schuh- und Lederindustrie kommen heute nicht ohne Klebstoff aus.

Nicht zuletzt findet man die vielfältigsten Anwendungen von Klebstoffen im Haushalt und im Handwerk. Von haftklebstoffbeschichteten Notizzetteln bis hin zu Zwei-Komponenten-Do-It-Yourself-Klebstoffen ist heute eine große Palette von Klebstoffen für jedermann erhältlich, und bei richtiger Anwendung sind sichere Verbindungen zu erzielen.

ZUSAMMENFASSUNG

Ohne den Einsatz von Klebstoffen wären heute moderne Fertigungsverfahren nicht vorstellbar. Die steigenden Anforderungen an Produkte jeder Art führen zur ständigen Spezialisierung der eingesetzten Werkstoffe und somit zu einer Erhöhung der Werkstoffvielfalt. Die Zukunft gehört den aus verschiedenartigen Werkstoffen zusammengesetzten Verbundsystemen.

Die Eigenschaft von Klebstoffen, unterschiedlichste Materialien schnell und sicher zu verbinden, hat dazu beigetragen, dass sie heute aus vielen Produktionsprozessen nicht mehr wegzudenken sind. Besonders der auch unter Umweltgedanken immer wichtiger werdende Leichtbau (Schonung von Ressourcen, von Material zur Herstellung und von Energie beim Transport) hat zu immer neuen Anwendungen von Klebstoffen geführt. Neben dem Leichtbau ist auch die Miniaturisierung vieler Bauteile nur mit Hilfe von Klebstoffen möglich. Auch die Weiterentwicklung der Berechnungen von verklebten Fügeteilen hat dazu geführt, dass Klebungen heute im konstruktiven Bereich immer weiter Fuß fassen.

Wie keine andere Verbindungstechnik erlaubt das Kleben die Umsetzung fortschrittlichen Designs durch optimaler Kombination technologischer, ökonomischer und ökologischer Gesichtspunkte. Betrachtet man alle Vorteile des Klebens, so ist verständlich, dass das Kleben als das Fügeverfahren des 21. Jahrhunderts angesehen wird, welches noch längst nicht sein Potential ausgeschöpft hat.