

11 Kleben

1 Einleitung

1.1 Vergleich einiger Verbindungsmethoden

Kriterien	Kleben	Schrauben	Nieten	Schweißen
Lösbare Verbindung?		Ja	Nein	Nein
Unterschiedliche Werkstoffe verbindbar?		Ja	Ja	Nein
Gleichmäßige Spannungsverteilung über gesamte Verbindungsfläche?		Nein (Spannungspitzen an Bohrungen)	Nein	Nein (Verzug durch Gefügeumwandlung/Temperatureinfluß)
Gleichzeitiges Dichten?		Nein	Nein	Ja
Verhinderung elektrochemischer Korrosion?		Nein	Nein	/ (kann nicht auftreten)
Optisch einwandfreie, glatte Oberflächen?		Nein	Nein	Ja
Betriebstemperaturen über 100°C?		Ja	Ja	Ja
Gewichteinsparung?		Nein (Überlappung erforderlich)		Ja
Hohe Anforderungen an Oberflächenreinheit?		Nein	Nein	Nein

1.2 Eigenschaften und Verwendung

Durch Kleben wird eine stoffschlüssige Verbindung zwischen zwei Werkstücken hergestellt. Kleben ist häufig wirtschaftlicher und kann vielseitiger eingesetzt werden als andere Fügeverfahren, deshalb gewinnt es zunehmend an Bedeutung und ist ein Verbindungsverfahren der Zukunft.

Es können ebenfalls unterschiedliche Werkstoffe verbunden werden, beispielsweise Duroplaste und Thermoplaste, aber auch metallische Werkstoffe.

Neben dem Fügen können Klebstoffe zum **Dichten** (z.B. Rohrverbindungen) und zum **Sichern** (z.B. Lösen von Schrauben) verwendet werden.

Mit Kleben lassen sich auch kleine oder komplizierte Baustücke verbinden. Die Verbindungen isolieren thermisch und elektrisch, können teilweise sogar Schwingungen dämpfen.

Nachfolgend seien einige weitere typische Vor- und Nachteile des Fügeverfahrens „Kleben“ aufgeführt. Hier muß darauf hingewiesen werden, daß es extrem unterschiedliche Klebstoffe gibt und entsprechend spezielle Verwendungszwecke.



• Vorteile

- Kleben stellt oft geringere Ansprüche an die physikalischen Eigenschaften der Werkstücke.
- Kleben beansprucht die Werkstücke nur wenig während des Fügens.
- Die mechanische Vorbereitung der Werkstücke ist oft geringer.
- Die Passung der zu fügenden Werkstücke kann oft gröber sein.
- Es bedarf nur weniger, einfacher Hilfsmittel.
- Bei der Serienfertigung gibt es günstige Möglichkeiten der Automatisierung.

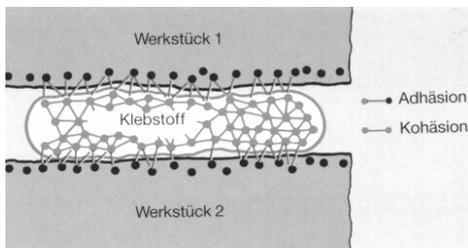
• Nachteile

- Die Festigkeit der Klebeverbindung ist viel geringer als die Festigkeit der Werkstoffe.
- Die meisten Kleber haben eine niedrige obere Grenztemperatur (oft unter 100°C).
- Bei verschiedenartigen Werkstoffen braucht man unterschiedliche Klebstoffe und/oder Technologien.
- Einzelerfahrungen lassen sich schwierig verallgemeinern.
- Die Vorausberechnung der Festigkeit ist sehr ungenau.
- Das Aushärten dauert z.T. lange (problematisch bspw. bei Serienfertigung).
- Klebstoffe sind nicht unbegrenzt lagerfähig, Alter und Gebrauchsfähigkeit sind schwer feststellbar.

2 Wirkungsweise

Klebstoffe sind nicht-metallische Stoffe, dabei häufig Kunststoffe, die zwei zu fügende Teile verbinden.

Die Verbindung zwischen den zwei Werkstoffen beruht auf zwei physikalischen **Haftmechanismen**:



Der **Adhäsion**, dem Zusammenhalt zwischen Klebstoff und Werkstoff. Molekulare Bindungskräfte bewirken die Haftung des Klebstoffes auf den Oberflächen der Werkstücke.

Der **Kohäsion**, dem inneren Zusammenhalt des Klebstoffes selbst, der durch molekulare Kräfte bewirkt wird.

Abb.1: Adhäsion und Kohäsion

Neben den hier beschriebenen **Adhäsionsklebern** gibt es sogenannte **Diffusionskleber**. Diese können bei Thermoplasten (außer PE, PP, POM und PFCarbon) verwendet werden. Hier wird der Werkstoff chemisch angegriffen, die Moleküle des Klebstoffes diffundieren ("wandern") d.h. dringen etwas in die Oberfläche der Werkstücke ein. Dadurch entsteht eine bessere Haftung.

2.1 Kohäsion

Die Kohäsion ist die innere Festigkeit des Klebstoffmaterials. Sie hängt hauptsächlich von seiner Zusammensetzung ab.

Im flüssigen Zustand sind diese Kräfte relativ klein. Sie führen jedoch beispielsweise dazu, daß kleine Flüssigkeitsmengen Tropfen bilden.

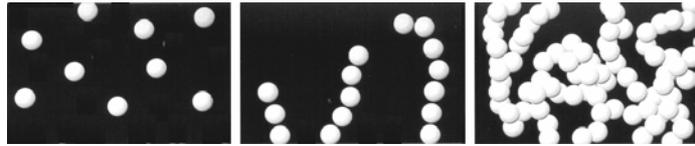
Man kann die Kohäsionskräfte im Inneren eines Tropfens mit Zugfedern vergleichen (Abb.2). Bei den Molekülen (kleinsten Stoffteilchen, z.B. Monomere bei Kunststoffen) heben sich die Kräfte im Inneren gegenseitig auf. Bei den Molekülen an der Oberfläche entsteht eine nach innen gerichtete Kraft. Man spricht hier von der Oberflächenspannung oder Oberflächenenergie.



Abb.2: Kohäsionskräfte und Oberflächenspannung

Beim Aushärten (Abb.3) verflechten sich die Moleküle zu langen Ketten, die den Klebstoffe fest zusammen halten.

Abb.3: Aushärten



Im ausgehärteten Zustand liegt ein netzartiger Aufbau des Klebstoffes vor.

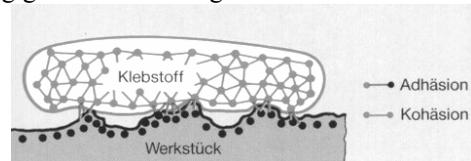
2.2 Adhäsion

Die Adhäsion oder das Haftvermögen zwischen Klebstoff und Werkstoff beruht auf Bindekräften, die eine kleine Reichweite haben. Daher können sie nur wirksam werden, wenn sich Klebstoff und Klebefläche direkt berühren.

Die Oberflächen der Werkstoffe sind jedoch nie vollständig glatt. Sie weisen gewisse **Rauhtiefen** auf. Wenn die Oberflächen **nicht vollständig benetzt** sind (Abb.4), entsteht jedoch nach dem Aushärten des Klebstoffes eine **schlechte Klebewirkung**.

Abb.4: Schlecht benetzte

Oberfläche



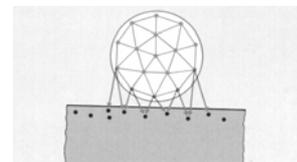
Wie gut sich die Werkstoffoberflächen von einem Klebstoff benetzen (und somit verkleben) lassen, hängt hauptsächlich von zwei Einflußgrößen ab:

- dem **Werkstoff** selbst und
- dem **Zustand der Klebefläche**.

• Einfluß des Werkstoffs

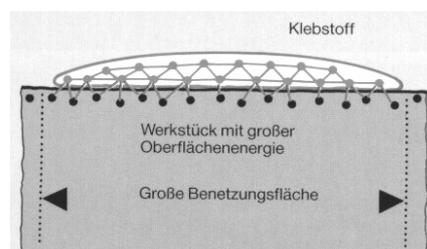
Wenn ein flüssiger Klebstofftropfen die Klebefläche berührt, ziehen sich die Moleküle des Klebstoffes und des Werkstoffes gegenseitig an (Abb.5):

Abb.5: Wechselwirkung zwischen Klebstofftropfen und Werkstoff



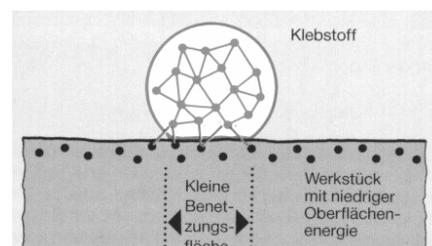
- a) Wenn die Oberflächenenergie des Werkstoffes größer ist als die Oberflächenenergie des Klebers, ziehen die Werkstoffmoleküle stärker an den Klebstoffmolekülen. Der innere Zusammenhalt des Klebstofftropfens wird überwunden. Der Tropfen zerfließt und benetzt den Werkstoff gut (Abb.6), er dringt tief in die Rauhtiefen ein.

Abb.6: Gute Benetzung



- b) Ist die Oberflächenenergie des Werkstoffes kleiner als die Oberflächenenergie des Klebers, wird die Oberfläche des Werkstoffes ungenügend benetzt (Abb.7). Es entsteht eine geringe Haftkraft.

Abb.7: Schlechte Benetzung



Allgemein haben Metalle eine hohe Oberflächenenergie (Abb.8) und sind daher gut zum Kleben geeignet. Bei Kunststoffen sind die Werte viel kleiner, einige lassen sich nur schlecht verkleben und müssen vorbehandelt werden.

PTFE	18 mN/m
PVC	40 mN/m
PA	46 mN/m
Eisen	2030 mN/m
Wolfram	6800 mN/m
Klebstoff (Bsp.)	30 mN/m

Abb.8: Oberflächenenergie einiger Stoffe

• Einfluß der Klebefläche

Damit sich möglichst viele Moleküle des Klebstoffs und des Werkstoffs berühren können, müssen die Klebeflächen **sauber** sein. Das bedeutet „**nicht verschmutzt**“, **trocken** und **fettfrei**.

- Bei **Metallen** können fettlösende Reinigungsmittel wie bspw. Aceton oder Sprühreiniger verwendet werden. Bei großen Mengen werden Entfettungsbäder eingesetzt. Bei Rost, Zunder, Farb- oder anderen Rückständen müssen Schleifpapier oder Sandstrahler verwendet werden.
- Bei **Kunststoffen** kann ein Ultraschallbad oder ein Reinigungsmittel wie Isopropanol (ein Alkohol) verwendet werden. Die glatten Oberflächen, die durch die Herstellungsprozesse der Kunststoffplatten oder -profile erzeugt wurden, sollten durch Schmirgeln mit Schleifpapier „entfernt“ werden. Kunststoffe mit sehr niedriger Oberflächenenergie müssen einer chemische Vorbehandlung unterliegen (z.B. Beizen oder Ätzen mit Säuren/Laugen)

Ein **Aufrauen** der Oberflächen durch Schmirgeln führt zu einer Vergrößerung der Oberfläche (Abb.9) zwischen Klebstoff und Werkstoff. Somit wird die Adhäsion verbessert. Zudem kann der Klebstoff sich in der Werkstoffoberfläche verankern.

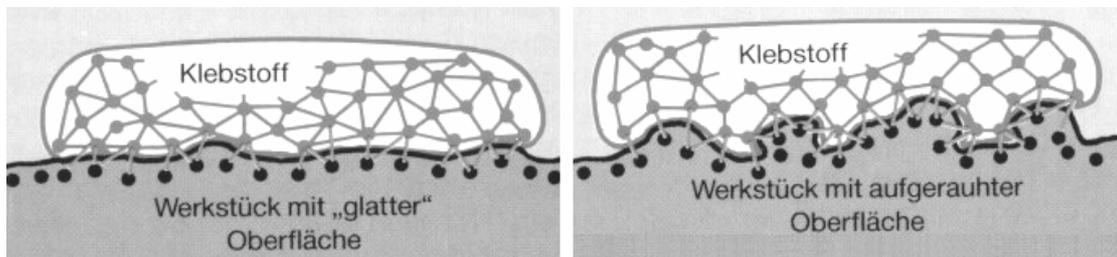


Abb.9: Vergrößern der Oberfläche durch Aufrauen

Nach dem Aufrauen (z.B. durch Schmirgeln) muß die Werkstoffoberfläche vom Schleifstaub befreit und ggfs. noch entfettet werden.

2.3 Vergleich Kohäsion-Adhäsion

Um eine gute Benetzung des Werkstoffes zu erzielen, muß ausreichend Klebstoff verwendet werden. Die Kohäsionskräfte sind jedoch oft geringer als die Adhäsionskräfte. Daher ist es wichtig, daß der Klebstoff dünn aufgetragen wird (und, falls möglich, überschüssiger Klebstoff entfernt wird). Dadurch erzielt man eine höhere Festigkeit.

Grundsätzlich gilt: je dünner die Klebeschicht ist, desto fester wird die Verbindung.

2.4 Aushärten

Die Verbindung zwischen Werkstücken, die klebende Schicht, entsteht erst beim Aushärten des Klebstoffes. Dabei unterscheidet man folgende Fälle:

• **Physikalisches Binden**

Bei manchen Klebstoffen liegt das Bindemittel bereits fertig im Klebstoff vor. Es sind Makromoleküle d.h. sehr lange Ketten, die sich in einem Lösungsmittel frei bewegen können. Beim Aushärten verdunstet dieses Lösungsmittel, und ein makromolekularer Klebefilm bleibt zurück.

• **Chemisches Binden**

Bei anderen Klebstoffen reagieren die einzelnen Moleküle des Klebstoffes, die Monomere, beim Aushärten miteinander und wachsen zu langen Makromolekülen zusammen. Man spricht von Polyreaktionen (Polymerisation, Polykondensation und Polyaddition).

Bei neueren Klebern werden Haftvermittler eingesetzt, die eine bessere Adhäsion gewährleisten. Diese Haftvermittler sind Moleküle, die sowohl eine chemische Verbindung mit dem Werkstoff als auch eine mit dem Klebstoff eingehen.

3 Klebstoffarten

Die verschiedenen Klebstoffe lassen sich nach unterschiedlichen Gesichtspunkten einteilen.

Berücksichtigt man beispielsweise die **Verarbeitung**, so unterscheidet man zwischen Einkomponenten- und Zweikomponenten-Klebern.

Man kann sie auch nach der **Lieferform** in Flüssigkleber, Sprühkleber, Pasten, Folien und Knetmassen unterteilen.

Häufig unterscheidet man sie danach, wie sie **Aushärten**. Demzufolge gibt es physikalisch härtende Klebstoffe, chemisch härtende Klebstoffe und nichthärtende Klebstoffe.

3.1 Physikalisch härtende Klebstoffe

Bei diesen ist das Bindemittel bereits als Polymer im Klebstoff vorhanden. Als Grundstoffe enthalten diese thermoplastische Kunststoffe oder Kautschuke.

• **Lösungsmittelklebstoffe** (früher „Kleblacke“)

Sie bestehen aus einem Bindemittel und einem Lösungsmittel.

Bindemittel ist beispielsweise Polyester oder Nitrocellulose.

Lösungsmittel können Aceton, Alkohol oder Ester sein. Sie verdunsten schnell und somit härtet der Klebstoff aus.

• **Kontaktklebstoffe**

Untergruppe der Lösungsmittelklebstoffe. Sie werden beidseitig auf die zu verbindenden Werkstücke aufgetragen. Nach Verdunsten des Lösungsmittels werden diese fest zusammengedrückt.

Grundstoffe sind Natur- und Synthetikgummi und ähnliche Polymere.

• **Leime**

Leime funktionieren ähnlich wie Lösungsmittelklebstoffe:

Bindemittel sind Glutin, Dextrin, Stärke oder Casein aus pflanzlicher, tierischer oder synthetischer Herstellung.

Lösungsmittel ist hier Wasser, das verdunstet: Der Leim muß trocknen.



- **Emulsions- oder Dispersionskleber**

Die Bindemittel liegen als hochmolekulare feine Tropfen oder Feststoffe vor. Es sind Polyester, Polyvinylester, Polyurethane sowie synthetischer oder natürlicher Kautschuk.

Lösungsmittel ist Wasser, durch Verdunsten härtet der Klebstoff aus.

- **Schmelzklebstoffe**

Schmelzklebstoffe sind Pulver, Stäbe oder Folien. Sie werden zwischen die zu verbindende Werkstücke gebracht und durch Wärmezufuhr aufgeschmolzen. Nach dem Erkalten ist die Verbindung hergestellt.

Verwendet werden Polyamide, Polyester und Styrol-Butadien-Copolymere.

Lösungsmittel sind hier nicht vorhanden.

3.2 Chemisch härtende Klebstoffe

Das Bindemittel bildet sich erst durch chemische Reaktionen. Daher spricht man auch von Reaktionsklebern.

Sie enthalten als Grundstoffe Reaktionsharze.

- **Cyanacrylate**

Der Klebstoff enthält nur Cyanacrylat-Moleküle, die mit der Feuchtigkeit in der Luft in Sekundenschnelle reagieren d.h. zu langen Ketten polymerisieren. Man bezeichnet sie daher auch als Sekundenkleber.

Cyanacrylate können sowohl für Metalle und Kunststoffe als auch für Holz, Keramik und Gummi eingesetzt werden.

- **UV-Kleber**

UV-Kleber härten durch Bestrahlen mit ultraviolettem Licht aus. Bei normalem Tageslicht läuft der Vorgang langsamer ab, mit Hilfe von UV-Lampen kann man das Aushärten bis auf einige Sekunden beschleunigen.

UV-Kleber werden zum Kleben, Vergießen und Beschichten von Metallen, Glas und Kunststoffen verwendet.

Für besondere Anwendungsfälle gibt es auch UV-Kleber die auch an Schattenstellen (z.B. in Spalten) aushärten.

- **Anaerobe Kleber**

„Anaerob“ bedeutet ohne Sauerstoff. Diese Kleber bleiben flüssig, solange sie mit der Luft –dem Luftsauerstoff– in Kontakt sind.

Zwischen zwei Werkstücken härten sie aus, wenn sie in Berührung mit sogenannten aktiven Metallen (Stahl, Messing, Bronze, Kupfer u.a.) kommen.

Sie können daher zum Verkleben von Metallen verwendet werden. Zum Kleben von Kunststoffen sind sie nicht geeignet.

Bei nicht-metallischen Werkstoffen kann man einen Aktivator auf die zu klebenden Werkstückoberflächen auftragen. Dieser ermöglicht den Aushärtevorgang.

- **Silikone**

Silikone härten teilweise durch Feuchtigkeit aus.

Im ausgehärteten Zustand bleiben sie gummiartig/elastisch.

Sie sind geeignet für Metalle und Glas, nicht jedoch für Kunststoffe.



• Epoxydharz-Kleber

Epoxydharze gehören zu den Duroplasten.

Epoxydharz-Kleber bestehen meistens aus zwei Komponenten. Diese müssen im richtigen Verhältnis zusammengebracht und gut vermischt werden. Nach dem Auftragen härtet der Klebstoff aus, indem die Moleküle der beiden Komponenten polymerisieren d.h. sich verknüpfen.

Das Aushärten wird durch Wärmezufuhr verbessert.

Erwärmt man demzufolge die Werkstücke mit dem aufgetragenen Klebstoff, erhält man eine höhere Festigkeit als wenn man den Klebstoff bei Raumtemperatur aushärten läßt. (Bei zu hohen Temperaturen wird die Verbindung natürlich unbrauchbar).

Epoxydharz-Kleber gibt es auch einkomponentig. Der Klebstoff härtet durch Wärmezufuhr aus, hier müssen Werkstücke und aufgetragener Klebstoff auf Temperaturen von 120°C bis 200°C erwärmt werden.

Epoxydharz-Kleber werden hauptsächlich bei Metallen verwendet, führen aber auch bei anderen Materialien zu sehr festen Verbindungen.

• Polyurethan-Kleber

Polyurethan-Kleber sind ebenfalls Zweikomponentenkleber, die im richtigen Mengenverhältnis vermischt werden müssen.

Sie führen zu elastischen Verbindungen und eignen sich daher besonders zum Verkleben von unterschiedlichen Materialien, die sich bei Temperaturänderungen unterschiedlich ausdehnen.

Neuerdings gibt es auch einkomponentige Polyurethan-Kleber. Beim Aushärten reagieren sie mit der Feuchtigkeit aus der Luft.

• Methacrylat-Kleber

Diese relativ neuen Kleber bestehen aus zwei Komponenten, die nicht vermischt werden müssen. Jeweils eine Komponente wird auf eines der beiden zu verbindenden Werkstücke aufgetragen. Wenn die Werkstücke zusammengefügt werden, kommen beide Komponenten in Kontakt und der Klebstoff härtet aus.

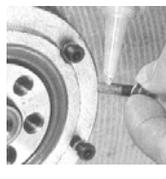
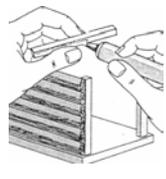
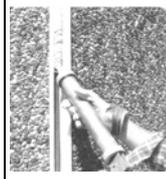
Methacrylat-Kleber haften auf fast allen Materialien.

3.3 Nichthärtende Klebstoffe

Als nichthärtende Klebstoffe bezeichnet man Haftklebstoffe, die als Film auf eine Unterlage (Band, Folie) aufgebracht werden. Sie können daher öfters verwendet werden.

Diese oft wachsähnlichen Kleber enthalten als Bindemittel Kautschuk oder Polyacrylate.

4 Beispiele von Klebeverbindungen

Anwendung:					
Name:	Uhu Alleskleber	Metylan (Kleister)	Loctite Schraubensicherung 243	Ponal (Holzleim)	Silikon
Klebstoffart:	Lösungsmittel- kleber		Anaerober Kleber	Dispersions- kleber	Silikontyp
Anzahl der Komponenten	1	1	1		1
Bindemittel:	Polyvinyl- acetat	Methyl- cellulose	(Nicht bekannt)	Polyvinyl- acetat	Dimethyl- polysiloxan
Lösungsmittel:	Ester		-		-
Aushärten: physik./chem	Physikalisches Binden			Physikalisches Binden	
Aushärten durch:	Verdunsten	Verdunsten		Verdunsten	-

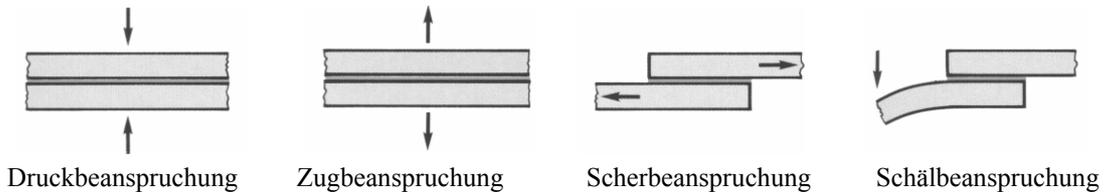
Anwendung:					
Name:	Pritt Stift	Uhu Plus Endfest	Pattex	Loctite Glaskleber	Tesa-Band
Klebstoffart:	Lösungsmittel- kleber	Reaktions- kleber			
Anzahl der Komponenten	1			1	1
Bindemittel:	Casein	Epoxidharz	Chlor- kautschuk	Polymethyl- methacrylat	Polysopren
Lösungsmittel:	Wasser	-	Ester, Toluol	-	-
Aushärten: physik./chem	Physikalisches Binden	Chemisches Binden	Physikalisches Binden		
Aushärten durch:			Verdunsten	Polymerisation	-

5 Festigkeit von Klebeverbindungen

5.1 Art der Belastung

Die Festigkeit einer Klebeverbindung hängt neben den bisherigen Größen sehr stark von der Art der Belastung des Werkstückes ab.

Man unterscheidet folgende Grundarten der Belastung:

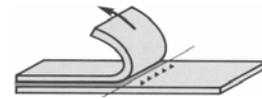


Andere Belastungsarten, wie z.B. Torsion oder Biegung, lassen sich auf diese Grundarten zurückführen.

Klebeverbindungen widerstehen am besten _____ - und _____ beanspruchungen. Druckbeanspruchungen kommen in der Praxis jedoch selten vor.

Ungünstig sind Beanspruchungen auf _____ oder _____.

Die Klebeverbindungen sind besonders empfindlich gegen Schälung, da hier die Kräfte linienförmig angreifen und somit wenig geklebte Fläche Widerstand bietet.



5.2 Verbesserung der Festigkeit

Um eine hohe Festigkeit zu erzielen, sind allgemein möglichst große Klebeflächen anzustreben. Diese können häufig durch entsprechende Konstruktionen verwirklicht werden.

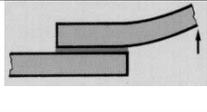
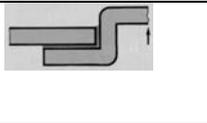
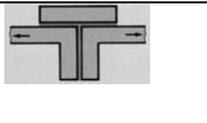
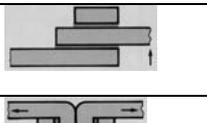
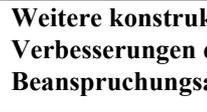
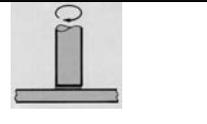
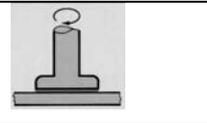
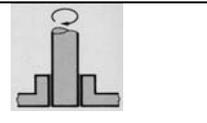
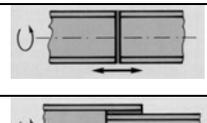
Durch konstruktive Maßnahmen muß versucht werden, Schäl- und Zugbeanspruchungen zu vermeiden bzw. so klein wie möglich zu halten.

Nachfolgende Beispiele zeigen einige Möglichkeiten konstruktiver Maßnahmen.

• Große Verbindungsflächen

	Zugbeanspruchung	schlecht
	Schäftung (Schäftungswinkel 30°)	gut
	Doppelte Laschung	gut
	Abgesetzte Doppellasche	gut
	Doppelte Überlappung	gut

• Vermeiden von Schälbeanspruchung

	Schälbeanspruchung	schlecht	Weitere konstruktive Verbesserungen der Beanspruchungsart
	Zugschälbeanspruchung	sehr schlecht	
	Zug- und Druckbeanspruchung	gut	
	Zugscherbeanspruchung	gut	
	Versteifung	gut	
	Versteifung	gut	
			schlecht
			gut
			sehr gut
			schlecht
			sehr gut

6 Schlußfolgerung

Heutzutage werden in allen Industriezweigen und privaten Anwendungen Klebeverbindungen eingesetzt.

Um möglichst feste Verbindung der zu fügenden Werkstücke zu erhalten gilt es einige Punkte zu berücksichtigen.

- Bereits bei der konstruktiven Gestaltung der Werkstücke muß die Beanspruchungsart berücksichtigt werden:

- **Scher- und Druckbeanspruchungen** werden **gut**,

- Schäl- und Zugbeanspruchungen schlecht von Klebeverbindungen aufgenommen.

Dabei sind allgemein **große Verbindungsflächen** anzustreben, vor allem wenn große Kräfte wirken.

- Desweiteren muß der **richtige Klebstoff** ausgewählt werden. Dabei sind

- die Werkstoffe der zu verbindenden Werkstücke,

- die Anwendung (z.B. großflächiger Auftrag oder Lösungsmittelfrei) und

- die Anforderungen an die Verbindung (z.B. elastisch oder dämpfend) zu berücksichtigen.

- Um einen guten Zusammenhalt der Verbindungen zu erhalten, gilt für die **Oberflächen** der Werkstücke bei der Verarbeitung:

- sie müssen **sauber** sein

- durch **Aufrauen** können sie vergrößert werden.

- Normalerweise sind die Kohäsionskräfte im Kleber kleiner als die Adhäsionskräfte zwischen Kleber und Werkstoff. Daher gilt grundsätzlich:

Je **dünn**er die **Klebeschicht** ist, desto fester ist die Verbindung.