WWW.PEARSON-STUDIUM.DE
CWS
COMPANION WEBSITE

ing
maschinenbau

Berthold Schlecht

Maschinenelemente 1

Festigkeit, Wellen, Verbindungen, Federn, Kupplungen

PEARSON
Studium

Berthold Schlecht

Maschinenelemente 1

Festigkeit, Wellen, Verbindungen, Federn, Kupplungen

PEARSON Studium

ein Imprint von Pearson Education
München • Boston • San Francisco • Harlow, England
Don Mills, Ontario • Sydney • Mexico City
Madrid • Amsterdam

Im Vergleich zu anderen unlösbaren Verbindungen (Schweißen, Löten) weisen Klebverbindungen die folgenden Vorteile auf:

- Verbindungsmöglichkeit gleicher und verschiedenartiger Werkstoffe und Materialkombinationen
- Werkstoffeigenschaften der zu fügenden Teile werden nicht verändert.
- Nur geringe bzw. keine thermische Werkstoffbeanspruchung und damit kein Wärmeverzug
- Verbindungsmöglichkeit für sehr dünne Fügeteile (z.B. Folien)
- Im Vergleich zu Schweißen und Löten wärmeschonend und somit ohne Gefügebeeinflussung durch Ausglühen oder Aushärten (wichtig bei Aluminiumlegierungen z.B. im Flugzeugbau)
- Keine Querschnittsminderung der Bauteile durch Bohrungen wie bei Schrauben- oder Nietverbindungen und damit z.T. große Gewichtsersparnis
- Kerbfreie Verbindung der Bauteile, gleichmäßige Kraft- und Spannungsverteilung
- Sandwichbauweise ermöglicht hohe Steifigkeit und Gewichtsersparnis (Leichtbau)
- Hohe dynamische Festigkeit und Schwingungsdämpfung
- Dichte, spaltfreie und isolierende (bei Bedarf auch leitende) Verbindung
- Keine Oberflächenschädigung und keine Kontaktkorrosion
- Möglichkeit zur Automatisierung

Dem stehen die nachfolgenden Nachteile gegenüber:

- Aufwändige Oberflächenbehandlung der Fügeteile
- Lange Abbindezeiten bis zur Endfestigkeit der Verbindung, häufig sind Flächendruck und Wärme zum Abbinden erforderlich
- Im Vergleich zum Schweißen, Löten und Nieten deutlich geringere Festigkeit, teilweise Kompensation ist durch zweckmäßige Gestaltung (z.B. ausreichende Überlappung) der Verbindung möglich
- Geringe Schäl-, Dauer- und Warmfestigkeit
- Alterungseinflüsse durch Feuchtigkeit, Gase, UV-Licht sowie Reaktion zwischen Klebstoff und Fügeteilen können die Haftungskräfte mindern oder den Klebstoff schädigen
- Empfindlich gegen Schlag- und Stoßbelastung
- Reparatur von Schäden an Klebverbindung ist ähnlich aufwändig wie die Herstellung
- Reaktionsprodukte im Klebstoff sowie notwendige Stoffe zur Vorbehandlung sind toxisch und belasten die Umwelt, geeignete Schutzmaßnahmen sind vorzusehen
- Zerstörungsfreie Prüfung der Klebverbindung ist meist nicht möglich

Abhängig von den Vor- und Nachteilen ergeben sich die nachfolgend aufgeführten industriellen Einsatzmöglichkeiten des Klebens im Vergleich zu anderen stoff-, kraft- und formschlüssigen Fügeverfahren:

- Serienfertigung von leichtbaugerechten Stützkern- und Plattenkonstruktionen aus Holz, Metall, Kunststoff und Faserverbundwerkstoffen (z.B. Rotorblätter von Windturbinen)
- Kraftübertragung bei gefügten Rahmen, Schalen- und Plattenkonstruktionen in der Luftfahrt- (z.B. Flugzeugtragflächenholme, Zellen) und Kraftfahrzeugindustrie (durch Einbeziehung geklebter Scheiben in die Tragkonstruktion beim Kraftfahrzeug lässt sich die Verwindungssteifigkeit der Karosserie um ca. 30 % erhöhen)

- Kraftübertragung bei Brems- und Kupplungsbelägen sowie Gummi-Metall-Federelementen
- Momentenübertragung bei Welle-Nabe-Verbindungen
- Dichtungsklebung (z.B. Abdichtung von Gewinden, Bördelfugen, Punktschweißverbindungen) mit Kraftübertragung durch andere Elemente
- Sichern von Schraubenverbindungen
- Klebung von elektrisch leitenden Kontakten (z.B. Leiterplatten) in der Elektrotechnik
- Reparatur von Gehäusebrüchen

4.2 Funktion und Wirkung – Adhäsion und Kohäsion

Die volle Funktionalität einer Klebverbindung hängt von den jeweiligen physikalischen Eigenschaften der zu verbindenden Fügeteile und des Klebstoffes als Verbindungsmittel ab. Wesentlich hierbei ist einerseits die Adhäsion, also das Auftreten von Anziehungskräften an der Grenzfläche zweier Stoffe, andererseits die Kohäsion, also das Vorhandensein von Kräften zwischen den Molekülen eines Stoffes, Abbildung 4.1a). Bis zu einer Distanz von max. 0,003 µm wirken zwischenmolekulare Kräfte, die auch ein Verbinden von Fügeteilen durch einfaches Aufeinanderlegen möglich machen würden, Abbildung 4.1b). Da jedoch technische Oberflächen selbst bei Feinstbearbeitung immer noch Rautiefen von mehr als 0,025 µm aufweisen, nutzt man bei Klebverbindungen den Klebstoff als Medium, das in die Oberflächenrauheiten eindringen muss, um zwischenmolekulare Kräfte zwischen Fügeteil und Klebstoff aufzubauen. Neben den physikalischen und chemischen Bindungen entstehen durch das Eindringen des Klebstoffes in die Werkstoffvertiefungen zusätzlich mechanische Verklammerungen.

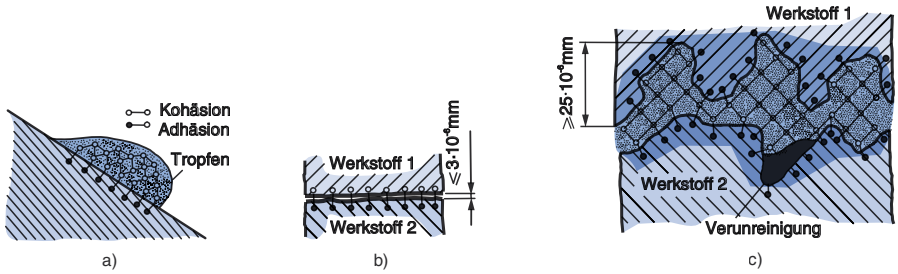


Abbildung 4.1: Physikalische Kräfte in der Klebverbindung – Adhäsion und Kohäsion [4.24]

Im Gegensatz zur Adhäsion werden unter dem Begriff Kohäsion die Kräfte zusammengefasst, die für die innere Festigkeit eines Stoffes verantwortlich sind. Die Kohäsion baut sich unter dem Wirken von Anziehungskräften zwischen gleichartigen Atomen bzw. Molekülen in einem Stoff auf, sie wird im Wesentlichen von der Temperatur und dem Aggregatzustand mitbestimmt. Auch beim Klebstoff ist die Kohäsion und damit der Deformationswiderstand bedeutende Einflussgröße auf die Endeigenschaften einer Klebverbindung. Bei abgebundenen Klebschichten ist die Kohäsionsfestigkeit u.a. für das Kriechen und Fließen unter mechanischer Belastung von besonderer Wichtigkeit. Um eine hohe Kohäsion zu erreichen, muss der Klebstoff nach dem Abbinden eine große Viskosität aufweisen, zur optimalen Benetzung der freien Ober-

fläche vor dem Fügevorgang dagegen muss der Klebstoff eine geringe Viskosität und Oberflächenspannung haben.

Hinsichtlich der zu erzielenden Festigkeit einer Klebverbindung ist es optimal, wenn die Kräfte aus Adhäsion (zwischen Werkstoff 1 – Klebstoff – Werkstoff 2) und Kohäsion (innerhalb des Klebstoffes) nahezu gleich groß sind. Je nach Größe von Adhäsion und Kohäsion versagt die Klebverbindung bei übermäßiger Belastung an der Grenzfläche (Adhäsionsbruch) oder aber in der Klebstoffschicht (Kohäsionsbruch). Sind Adhäsion und Kohäsion des Klebstoffes größer als die Materialfestigkeit der zu fügenden Teile, so tritt ein Fügeteilschaden bzw. Materialbruch ein.

Generell mindern verunreinigte Werkstoffoberflächen insgesamt die Adhäsionskräfte, weshalb zur Vermeidung von Schmutzeinflüssen eine sorgfältige Vorbehandlung der Oberfläche vor dem Aufbringen des Klebstoffes unbedingt erforderlich ist.

4.3 Herstellen von Klebverbindungen

Ausgehend von den grundsätzlichen physikalischen Kräften in der Klebverbindung, wurden für die jeweiligen Einsatzfälle Klebstoffe und Verfahren entwickelt, um leistungsfähige Klebverbindungen herstellen zu können. Die Vielfalt der Klebstoffe mit ihren unterschiedlichen Eigenschaften erlaubt in den folgenden Abschnitten nur die Angabe allgemeiner Richtlinien. Zusätzlich sind immer die Verarbeitungsvorschriften der Hersteller zu beachten. Die folgende Tabelle 4.1 fasst die wichtigsten Begriffe im Zusammenhang mit der Herstellung von Klebverbindungen zusammen.

Abbinden	Verfestigen der Klebschicht
Beschleuniger	Klebstoffbestandteil zum Beschleunigen des chemischen Abbindens eines Klebstoffes
Dispersionsklebstoff	Klebstoff, bestehend aus organischen Grundstoffen und einem flüssigen Dispersionsmittel, in dem der Grundstoff unlöslich ist
Dispersionsmittel	Flüssigkeit, in der die Grundstoffe und die übrigen Klebstoffbestandteile fein verteilbar sind
Füllstoff	Fester, nicht flüchtiger und im Klebstoff fein verteilter Bestandteil des Klebstoffes zum Anpassen der Klebstoffeigenschaften an den Verwendungszweck
Haftklebstoff	Klebstoff, dessen Klebstoff-Film ohne Wärmeanwendung nach beliebiger Zeit schon unter geringem Druck haftet
Katalysator	Klebstoffbestandteil, der das chemische Abbinden eines Klebstoffes einleitet
Kontaktkleben	Klebverfahren, bei dem der Klebstoff grundsätzlich beidseitig aufgetragen wird. Nach einer Mindesttrockenzeit (Fingerprobe) bilden die Klebstoff- Filme beim Vereinigen unter Druck Klebungen hoher Festigkeit.
Kontaktklebstoff	Klebstoff, der nach dem Kontaktklebverfahren verarbeitet werden kann
Kontaktklebzeit	Zeitspanne nach dem Klebstoffauftrag, innerhalb derer ein Kontaktkleben möglich ist

Tabelle 4.1: Begriffe zu Klebverbindungen nach DIN EN 923 [4.12]

Lösungsmittel	Organische Flüssigkeit, die die Grundstoffe und übrigen löslichen Klebstoffbestandteile ohne chemische Veränderung löst
Lösungsmittelklebstoff	Klebstoff, bestehend aus organischen Grundstoffen in organischen Lösungsmitteln, in dem die Grundstoffe löslich sind
Reaktionsklebstoff	Klebstoff, der durch chemische Reaktion abbindet
Topfzeit	Zeitspanne, in der ein Ansatz eines Reaktionsklebstoffes nach dem Mischen aller Klebstoffbestandteile für eine bestimmte Verwendung brauchbar ist
Vernetzer	Klebstoffbestandteil, der das chemische Abbinden (Vernetzen) eines Klebstoffes bewirkt
Verzögerer	Klebstoffbestandteil, der das chemische Abbinden eines Klebstoffes verlangsamt
Wartezeit, offen	Zeitspanne vom Klebstoffauftrag bis zum Vereinigen
Wartezeit, geschlossen	Zeitspanne vom Vereinigen bis zum Erreichen des vollen Pressdruckes oder der sonstigen, das Abbinden bewirkenden Maßnahmen, z.B. Abbindetemperatur
Weichmacher	Klebstoffbestandteil, der die Plastizität der Klebschicht erhöht

Tabelle 4.1: Begriffe zu Klebverbindungen nach DIN EN 923 [4.12] (Forts.)

4.3.1 Einteilung der Klebstoffe

Grundsätzlich lassen sich Klebstoffe nach anwendungstechnischen Kriterien, nach der Art des Abbindemechanismus, des Grundwerkstoffes, der Bindefestigkeit oder anderen Gesichtspunkten einteilen. Gemäß VDI-Richtlinie 2229 werden Klebstoffe zum konstruktiven Kleben von Metallen mit Metallen und anderen Werkstoffen nach der Art des Abbindens unterteilt [4.26]:

- Physikalisch abbindende Klebstoffe (Lösungsmittel- und Dispersionsklebstoffe)
- Chemisch abbindende Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe)

Physikalisch abbindende Klebstoffe sind häufig Lösungen natürlicher oder synthetischer makromolekularer Grundstoffe (z.B: Kunstharze, Kautschuk, Nitrocellulose) in organischen Lösungsmitteln (insbesondere Kohlenwasserstoffe) bzw. Dispersionsmitteln. Der Übergang des Klebstoffes vom niedrigviskosen und damit benetzungsfähigen Zustand in einen Festkörper kann nur durch physikalische Vorgänge wie Verdampfung, Erstarrung aus Schmelzen oder Diffusionsvorgänge erfolgen, teilweise kommt es jedoch auch zu chemischen Reaktionen der Grundstoffe mit dem Luftsauerstoff. Deshalb sind diese Klebstoffe gut geeignet zum Verbinden von Metallen mit porösen Werkstoffen (z.B. Holz, Leder, Kunststoffe). Metalle oder andere undurchlässige Werkstoffe können untereinander nicht mit Lösungsmittelklebstoffen verbunden werden, da die restlose Verflüchtigung des Lösungsmittels häufig behindert wird, meistens sogar unmöglich ist. Da physikalisch abbindende Klebstoffe thermoplastisch sind, neigen sie generell stärker zum Kriechen als chemisch reagierende Klebstoffe. Auch sind sie wärmeempfindlicher und haben eine geringere Lösungsmittelbeständigkeit.

Man unterteilt physikalisch abbindende Klebstoffe in:

- Kontaktklebstoffe – Sie basieren auf gelösten Kautschuken, mit Harzen und Füllstoffen versehen; der Auftrag erfolgt beidseitig, nach dem Ablüften des Lösungsmittels werden die Teile innerhalb der Kontaktklebzeit unter starkem Druck gefügt.
- Schmelzklebstoffe – Sie werden im geschmolzenen Zustand bei 150° C bis 190° C verarbeitet; Vor der Erstarrung sind die Teile zu fügen.
- Plastisole – Sie sind lösungsmittelfrei, werden im teigigen Zustand aufgetragen und binden bei 140° C bis 200° C ab. Basis sind Dispersionen von PVC (feinverteiltes Polyvinylchlorid) zusammen mit Weichmachern, Füllstoffen und Haftvermittlern. Sie können Öl und Fett aufnehmen.

Die chemisch abbindenden Klebstoffe (Reaktionsklebstoffe) sind die technisch wichtigsten Klebstoffe. Es sind härtbare Kunstharze (Kohlenwasserstoffverbindungen), von denen die Phenol- und Epoxidharze die größte Bedeutung haben. Sie bestehen aus niedermolekularen Verbindungen, die während des Abbindens in der Klebfuge in hochmolekulare Verbindungen (vernetzte Polymere) übergehen. Die Aushärtung erfolgt über den Vernetzungsprozess. Zunächst sind die Klebstoffe flüssig, pastös oder filmförmig. Durch zusätzliche Einwirkung von Katalysatoren erfolgt eine Umwandlung zu unschmelzbaren Substanzen von ungewöhnlich hoher Haftfestigkeit und innerer Festigkeit. Da hier mindestens zwei Stoffe zusammenwirken müssen – der Grundstoff als Bindemittel und der Härter als Katalysator – spricht man auch von Zweikomponentenklebstoffen. Die Abbindereaktion kann auch durch Einwirken erhöhter Temperaturen, Luftfeuchtigkeit oder bei anaerob abbindenden Klebstoffen durch Sauerstoffentzug eingeleitet werden. Da die Abbindezeit bei diesen Klebstoffen häufig mehrere Tage betragen kann, wird zur Verkürzung oftmals eine dritte Komponente als Beschleuniger eingesetzt. Alternativ lassen sich warm abbindende Klebstoffe (bis ca. 200° C) einsetzen, die sich gegenüber den bei Raumtemperatur kalt abbindenden Klebstoffen deutlich schneller verfestigen (innerhalb von Minuten). Diese sind jedoch ungeeignet zum Fügen großer Montageteile oder wärmeempfindlicher Bauteile. Die Reaktionsklebstoffe sind besonders gut geeignet zum Verbinden von Metallen, Glas, Keramik und Kunststoffen sowohl untereinander als auch mit sonstigen Werkstoffen aller Art, da der Abbindevorgang ohne Abspaltung flüchtiger Substanzen stattfindet. Man unterteilt chemisch abbindende Klebstoffe in:

- Polymerisationsklebstoffe (Ein- oder Zweikomponentensystem) – Die Auslösung der Polymerisation, bei der Makromoleküle durch den Zusammentritt mehrerer Moleküle entstehen, erfolgt katalytisch. Bei anaerob abbindenden Klebstoffen bleibt der Katalysator unter Einwirkung von Luftsauerstoff im flüssigen Klebstoff inaktiv. Die Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeit kann erfolgen durch die Katalysatormenge oder durch Temperaturänderungen.
- Polyadditionsklebstoffe (Ein- oder Mehrkomponentensystem) – Als Grundstoff wird oft Epoxidharz oder Polyurethan verwendet. Der Klebstoff entsteht durch Reaktion von mindestens zwei chemisch unterschiedlichen, reaktionsfähigen Stoffen.
- Polykondensationsklebstoffe – Die Reaktion erfolgt unter Abspalten flüchtiger Stoffe bei einem Anpressdruck von >0,4 N/mm^2 und Abbindetemperaturen von 120° C bis 160° C. Für Metallklebungen basieren die Klebstoffe meistens auf einem flüssigen Phenol / Formaldehydharz und festem Polyvinylformal).

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass es auch Klebstoffsysteme gibt, die zunächst physikalisch schnell vorhärten und später durch eindiffundierende Feuchtigkeit aus der Umgebung chemisch nachhärten. Solche Klebstoffe werden z.B. zum Einkleben von Scheiben in Kraftfahrzeugen verwendet. Die Erstarrung erfolgt sehr schnell durch Abkühlen und fixiert die Scheibe für die weiteren Montagevorgänge. Die Endfestigkeit wird erst nach Stunden durch chemische Nachvernetzung erzielt.

4.3.2 Klebtechnik und Oberflächenvorbehandlung

Unabhängig vom verwendeten Klebstoff ist der erforderliche Zustand der Fügeteiloberflächen einer der wichtigsten Einflussfaktoren für eine tragfähige Klebverbindung. Die maximalen Grenzflächenkräfte (Adhäsion) werden nur wirksam bei sauberem und entfettetem Haftgrund, da anderenfalls keine vollständige Benetzung der Oberfläche durch den Klebstoff gegeben ist. Die haftende Oberfläche kann durch Aufrauen und Bilden von Mikrogebirgen vergrößert werden. Zunächst sind grobe Verunreinigungen wie Zunder, Rost, Farbreste und sonstiger Schmutz auf den Klebflächen zu entfernen. Zur mechanischen Behandlung eignen sich harte Bürsten, das Schmirgeln oder Schleifen und als besonders günstig das Strahlen mit fettfreiem Strahlmittel und fettfreier Pressluft. Staubreste sind nach der mechanischen Behandlung sorgfältig zu entfernen. Verunreinigungen durch Fett und Öl sind mit organischen Lösungsmitteln wie Aceton, Methylenchlorid, Perchloräthylen oder Trichloräthylen oder aber mit wässrigen Reinigungsmitteln (alkalische, neutrale oder saure Lösungen) zu beseitigen. Nach dem Entfetten sind die Klebflächen mit vollentsalztem oder destilliertem Wasser zu spülen und danach zu trocknen. Bei höchsten Ansprüchen an die Klebverbindung ist eine Vorbehandlung durch Beizen oder Ätzen zweckmäßig. Nach der Vorbehandlung dürfen die Klebflächen nicht mehr mit bloßen Händen berührt werden. Außerdem muss darauf geachtet werden, dass sich an der behandelten Fläche vor dem Klebvorgang kein Staub oder Öldampf anlagert. Im Flugzeugbau verwendet man dazu so genannte Primer, die aus einer Polymerschicht bestehen, die zum einen die Adhäsion erhöhen und zum anderen Oxidation und die Anlagerung von Schmutz verhindern [4.21]. Im Kraftfahrzeugbau dagegen werden mittlerweile Klebstoffe eingesetzt, die gezielt Verunreinigungen durch Öl aufnehmen, so dass geölte Stahlbleche ohne jede Reinigung und Aktivierung hochfest verklebt werden können.

In allen Einsatzfällen wird eine Klebung umso besser, je frühzeitiger der Klebstoff nach der Oberflächenbehandlung aufgebracht wird. Nach Auftragen des Klebstoffes werden die Verbindungspartner zusammengelegt und mit Klammern, Leisten oder Zwingen gegen Verschieben gesichert.

Tabelle 4.2 fasst für verschiedene Werkstoffe und Einsatzgebiete abhängend von der Vorbehandlung die erzielbaren Bindefestigkeiten und Zugscherfestigkeiten von Klebverbindungen zusammen.

<table>
<tr><td>Einsatzgebiet</td><td>In geschlossenen Räumen, kein Kontakt mit Wasser: Feinmechanik, Elektrotechnik, Modellbau, Schmuckindustrie, Möbelbau</td><td>In gemäßigtem Klima, auch bei Öl- und Treibstoffzutritt: Allgemeiner Maschinen- und Fahrzeugbau</td><td>In sämtlichen Klimaten, direkte Berührung mit wässrigen Lösungen, Ölen, Treibstoffen, Lösungsmitteln: Fahrzeug-, Flugzeug-, Schiffs- und Behälterbau</td></tr>
<tr><td>Bindefestigkeit</td><td>Niedrige Festigkeit</td><td>Mittlere Festigkeit</td><td>Hohe Festigkeit</td></tr>
<tr><td>Zugscherfestigkeit</td><td>5 N/mm^2</td><td>5 bis 10 N/mm^2</td><td>Über 10 N/mm^2</td></tr>
<tr><td>Werkstoff</td><td colspan="3">Maßnahmen zur Vorbehandlung</td></tr>
<tr><td>Aluminiumlegierungen</td><td rowspan="4">Keine Weiterbehandlung</td><td rowspan="2">Beiz-Entfetten, Schleifen oder Bürsten</td><td rowspan="2">Strahlen oder Beizen</td></tr>
<tr><td>Gusseisen</td></tr>
<tr><td>Kupfer, Messing</td><td rowspan="2">Schmirgeln oder Schleifen</td><td rowspan="2">Strahlen</td></tr>
<tr><td>Stahl, auch rostfreier</td></tr>
<tr><td>Stahl, verzinkt</td><td colspan="3">Keine Weiterbehandlung</td></tr>
<tr><td>Stahl, brüniert</td><td colspan="2">Sehr gründlich entfetten</td><td>Strahlen</td></tr>
<tr><td>Titan</td><td rowspan="2">Keine Weiterbehandlung</td><td>Bürsten</td><td>Beizen</td></tr>
<tr><td>Magnesium</td><td>Schmirgeln oder Schleifen</td><td>Strahlen oder Beizen</td></tr>
<tr><td>Zink</td><td colspan="3">Keine Weiterbehandlung oder schwaches Aufrauen</td></tr>
</table>

Tabelle 4.2: Bindefestigkeiten und erreichbare Zugscherfestigkeiten in Abhängigkeit vom Einsatzgebiet

4.4 Gestaltung von Klebverbindungen

Aufgrund des Wirkprinzips von Adhäsion und Kohäsion in Klebverbindungen sind diese so zu gestalten, dass sie möglichst nur einer Zug- oder Druckbeanspruchung oder aber einer Scherbeanspruchung unterliegen. Die Fügefläche bzw. die Klebfuge sind hierzu vorwiegend in die Richtung der angreifenden Kräfte zu legen. Biege- oder Schälbeanspruchungen sind zu vermeiden, da sie sich ungünstig auf die Adhäsion zwischen Klebstoff und Fügeteil und auf die Kohäsion in der Klebstoffschicht auswirken, Abbildung 4.2. Bei der ungünstigen Schälbeanspruchung wird nochmals zwischen Zugschälung und Biegeschälung unterschieden. In Abbildung 4.3a) wird anhand des Spannungsverlaufes in der Klebstoffschicht deutlich, dass bereits bei kleinen Beanspruchungen hohe Spannungsspitzen auftreten, die zum Einreißen der Klebfuge führen. Besonders günstige Klebverbindungen lassen sich durch eine zusätzliche Falzausführung zur Vergrößerung der Klebflächen und zur Realisierung einer zusätzlichen Formschlusswirkung gestalten, Abbildung 4.4. Besonders ungünstige Verbindungsarten sind die einfache Überlappung sowie der Stumpfstoß mit reiner Zugbeanspruchung. Weitere Gegenüberstellungen ungünstiger und günstiger Gestaltungen von Klebverbindungen ergeben sich aus Abbildung 4.5. Zur Vermeidung von Schälbeanspruchungen verwendet man zusätzlich in den gefährdeten Querschnitten oftmals Nieten, Schrauben oder bei Metallen auch Schweißpunkte (Abbildung 4.5, Nr. 3).

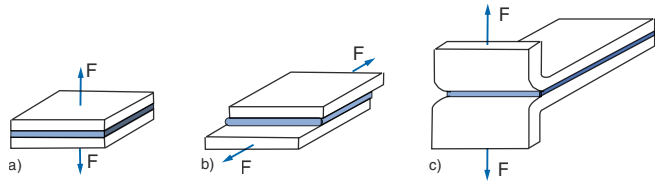


Abbildung 4.2: Beanspruchungsarten von Klebverbindungen – Zug/Druck (a), Scherung (b) und Schälung (c) [4.24]

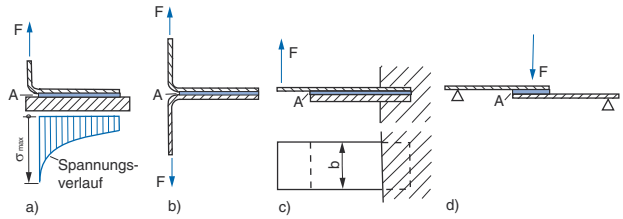


Abbildung 4.3: Arten von Schälbeanspruchungen – Zugschälung a) und b), Biegeschälung c) und d) [4.24]

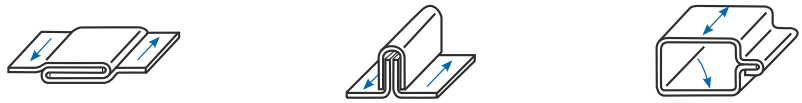


Abbildung 4.4: Klebverbindungen in Falzausführung zur Vergrößerung der Klebflächen und zur Realisierung einer zusätzlichen Formschlusswirkung

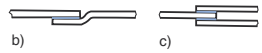
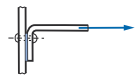
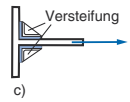
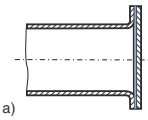
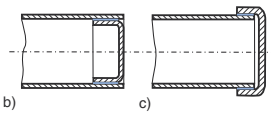
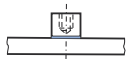
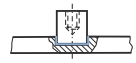
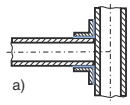
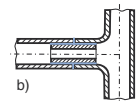
	Ungünstig	Günstig	Bemerkungen
1	a)	 b) c) d)	Überlappungsverbindungen bevorzugen wegen günstigerer Ausnutzung der Bindefestigkeit
2	a)	b)	Stumpfstöße verursachen zu kleine Klebflächen, Schäftung (b) ist besser, aber teurer
3	a)	 b)  c)	Schälbeanspruchung nach Möglichkeit vermeiden, evtl. Heftniete oder Schweißpunkt vorsehen, Variante (c) am besten
4	 a)	 b) c)	Behälterboden. Bei Bodenbelastung ist die Verbindung (a) gefährdet. Klebgerechte Ausführung entsprechend (b) oder (c), da nur Schubbeanspruchung
5	 a)	 b)	Eingeklebte Zapfen sind zu zentrieren (b), um ein Verschieben zu verhindern
6	 a)	 b)	Rahmenstoß. Klebgerechte Ausführung gemäß (b), da hier die Klebnaht nur auf Schub beansprucht wird.

Abbildung 4.5: Gestaltungshinweise für Klebverbindungen

Bei Überlappungsverbindungen gemäß Abbildung 4.6 ist die Überlappungslänge $l_{ü}$ der Klebverbindung in Abhängigkeit von der Dicke s des dünneren Fügeteiles gemäß Tabelle 4.3 zu wählen.

Material	Verhältnis Überlappungslänge $l_{ü}$ zu Fügeteildicke s
Stahl	$l_{ü}/s = 7{,}5 \ldots 15$
Al-Legierung	$l_{ü}/s = 5 \ldots 10$
Nicht verstärkte Kunststoffe	$l_{ü}/s = 2 \ldots 4$
Faserverstärkte Kunststoffe	$l_{ü}/s = 5 \ldots 10$

Tabelle 4.3: Richtwerte für das Überlappungsverhältnis von geklebten Flächenverbindungen

Werden Teile ineinander gefügt (siehe z.B. Abbildung 4.5, Fälle 4 bis 6) oder bei einer Welle-Nabe-Verbindung (Abbildung 4.6 c), so sind die einzufügenden Teile mit einer Fase zu versehen, damit der Klebstoff beim Fügen nicht verdrängt wird.

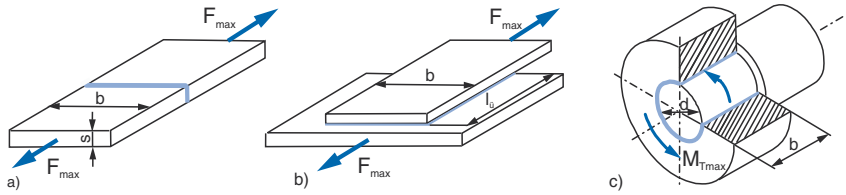


Abbildung 4.6: Abmessungen und Bezeichnungen bei Klebverbindungen

4.5 Festigkeit von Klebverbindungen

Die Festigkeit einer Klebverbindung hängt in besonderem Maß von deren Gestaltung ab. Es ist auf die Krafteinleitung in den Fügebereich und die sich daraus ergebende Beanspruchung der Klebschicht zu achten. Eine optimale Festigkeit ist nur dann zu erwarten, wenn die Richtlinien hinsichtlich Gestaltung, Vorbehandlung, Verarbeitung der Klebstoffe und Herstellung der Klebverbindung eingehalten werden.

Zunächst einmal bietet eine Klebverbindung – vor allem im Vergleich zur Nietverbindung – eine gleichmäßigere Spannungsverteilung im Bauteil, da aufgrund fehlender Bohrungen für z.B. Niete keine ungünstigen Spannungsspitzen im Bauteil selbst auftreten, Abbildung 4.7.

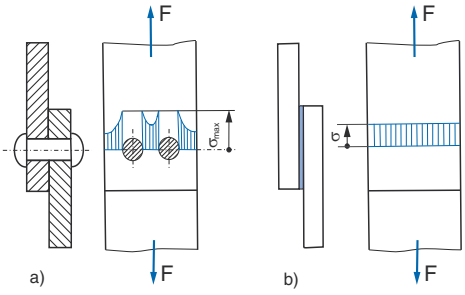


Abbildung 4.7: Gleichmäßiger Spannungsverlauf in einer Klebverbindung [4.24]

Innerhalb der Klebstoffschicht jedoch entstehen Schubspannungsspitzen, bedingt durch ungleiches elastisches Verhalten der Fügeteile und des Klebstoffes, Abbildung 4.8 b). Erzeugt man durch eine Anpassung der Geometrie der Fügeteile eine konstante Dehnung im Bauteil, so erhält man auch einen gleichmäßigen Verlauf der Schubspannungen in der Klebstoffschicht, Abbildung 4.8 c). Bei biegeweichen Bauteilen treten zusätzlich Normalspannungsspitzen in der Klebstoffschicht auf, Abbildung 4.8 d). Um diese ungünstigen Spannungsverläufe gleichmäßig zu halten, ist deshalb auf eine klebgerechte Gestaltung der Fügeteile zu achten. Einschränkungen treten mit zunehmender Größe der Fügefläche auf, da es dann schwieriger ist, eine gleichmäßige Festigkeit der Klebstoffschicht zu erzielen.

Werden Werkstoffe mit sehr unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten miteinander verklebt, so können bei Temperaturänderungen hohe Spannungen in der Klebstelle entstehen. Ist das Werkstück mit dem größeren Ausdehnungskoeffizienten z.B. das Innenteil einer Welle-Nabe-Verbindung, so kann der Klebstoff diese zusätzliche Belastung aufnehmen. Dehnt sich das Außenteil weiter auf, ist eine Presspassung vorzusehen, damit die Klebstoffschicht nicht reißt.

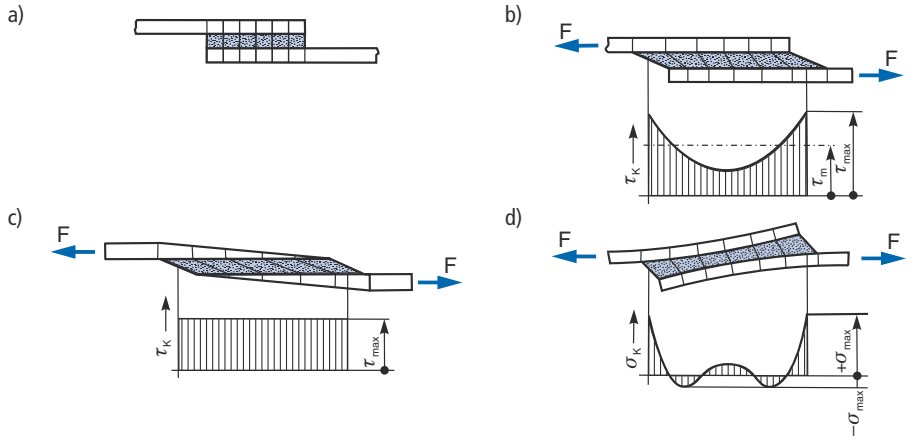


Abbildung 4.8: Spannungsverläufe in Klebverbindungen – a) Unbelastet, b) Spannungsspitzen bei starren Bauteilen, c) Konstante Dehnung durch angepasste Geometrie, d) Normalspannungsspitzen bei biegeweichen Bauteilen

Zu der im Folgenden wiedergegebenen Berechnung der Beanspruchung und der Beanspruchbarkeit einer Klebverbindung müssen die Daten vom Klebstoff und von den Fügeteilen bekannt sein, Tabelle 4.4.

Klebstoff	**Fügeteile**
Zugscherfestigkeit τ_b	Streckgrenze R_e bzw. $R_{p0,2}$
Gleitmodul G	Elastizitätsmodul E
Schichtdicke s_v	Fügeteildicken $s_{1,2}$
Schichtbreite b_v	Breiten $b_{1,2}$
Überlappungslänge $l_{ü}$	Überlappungslänge $l_{ü}$

Tabelle 4.4: Erforderliche Daten zur Auslegung einer Klebverbindung

Copyright

Daten, Texte, Design und Grafiken dieses eBooks, sowie die eventuell angebotenen eBook-Zusatzdaten sind urheberrechtlich geschützt. Dieses eBook stellen wir lediglich als persönliche Einzelplatz-Lizenz zur Verfügung!

Jede andere Verwendung dieses eBooks oder zugehöriger Materialien und Informationen, einschliesslich

- der Reproduktion,
- der Weitergabe,
- des Weitervertriebs,
- der Platzierung im Internet, in Intranets, in Extranets,
- der Veränderung,
- des Weiterverkaufs
- und der Veröffentlichung

bedarf der schriftlichen Genehmigung des Verlags.

Insbesondere ist die Entfernung oder Änderung des vom Verlag vergebenen Passwortschutzes ausdrücklich untersagt!

Bei Fragen zu diesem Thema wenden Sie sich bitte an: info@pearson.de

Zusatzdaten

Möglicherweise liegt dem gedruckten Buch eine CD-ROM mit Zusatzdaten bei. Die Zurverfügungstellung dieser Daten auf unseren Websites ist eine freiwillige Leistung des Verlags. Der Rechtsweg ist ausgeschlossen.

Hinweis

Dieses und viele weitere eBooks können Sie rund um die Uhr und legal auf unserer Website

informit.de
http://www.informit.de

herunterladen