

Verbindungstechniken

Kleben

Das Fügen von Werkstoffen kann durch eine mechanische-, thermische- oder chemische-Verbindung erfolgen.

Die **mechanische Verbindung (Schrauben, Nieten, etc.)** ist die ideale Verbindungsmethode, wenn ein problemloses Lösen der Verbindung gefordert ist. Zudem können hier auch unterschiedliche Werkstoffe verbunden werden. Normalerweise sind Schraubverbindungen recht sicher, unter ungünstigen Umständen können sich diese Verbindungen aber auch lockern, was eine zusätzliche Sicherung zur Folge hat. Zudem müssen hier Löcher in die Fügeteile eingebracht werden, die eine Schwächung der Bauteile zur Folge hat. Zudem entstehen im Bereich der Bohrungen Spannungsspitzen, die zu einem vorzeitigen Ermüden der Fügeteile führen können.

Die **thermische Verbindung (z.B. Schweißen)** meist nur bei gleichartigen Werkstoffen möglich. Die Lastverteilung erfolgt hierbei flächenförmig. Ein Lösen der Verbindung ist nur mit sehr großem Aufwand möglich. Durch die beim Schweißvorgang auftretenden hohen Temperaturen werden Spannungen in die Fügeteile eingebracht, die hier zum Verzug der Bauteile führen können.

Chemische Verbindungen (Kleben) führen zu einer gleichmäßigen Spannungsverteilung bei Belastung der Bauteile. Zudem können verschiedene Werkstoffe miteinander verbunden werden. Als weiteren Vorteil kann hier erwähnt werden, dass die Klebmasse häufig zu einem Abdichten der Trennfuge führt und die Teile keinen Fügeteilverzug aufweisen. Nachteil einer Verklebung ist die häufig geringere Kraftaufnahmefähigkeit im Vergleich zu Schweiß- und Schraubverbindungen und die geringe Scherfestigkeit der Bauteile.

Kleben gewinnt neben dem Schweißen zunehmend an Bedeutung. Gründe hierfür sind u.a.:

- der Einsatz von Kunststoffen, die nicht oder nicht gut verschweißt werden können (PMMA, PS, ...).
- der steigende Bedarf an Werkstoffkombinationen, die nur durch Kleben hergestellt werden können, um den technischen und dekorativen Anforderungen an Bauteile gerecht zu werden - z.B. Beschichtungen im technischen Korrosionsschutz, im Innenausbau, u.v.m..- .
- die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei Montagearbeiten (Rohrverbindungen).
- Klebeverbindungen werden mit Hilfe von Klebstoffen hergestellt. Klebstoffe sind nichtmetallische Werkstoffe, mit denen Fügeteile durch Flächenhaftung miteinander verbunden werden, ohne dass sich das Gefüge der Fügeteile wesentlich ändert.

Unter Kleben versteht man das unlösbare Verbinden gleicher oder verschiedener Materialien unter Stoffschluss, indem ein Klebstoff, der das Gefüge der Partner nicht wesentlich ändert, eingebracht wird (DIN 16920). Die Wirkung des Klebers beruht auf der Oberflächenhaftung, der Adhäsion, und der inneren Festigkeit des Klebstoffes, der Kohäsion. Häufig wird beim Klebevorgang auch die Werkstückoberfläche durch den Klebstoff angelöst, um so eine verbesserte Haftung zu ermöglichen.

Unter Adhäsion versteht man die physikalische Anziehungs- und Adsorptionskräfte (Van der Waalsche Kräfte). Als Kohäsion bezeichnet man die Kräfte, die zwischen den Molekülen des Klebstoffes wirken.

Neben der Klebeeigenschaft haben Klebstoffe aber auch noch andere physikalische Eigenschaften. So z.B. die elektrische Isolation der Teile untereinander. Kontaktkorrosionen können somit vermieden werden. Ein weiterer Vorteil ist die schwingungsdämpfende Wirkung des Klebstoffes bzw. der Klebeschichten. Auch als Dichtungsmaterial für Flüssigkeiten werden Klebstoffe häufig eingesetzt.

Kleben ist meist eine flächenhafte Verbindungsart. Somit werden Spannungen in den Fügeteilen auf eine größere Fläche verteilt. Zudem werden die Fügepartner nicht durch Bohrungen oder andere Schwachstellen beeinflusst.

Nachteile einer Klebeverbindung sind u. a.:

- Die Festigkeit der Klebeverbindung ist deutlich unter der der Fügeteile.
- Die zulässige Beanspruchung hängt erheblich von der Art der Krafteinleitung ab (Schäl- und Stoßbeanspruchung sind zu vermeiden).
- Die obere Grenztemperatur des Klebstoffes muss berücksichtigt werden.
- Fehlerhafte Klebungen sind nur schlecht korrigierbar.
- Klebungen sind unlösbare bzw. schwer lösbare Verbindungen (oft mit Beschädigung der Fügeoberfläche verbunden).
- Viele Kleber verlangen häufig eine bestimmte Mindest-Umgebungstemperatur. Arbeiten im Freien oder in nicht beheizten Räumen ist somit oft nicht möglich.
- Die meisten Klebstoffe benötigen eine Aushärtezeit, die in der Serienfertigung oft zu Schwierigkeiten führt.

Nicht alle Kunststoffe lassen sich gleich gut und mit den gleichen Klebstoffen sowie nach einheitlichen Klebetechniken verbinden. Dafür gibt es im Wesentlichen zwei Gründe:

1. der unterschiedliche chemische Aufbau der Kunststoffe und der Klebstoffe.
2. das deformationsmechanische Verhalten der Fügeteile und der abgebundenen Klebstoffe.

Zu 1.)

Je nach Art des chemischen Aufbaus unterscheidet man polare und unpolare Kunststoffe. Die Polarität (hierunter ist die Oberflächenenergie des Kunststoffes zu verstehen - Bild 39 und 40) ist Grundvoraussetzung für die Ausbildung von elektromagnetischen Wechselwirkungen. Der chemische Aufbau bestimmt auch die Oberflächenspannung der Werkstoffe, die wiederum ein Maß für die Benetzbarkeit ist. Die Benetzbarkeit kann mit der Wassertropfenmethode überprüft werden. Auf einer unzureichend gereinigten bzw. auf einer unpolaren Oberfläche bleibt die kugelige Form des Tropfens weitgehend erhalten. Polyolefine (PE, PP) als auch PTFE etc. sind unpolare Materialien, und besitzen somit eine niedrige Oberflächenenergie (Bild 39). Im "Rohzustand" sind diese sehr schwierig bzw. schlecht zu verkleben und zu lackieren.

erheblich polar:	SAN, ABS, PVC, PET, PC, PSU, PES, PPSU, PEI, PEEK, PI.
weniger polar:	Copolymerisate aus Ethylen und ungesättigten Estern (E/VA), ETFE, PPE, POM.
sehr stark polar:	PA, PUR, CAB, PVF, PVDF, E-CTFE, und viele Duroplaste.
unpolar:	PE-HD, PP, PS, PTFE.

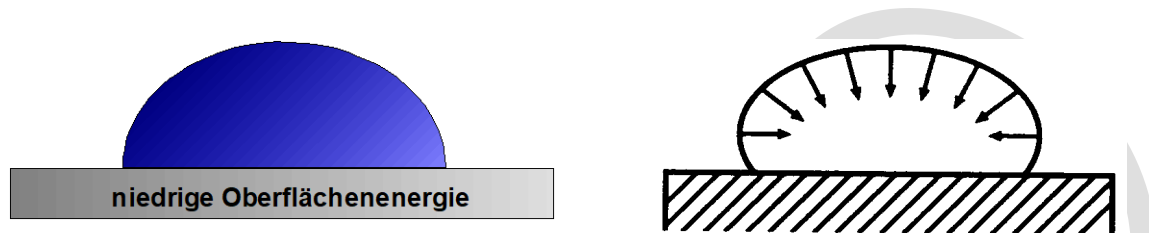


Bild 39: Niedrige Oberflächenenergie z.B. PE-HD, PP, PET, PS, POM, PTFE, ...

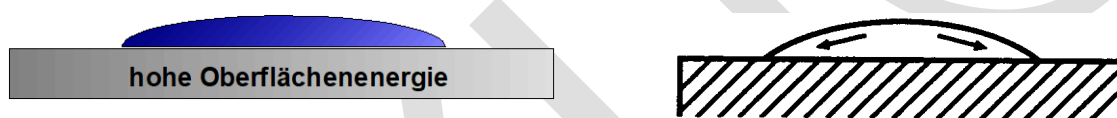


Bild 40: Hohe Oberflächenenergie z.B. PVC-U, ABS, PC, PSU, PMMA, PA, ...

Eine Verbesserung der Klebewirkung erreicht man durch:

- **Beizen** (Eintauchen des zu verklebenden Werkstückes in eine ätzende Lösung um die amorphen Bereiche in der Kunststoffoberfläche zu zerstören. Dadurch wird die „raue“ Oberfläche vergrößert, in der sich ungesättigte Verbindungen einlagern können. Diese erhöhen die Benetzbarkeit des Kunststoffes mit Klebstoffe. Die ätzende Flüssigkeit ist hier meist Chromschwefelsäure bei ca. 60-80 °C).
- **Aufräumen** (durch eine mechanische Aufräumung wird die Zahl der Verankerungspunkte erhöht.)
- **Corona-Entladungen** (ein hochgespanntes netzfrequentes Feld entlädt mittels Corona-Funkenentladung an der Elektrode. Plasma wird auf die Oberfläche der zu behandelnden Kunststoffe übertragen und führt dort zur Bildung von polaren Gruppen, die eine Verankerung von Farben, Klebern und Schäumen gewährleisten)
- **Beflammen** (durch die Einwirkung einer auf Sauerstoffüberschuss eingestellten Flamme wird die Oberfläche des Kunststoffes oxidiert. Dadurch erhält diese eine elektrisch unterschiedliche Ladung und wird daher besser benetzbar)
- **Ozonieren** (durch beschießen der Werkstückoberfläche mit z.B. O₃ (Ozon) wird die Oberflächenaktivität erhöht und steigert somit die Benetzbarkeit) (siehe auch DVS 2204 Teil 2)

Um eine gute Verklebung zu erreichen, ist es wie beim Schweißen erforderlich, dass die Kleboberflächen sauber (Entfernen von Schmutz und einer eventuell vorhandenen Oxidschicht), fettfrei (Reinigen mit z.B. Aceton) und maßgenau sind. Ca. 90 % des Versagens einer Verklebung ist auf mangelhafte Vorbereitung und Reinigung der Klebeflächen zurückzuführen.

Zudem hat auch die Rauigkeit der zu verklebenden Oberfläche einen großen Einfluss auf die Klebefestigkeit. Aufgrund der teilweise hohen Viskosität von Klebstoffen, besteht häufig kein direkter Kontakt zur gesamten Teileoberfläche.

- Klebeverbindungen sind möglichst auf Scherung oder Zug zu beanspruchen. Spalt- und Schälbelastungen sind zu vermeiden. Dabei bietet sich die Überlappverbindung besonders an. Um übermäßige Verformungen (z.B. Abschälen) zu vermeiden sind die gefährdeten Bauelemente zu versteifen (Bild 41 bis 45).

Zu 2.)

Kunststoffe weisen im Allgemeinen unter mechanischer Spannung hohe Verformungen auf, sie haben im Vergleich zu Metallen einen geringen Elastizitätsmodul (E-Modul). Diese Verformungen müssen von der Klebnaht bzw. vom Klebstoff aufgenommen werden.

Daher:

Das deformationsmechanische Verhalten von Fügepart und Klebstoff soll so aufeinander abgestimmt sein, dass möglichst keine Spannungsinhomogenitäten entstehen, die zu vorzeitigem Versagen der Klebnaht führen.

Aushärtemechanismen von Klebstoffen

Für besondere Anwendungsbereiche gibt es Klebstoffe mit unterschiedlichen Aushärtungseigenschaften. Diese können wie folgt eingeteilt werden:

- Anaerob aushärtende Klebstoffe (Einkomponentenklebstoffe, die unter Sauerstoffabschluss unter Raumtemperatur aushärten).
- Durch UV-Licht aushärtende Klebstoffe
- Durch Luftfeuchtigkeit aushärtende Klebstoffe (Cyanacrylate)
- Mit Aktivator aushärtende Klebstoffe
- Durch Feuchtigkeit aushärtende Klebstoffe (Silicone, Polyurethane)

Klebevorgang:

Unmittelbar nach der Oberflächenvorbehandlung der Fügepart erfolgt der Klebevorgang, der mit dem Auftrag des Klebstoffs beginnt.

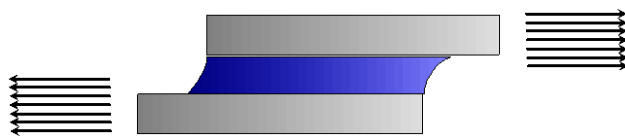
Unter Oberflächenvorbehandlung versteht man:

- Oberflächen klebgerecht gestalten
- Reinigen der Oberflächen
- Aufrauen der Oberflächen

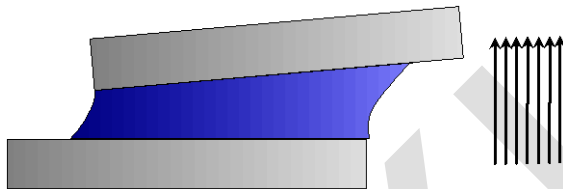
Beim Auftrag ist darauf zu achten, dass die Fügeflächen gleichmäßig benetzt werden und dass der Auftrag in gleichmäßiger Dicke erfolgt.

Bei Verwendung von Zwei- oder Mehrkomponentenklebstoffen muss selbstverständlich auf eine homogene Mischung der Komponenten geachtet werden (Achtung Topfzeit beachten; unter Topfzeit versteht man die Gebrauchsdauer von kalthärtenden Klebstoffen nach dem Vermischen der Komponenten oder nach Zugabe des Härters).

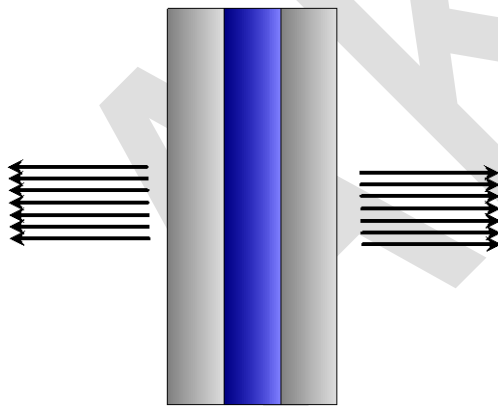
Nach dem Fügen muss der Anpressdruck so lange gehalten werden, bis die Abbindezeit im Wesentlichen abgeschlossen ist (Bild 46).



a.) Scherbeanspruchung



b.) Schälbeanspruchung



c.) Zugbeanspruchung

Bild 41 a, b, c: Belastungsarten von Klebeverbindungen

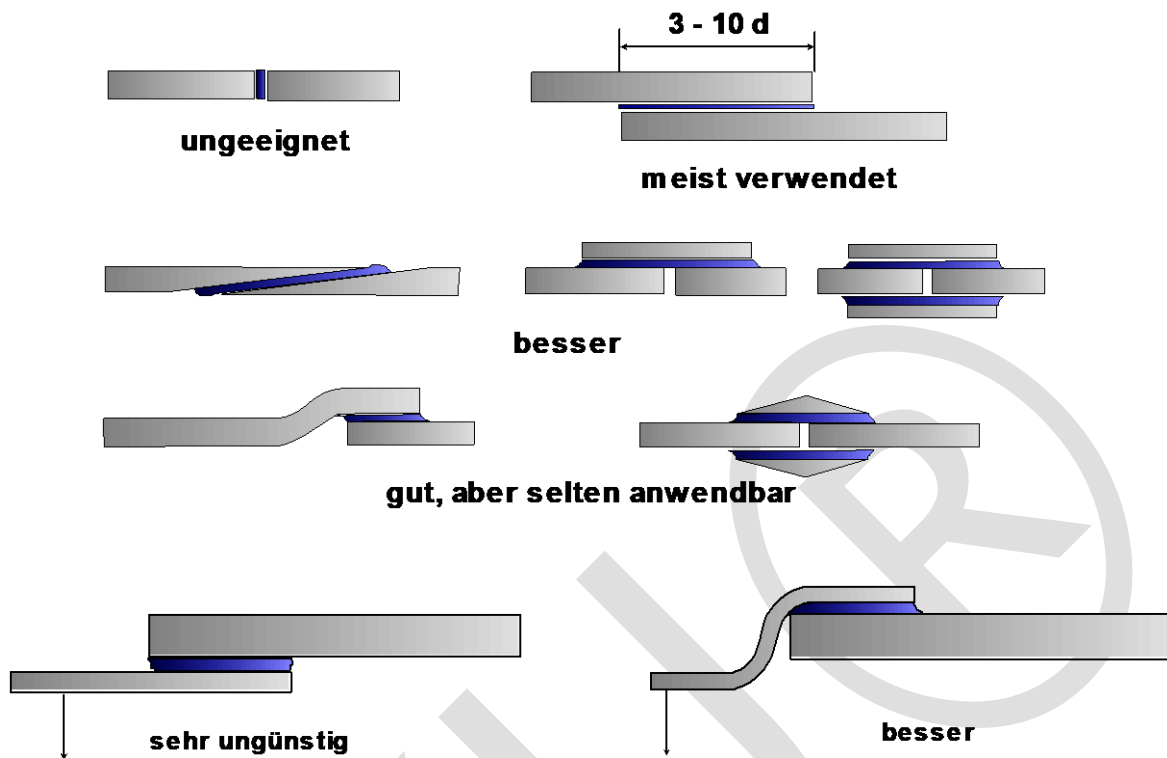


Bild 43: Prinzip von Schalbeanspruchungen

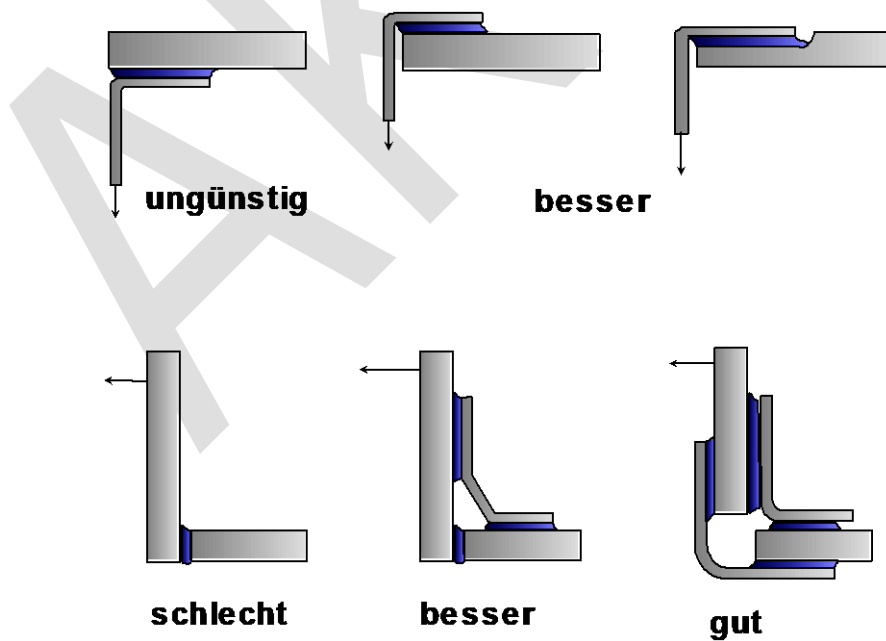


Bild 44: Gestaltungsformen von Winkelverbindungen

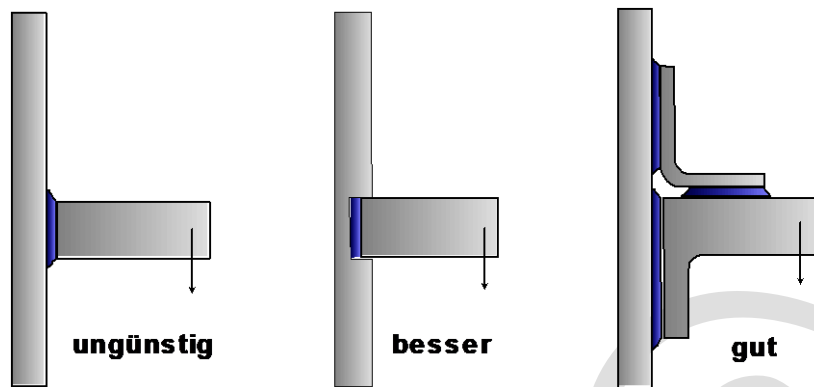


Bild 45: Gestaltungsformen von Stoßverbindungen

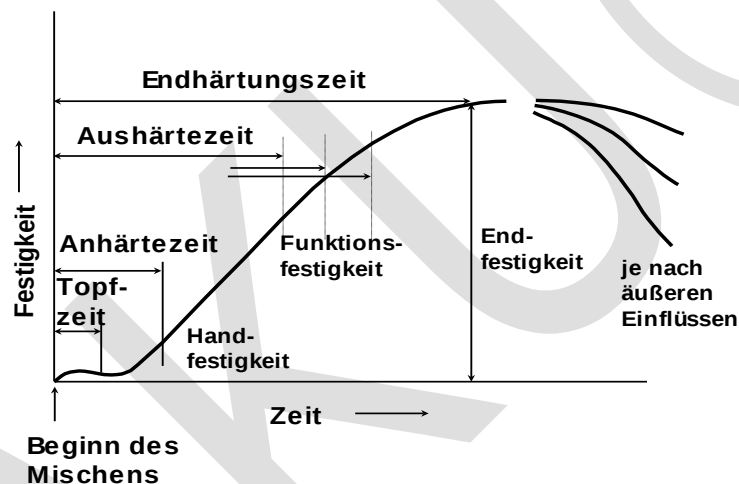


Bild 46: Klebezeit

Spannungsrisssbildung bei Thermoplasten:

Amorphe Kunststoffe, wie PC (Polycarbonat), PMMA (Polymethylmethacrylat), ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymerisat) und PS (Polystyrol) neigen bei Kontakt mit bestimmten Lösungsmittel (die häufig in Klebstoffen vorhanden sind) zur Spannungsrisssbildung.

Diese Risse können verursacht werden durch:

- Eingefrorene Eigenspannungen im Klebeteil
- Eindringen des Lösungsmittels in die Molekularstruktur des Klebteils

Diese Spannungen können durch Tempern abgebaut werden (siehe Kunststoff-Definitionen).

Mögliche Klebstoffe für folgende Kunststoffe:

Die Vielfalt des Klebstoffangebotes macht die Auswahl des richtigen Klebstoffes mittlerweile zu einer schwierigen Aufgabe.

Kunststoff	Firma	Klebstoff-Name	Bezeichnung	Bemerkungen
PVC-U	3M	Scotch-Grip	Super 77,	Lösemittelklebstoffe (Aerosole)
	3M	Scotch-Grip	847,	Mehrzweckklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	1022,	Mehrzweckklebstoffe
	3M	Scotch-Weld	EPX DP 110,	Epoxidharz zähelastisch
	3M	Scotch-Grip	4475,	Mehrzweckklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	1099,	Kunststoffklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	7312,	Kunststoffklebstoffe
	Degussa	Agomet	MDS	Basis MMA
	Degussa	Agomet	R	Basis Styrol
	3M	Jet-melt	3792,	Schmelzklebstoffe
	3M	Scotch-Weld	9323,	zähelastisch
	3M	Jet Weld	TE 031, TS230	PU-Schmelzkleber
	Henkel	Tangit,		
	Henkel	Dytex L u. K		
	UHU	UHU-PVC		Lösemittel
	Kömmerring	Köratat		2 Komponenten
	Kömmerring	Körapur		
PP, PE-HD	3M	Scotch-Grip	7312,	Kunststoffklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	7434,	Dispersionsklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	9304,	Dispersionsklebstoffe
	3M	Jet-melt	3764, 3748	Schmelzklebstoffe
	3M	Scotch-Grip		Lösemittel-Aerosol
	3M	Scotch-Weld	DP 8005/8010	2-Komp-Klebstoff
	Degussa	Atlaskleber R 84		
ABS	3M	Scotch-Grip	1099,	Kunststoffklebstoffe
	3M	Scotch-Grip	7312,	Kunststoffklebstoffe
	Degussa	Agomet	F 330	Basis MMA-mod.
	3M	Jet-melt	3792,	Schmelzklebstoffe
	3M	Scotch-Weld	3520,	hart
	3M	Scotch-Weld	9323,	zähelastisch
	3M	Scotch-Weld	3532,	flexibel
	3M	Jet Weld	TE 031, TS230	PU-Schmelzkleber
	3M	Scotch-Weld	EPX DP 110	Epoxidharz zähelastisch
	Henkel	Dytex L		Lösemittel
	Kömmerring	Köratat		2 Komponenten
	Kömmerring	Körapur		

PS	3M 3M 3M 3M 3M 3M 3M Beiersd. UHU Kömmerling Kömmerling	Scotch-Grip Jet-melt Jet-melt Scotch-Weld Scotch-Weld Jet Weld Scotch-Weld technicoll P UHU plast Köratat Körapur	7312, 3792, 3764, 3520, 3532, TE 031, TS230 EPX DP 110	Kunststoffklebstoffe Schmelzklebstoffe Schmelzklebstoffe hart flexibel PU-Schmelzkleber Epoxidharz zähelastisch Lösemittel 2 Komponenten
PMMA	3M 3M 3M Röhm Degussa	Scotch-Grip Jet-melt Scotch-Weld Acifix 96 Agovit LM	7312, 3764, 3520,	Kunststoffklebstoffe Schmelzklebstoffe hart Kunststoffklebstoffe Kunststoffklebstoffe
PC	3M 3M 3M 3M	Scotch-Grip Jet-melt Scotch-Weld Scotch-Weld	7312, 3764, 3533, 3532	Kunststoffklebstoffe Schmelzklebstoffe zähelastisch flexibel
PEEK	3M	Scotch-Weld	DP 760	2-Komp-Klebstoff
PVDF HPM's	Lösemittelklebstoffe wie bei PVC-U, Klebstoffe auf Basis EP-Harz; auf Anfrage			

Tab. 19: Klebstoffe

Die vorliegenden Informationen und Angaben wurden von Fachleuten erstellt und enthalten unsere derzeitigen Erfahrungen. Sie können deshalb in hohem Maße als anwendbar bezeichnet werden, ohne für jeden Fall der Anwendung verbindlich zu sein. In jedem Fall empfehlen wir Eigenversuche mit Probematerial durchzuführen.

Änderungen vorbehalten

Erste Erstellung: 10/09 Update 04/2024