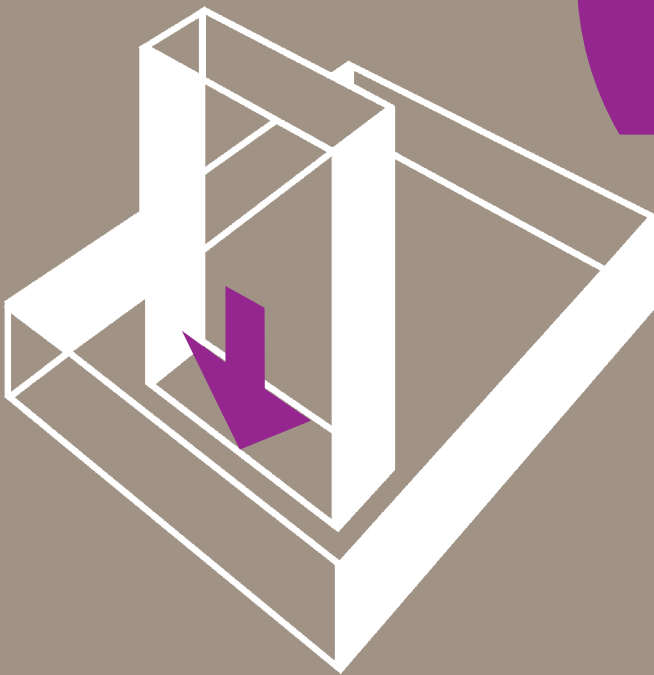


Fügen von PLEXIGLAS®

Verarbeitungsrichtlinien



Inhalt

Seite

1	Allgemeines	3
1.1	Lieferform	3
1.2	Schutzfolie	3
2	Kleben	4
2.1	Klebstoff-Systeme	4
2.2	Klebverhalten von PLEXIGLAS®	5
2.3	Röhm-Klebstoffe und -Zusatzstoffe	6
2.4	Sicherheitsmaßnahmen und Gesundheitsschutz	8
2.5	Arbeitsvorbereitungen und Maßnahmen nach dem Kleben	8
2.6	Einfärben von Polymerisationsklebstoffen	10
2.7	Klebeteknik	11
2.8	Arbeitsplatz, Geräte, Hilfsmittel	17
2.9	Fehler beim Verkleben	20
2.10	Klebebänder	23
3	Schweißen	24
4	Nieten	28
5	Klemmen	29
6	Schrauben	29
7	Verwalzen	31

Anmerkungen:

Für professionelle PLEXIGLAS®-Verarbeiter sind außer dieser Schrift noch weitere Verarbeitungsrichtlinien erschienen zum Thema

- Bearbeiten von PLEXIGLAS® (Kenn-Nr. 311-1),
- Umformen von PLEXIGLAS® (Kenn-Nr. 311-2) und
- Oberflächenbehandeln von PLEXIGLAS® (Kenn-Nr. 311-4).

Heimwerker finden wertvolle Hinweise zu PLEXIGLAS® in

- Tipps zur Verarbeitung von PLEXIGLAS® (Kenn-Nr. 311-5).

Über Eigenschaften und Verarbeitung einiger unserer Produkte und deren Anwendungen, z. B.

Stegplatten und Wellplatten,

- Verglasungen mit massiven Platten,
- Lärmschutzwände,
- Lichtwerbung u. a.,

liegen gesonderte Druckschriften vor, die beim PLEXIGLAS®-Lieferanten angefordert werden können.

Bei der Verwendung unserer Produkte sind außerdem zu beachten

- die regional gültigen Bauvorschriften und Immissionsschutzgesetze,
- zutreffende Normen, z. B. DIN 1055,
- Gewährleistungen nach VOB oder BGB,
- Berufsgenossenschafts-Richtlinien u. a.

1 Allgemeines

PLEXIGLAS®, das von uns weltweit erstmals hergestellte Acrylglas (Polymethylmethacrylat, PMMA) lässt sich auf vielfältige Weise fügen – in werkstoffgerechter Rangfolge bei unlösbaren Verbindungen durch Kleben, Verwalzen, Schweißen und Nieten, bei lösbaren Verbindungen durch Klemmen und Schrauben. Welches Fügeverfahren im Einzelfall anzuwenden ist, muss anhand der jeweiligen Anforderungen entschieden werden. Das am häufigsten angewendete Verfahren ist das Kleben. Für PLEXIGLAS® GS und XT stehen eine Reihe werkstoffangepasster Klebstoffe zur Verfügung.

Bei PLEXIGLAS® **GS** handelt es sich um gegossenes, bei PLEXIGLAS® **XT** um extrudiertes Material. Bei allen Werkstoffen kann die fügende Bearbeitung in fast gleicher Weise vorgenommen werden. Dies gilt auch für bestimmte Anwendungen, wie **SOUNDSTOP** (transparenter Lärmschutz), oder mit speziellen Oberflächen. Dies können strukturierte oder verspiegelte oder als **SATINICE** (spezielle Mattierungen), **HEATSTOP** (Sonnenhitze reflektierend), oder **NO DROP** (Wasser spreitend) vergütete PLEXIGLAS® Sorten sein.

Wo Unterschiede im Füge-Verhalten zu beachten sind, wird in dem jeweiligen Kapitel darauf hingewiesen.

Klebearbeiten mit Spritzguss- oder Extrusionsteilen aus PLEXIGLAS® Formmasse (PLEXIGLAS® FM) können in gleicher Weise wie bei Platten durchgeführt werden. Sprechen Sie in diesem Fall unsere „Kundenberatung Formmasse“ an.

Ziel dieser Broschüre ist es, zu optimalen Arbeitsergebnissen beizutragen. Sollten Sie bei der Lektüre oder während der Arbeit Fragen haben, wenden Sie sich bitte an Ihren PLEXIGLAS® Lieferanten oder an unseren „**Technischen Service**“. Auch für zusätzliche Anregungen aus der Sicht des Praktikers sind wir dankbar.

1.1 Lieferform

PLEXIGLAS® GS stellen wir in Form von Massivplatten, Blöcken, Stäben und Rohren mit glatten oder matten bzw. satinierten (**PLEXIGLAS SATINICE®**) Oberflächen her.

PLEXIGLAS® XT gibt es in herkömmlichem und in schlagzäh modifiziertem Acrylglas (**PLEXIGLAS RESIST®**) als glatte, strukturierte oder matte bzw. satinierte (**PLEXIGLAS SATINICE®**) Massivplatten, Wellplatten, Stegplatten, Spiegel, Rohre und Stäbe sowie Folien (**EUROPLEX®**).

Farbige PLEXIGLAS® Sorten sind in der Regel völlig gleichmäßig durchgefärbt.

Ob Standardformate oder Zuschnitte: Alle unsere Palettenverpackungen sind gekennzeichnet mit Hinweisen zur Lagerung und zum innerbetrieblichen Transport. Grundsätzlich ist es besser, PLEXIGLAS® in der Halle zu lagern. Alle unsere Platten sind durch Polyethylen-Folie geschützt, die problemlos entsorgt werden kann. Bei Lagerung im Freien ist sorgfältige zusätzliche Abdeckung zu gewährleisten.

Ihr Lieferant von PLEXIGLAS® schickt Ihnen gerne die aktuelle Ausgabe der „Fascinating World of PLEXIGLAS®“ (Kenn-Nr. 111-26), die Sie ausführlich informiert über Sorten, Abmessungen, Dicken, Oberflächenstrukturen usw.

1.2 Schutzfolie

Abhängig von Sorte und Dicke schützen haftende, selbsthaftende oder selbstklebende umweltschonende Polyethylen-Folien (PE) die Oberflächen unserer Platten. Normalerweise sollte der Oberflächenschutz bis zum endgültigen Einsatz des Fertigteils an der Platte bleiben. Muss er beispielsweise vor dem Warmformen oder Verkleben entfernt werden: Platte an einer Kante gut festhalten und die Folie **ruckartig** abziehen.

Sind die Platten Witterungseinflüssen ausgesetzt, müssen alle Folien unabhängig von ihrer jeweiligen Hafteigenschaft **innerhalb von vier Wochen entfernt** werden, da nach diesem Zeitraum die Gefahr besteht, dass die Polyethylen-Folie versprödet oder ihre Haftung sogar vergrößert wird. In beiden Fällen ist ein sachgemäßes Entfernen der Folie nicht mehr möglich und daher eine Beschädigung der Platten nicht auszuschließen.

2 Kleben

Aufgrund der physikalischen und chemischen Eigenschaften von PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT lassen sich durch Kleben Verbindungen mit teilweise sehr hohen Festigkeiten erzielen. Die Qualität der Klebungen ist wesentlich abhängig von Erfahrungen des Verarbeiters. Bei neu angewendeten Klebverfahren sollten deshalb unbedingt Vorversuche durchgeführt werden.

Für das Verkleben von PLEXIGLAS® mit den unterschiedlichsten Werkstoffen gibt es speziell entwickelte Klebstoffe, die sich in Kategorien einteilen lassen (siehe folgende Tabellen). Weitere wichtige Informationen zu unseren Klebstoffen finden sich in den jeweiligen **Produktbeschreibungen** und den **Sicherheitsdatenblättern**, die die Lieferanten von PLEXIGLAS® auf Wunsch zusenden. Die Sicherheitsdatenblätter enthalten alle wichtigen Informationen über Sicherheitsmaßnahmen, Gesundheitsschutz und Entsorgung.

2.1 Klebstoff-Systeme

▪ **Reaktionsklebstoffe auf Basis Polymethylmethacrylat/Methylmethacrylat (PMMA/MMA)** sind Polymerisationsklebstoffe in ein- bzw. mehrkomponentiger Ausführung. Sie härten aus, wenn Licht bzw. UV-Strahlung auf sie einwirkt oder Katalysatoren zugegeben werden. Sie sind fugenfüllend und somit für Flächenverklebungen geeignet. Sie führen zu hochfesten, im Allgemeinen witterungsbeständigen Verbindungen.

▪ **Lösungsmittelklebstoffe** bestehen überwiegend aus Lösungsmitteln und lösen die Klebflächen gut an. Nach dem Fügen entweichen die Lösungsmittel aus dem Klebstoff durch Verdunstung und durch Diffusion in das Material. Nach dem Trocknen wird die Klebnaht fest. Die Klebfestigkeiten sind niedriger als bei Polymerisationsklebstoffen, jedoch im Allgemeinen auch für Außenanwendungen geeignet.

Durch Zugabe von Polymeren (Mahlgut; bis zu 20%) entstehen verdickte Lösungsmittelklebstoffe, im folgenden **Kleblacke** genannt. Sie sind zwar weniger fugenfüllend als Polymerisationsklebstoffe, aber aufgrund ihrer erhöhten Viskosität in vielen Fällen einfacher zu verarbeiten als unverdickte Lösungsmittel bzw. Lösungsmittelgemische.

Lösungsmittelklebstoffe und Kleblacke, die Dichlormethan (= Methylenchlorid) enthalten (ACRIFIX® 1S 0106, 1S 0107, 1S 0109), sind nicht für den privaten, sondern ausschließlich für den gewerblichen Gebrauch bestimmt, bei welchem von angemessenem Arbeits- und Gesundheitsschutz ausgegangen werden kann (siehe Kap. 2.5 und Abb. 18).

Die neue Generation **Dichlormethanfreier** Lösungsmittelklebstoffe (ACRIFIX® 1S 0116 und 1S 0117) bringt verschiedene Verarbeitungsvorteile.

Übersicht von Klebstoff-Systemen für PLEXIGLAS®:

Nr.	Klebstoff	Hersteller	Art	Basis
1	ACRIFIX® 2R 0190	Evonik Röhm GmbH	2R	MMA
2	ACRIFIX® 1R 0192	Evonik Röhm GmbH	1R/UV	MMA
3	ACRIFIX® 1S 0106/1S 0116	Evonik Röhm GmbH	L	mit/ohne Dichlormethan
4	ACRIFIX® 1S 0107/1S 0117	Evonik Röhm GmbH	L	mit/ohne Dichlormethan
5	ACRIFIX® 1S 0109	Evonik Röhm GmbH	L	mit Dichlormethan
6	Novasil S 64	Otto Chemie	1R	Silikon, neutral
7	Vitalit 9140-VL	Panacol	1R/UV	PUR-Acrylat
8	Ruderer L 402	Ruderer Klebetechnik GmbH	L	–
9	UHU-Allplast	UHU-Vertrieb	L	–
10	Wacker N 167	Wacker	1R	Silikon, neutral
11	Köراتan KS 501	Kömmerling	KO	–
12	Silikonkautschuk	nicht spezifisch	1R	Silikon, Essigsäure
13	Silikonkautschuk	nicht spezifisch	1R	Silikon, Amin
14	Ego Silikon 110 glasklar	EGO	1R	Silikon, Essigsäure

Empfehlungstabelle der genannten Klebstoff-Systeme für Verklebungen von PLEXIGLAS® mit sich selbst, anderen Kunststoffen und weiteren Werkstoffen:

	PLEXIGLAS® GS	PLEXIGLAS® XT
PLEXIGLAS® GS	1 2 3 5 6 7* 8 9 10 11 12 13	1 2 3 4 5 6 7* 8 9 10 11 12 13
PLEXIGLAS® XT	1 2 3 5 6 7* 8 9 10 11 12 13	1 2 3 4 5 6 7* 8 9 10 11 12 13
PES	6 7* 10 11 12	7* 11 12
PSU	6 7* 10 11 12	7* 11 12
PPO	6 10 11 12	6 10 11 12
ABS	1 3 6 8 9 10 11 12 13	1 3 6 8 9 10 11 12 13
CAB	1 7 8 9 11 12 13	1 7 8 9 11 12 13
PS	1 3 6 7 8 9 10 11 12 13	1 3 6 7 8 9 10 11 12 13
PVC	1 3 5 6 8 9 10 11 12 13	1 3 5 6 8 9 10 11 12 13
UP	6 10 11 12 13	7* 10 11 12 13
Glas	6 7* 10 11 12 13 14*	6 7* 10 11 12 14*
Holz	1 6 10 11 12 13	1 6 10 11 12 13
Papier/Pappe	11	11
Filz/Kork/Leder	11	11
Beton	6 10 13	6 10 13
Eisen/Stahl	6 7* 10 11 12 13	6 7* 10 11 12 13
Aluminium	6 7* 10 11 12 13	6 7* 10 11 12 13
Buntmetalle	6 7* 10* 11 12 13	6 7* 10* 11 12 13

Bei den mit * gekennzeichneten Zahlen ist vor dem Verkleben eine entsprechende Grundierung (Primer) zu verwenden.
Für alle Werkstoffkombinationen nahezu universell einsetzbar sind doppelseitige Klebebänder und handelsübliche Schmelzklebstoffe.
Außerdem sind Cyanacrylate (Sekundenkleber) bei kleinflächigen Verklebungen universell einsetzbar.

2.2 Klebverhalten von PLEXIGLAS®

Das Klebverhalten von hochmolekularem PLEXIGLAS® GS (Massivplatten, Blöcke, Rohre, Stäbe) einerseits und niedermolekularem PLEXIGLAS® XT (Massivplatten, Rohre, Stäbe, Steg- und Wellplatten) sowie Spritzgussteilen aus PLEXIGLAS® Formmasse andererseits ist unterschiedlich.

Für die Verklebung von PLEXIGLAS® GS an Kante und Fläche werden überwiegend Polymerisationsklebstoffe (z. B. ACRIFIX® 2R 0190) eingesetzt, da sich damit hochfeste, optisch anspruchsvolle Verbindungen mit bis zu 75% der Eigenfestigkeit von PLEXIGLAS® auch für den Einsatz im Freien erzielen lassen. Vernetztes PLEXIGLAS®, z. B.

PLEXIGLAS® GS 209, muss vor dem Kleben aufgeraut werden. Auch bei allen anderen PLEXIGLAS® GS Sorten wird dadurch die Klebfestigkeit verbessert und ist besonders für mechanisch belastete Teile im Apparate- und Behälterbau zu empfehlen. Reine Lösungsmittel ohne Polymer-Zusatz lösen Teile aus hochmolekularem PLEXIGLAS® GS nur schwach an, sie sind deshalb nur bedingt einsetzbar. Besser geeignet sind Kombinationen mit Polymerzusatz (sogenannter „Kleblack“), z. B. ACRIFIX® 1S 0106 bzw. 1S 0116, bei denen das Lösungsmittel länger in der Klebnaht verweilt und so die Anlösedauer verlängert. Die Neigung zur **Spannungsrissebildung** der Füge-teile aus PLEXIGLAS® GS ist gering. Daher ist Tempern (siehe 2.5) vor dem Verkleben im allgemeinen nicht erforderlich (außer bei Rohren!).

Gerade beim Verkleben bietet das niedermolekulare PLEXIGLAS® XT einige Vorteile. Durch seine im Vergleich zu gegossenem Acrylglas deutlicheren Anlösbarkeit sind Verklebungen teils schneller und einfacher – also wirtschaftlicher – herzustellen.

Für PLEXIGLAS® XT und Spritzgussteile aus PLEXIGLAS® Formmasse werden für Kante und Fläche Polymerisationsklebstoffe (z. B. ACRIFIX® 2R 0190 und 1R 0192) **und** für die Kante Lösungsmittelklebstoffe (z. B. ACRIFIX® 1S 0106 bzw. 1S 0116, 1S 0107 bzw. 1S 0117) mit guten Ergebnissen verwendet.

2 Kleben

Beim Einsatz von Polymerisationsklebstoffen müssen die Teile jedoch **spannungsfrei** sein, um Spannungsrisssbildung auszuschließen.

Gegebenenfalls muss deshalb vor der Verklebung bei 70 bis 85 °C getempert werden (siehe 2.5), um Spannungen von der vorherigen Verarbeitung, z. B. Sägen, Fräsen, Polieren, Tiefziehen u. a., abzubauen. Allerdings besteht auch bei den meisten Lösungsmittelklebstoffen und Kleblacken die Gefahr der Spannungsrisssbildung.

Nur bei den Klebstoffen ACRIFIX® 1S 0106 und 1S 0107 ist durch deren spezielle Rezeptur die Neigung der Fügebauteile aus PLEXIGLAS® XT zur Spannungsrisssbildung deutlich geringer, so dass Tempern vor dem Verkleben mit diesen (jedoch Dichlormethan-haltigen) Produkten meist nicht nötig ist.

ACRIFIX® 1S 0109 (Dichlormethan-haltig) ist nicht auf die oben erwähnte Vermeidung von Spannungsrisen ausgelegt, hat jedoch besondere Vorteile bei speziellen Klebarbeiten. Durch schnelles Anlösen und „Anziehen“ erlaubt er zügiges Arbeiten, z. B. bei der Herstellung von Werbeschildern mit eingepassten Buchstaben.

Auch bei den Dichlormethan-freien Klebstoffen ACRIFIX® 1S 0116 und 1S 0117 werden weitgehend spannungsarme Fügebauteile benötigt.

Plane Zuschnitte aus PLEXIGLAS® XT können in der Regel ohne Vortempern flächenverklebt werden. **Gesägte oder gefräste Kanten** von PLEXIGLAS® XT Platten sind dann direkt ohne Vortempern verklebbar, wenn eine materialgerechte Bearbeitung mit **optimalen, geschärften Werkzeugen** vorausgegangen ist (siehe Verarbeitungsrichtlinien 311-1 „Bearbeiten von PLEXIGLAS®“).

Neben den im Wesentlichen vom Molekulargewicht bestimmten Klebeigenschaften sind bei PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT noch andere Einflüsse zu berücksichtigen, beispielsweise:

- Flammgeschützte Materialien – z. B. PLEXIGLAS SOUNDSTOP® GS – verlängern unter Umständen die Härtung von Polymerisationsklebstoffen und verringern die Endfestigkeit. Abhilfe kann hier evtl. die Erhöhung der Härter-Zugabe bringen.
- Bei eingefärbtem PLEXIGLAS® können Farbstoffe beim Einwirken von Klebstoff ausbluten.

- Hochpigmentierte Fügebauteile – z. B. dichte Weißfärbungen – erzielen eventuell eine geringere Klebfestigkeit.
- Schlagzähe Teile – z. B. aus PLEXIGLAS RESIST® – verlieren im Fügebereich an Schlagzähigkeit.
- Gereckte bzw. warmverformte Teile haben senkrecht zur Reckebene geringere Klebfestigkeit.

2.3 Röhm-Klebstoffe und Zusatzstoffe

Die folgenden Tabellen geben Auskunft über die Polymerisationsklebstoffe, Lösungsmittelklebstoffe und Zusatzstoffe unseres Geschäftsbereichs Methacrylates.

Haftungsbeschränkung

Unsere Klebstoffe ACRIFIX® und unsere sonstigen Service-Produkte sind nur für unsere PLEXIGLAS® Produkte entwickelt. Sie sind auf deren spezielle Eigenschaften abgestimmt.

Alle Empfehlungen und Verarbeitungshinweise beziehen sich deshalb ausschließlich auf diese Produkte.

Bei der Verarbeitung von Produkten anderer Hersteller sind Ersatzansprüche, insbesondere nach dem Produkthaftungsgesetz, ausgeschlossen.

Klebsystem/Kennzeichnung	Anwendungsbereich	Eigenschaften der Verklebung
Polymerisationsklebstoffe		
ACRIFIX® 2R 0190 2-Komponenten-Klebstoff (Basis: MMA), härtet nach Zusatz von 3 bis 5 % ACRIFIX® CA 0020 aus. Gering variable Topf-/Härtungszeit. Viskos.	Fugenfüllende Verklebung von PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT und Teilen aus PLEXIGLAS® Formmasse.	Klar, farblos, hohe Klebfestigkeit; getemperte Verklebungen sind witterungsbeständig.
ACRIFIX® 1R 0192 1-Komponenten-Klebstoff (Basis: MMA), härtet aus unter Einfluss von Licht bzw. UV-Strahlung (Leuchtstofflampen, UV-Lampen, Sonnenlicht). Viskos.	Fugenfüllende Verklebung farbloser Teile aus PLEXIGLAS® GS, PLEXIGLAS® XT und PLEXIGLAS® Formmasse.	Klar, nahezu farblos, niedrigere Klebfestigkeit als ACRIFIX® 2R 0190; ungetemperte Verklebungen neigen zu Spannungsrisssbildung in der Klebnaht.
PLEXIGLAS RENOVA® 2-Komponenten-Klebstoff (Basis: MMA), eingefärbt entsprechend den Sanitärfarben. Härtet aus nach Zusatz von Dibenzoylperoxid-Pulver. Viskos/thixotrop.	Fugenfüllende Reparatur kleiner Beschädigungen an Sanitärteilen aus PLEXIGLAS® GS SW.	Wie ACRIFIX® 2R 0190; gedeckte Einfärbungen. Original-Sanitärfarbe wird nach dem Aushärten annähernd erreicht.

Klebsystem/Kennzeichnung	Anwendungsbereich	Eigenschaften der Verklebung
Lösungsmittelklebstoffe (ausschließlich für den gewerblichen Gebrauch bestimmt, da Dichlormethan-haltig)		
ACRIFIX® 1S 0106 1-Komponenten-Kleblack, physikalisch härtend durch Verdunstung und Absorption der Lösungsmittel in den Fügeteilen. Viskos, beliebig mit ACRIFIX® 1S 0107 mischbar.	Optimal für PLEXIGLAS® XT und PLEXIGLAS® Formmasse. Auch für gering spannungsbehaftete Fügeteile und unvernetztes PLEXIGLAS® GS. Nur gering fugenfüllend.	Klar, nahezu farblos, gute Klebfestigkeit, blasenfrei nur mit Druck auf Fügeteile. Witterungsbeständig.
ACRIFIX® 1S 0107 1-Komponenten-Klebstoff, physikalisch härtend durch Verdunstung und Absorption der Lösungsmittel in den Fügeteilen. Düninflüssig, beliebig mit ACRIFIX® 1S 0106 mischbar.	Wie ACRIFIX® 1S 0106. Für PLEXIGLAS® XT, weniger geeignet für PLEXIGLAS® GS. Nur für geglättete Fügeteil-Kanten, nicht fugenfüllend.	Wie ACRIFIX® 1S 0106.
ACRIFIX® 1S 0109 1-Komponenten-Kleblack, physikalisch härtend durch Verdunstung und Absorption der Lösungsmittel in den Fügeteilen. Viskos.	Bevorzugt für Kantenverklebungen von spannungsfreien Teilen aus PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT, für Fugen eingepasster Teile, bedingt auch zum Vorheften für nachfolgende Verklebung mit Polymerisationsklebstoffen. Leicht fugenfüllend.	Klar, farblos, gute Klebfestigkeit, Blasenbildung möglich, witterungsbeständig.
Lösungsmittelklebstoffe (Dichlormethan-frei)		
ACRIFIX® 1S 0116 1-Komponenten-Kleblack. Physikalisch härtend durch Verdunstung und Absorption der Lösungsmittel in den Fügeteilen. Viskos, beliebig mit ACRIFIX® 1S 0117 mischbar.	Optimal für PLEXIGLAS® XT und PLEXIGLAS® Formmasse. Für spannungsfreie Fügeteile und unvernetztes PLEXIGLAS® GS. Gering fugenfüllend.	Klar, nahezu farblos, gute Klebfestigkeit, blasenfrei auch ohne Druck auf Fügeteile. Witterungsbeständig.
ACRIFIX® 1S 0117 1-Komponenten-Klebstoff, physikalisch härtend durch Verdunstung und Absorption der Lösungsmittel in den Fügeteilen. Düninflüssig, beliebig mit ACRIFIX® 1S 0116 mischbar.	Wie ACRIFIX® 1S 0116. Für PLEXIGLAS® XT, weniger geeignet für PLEXIGLAS® GS. Nur für geglättete Fügeteil-Kanten, nicht fugenfüllend.	Wie ACRIFIX® 1S 0116. Bessere Kapillarwirkung als ACRIFIX® 1S 0107.
Zusatzstoffe		
ACRIFIX® TC 0030 Monomer (Methylmethacrylat). Düninflüssig.	Zur Verdünnung aller Polymerisationsklebstoffe; verlängert die Aushärtezeit. Zum Entfetten von Klebeflächen von (spannungsfreien) PLEXIGLAS® Fügeteilen.	
ACRIFIX® TH 0032 Monomer (Methylmethacrylat) mit Aktivator. Düninflüssig.	Zur Verdünnung der mit ACRIFIX® CA 0020 härtenden Polymerisationsklebstoffe; kein Einfluss auf die Aushärtezeit.	
ACRIFIX® MO 0070 Regler für Polymerisationsklebstoffe. Düninflüssig.	Zur Dämpfung des Polymerisationsverlaufs (Wärmeentwicklung / Blasenbildung) von Polymerisationsklebstoffen bei dicken Klebstoffschichten und -nähten.	Eigenschaften der Verklebung werden beeinträchtigt, Nachtempern empfohlen.
ACRIFIX® CA 0020 Härter für Polymerisationsklebstoffe. Flüssig.	Zum Härten von ACRIFIX® 2R 0190.	
FARBSTOFF Schwarz 8073 Weiß 8074 Rot 8075 Blau 8076 Gelb 8077 Farbstoff-Zubereitung, pastös.	Zum Einfärben von ACRIFIX® 2R 0190.	Siehe 2.6 Einfärben von Polymerisationsklebstoffen.

2 Kleben

2.4 Sicherheitsmaßnahmen und Gesundheitsschutz

Alle Gebinde für Klebstoffe und Klebhilfsmittel sind entsprechend den Maßgaben der gemäß Richtlinie 1999/45/EG gekennzeichnet.

Während der Verarbeitung der Klebstoffe und Zusatzstoffe mit PLEXIGLAS® GS und XT oder anderen Materialien sind die erforderlichen Maßnahmen zu treffen nach der Richtlinie 1999/45/EG, der deutschen Gefahrstoff-Verordnung (GefStoffV), den geltenden Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften (UVV) und im Übrigen nach den allgemein anerkannten sicherheitstechnischen, arbeitsmedizinischen und hygienischen Regeln sowie gesicherten arbeitswissenschaftlichen Erkenntnissen.

Die meisten Klebstoffe sind feuergefährlich. Austretende Dämpfe können mit Luft explosionsfähige Gemische bilden. Offene Wärmequellen (Flammen, Elektrostrahler) und Funkenbildung (Schaltfunken, elektrostatische Entladung) sind zu vermeiden. Auch sollte an den Arbeitsplätzen nicht geraucht, gegessen oder getrunken werden. Für Arbeitsplatz und Lagerräume sind unter anderem die Verordnung über brennbare Flüssigkeiten (VbF) und für elektrische Anlagen in diesem Bereich die Bestimmungen VDE 0165 und VDE 0171 zu beachten.

Das ständige Einatmen von Lösungsmitteldämpfen und häufiger Hautkontakt können eine sich verstärkende Wirkung haben und dadurch unter Umständen zu Gesundheitsschäden und Allergien führen. Klebearbeiten sind deshalb in gut durchlüfteten, zugfreien Arbeitsräumen vorzunehmen. Da die Lösungsmitteldämpfe schwerer als Luft sind, müssen Absaugvorrichtungen in Bodennähe angebracht werden. Bei der Verarbeitung großer Klebstoffmengen ist eine zusätzliche Absaugung direkt am Arbeitsplatz empfehlenswert (siehe Abb. 18).

Die Belüftung muss so bemessen sein, dass die Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK) nicht überschritten wird. Zur

Bestimmung der MAK stehen im Laborfachhandel Gasspürgeräte mit für die verschiedenen Lösungsmittel spezifischen Prüfröhrchen zur Verfügung.

Lösungsmittel zerstören den natürlichen Fettschutz der Haut. **Der Hautkontakt mit Klebstoffen sollte deshalb vermieden werden.** Verschmutzte Hautpartien müssen nach Vorreinigung mit einem Lappen sofort mit Wasser und Seife gereinigt werden. Anschließend sollte eine Hautschutzcreme aufgetragen werden. Empfehlenswert ist es, auch vor Beginn der Arbeiten eine Hautschutzcreme zu benutzen.

Klebstoffabfälle dürfen nicht unkontrolliert weggeworfen werden, sondern müssen unter Beachtung der jeweiligen Ländervorschriften einer genehmigten Verbrennungsbzw. Sondermüllverbrennungsanlage (Klebstoffe mit Dichlormethan) oder einer geordneten Deponie zugeführt werden. Ausgelaufene oder verschüttete flüssige Produkte sind mit saugfähigem Material (Sand, Kieselgur, Blähglimmer) aufzunehmen, in gesonderten Gefäßen zu lagern und vorschriftsmäßig zu entsorgen.

Weitere Informationen zu Sicherheitsmaßnahmen, Gesundheitsschutz und Entsorgung sind unseren **Sicherheitsdatenblättern** zu entnehmen, die unseren Kunden über den Lieferanten von PLEXIGLAS® und ACRIFIX® unaufgefordert zur Verfügung gestellt werden.

2.5 Arbeitsvorbereitung sowie Maßnahmen nach dem Kleben

Die Qualität einer Verklebung von PLEXIGLAS® ist in hohem Maße von der sorgfältigen Vorbereitung der Fügeteile, vom verwendeten Klebstoff, den Hilfsmitteln und der Klebtechnik abhängig.

Vorbereitung der Fügeteile

Bei der Vorbereitung der Werkstücke zum Verkleben sollte möglichst diese Reihenfolge eingehalten werden:

- Spangebendes Bearbeiten, Reinigen,
- Tempern, falls erforderlich,
- Abkleben bzw. Beschichten umliegender Oberflächen zum Schutz vor Lösungsmitteln und gegen Verkratzen,

- Abwischen bzw. Entfetten der Klebeflächen.

Nachträgliche Maßnahme

- Nachtempern, falls erforderlich.

Hier die „Vorher/Nachher“-Maßnahmen im Einzelnen:

Das **spangebende Bearbeiten** von PLEXIGLAS® erfordert die genaue Beachtung der Hinweise in unseren Verarbeitungsrichtlinien „Bearbeiten von PLEXIGLAS®“. Zum Aufrauen der Plattenoberfläche – empfehlenswert bei PLEXIGLAS® GS allgemein, unbedingt nötig bei vernetztem PMMA, z. B. PLEXIGLAS® GS 209 und Sanitärmaterial wie PLEXIGLAS® GS SW – sollte Wassertrockenschleifpapier (Körnung 320 bis 400) verwendet werden.

Das **Reinigen** erfolgt z. B. durch Abbläsen mit ionisierter Luft oder besser mit warmem Wasser und etwas Spülmittel. Zur Trocknung eignet sich ein saugfähiges, fusselfreies Tuch, z. B. Handschuhstoff. Bei Verklebungen von PLEXIGLAS® mit **Polymerisationsklebstoffen** ist eine Vorreinigung bzw. Entfettung der Klebeflächen mit ACRIFIX® TC 0030 unmittelbar vor dem Klebstoffauftrag empfehlenswert (Material muss spannungsfrei bzw. getempert sein!). Dies geschieht am besten durch Abwischen mit einem in ACRIFIX® TC 0030 getränkten, ungefärbten, saugfähigen Papier oder Tuch (gewaschener Handschuhstoff). Damit können auch versehentlich auf die PLEXIGLAS® Oberfläche gelangte Klebstoffspuren („Fädenziehen“) sehr gut entfernt werden, solange sie noch nicht gehärtet sind.

Werden **Lösungsmittelklebstoffe** verwendet, sind die Klebeflächen vorher mit Petrolether oder Isopropanol zu reinigen.

Prüfung auf Spannungen

Ob ein vorbearbeitetes Teil für weitere Verarbeitungsschritte, z. B. Verkleben, vorgetempert oder ob ein fertiggestelltes Teil für seinen Einsatz nachgetempert werden muss, ist durch eine Prüfung auf Spannungen festzustellen.

Für farblose oder nicht dicht eingefärbte Sorten bieten sich hier einfache **Lösungsmittel-Prüfverfahren** an, die zwar nicht die genaue Größe der inneren Spannungen ermitteln können, jedoch eine für die Praxis verwertbare Aussage ermöglichen, wenn die Werkstücke mit bestimmten Lösungsmitteln in Kontakt gebracht werden:

den Fügeparts bestimmen die nachfolgend beschriebenen Temper-Bedingungen.

Tempern nach dem Verkleben

Das „Nach-Tempern“ dient bei Polymerisationsklebstoffen einer besseren Aushärtung der Klebnaht und führt damit zu verbesserter Klebfestigkeit und langfristig gutem, rissfreiem Aussehen.

Temperzeit:

- PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT: Die Materialdicke in mm dividiert durch 3 entspricht der Temperzeit in Stunden, jedoch nicht unter 2 Stunden.

Verfahren	für Werkstücke aus	Prüfmittel	Prüfvorgang	Prüfzeit	Ergebnis	Bemerkung
Essigester-Test	PLEXIGLAS® GS PLEXIGLAS® XT PLEXIGLAS® FM	Essigester (Ethylacetat)	Eintauchen oder Benetzen	6 Min	<ul style="list-style-type: none"> • Risse innerhalb der Prüfzeit: zu hohe Spannungen! • keine Risse: Teil ist einsatzbereit 	anlösend, zerstörend
Ethanol-Test	PLEXIGLAS® XT PLEXIGLAS® FM	Ethanol, Ethylalkohol	Eintauchen oder Benetzen	15 Min		nicht anlösend

Ein weiteres, völlig zerstörungsfreies Verfahren am farblosen, durchsichtigen PLEXIGLAS® Werkstück ist die visuelle Kontrolle zwischen zwei **Polarisationsfolien**. Obwohl auch hier nicht die Spannungsgröße ablesbar ist, lassen sich durch Lage und Form der dann sichtbaren Regenbogenfarben sehr gut spannungsbehaftete Stellen orten.

Tempern vor dem Verkleben

Das „Vor-Tempern“ baut Materialspannungen ab: So wird Spannungsrissbildung vermieden, die durch Zugspannungen in Verbindung mit den in Polymerisations- und Lösungsmittelklebstoffen enthaltenen Lösungsmitteln entstehen kann. Rissbildung im Klebbereich verringert die Festigkeit und das gute Aussehen der Verklebung. Sie ist deshalb auf jeden Fall zu vermeiden.

Spannungen entstehen in allen Werkstoffen – so auch bei Acrylglas – bei spangebendem Bearbeiten wie Sägen, Fräsen, Drehen, Schleifen, Polieren, bei der Warmformung und beim Kaltbiegen. Aber auch Deformationen des Fügeparts, beispielsweise durch das Anbringen von Gewichten, Klammern oder Schraubzwingen, können Spannungen erzeugen.

Extrudierte Profile, insbesondere Rohre und spritzgegossene Teile haben aufgrund der Abkühlungsbedingungen bei der Herstellung praktisch immer Eigenspannungen. Sie lassen sich durch thermische Behandlung der Fügeparts beseitigen. Seine Wärmeformbeständigkeit und die Höhe der Spannungen des zu verkleben-

Voraussetzung ist, dass innerhalb von 24 Stunden nach der Verklebung getempert wird.

Dabei werden auch jene Spannungen abgebaut, die beim Klebprozess im Klebstoff oder Fügepart eventuell entstanden sind und später zu Materialschädigungen führen können. Für das Nachtempern von Verklebungen mit Polymerisationsklebstoffen gelten die bereits für das Vortempern geschilderten Bedingungen.

Verklebungen von Teilen mit Wandstärken über 20 mm sollten allmählich, das heißt nicht schneller als 10 °C pro Stunde, auf die erforderliche Temper-Temperatur erwärmt werden. Diese zunehmende Erwärmung ist besonders bei Verklebungen, deren Mischungsrezept den ACRIFIX® MO 0070 enthält, möglichst noch länger auszudehnen, um Blasenbildung in der Klebnaht zu vermeiden und die chemische Reaktion zu begünstigen. Bei der Verwendung von Lösungsmittelklebstoffen besteht erhöhte **Gefahr des Aufschäumens** der Lösungsmittelreste, wenn beim Nachtempern die Aufheizung zu schnell vorgenommen wird.

Temper-Bedingungen

Temperatur (im Temper-Wärmeschrank mit Luftumlauf):

PLEXIGLAS® GS: 80 °C (nicht umgeformte Teile bis maximal 100 °C)

PLEXIGLAS® XT: 70 bis 80 °C (nicht umgeformte Teile bis maximal 85 °C)

Abkühlung:

- Die Abkühlzeit im Ofen in Stunden entspricht bei PLEXIGLAS® der Materialdicke in mm dividiert durch 4, die Abkühlgeschwindigkeit darf nicht schneller sein als 15 °C pro Stunde.
- Die Temperatur bei der Ofen-Entnahme darf keinesfalls über 60 °C liegen für das PLEXIGLAS® Fügepart.

Oberflächenschutz

Auch beim Fügen kann es erforderlich sein, die im Nahbereich der Klebnaht liegende Oberfläche vor Schäden durch Lösungsmittel oder Verkratzen zu schützen. Dafür eignen sich selbstklebende Folien aus Polyethylen. Außerdem bieten sich flüssig aufgebrachte Überzüge an, die später als Folie abgezogen werden (z. B. auch wässrige Lösungen 30% von PVAL), oder Abdeckfolie, aber auch materialverträgliche Klebebänder.

Vorbereitung des Klebstoffes

Die Anwendung von Lösungsmitteln, Kleblacken und einkomponentigen Polymerisationsklebstoffen erfordert keine vorbereitenden Arbeiten. Bei Zwei- und Mehrkomponenten-Polymerisationsklebstoffen ist die **Beachtung einiger grundlegenden Regeln sehr wichtig:**

Die Mischung der verschiedenen Produkte ist immer in folgender Reihenfolge vorzunehmen:

- 1) Klebstoff
- 2) VERDÜNNER bzw. Verdicker
- 3) FARBSTOFF
- 4) REGLER
- 5) KATALYSATOR

2 Kleben

Da das **gute Durchmischen des Klebstoffansatzes** wesentlichen Einfluss auf das Klebergebnis hat, müssen unbedingt folgende Empfehlungen beachtet werden:

- Um den Klebstoff auch am Boden des Gefäßes zu erfassen, müssen beim Rühren mit dem Rührstab die Wandungen abgestreift und der Ansatz auch in vertikaler Richtung durchmischt werden.
- Bei größeren Ansätzen sollte ein elektrisch oder pneumatisch angetriebener Rührer verwendet werden. Dabei sollte der Propeller- oder besser Rührhaken im Durchmesser nur geringfügig kleiner sein als der Durchmesser des Mischgefäßes.

- Nach dem Mischen muss der Klebstoff absolut schlierenfrei sein.
- Vor dem Auftragen des Klebstoffes müssen die durch das Mischen entstandenen Blasen entfernt werden. Dafür ist es zweckmäßig, den Klebstoffansatz einige Zeit ruhen zu lassen (jeweilige Topfzeit beachten!). Dann steigen die eingerührten Blasen auf und verschwinden. Das Gefäß ist währenddessen abzudecken, um bei Polymerisationsklebstoffen Hautbildung zu vermeiden und Verschmutzungen zu verhindern.

Dieser Vorgang lässt sich im Vakuum beschleunigen. Zu diesem Zweck wird das abgedeckte Gefäß in einen Vakuum-

Exsikkator gestellt. Bei Polymerisationsklebstoffen ist darauf zu achten, dass der Unterdruck ca. 0,8 bar beträgt; der absolute Druck ist dann ca. 0,2 bar. Auf keinen Fall darf der absolute Druck geringer als ca. 0,2 bar werden, da sonst der Klebstoff durch verdampfende Monomere aufschäumt. Durch wiederholtes Zwischenbelüften des Vakuumgefäßes öffnen sich die Blasen an der Oberfläche.

Auf keinen Fall darf der Klebstoff direkt in den Auftragsgeräten (z. B. Injektionspritzen) angerührt werden, da dabei die erforderliche gute Durchmischung mit Sicherheit nicht erreicht wird.

Vorbehandlungsmethode für die Verklebung von PLEXIGLAS®

Methode	Material	Wirkung
Reinigen mit trockenem Lappen, Abbürsten oder Abblasen	Holz, Beton, Schaumstoff, diverse Kunststoffe	Entfernen von losen Verunreinigungen bei porösen Materialien (Wasser würde in die Oberfläche einziehen)
Reinigen mit Wasser/Netzmittel	PLEXIGLAS®, Glas und diverse Kunststoffe	Entfernen von losen Verunreinigungen und Entfetten
Reinigen mit organischen Lösungsmitteln, z. B. Petrolether, Isopropanol und ACRIFIX® TC 0030	PLEXIGLAS®, Glas, diverse Kunststoffe, Metalle	Entfetten, Entfernen z. B. von Trennmitteln
Aufräumen mit Stahlwolle oder Schleifpapier	PLEXIGLAS®, diverse Kunststoffe und Metalle	Entfernen von Trennmitteln und Oxidschichten; Erhöhen der Haftung von Polymerisationsklebstoffen
Auftragen eines Haftvermittlers (Primer)	Glas, Metall und diverse Kunststoffe	Erhöhung der Haftung von schwer verklebbaren Materialien

2.6 Einfärben von Polymerisationsklebstoffen

Werden eingefärbte Teile aus PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT geklebt, ist es aus optischen Gründen in seltenen Fällen erforderlich, auch die Klebnaht einzufärben. Aus unserem Klebstoff-Sortiment ist dies mit ACRIFIX® 2R 0190 durchführbar.

Für **gedeckte Einfärbungen** stehen die FARBSTOFFE Schwarz 8073 bis Gelb 8077 zur Verfügung (siehe Abb. 1). Für **transparente Einfärbungen** können grundsätzlich alle handelsüblichen, in organischen Lösungsmitteln löslichen Farbstoffe verwendet werden, soweit sie die Polymerisation nicht beeinträchtigen.

Empfehlenswert ist es, zunächst eine Lösung herzustellen aus ACRIFIX® 2R 0190 mit beispielsweise 1 % FARBSTOFF (siehe Abb. 2). Mit diesem intensiv eingefärbten „Farbkonzentrat“ kann dann die Einfärbung der anzuwendenden Klebstoffmenge vorgenommen werden.

Der ACRIFIX® CA 0020 soll erst nach dem Einmischen des Farbstoffes zugegeben werden. Dabei lassen sich Härtingsverzögerungen durch geringe Erhöhung der Katalysatorkonzentration (zusätzlich 0,5 bis 1 %) ausgleichen.

Abb. 1: Farbstoffe zum Einfärben von Polymerisationsklebstoff ACRIFIX® 2R 0190

Farbstoff	Zusatzmenge zum Klebstoff
für gedeckte Einfärbungen: FARBSTOFF Schwarz 8073 FARBSTOFF Weiß 8074 FARBSTOFF Rot 8075 FARBSTOFF Blau 8076 FARBSTOFF Gelb 8077	üblicherweise 1 %, Sonderfälle siehe Abb. 2
für transparente Einfärbungen: z. B. MACROLEX Farben (Bayer) oder Sicoversal Pigmente (BASF)	5 bis 10 % des Farbkonzentrats (siehe Text)

Durch Mischen der FARBSTOFFE ist es möglich, den farbigen PLEXIGLAS® Sorten ähnliche Farbtöne zu erreichen. Um Farbabweichungen bei größeren Arbeiten zu vermeiden, ist es empfehlenswert, die erforderliche Klebstoffmenge auf einmal einzufärben und den Härter jeweils den daraus entnommenen kleineren Teilmengen zuzusetzen.

Im Allgemeinen werden eingefärbte Klebstoffe

- zum Ausgießen von Gravuren,
- zum dekorativen Beschichten von PLEXIGLAS® und
- zum Verkleben farbiger Teile verwendet.

Die Mischtablette Abb. 2 führt verschiedene, einigen PLEXIGLAS® GS Einfärbungen in etwa entsprechende Farbrezepturen auf. Die Angaben sind exemplarisch. Eine exakte Farbnachstellung des Klebstoffes entsprechend einer vorgegebenen Platteneinfärbung ist sehr schwierig und würde für die Klebstoffverarbeitung zu komplizierte Farbrezepturen erfordern.

Abb. 2: Richtrezepturen zum Einfärben von ACRIFIX® 2R 0190

PLEXIGLAS® GS Sorte	Zusatzmenge in % von FARBSTOFF in ACRIFIX® 2R 0190 (= Farbkonzentrat)					Mischungsverhältnis in % der Farbkonzentrate (Fk.) mit ACRIFIX® 2R 0190					
	FARBSTOFF					Fk. mit FARBSTOFF					Klebstoff
(Auswahl)	Schwarz 8073	Weiß 8074	Rot 8075	Blau 8076	Gelb 8077	Fk. mit Schwarz 8073	Fk. mit Weiß 8074	Fk. mit Rot 8075	Fk. mit Blau 8076	Fk. mit Gelb 8077	ACRIFIX® 2R 0190
Weiß 003	–	3	–	–	–	–	100	–	–	–	–
Weiß WH10	–	1	–	–	–	–	14,2	–	–	–	85,8
Weiß 072	–	1	–	–	–	–	100	–	–	–	–
Gelb 374	–	–	–	–	1	–	–	–	–	100	–
Rot 505	–	1	1	–	–	–	20	50	–	–	30
Rot 568	–	–	1	–	1	–	–	83,4	–	16,6	–
Rot 571	–	–	3	–	–	–	–	100	–	–	–
Blau 5H48	–	1	–	4	–	–	17,5	–	23,5	–	59,0
Grün 703	–	1	–	1	2	–	15,8	–	2,6	52,6	29,0
Schwarz 811	2	–	–	–	–	100	–	–	–	–	–

2.7 Klebetechnik

Beim Kleben von PLEXIGLAS® sind verschiedene Techniken üblich, die sowohl von der zu verklebenden Produkt-Variante, als auch von dem verwendeten Klebstoff bestimmt werden. Deshalb wird im folgenden die jeweilige Technik innerhalb der drei Klebstoff-Gruppen beschrieben.

a) Lösungsmittelklebstoffe (z. B. ACRIFIX® 1S 0107 und 1S 0117; siehe Kap. 2.3).

Lösungsmittelklebstoffe werden bevorzugt eingesetzt, wenn die **Klebflächen schmal, plan und kurz** sind. Das heißt, die besten

Ergebnisse werden bei kurzen Kanten erzielt, die riefenfrei gesägt oder gefräst sind. Ist der Klebstoff aufgebracht, ist nach kurzer Haltezeit die Verklebung fixiert. Bei ACRIFIX® 1S 0107 wird ein Druck von min. 100 g/cm² Klebefläche aufgebracht (kann bei ACRIFIX® 1S 0117 entfallen). Die Blasenbildung bei der Verklebung von Sägekanten lässt sich vermindern, wenn diese durch Abziehen mit der Ziehklinge oder Nass-Feinschleifen mit Körnung 400 bis 600 (möglichst rechtwinklig zur Plattenkante!), durch Fräsen oder Diamantpolierfräsen vor dem Klebvorgang geglättet werden. Leichter Druck auf die Klebfläche während des Trocknens kann Blasenbildung mindern.

Mit Lösungsmittelklebstoffen lassen sich keine Flächenverklebungen herstellen, da in Flächenmitte eingeschlossenes Lösungsmittel das Material übermäßig anlost und Blasen auftreten, die zu einem schlechten Klebergebnis führen.

Die für Lösungsmittelklebstoffe am weitesten verbreitete Technik ist die

Tauchmethode:

Eines der zu verklebenden Teile wird mit der Klebekante in den Klebstoff getaucht, bis eine klebrige Erweichung der Fügefläche eintritt. Abb. 3 gibt Auskunft über die erforderlichen Anlösezeiten in Abhängigkeit von Plattenmaterial und Klebstoff. Damit nicht umliegende Oberflächen des

2 Kleben

Fügeteils unbeabsichtigt angelöst werden, müssen sie gegebenenfalls mit einem geeigneten Klebeband (Polyester, Zellulose) abgeklebt werden. Das angelöste Teil wird dann mit dem anderen ohne Druck zusammengefügt. Nach ca. 30 Sekunden Haltezeit zum Anlösen des anderen Fügeteils wird die Verklebung mit ca. 100 g/cm² über die gesamte Klebfläche durch Gewichte, Klammern, Spannwerkzeuge o.ä. belastet (bei ACRIFIX® 1S 0107; kann bei ACRIFIX® 1S 0117 entfallen). Als Hilfsmittel bei der Tauchmethode eignet sich für einzelne, kleine Teile eine plane PE- oder Glasplatte, auf die eine geringe Menge Klebstoff aufgegossen und

Bei breiten Klebnähten, z.B. bei T-Stößen mit PLEXIGLAS® XT Platten, die bis 25 mm Dicke geliefert werden, wirkt hierbei besonders ACRIFIX® 1S 0117 vorteilhaft (besser als ACRIFIX® 1S 0107).

Eine Variante zeigt Abb. 5. Zwischen der Kante eines Fügeteils und einer Glasplatte werden dünne Edelstahldrähte (ca. 0,3 mm Durchmesser) gelegt. In den so entstandenen Spalt wird der Lösungsmittelklebstoff eingebracht, der wiederum durch die Kapillarkwirkung unter die Kante gesaugt wird. Nach der Anlösezeit (Abb. 3) wird das Fügeteil von der Glasplatte genommen und mit dem

Bei der Verwendung von Kleblacken sind etwas größere Unebenheiten der Fügeteile als bei den dünnflüssigen Lösungsmittelklebstoffen zulässig. Der Spalt sollte dabei jedoch nicht viel größer als beim Tauchverfahren sein. Der Kleblack wird mit einer Tube, Spritze oder Kanüle, eventuell auch durch Tauchen, aufgebracht. Die Kapillarmethode ist mit Kleblacken nicht möglich. Die aufgetragene Menge muss so bemessen sein, dass nach dem Zusammenfügen der Teile beiderseits der Klebnaht ein wenig überschüssiger Klebstoff austritt. Das anschließende Zusammenfügen und Belasten erfolgt wie bereits bei der Tauchmethode beschrieben. Vor dem Zusammenfügen ist darauf zu achten, dass die **aufgetragene Klebstoffraupe noch keine Haut gebildet hat**, um gutes Aussehen und hohe Stabilität der Klebnaht zu erreichen.

Für Flächenverklebungen sind Kleblacke weniger geeignet, wie dies auch schon für Lösungsmittelklebstoffe beschrieben wurde.

c) Polymerisationsklebstoffe (z. B. ACRIFIX® 2R 0190 und 1R 0192; siehe Kap. 2.3)

Die Klebtechnik mit Polymerisationsklebstoffen unterscheidet sich grundsätzlich von der Arbeit mit Lösungsmittelklebstoffen und Kleblacken. Die Klebnähte sind in der Regel so auszubilden, dass immer ein deutlicher, mit Klebstoff gefüllter Klebspalt vorhanden ist. In vielen Fällen dürfen die Verklebungen während der Aushärtung **nicht** mit z. B. Gewichten, Klammern o. ä. belastet werden.

Bei **Stumpfstoß-Verklebungen** werden die zu verklebenden Platten auf einer planen Unterlage fixiert. Zwischen den Platten sollte ein Spalt offenbleiben. Sein optimales Maß liegt bei 2 mm, er sollte aber nicht kleiner als 0,5 und – wegen der Gefahr der Blasenbildung – nicht größer als 3 mm sein. Auf der Unterseite und an den Stirnseiten wird der Klebspalt mit einem geeigneten Klebeband abgedichtet (siehe Abb. 6). In diese einseitig offene Fuge wird der Klebstoff mit einem geeigneten Dosiergerät blasenfrei eingetragen, bis sich ein wulstförmiger Klebstoffüberschuss bildet.

Abb. 3: Empfohlene Anlösezeiten (in Sekunden) bei Lösungsmittelklebstoffen

ACRIFIX®	1S 0106	1S 0107	1S 0109	1S 0116	1S 0117
PLEXIGLAS® XT	20 bis 25	20	20 bis 25	30 bis 40	50 bis 60
PLEXIGLAS® GS	60	(60)	60	90	(90)

12

verteilt wird. Bei Serienverklebungen ist eine flache Schale aus Glas oder Metall mit ebenem Boden zu verwenden. Der Klebstoffvorrat wird bis zu 1 mm Höhe eingegossen. Zwischen den Eintauchvorgängen sollte die Schale abgedeckt werden.

Eine weitere Technik, bei der weniger Lösungsmittel freigesetzt werden, ist die **Kapillarmethode**. Hier werden die Teile zunächst ohne Klebstoff zusammengefügt. Danach wird der Lösungsmittelklebstoff mit einem Fläschchen und feiner Kanüle an alle Kanten der Klebfläche aufgetragen (siehe Abb. 4).

Der Klebstoff wird dabei durch Kapillarkwirkung in die Klebnaht eingesaugt. Im Gegensatz zum Tauchverfahren eignet sich die Kapillarmethode auch zum Fügen größerer (längerer) Teile.

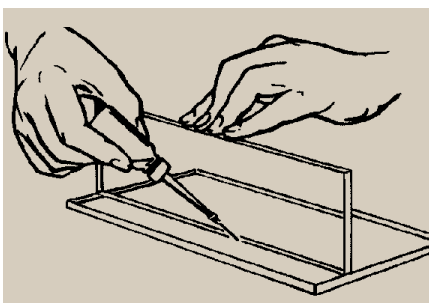


Abb. 4: Kapillarmethode: Klebstoffauftrag bei zusammengesetzten Fügeteilen

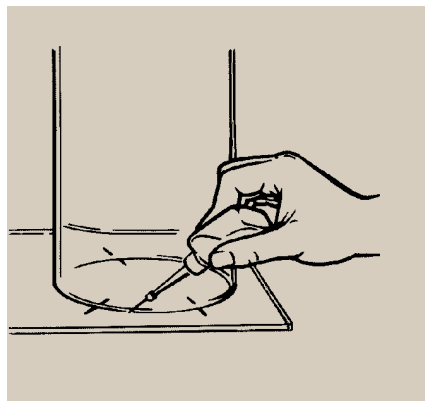


Abb. 5: Anlösen eines Fügeteils auf einer Glasplatte, auf Drahtstücke (ca. 0,3 mm Durchmesser) aufgesetzt

anderen Fügeteil verbunden. Bei einem ähnlichen Verfahren werden beide – meist großformatigen – Fügeteile wie bei Abb. 4 zusammengesetzt, jedoch durch ebenfalls dünne Drähte auf Distanz gehalten. In die offene Spalte wird nun wie bei Abb. 5 der Klebstoff eingebracht.

Nach der Anlösezeit werden die Drähte herausgezogen und danach die Verklebung bei ACRIFIX® 1S 0106 oder 1S 0107 (nicht bei ACRIFIX® 1S 0116 bzw. 1S 0117) – wie oben beschrieben – zur Blasenverminderung sofort belastet.

b) Kleblacke (z. B. ACRIFIX® 1S 0106, 1S 0109 und 1S 0116; siehe Kap. 2.3)

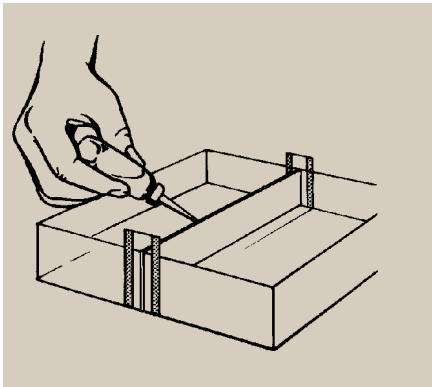


Abb. 6: Einfüllen des Polymerisationsklebstoffs bei einer Stumpfstoßverklebung

In der Praxis haben sich bei Stumpfstoß-Verklebungen in Abhängigkeit von der Plattendicke die in Abb. 7 gezeigten Nahtformen bewährt. Der Klebspalt sollte in allen Fällen so weit gefüllt bzw. überfüllt werden, dass der Klebstoff bei

Abb. 7: Klebspaltformen bei Stumpfstoß-Verklebungen

- a) Plattendicke = 5 mm
- b) Plattendicke 6 bis 20 mm
- c) Plattendicke 21 bis 25 mm
(Zusatz von ACRIFIX® MO 0070)
- d) Blockdicke > 30 mm
(Zusatz von ACRIFIX® MO 0070)
- e) Mit Klebstreifen aufgeklebter Trichter

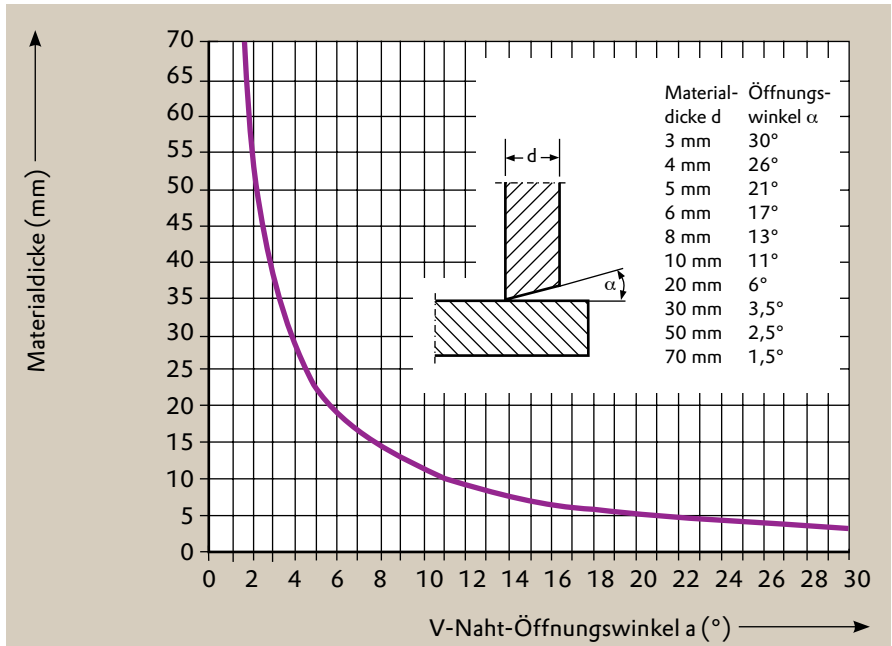
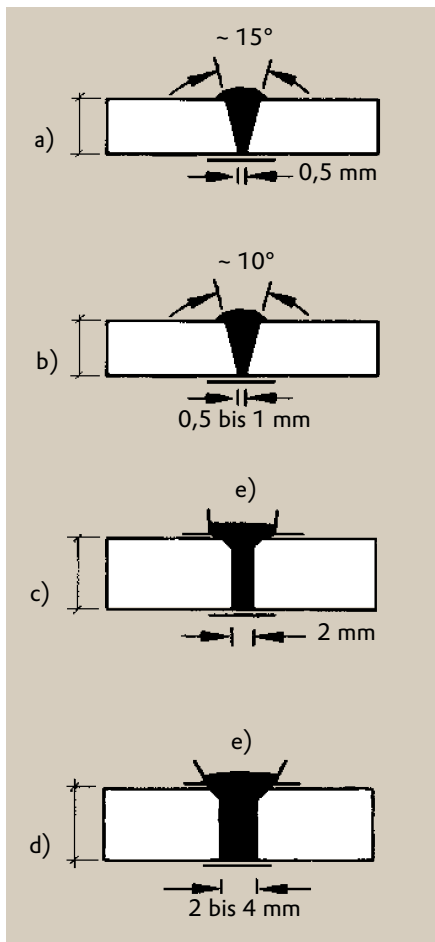


Abb. 8: Empfohlene V-Naht-Öffnungswinkel für verschiedene Plattendicken bei Winkelverklebungen

der Polymerisation und der anschließenden Temperung nicht in den Spalt hineinschrumpft. Der Schrumpf liegt erfahrungsgemäß bei 15 bis 20 Prozent des Klebstoffvolumens. Bei dicken und tiefen Klebnähten sollte dem Klebstoff ACRIFIX® 2R 0190 zur Dämpfung der Reaktion ACRIFIX® MO 0070 zugegeben werden, um Blasenbildung in der Klebnaht zu vermeiden. Das Optimum der REGLER- Dosierung liegt bei 0,1%, die maximale Menge bei 0,3%, das Minimum bei 0,05%. Empfehlenswert ist dann ein Tempern nach dem Verkleben.

Bei **Winkelverklebungen** hat sich – neben einfachen Stumpfnahten (Abb. 9a) – in der Praxis die Anwendung von Kehlnähten bzw. V-Nähten bewährt, da dabei die Fügeteile zunächst „trocken“ aufeinander-gesetzt werden können und dem geübten Profi eine praktisch blasenfreie Klebnaht möglich wird.

Die Abhängigkeit des Öffnungswinkels der Kehlnaht von der Plattendicke zeigt die Abbildung 8.

Damit die Ausbildung eines Klebstoffwulstes möglich ist, sollte die waagrecht liegende Platte etwas überstehen. Aufgrund des Aushärtungsschrumpfs des Klebstoffs entsteht dann die in Abb. 9a dargestellte Hohlkehle. Grundsätzlich sollte die Öffnung der Naht in keinem Fall 3 mm überschreiten. Bei dicken Klebschichten bzw. bei großvolumigen

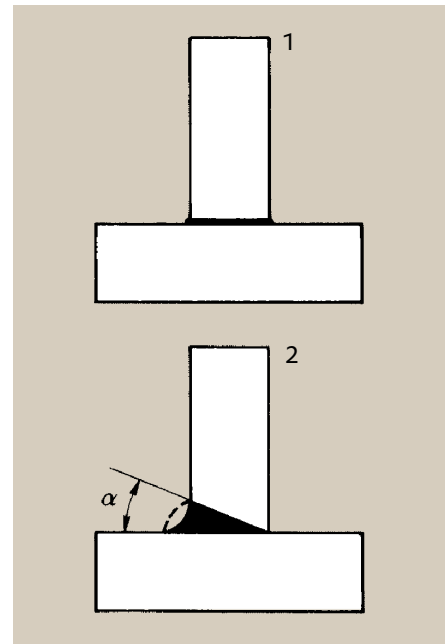


Abb. 9a: Nahtquerschnitte bei Winkelverklebungen: Stumpfnaht (1), V-Naht bzw. Kehlnaht mit Klebstoffüberschuss vor und nach dem Aushärten (2)

Abb. 9b: Haltevorrichtung mit Saugtellern für Winkelverklebungen



2 Kleben

Klebnähten sollte der Klebstoffmischung ACRIFIX® MO 0070, wie bereits bei der Stumpfstoßverklebung beschrieben, hinzugefügt werden. Damit wird Blasenbildung vermieden. Das empfohlene Nachtempern wird unter Kap. 2.5 beschrieben.

Winkelverklebungen müssen mit entsprechenden Haltevorrichtungen durchgeführt werden um die Fixierung der Fügeteile während des Klebe- und Aushärtungsvorganges zu gewährleisten (siehe Abb. 9b). Die Halterung des aufrecht stehenden Fügeteils sollte dabei möglichst fest sein, da schon geringe Winkelveränderungen beispielsweise Blasen in der Klebnaht durch eingezogene Luft hervorrufen können.

Beim **Kleben von Rohrböden und offenen Behältern** sollte die Klebnaht so nach innen **oder** außen gelegt werden, dass der ausgehärtete Klebstoff Einflüssen chemischer Medien, Flüssigkeiten (auch

Wasser!), besonders Substanzen korrosiver Art möglichst mit nur seiner kleinsten Oberfläche ausgesetzt ist. Die Abb. 10 zeigt die für Rohre mögliche Ausführungsform der Klebnaht.

Um die schädliche Einwirkung von Lösungsmitteldämpfen (Monomere) in das Innere eines Behälters (Rohres) zu verhindern, ist das Spülen mit Luft die einfachste Gegenmaßnahme.

Rohre die herstellungsbedingte Eigenspannung haben – gegossene Rohre weniger, extrudierte Rohre mehr –, **müssen** vor der Verklebung getempert werden.

Stumpfverklebungen von PLEXIGLAS®

Vierkant- und Rundstäben können auch **unter Belastung** mit Polymerisationsklebstoff auf PLEXIGLAS® Platten so aufgeklebt werden, dass absichtlich keine wesentlich „füllende“ Klebnaht entsteht. Bei diesem stumpfen Verkleben bildet sich zwischen den Fügeteilen nur ein extrem dünner Klebfilm. Ein nachträgliches Abarbeiten der Klebnaht ist nicht mehr erforderlich, wenn vorher sorgfältig Schutzklebungen angebracht wurden. Diese Technik erfordert allerdings gewisse Erfahrungen im Umgang mit Polymerisationsklebstoffen.

Die zu verklebende Oberfläche, beispielsweise einer PLEXIGLAS® Tischplatten-Unterseite, wird zum Oberflächenschutz zuerst mit einem Polyester-Klebeband lufttaschenfrei abgeklebt. Auf dieses Band kommt ein selbstklebendes Aluminium-Klebeband als zusätzliche Sicherung. Der zu verklebende Stab wird nun auf der abgeklebten Fläche positioniert und seine Konturen mit einem Skalpell vorsichtig nachgefahren. Danach werden die ausgeschnittenen Klebebandteile abgelöst und die verbliebenen Ränder nochmals gut angedrückt. Anschließend wird der Stab seitlich seiner aufzuklebenden Stirnfläche umlaufend mit Polyester-Klebeband abgeklebt und überstehendes Band mit dem Skalpell plan zur Klebefläche abgeschnitten.

Vor dem Verkleben sind die Klebeflächen eventuell aufzurauen und mit ACRIFIX® TC 0030 zu reinigen. Der Polymerisationsklebstoff wird auf die Klebefläche aufgetragen und der Stab in das Klebstoffbett gesetzt. Der

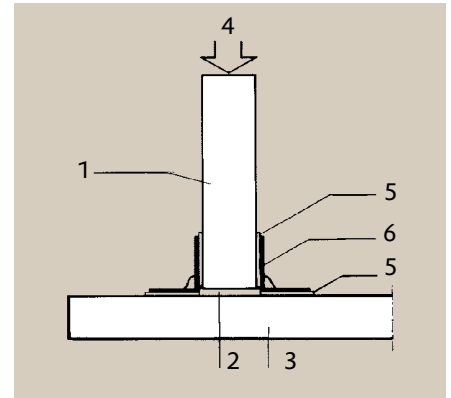


Abb. 11: Stumpfes Verkleben eines Stabes (z.B. Tischbein) an eine Platte (z.B. Tischplatte): PLEXIGLAS® Stab (1), z.B. ACRIFIX® 2R 0190 (2), PLEXIGLAS® Platte (3), Belastung min. 100 g/cm² (4), Polyester-Klebeband (5), Alu-Klebeband (6)

Stab muss so lange festgehalten werden, bis er durch die Kante des Aluminium-Klebebandes fixiert ist (siehe Abb. 11). Danach wird der Stab mit mind. 100 g/cm² Klebefläche belastet. Bei größeren Stäben reicht meist das Eigengewicht aus.

Nach dem Aushärten können der überschüssige Klebstoff mit einem Stemmeisen vom Alu-Klebeband abgelöst und die Klebebänder entfernt werden. Eventuell zurückbleibende Klebstoffreste des Klebebandes werden mit Petrolether abgewaschen. Gleich anschließendes Tempern erhöht die Klebefestigkeit.

Auch für **Winkel- und Gehrungsverklebungen** ist diese Technik geeignet. Bei der Herstellung beispielsweise eines U-Tisches werden die Blöcke an den zu verklebenden Kanten auf 45° Gehrung gesägt. Alle anderen (insbesondere angeschrägte) Kanten, die nicht verklebt werden, sind schon vor der Verklebung zu polieren. Danach werden alle Flächen – jeder Block-Zuschnitt einzeln – im umliegenden Bereich der Klebnaht sauber mit Polyester-Klebeband abgeklebt. Die Seite, an der der Klebstoff eingefüllt wird, erhält zusätzlich, wie bereits beschrieben, ein selbstklebendes Aluminiumband. Nach dem Abkleben sind die zu verklebenden Stirnseiten mit ACRIFIX® TC 0030 zu reinigen. Die Blöcke sind einzeln in eine Vorrichtung mit einem auf der Seite verstellbaren Anschlag so zusammensetzen, dass die Klebeflächen plan aneinanderliegen (siehe Abb. 12).

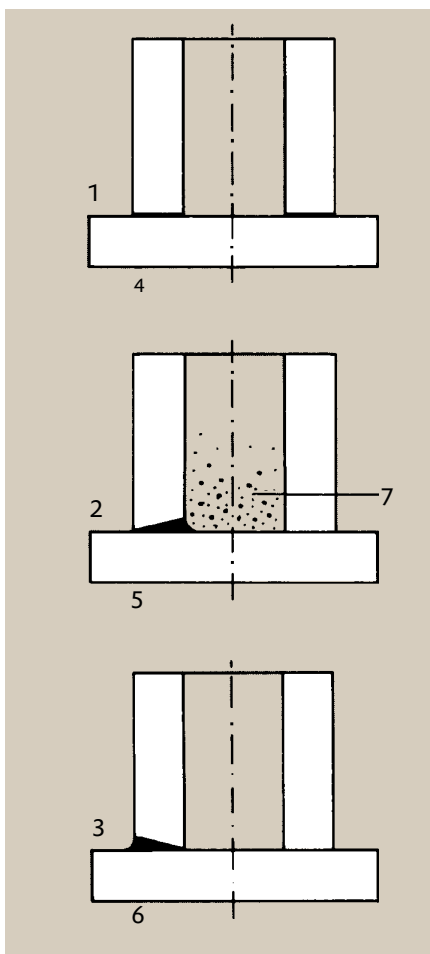


Abb. 10: Verkleben von Behältern: Stumpfnaht (1), Kehlnaht innen (2), Kehlnaht außen (3), bedingt richtig (4), falsch (5), richtig (6), Monomerdämpfe (7)

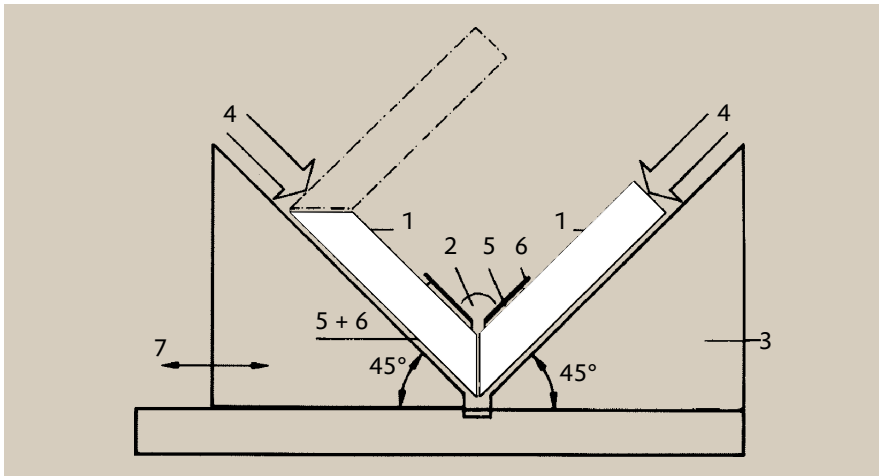


Abb. 12: Gehrungsverklebung von PLEXIGLAS® GS Blockmaterial zu einem U-Tisch: PLEXIGLAS® GS Block (1), z. B. ACRIFIX® 2R 0190 (2), Haltevorrichtung (3), Belastung min. 100 g/cm² (4), Polyester-Klebeband (5), Alu-Klebeband (6), bewegliche Führung (7)

Zum Verkleben wird der Klebespalt ca. 1 bis 2 mm geöffnet und der Klebstoff (z. B. ACRIFIX® 2R 0190, mit normalerweise 3%, unter Bedingungen bis 6% ACRIFIX® CA 0020 vermischt) möglichst blasenfrei eingefüllt. Die beiden Teile werden wieder zusammengefügt und die oberliegenden Kanten mit mindestens 100 g/cm² Klebfläche belastet. Nach dem Aushärten wird das Klebeband mit dem Klebstoffwulst entfernt und der verklebte Block bei 80 °C getempert (siehe Kap. 2.5).

Bei **Flächenverklebungen** besteht die Schwierigkeit hauptsächlich darin, blasenfreie Verklebungen zu erhalten. Bei der Verklebung in **waagerechter** Lage, die sich bei dünnen, d. h. leichten Deckplatten anbietet, empfiehlt sich folgendes Vorgehen:

Auf die erhöht über der Arbeitsfläche liegende gereinigte Grundplatte wird die blasenfreie Klebstoffmischung etwa in Form der Flächendiagonalen aufgegossen (siehe Abb. 13). Da der Klebstoff abtropft, muss die Unterstüztungsfläche kleiner sein als die zu verklebende Grundplatte.

Die aufzuklebende Platte wird dann von einer Längskante aus **kippend** in das Klebstoffbett aufgelegt: vorsichtig, aber zügig, eventuell eingeschlossene Luft bzw. entstehende Blasen weichen dann zu den Rändern hin aus.

Bei dünnen Platten ist die übliche Viskosität des Klebstoffs ausreichend, um ein zu starkes Herauspressen aus der Klebfläche durch das Eigengewicht der Deckplatte zu verhindern. In bestimmten Fällen – z. B. bei größeren Flächen – kann es sinnvoll

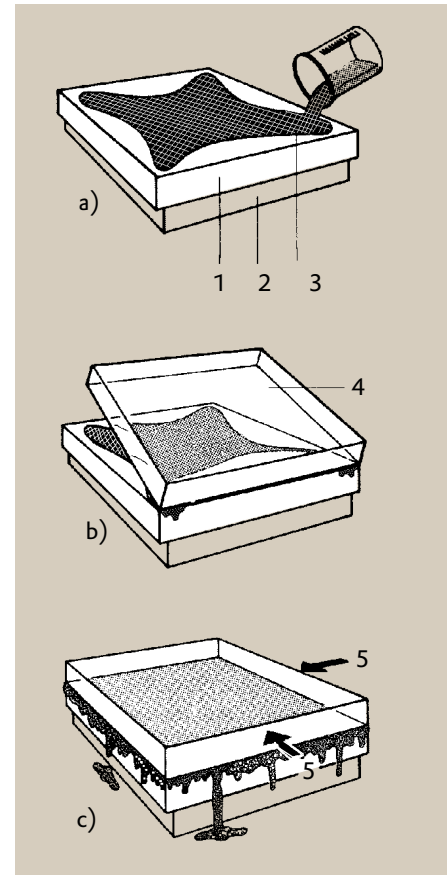
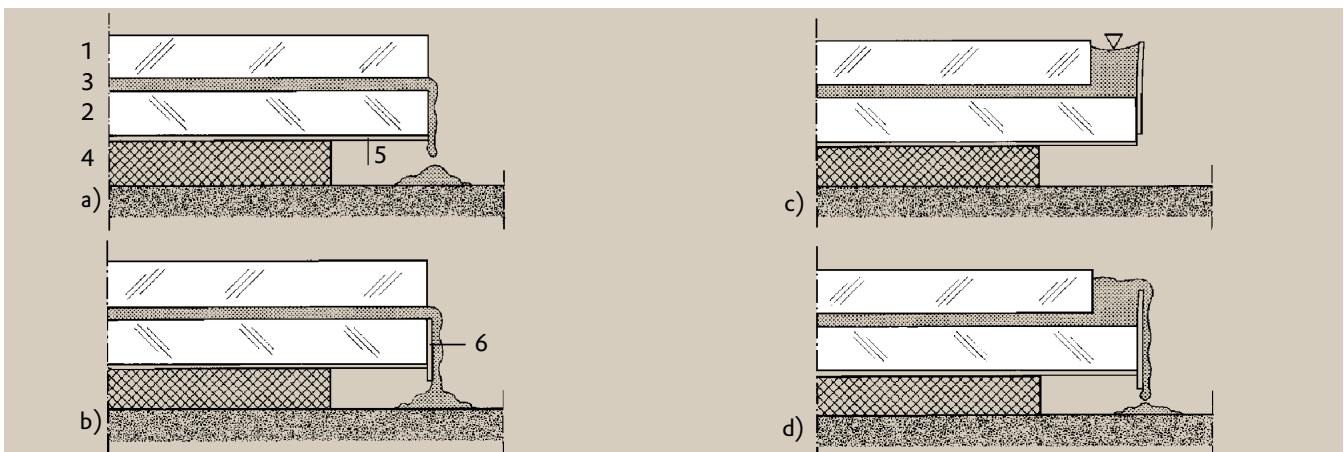


Abb. 13: Vorgehen bei einer waagerechten Flächenverklebung: Grundplatte (1), Unterstüztung (2), Klebstoffmischung (3), Deckplatte (4), Arretierung gegen Wegschwimmen der Deckplatte (5)

sein, den Klebstoffansatz zu verdünnen, beispielsweise bei ACRIFIX® 2R 0190 unter Beimischung von 5 bis 10% ACRIFIX® TH 0032, um eine ganzflächige Verteilung des Klebstoffs sicherzustellen.

Um zu schnelles Abfließen des Klebstoffes zu verhindern, ist es in bestimmten Fällen empfehlenswert, vorher um die

Abb. 14: Kantenschutz bei waagerechten Flächenverklebungen: Deckplatte (1), Grundplatte (2), Klebstoffschicht (3), Unterstüztung (4), Oberflächenschutzfolie der Grundplatte (5), Klebeband (6).



2 Kleben

Grundplatte einen Kragen aus selbstklebendem Polyester- oder Zellulose-Band zu kleben. Unterbleibt dies, tropft der Klebstoffüberschuss an der Kante ab. Daher ist es wichtig, dass die unterseitige Schutzfolie der Grundplatte bis zur Plattenschnittkante blasenfrei, flächig und faltenfrei anliegt, um ein Verschmutzen zu vermeiden, wie Bsp. a) der Abb. 14 zeigt. Dort sind auch andere mögliche Schutzmaßnahmen an den Kanten der Grundplatten mit den erwähnten Klebebändern zu sehen.

Dicke, also schwere Deckplatten und Blöcke aus PLEXIGLAS® sollten von der Grundplatte durch entsprechende elastische Distanzstücke, z. B. Polyethylen-Schnur auf einen Abstand von 0,5 bis 1,5 mm gebracht werden (siehe Abb. 15), um ein zu starkes Herauspressen des Klebstoffes durch das höhere Eigengewicht des obenliegenden Fügeteils zu vermeiden.

Falls beim Zusammensetzen der Fügeteile in der flüssigen Klebstoffschicht Blasen eingeschlossen werden, kann mit einem in die Klebstoffschicht von der Kante her eingeführten dünnen Edelstahldraht die Blase angestochen und durch **ruckartiges, evtl. wiederholtes** Zurückziehen des Drahtes entfernt werden.

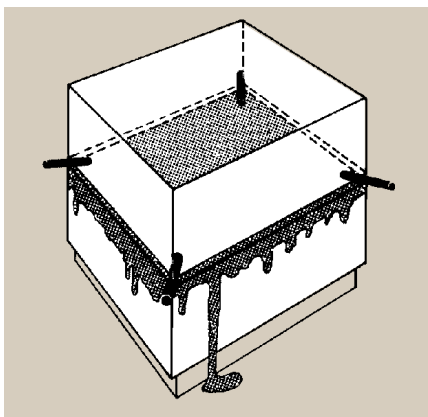


Abb. 15: Distanzierung dicker Platten bzw. Blöcke bei waagerechter Flächenverklebung

Um die Entstehung von Blasen während der Aushärtung zu verhindern, ist es wichtig, dass die Polymerisation gleichmäßig in der gesamten Klebefläche verläuft. Voraussetzung dafür ist, dass der ACRIFIX® CA 0020 homogen verteilt war, die Mischung schlierenfrei ist und die Klebschichtdicke sowie die Wärmeabfuhr

konstant über die ganze Fläche sind. In als schwierig abzusehenden Fällen lässt sich Blasenbildung – wie bereits beschrieben – auch durch Zusatz einer geringen Menge ACRIFIX® MO 0070 in den Klebstoff-Ansatz vermeiden. Sorgfältiges Nachtempem (siehe. Kap. 2.5) sollte sich dann anschließen.

Bei Verklebungen in **senkrechter Lage** werden die zu verklebenden Platten oder Blöcke ebenfalls mit einer elastischen (PE-) Schnur so auf Distanz gehalten, dass

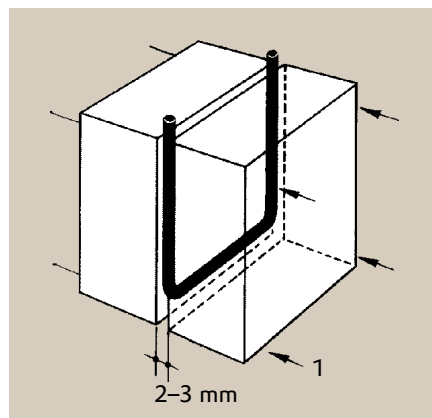


Abb. 16: Distanzierung bei senkrechten Flächenverklebungen; Druck: z. B. durch Schraubzwingen (1)

eine nach oben offene Kammer entsteht (siehe Abb. 16). In diese Kammer wird dann der vorbereitete Klebstoff gefüllt.

Damit der Klebstoff gut einzufüllen ist, muss die Mindestdicke der Klebeschicht bzw. der Distanzsnur etwa 2 mm betragen. Dieses Verfahren hat gegenüber der waagerechten Lage folgende Vorteile:

- Der Klebstoff sollte blasenfrei eingefüllt werden; falls dennoch Blasen entstehen, steigen sie nach oben und entweichen.
- Durch die größere Klebstoffschichtstärke können auch Blöcke mit Dickenschwankungen unproblematisch verklebt werden.
- Das Übung erfordernde Auflegen der Deckplatte entfällt.

Nachteilig ist, dass durch den notwendigen Rand ein größerer Verschnitt auftritt.

Bei **Bildverklebungen bzw. Einbettungen** von Fotos oder anderen lösungsmittelbeständigen Materialien wie Papieren, Kartons, Folien, Vliesen, Geweben usw. zwischen PLEXIGLAS® Platten bzw. Blöcken mit ACRIFIX® 2R 0190 werden die Grundplatte (Bildrückseite) und die

transparente Deckplatte (Bildvorderseite) allseitig etwa 10 mm größer zugeschnitten als die äußeren Abmessungen der einzubettenden Vorlage. Die Plattenoberflächen werden von der Schutzfolie befreit – außer der unteren der Grundplatte – und mit geeigneten Reinigungsmitteln (siehe Kap. 2.9) gesäubert. Die einzubettende Vorlage wird mindestens eine Stunde – besser mehrere Stunden – vor dem Verkleben in ACRIFIX® TH 0032 oder ACRIFIX® TC 0030 plan in eine Wanne eingelegt, damit sich alle Materialfasern vollsaugen und Luft einschließen frei werden. Die Wanne ist während der Tränkung abzudecken.

Die weiteren Arbeiten werden in folgenden Schritten vorgenommen:

- Auflegen der Bildträger-Grundplatte waagrecht auf eine ebene Unterstützung, die 15 bis 20 mm schmäler und kürzer ist als die Grundplatte.
- Ansetzen der Klebstoffmischung (bei möglichst wirksamer Luftabsaugung) in einem Gefäß mit Milliliter-Markierung aus PE, PP oder Glas (**nicht PVC**). Die erforderliche Klebstoffmenge in ml wird nach der Formel Länge [cm] x Breite [cm] x (0,3 bis 0,35) berechnet.
- Diese Menge ACRIFIX® 2R 0190 – zum besseren Fließen kann vorher bis zu 5% ACRIFIX® TH 0032 hinzugefügt werden – wird in das Mischgefäß eingefüllt und an der Markierung kontrolliert. Danach wird mit einer PP-Spritze oder aus dem Tropfflaschengebilde 0,05 bis 0,3% ACRIFIX® MO 0070 eingemischt. Mit einer zweiten PP-Spritze wird ACRIFIX® CA 0020 zugegeben, 4% bei Umgebungstemperaturen von 18 bis 22 °C, 3% bei 22 bis 25 °C. Anschließend muss der Ansatz mit einem Glasstab oder einem Streifen PLEXIGLAS® intensiv gerührt werden, bis eine vollkommen homogene Mischung erreicht wird.

- Das Gefäß mit dem Klebstoffansatz wird abgedeckt und die Mischung ca. 10 Minuten ruhen lassen, bis die durch das Einrühren entstandenen Luftblasen verschwunden sind. Dies kann auch durch

die Verwendung eines Exsikkators geschehen (siehe Abb. 21).

- Nun wird die erste Hälfte des Klebstoffansatzes etwa in Form der Flächendiagonalen auf die Grundplatte aufgegossen (siehe Abb. 13); unmittelbar danach wird das Foto aus der Wanne mit ACRIFIX® TH 0032 oder ACRIFIX® TC 0030 genommen und nach kurzem Abtropfen mit einer Längskante beginnend langsam auf die Klebstoffschicht blasenfrei aufgelegt, bis es vollkommen umschlossen ist.
- Nach Aufgießen der zweiten Klebstoffansatz-Hälfte wird die Deckplatte, wie bei der Flächenverklebung beschrieben, kippend aufgelegt und durch vorsichtiges manuelles Andrücken die Klebstoffmasse gleichmäßig verteilt. Mit einem in die Klebnaht eingeschobenen Edelstahlraht wird nun die Position des eingebetteten Objekts bestimmt oder korrigiert. Die Deckplatte muss „schwimmen“ können, es dürfen also keine Belastungsgewichte verwendet werden, die unter Umständen Spannungsrisse verursachen könnten. Ein „Wegdriften“ wird durch das Anstellen von Gewichten an der äußeren Plattenkante oder Anbringen von Klebebandstücken vermieden.
- Vor der anschließenden Aushärtung (zwischen eineinhalb und zweieinhalb Stunden) tropft der überschüssige Klebstoff an den Außenkanten ab, je nachdem wie die Plattenränder gemäß den Abb. 13 und 14 gestaltet werden.
- Nach dem Aushärten wird die Bildplatte grob von den Tropfnasen gesäubert und auf einer Kreissäge unter Belassen eines Randes um die Vorlage zugeschnitten. Schleifen bzw. Polieren der Einbettungskanten sollte erst nach weiteren 24 Stunden vorgenommen werden, kann jedoch unmittelbar nach einem Nachtempern erfolgen, falls dies sinnvollerweise gleich nach dem Aushärten durchgeführt wird (siehe Kap. 2.5).

Hohlraumverklebungen sind in unterschiedlichen Anordnungen möglich. Häufig handelt es sich dabei um das Zusammenfügen eines Formteils mit einem planen Zuschnitt, wie es beispielsweise bei der Herstellung von Wohnwagenfenstern

der Fall ist (siehe Abb. 17).

Bei dieser Verklebungsart werden zwangsweise Lösungsmitteldämpfe (Monomere) eingeschlossen und damit auch die Polymerisation behindert. Die Lösungsmitteldämpfe können außerdem Rissbildungen in der Klebnaht und in den Fügeanteilen verursachen. Deshalb müssen vor der Verklebung in die Hohlräume gehende Belüftungsbohrungen angebracht werden, durch die während und nach dem Aushärten vorsichtig Spülluft gesaugt oder geblasen wird, um die Lösungsmitteldämpfe zu entfernen.

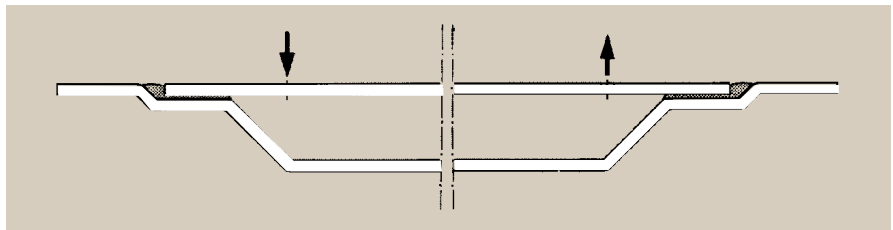


Abb. 17: Spülluft bei der Hohlraumverklebung eines Wohnwagenfensters

Anmerkung: Grundsätzlich gilt für Polymerisationsklebstoffe, wie ACRIFIX® 2R 0190 und ACRIFIX® 1R 0192, dass eine Weiterverarbeitung nach dem Kleben frühestens nach 3 bis 6 Stunden erfolgen sollte. Die Endfestigkeit dieser Klebstoffe wird nach 24 Stunden erreicht. Sie lässt sich gemäß Kap. 2.5 noch verbessern durch eine Temperung unmittelbar nach, d. h. innerhalb von 24 Stunden nach der Aushärtung des Klebstoffs.

2.8 Arbeitsplatz, Geräte, Hilfsmittel

Dieses Kapitel gibt Hilfestellung bei der Gestaltung des Arbeitsplatzes und der Auswahl von Geräten und Materialien die zur Verarbeitung der Klebstoffe benötigt werden.

Klebetisch:

Geeignet sind nicht lösliche oder nicht quellende Materialien, z. B. melaminharzbeschichtete Oberflächen wie RESOPAL, oder Silikatglas, Polyester-Folie und andere. Auch PP- und PE-Platten sind hierfür geeignet. Häufig ist es sinnvoll, die wie auch immer geartete Arbeitsfläche gegen grobe Verschmutzung, Klebstoffspuren usw., einfach mit geeigneten Folien, z. B. HOSTAPHAN oder aus PE, zu schützen.

Zur **Absaugung** der Lösungsmitteldämpfe am Klebe-Arbeitsplatz zeigt Abb. 18 schematische Möglichkeiten. Problemlösungen bieten auch handelsübliche Absauganlagen. Zur Ableitung der Dämpfe kann die Arbeitsfläche des Klebetisches perforiert,

Optimale Klebfestigkeit lässt sich hierbei nur erzielen, wenn kein ACRIFIX® MO 0070 zugesetzt wurde und möglichst kurz nach der Aushärtung zwei Stunden bei 80°C getempert wird (siehe Kap. 2.5).

mit Schlitzen versehen, mit einer ringsum laufenden Seitenabsaugung oder einem wie bei Schweißarbeiten üblichen beweglichen Absaugrüssel von oben ausgestattet sein.

Da Lösungsmitteldämpfe schwerer als Luft sind, also zu Boden sinken, ist die Absaugung in Bodennähe besonders wichtig. Die Ventilationsanlagen aller Geräte müssen explosionsgeschützt sein, die Vorschriften der Berufsgenossenschaft zum Explosionsschutz sind zu beachten. Je nach Menge der anfallenden Lösungsmittel, die an die Außenluft abgegeben werden, sind die TA Luft u. ä. Vorschriften einzuhalten.

Temperstränk:

Es werden Wärmestränke mit Umluft verwendet, die für Temperaturen von 20 bis mindestens 120°C zu regeln sind. Üblicherweise verwendet der Verarbeiter jene Wärmestränke, die er sonst zum Warmformen einsetzt.

2 Kleben

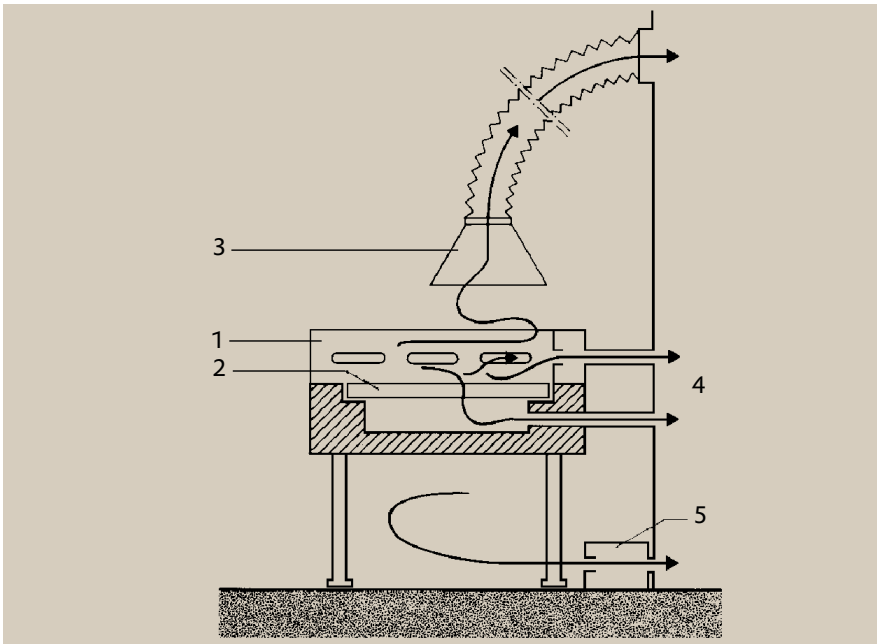


Abb. 18: Empfehlung sinnvoller Absaugmaßnahmen am Klebetisch: Rundum-Absaugung (1), Klebarbeitsfläche (2), Saugrüssel (3), Absaugfilteranlage (4), Bodenabsaugung (5)

Waage:

Neben den herkömmlichen mechanischen Feinwaagen werden elektronische Waagen mit einer Genauigkeit von 0,1 Gramm verwendet, die für die Zusatzstoff- und Klebstoff-Dosierung – besonders in der Serienfertigung – nützlich sind.

Mischgefäße:

Zum Mischen von Klebstoffansätzen sind ausschließlich **runde** Becher aus

- Polyethylen oder Polypropylen,
- Glas,
- Edelstahl (kupferfrei),
- Pappe mit PE-Beschichtung (keine Wachs- bzw. Paraffin-Beschichtung)

zu verwenden.

Auf keinen Fall dürfen Gefäße aus Polystyrol, PVC oder anderen anlösbaren oder quellbaren Materialien benutzt werden. Ebenso zu vermeiden sind alle kupferhaltigen Metalle und Geräte.

Rührvorrichtungen:

Kleine Klebstoff-Mengen werden von Hand mit Rührstäben aus

- Glas,
 - PLEXIGLAS® Streifen oder
 - Edelstahl (kupferfrei)
- gemischt.

Bei großen Klebstoff-Mengen – über 200 Gramm bzw. Milliliter – sollte ein elektrischer oder druckluftbetriebener Rührmotor (max. 2000 U/min) eingesetzt werden, bestückt mit einem

Propellerrührer oder besser Rührhaken jeweils aus kupferfreiem Edelstahl. Da dieser Haken im Handel nicht erhältlich ist, muss er aus 5 mm dickem Edelstahl gemäß Abb. 19 selbst hergestellt werden.

Dosiergerät für Klebstoffzusätze:

In vielen Fällen ist es einfacher – und dennoch genügend genau – die Dosierung der Klebstoffzusätze nicht durch Wägen, sondern mit Dosiergeräten (siehe Abb. 20) vorzunehmen, die sich auf das Volumen beziehen:

- Kunststoffspritzen („Einwegspritzen“) aus PE, PP oder PA,
- Meß- oder Kolbenpipetten aus Glas oder PP,
- Pumpdosierer (Dispenser), besonders bei Serienverklebungen.

Entgasung:

Entweichen die Blasen in der Klebstoff-Mischung nicht von selbst, ist ein handelsüblicher implosionsgeschützter Exsikkator (Abb. 21) einzusetzen der von einer Wasserstrahlpumpe aus Kunststoff oder Metall mit Rückschlagsicherung oder einer kleinen Vakuumpumpe evakuiert wird. Gemäß der unter Kap. 2.5, Absatz „Vorbereitung des Klebstoffes“ bereits beschriebenen Regelung des Unterdrucks sollte auch ein Vakuumregler zwischen Pumpe und Exsikkator eingebaut werden.

Halterung:

Für die Serienfertigung ist es empfehlenswert, mit sog. Klebschablonen zu arbeiten. Sie erlauben die reproduzierbare Anordnung der Füge-teile. Als Werkstoffe für diese Schablonen eignen sich Holz, Metall, PP, PE oder andere, nicht anlösbare Kunststoffe. Zur Halterung können Klammern, Schraubzwingen, Metallgewichte oder auch Saugteller (Vakuum) verwendet werden, wie in Abb. 9b gezeigt.

Jede Deformation der Füge-teile ist zu vermeiden, da sie in Verbindung mit Klebstoff (-Lösungsmittel) zu Spannungsrisen führen kann.

Abdichten und Distanzieren:

Bei Flächenverklebungen wird – wie zuvor beschrieben – als Distanzierung PE-Schnur verwendet. Für die Abdichtung von Klebnähten und zum Oberflächenschutz rund um die Klebnähte sind Klebebänder mit klebstofffreiem Mittelstreifen sinnvoll, beispielsweise sog. Niethalbebänder oder Klebebänder aus Polyester oder Zellulose, deren Klebstoffbeschichtung die Aushärtung der ACRIFIX® Klebstoffe nicht beeinträchtigt. Beliebige andersartige Klebebänder können bei der Einwirkung von Lösungsmitteln kräuseln oder sich ablösen und so ihre Wirkung verlieren sowie den Klebstoff und seine Aushärtung benachteiligen.

Abb. 19: Propellerrührer und Rührhaken

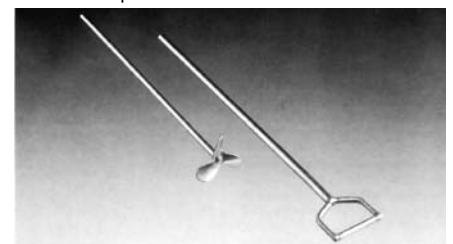


Abb. 20: Einwegspritze, Mess- und Kolbenpipetten, Dispenser



Klebstoffauftrag:

Bei Flächenverklebungen wird der Klebstoff direkt aus dem Mischgefäß aufgegossen, bei Klebnähten am besten aufgetragen mit

- PE-Fläschchen mit spitzer Tülle,
- Einwegspritzen aus PE, PP oder PA,
- druckluftbetriebenen Klebepistolen

Die in der Praxis häufig anzutreffende Veterinärspritze mit Glashülse und Metallkolben hat den Nachteil, dass sie nach jedem Klebvorgang mit einem Lösungsmittel ausgewaschen werden muss. Außerdem neigt sie zum Blockieren, wenn sie zu lange mit Klebstoff gefüllt ist. Hat sie einen kupferhaltigen Metallkolben, ist sie völlig ungeeignet.

Bei niedrigviskosen Klebstoffen, z. B. ACRIFIX® 1S 0107 und 1S 0117, sollte zum genauen Dosieren beispielsweise auf die Tülle des PE Fläschchens zusätzlich eine Injektionsnadel aufgesetzt werden, die der Sanitätsfachhandel mit verschiedenen Kanülen-Durchmessern anbietet (Abb. 22).

Reinigungsmittel:

Geeignete Reinigungsverfahren für die Fügebauteile und ihre Klebeflächen sind

- Abblasen mit ionisierter Luft,
- besser: Abwischen mit warmem Wasser und Spülmittel.

Zum Abwischen bzw. Trocknen eignet sich ein saugstarkes, fusselfreies Tuch, z. B. Handschuhstoff. Bei der Verwendung von Polymerisationsklebstoffen können die Klebeflächen von PLEXIGLAS® mit ACRIFIX® TC 0030 gesäubert/entfettet werden (siehe auch Tabelle „Vorbehandlungsmethode für die Verklebung von PLEXIGLAS®“). Verschmutzte Arbeitsgeräte werden mit ACRIFIX® TC 0030 oder Ethylacetat (Essigester) gereinigt. Von der Anwendung chlorierter oder aromatischer Kohlenwasserstoffe, z. B. Methylchlorid, Chloroform oder Toluol, ist aus Gesundheitsgründen und Umweltgründen abzuraten.

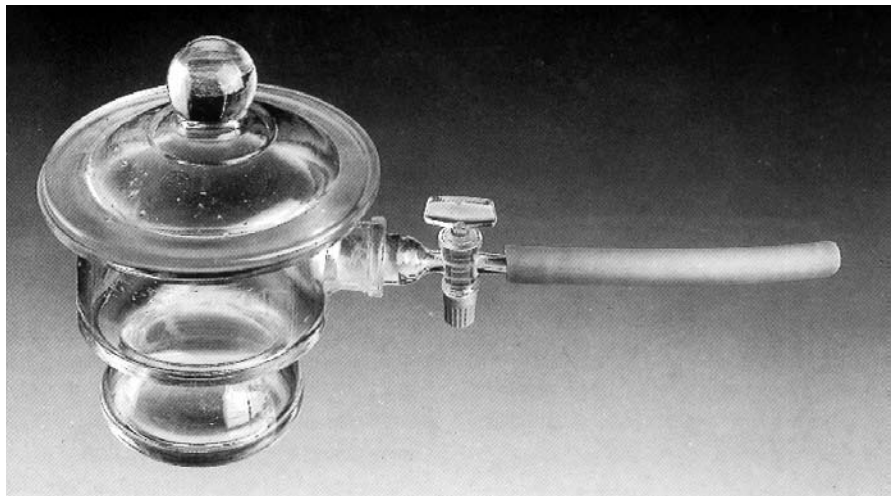


Abb. 21: Vaku-Exsikkator

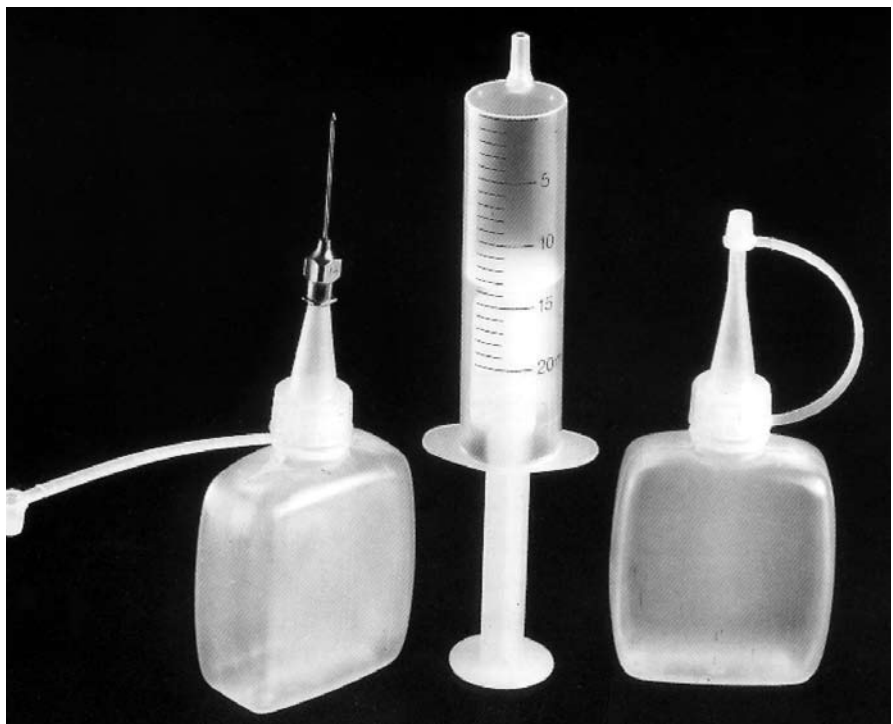


Abb. 22: PE-Fläschchen und Einwegspritze

2 Kleben

2.9 Fehler beim Verkleben

Um Fehler auch bei schwierigen Verklebungen zu vermeiden bzw. ihre Folgen zu beheben, hier einige Tipps:

Fehler (Befund)	Ursache	Gegenmaßnahme
Polymerisationsklebstoffe		
Rissbildung in der unbearbeiteten Oberfläche	Örtlich zu großer Anpressdruck	Anpressdruck gleichmäßig verteilen
	Abkühlspannungen durch falsches Tempern	Genügend lange abkühlen lassen
	Zu lange Einwirkung von Lösungsmitteln bzw. Monomeren	Härterdosierung überprüfen; Umgebungstemperatur, Klebstofftemperatur, Werkstofftemperatur erhöhen
	Material hat herstellungsbedingte Eigenspannungen (Spritzguss- und extrudierte Teile)	Tempern, Ablüftung von Lösungsmitteln bzw. Monomeren begünstigen; rissvermindernde Klebstoffsorten verwenden (ACRIFIX® 1S 0106, 1S 0107)
Rissbildung in der bearbeiteten Fläche	Fügeteile haben zu hohen Feuchtegehalt	Trocknung/Tempern
	Wie oben	Wie oben
Rissbildung in der Umgebung der Klebnaht (Innenseite/Hohlraum verklebter Teile)	Spannungen im Material, die durch die Bearbeitung entstanden sind	Bearbeitungsverfahren optimieren; tempern
	Spannungen im Material, Korrosionsmittel (Monomeres/Lösungsmittel) konnte nicht ablüften	Mit Luft spülen; Ablüftung durch Lageänderung begünstigen; tempern
Rissbildung im ausgehärteten Klebstoff	Falsch angelegte Klebnaht	Klebnaht so legen, dass Ablüftung möglich und Korrosionseinfluss geringer ist
	Bei Rissbildung an der Oberfläche: Hautspannungen durch Klebstoffschrumpfung und Einfluss korrosiver Medien	Nach Aushärten tempern
	Bei Rissbildung im Klebstoff: Nachkleben ohne Zwischentempern bei dicken Klebnahten	Tempern vor jedem Nachkleben; „Nass in Nass“ kleben, d. h. erste Klebstoffraupe anziehen lassen, dann zweite Klebstoffraupe auflegen
Blasen und Ablösungen	Eingerührte Luft	Klebstoffansatz entgasen
	Beim Verkleben eingeschlossene Blasen	Klebstoff blasenfrei auftragen; evtl. Benetzung durch Vorbehandlung der Oberfläche mit ACRIFIX® TC 0030 verbessern; Schnittfläche mit Ziehklinge abziehen; Klebefläche besser reinigen; bei Flächenverklebung Blasen gemäß dortiger Beschreibung entfernen
	Zu starke Temperaturentwicklung bei der Polymerisation (verdampfendes Monomer)	Schichtdicke verringern; Härtermengen etwas reduzieren; Zugabe von ACRIFIX® MO 0070; Klebstoff in mehreren Arbeitsgängen auftragen

Fehler (Befund)	Ursache	Gegenmaßnahme
Polymerisationsklebstoffe		
	Ungleichmäßige Klebnaht	Klebflächen plan arbeiten; genauer distanzieren
	Durch Schrumpfung des Klebstoffes oder rückfedernde Teile eingesaugte Luft	Evtl. größere oder gleichmäßige Schichtdicke; während des Klebvorganges steigenden Kontaktdruck bis zur vollständigen Härtung ausüben
	Ungleichmäßige Verteilung des Härterers bzw. ungleichmäßige Polymerisation; Verunreinigungen	Bessere Durchmischung des Klebstoffes; zu starke örtliche Wärmeabführung vermeiden; Einflüsse von Schmutz und Buntmetallen ausschließen
	Unsaubere Klebflächen	Gründlich reinigen
	Verklebtes Material ist vernetzt (z. B. PLEXIGLAS® GS 209, PLEXIGLAS® GS SW)	Oberfläche anrauen
Schlechte bzw. zu langsame Aushärtung	Mit falschem Klebstoff vorgeklebt	Anderen Klebstoff verwenden; längeres Ablüften bzw. Härten
	Zu geringe Härter-Dosierung (ACRIFIX® CA 0020)	Härter höher bzw. nach Angaben dosieren
	Zu niedrige Temperatur von Füge­teil und/oder Klebstoff; Zugluft	Die Temperatur von Füge­teil und Klebstoff sollte mindestens 15 °C, im allgemeinen 20 bis 25 °C betragen; in zugfreien Räumen arbeiten
	Polymerisationsstörung durch Kupfer, Messing, Gummi, Klebstoff von Klebebändern	Fremdeinfluss durch Abdecken mit indifferenten Materialien oder andere Anordnungen ausschließen
	Der Härter ist gealtert oder falsch gelagert	Frischen Härter verwenden
	Monomere/Lösungsmittel können nicht ablüften (Hohlräume/Taschen)	Mit Luft spülen, Ablüftung durch Lageänderung begünstigen
	Fügeteile stören Polymerisation (z. B. Fügeteile aus schwer entflammarem PMMA)	Erhöhte Füge­teil- bzw. Umgebungstemperatur; höhere Härterkonzentration; Klebnaht dicker machen
Einzelne weiche Stellen in der Klebnaht	Ungleichmäßige Verteilung des Härterers	Gleichmäßiger mischen
	Lufteinschlüsse (Blasen)	Klebstoff sorgfältiger auftragen
Farbstich in der Klebnaht	Über- bzw. Unterdosierung des Härterers	Härter nach Vorschrift dosieren

2 Kleben

Fehler (Befund)	Ursache	Gegenmaßnahme
Polymerisationsklebstoffe		
	Im Klebstoff sind Fremdstoffe gelöst (Gummi, Metallionen)	Fremdstoffe ausschließen; geeignete Arbeitsgeräte aus Glas, Edelstahl, PE, PP oder PA verwenden
	Der Härter ist gealtert oder falsch gelagert	Frischen Härter verwenden
	Kalter Klebstoff; zu langsame Reaktion	Klebstoffansatz soll mindestens 15 °C, im allgemeinen 20 bis 25 °C haben; nicht im Kühlschrank aufbewahren
Trübung bzw. Weißfärbung	Feinste Spannungsrisssbildung	Temperung direkt nach dem Verkleben; Lagern in Räumen ohne Korrosionseinfluss
	Bei hoher Luftfeuchtigkeit Einfluss von Wasser, das durch die Verdunstungskälte auf der Klebstoffoberfläche kondensiert und dann eingeschlossen wurde	Klebstoff bzw. Lösungsmittelklebstoff oder Kleblacke und Fügeteile bei höherer (Raum-) Temperatur verarbeiten
	Wasser im Klebstoff	Klebstoff nicht mehr verwenden
Verziehen verklebter Teile	Schrumpfspannungen durch Härtung des Klebstoffes	Tempern
	Unterschiedliches Widerstandsmoment der verklebten Teile	Widerstandsmomente angleichen, z. B. gleichdicke Platten verwenden; nach dem Verkleben mit Gegendruck tempern
	Unterschiedliche Temperatur der verklebten Teile	Temperaturen angleichen
	Unterschiedlicher Wassergehalt der verklebten Teile	Längere Zeit (1 Woche) ohne Schutzbelegung vor der Verklebung lagern
Ungenügende Klebefestigkeit	Überschreiten der Topfzeit; zu geringe Anlösezeit	Klebstoffansätze müssen je nach Härterzugabe innerhalb der Topfzeit verarbeitet sein
	Verunreinigung der Klebefläche durch Fett, Schweiß, Schutzfolienrückstände	Klebefläche gründlich reinigen, evtl. leicht anrauen
	Ungenügende Benetzung infolge Hautbildung des Klebstoffs bei zu langer Ablüftung	Teile unmittelbar nach Klebstoffauftrag zusammenfügen; Klebstoffhaut durch Benetzen mit ACRIFIX® TC 0030 vermeiden bzw. anlösen
	Kondensiertes Wasser auf der Klebstoff- oder Fügeteiloberfläche	Bei höherer (Raum-) Temperatur arbeiten
	Verklebtes Material ist vernetzt (z. B. PLEXIGLAS® GS 209, PLEXIGLAS® GS SW)	Oberfläche anrauen
Lösungsmittelklebstoffe / Kleblacke		
Trübung bzw. Weißfärbung	Zu geringe Raum- und Materialtemperatur; infolge von Luftfeuchtigkeit: Einfluss von Wasser, das durch die Verdunstungskälte auf der Klebstoffoberfläche kondensiert und dann eingeschlossen wurde	Klebstoff und Fügeteile bei höherer Temperatur verarbeiten
Rissbildung in der Klebefläche	Fügeteile haben zu hohe Spannung	Tempern
Blasenbildung in der Klebefläche	Mangelnder Anpressdruck; zu großer Klebspalt; zu raue Klebefläche; ungenügende Passgenauigkeit; zu schnelles Erwärmen beim Nachtempern	Anpressdruck erhöhen; Fügeteil-Anpassung verbessern; Klebefläche glätten; langsamer tempern

2.10 Klebebänder

Die Anwendung von doppelseitigen Klebebändern bzw. Selbstklebebändern ist heute wie in vielen Industriezweigen auch bei der Verarbeitung von PLEXIGLAS® GS und XT üblich.

Diese Klebemethode ist

- schneller und eventuell wirtschaftlicher als die Verwendung von Flüssigklebstoffen, da einfach von der Rolle auftragbar,
- vorzugsweise zu verwenden bei unsichtbaren, d. h. verdeckten Verklebungen, z. B. farbig gedeckten Platten
- klebaktiv einfach durch Andrücken.

Voraussetzungen guter Klebergebnisse sind

- staubfreie, trockene, entfettete Klebeflächen,
- Einsatz möglichst bei Raumtemperatur.

Zur Zwischenlagerung vorbereiteter Füge-teile wird der (einseitige) Schutzstreifen auf dem Klebeband belassen.

Da diese Bänder in großer Vielfalt am Markt angeboten werden, ist bei der Auswahl darauf zu achten, dass sie mit PLEXIGLAS® verträglich und ähnlich dauerhaft sind. Dies gilt für das Trägermaterial des Bandes (z. B. Papier, Polyester, Gewebe, PE- oder PUR-Schaumstoff – Vorsicht bei Weich-PVC!) und ebenso für seine ein- oder beidseitige Klebstoffschicht (z. B. Acrylat oder Kunstkautschuk).

Unterschieden werden im Wesentlichen drei Gruppen von doppelseitigen Klebebändern, um Platten aus PLEXIGLAS® mit sich selbst oder mit anderen Werkstoffen zu verkleben. Sie sind nicht identisch mit Dichtbändern, die meist nur einseitig selbstklebend sind:

- Klebstoff-Filme **ohne** Trägermaterial: Sehr dünn (einige Hundertstel Millimeter), für glatte Oberflächen und kleine Abmessungen des Kunststoffteils, wenn es mit weniger wärmedehnenden Werkstoffen zusammengefügt wird.
- Beidseitig klebstoffbeschichtete Bänder mit **dünnem** Trägermaterial: Einige Zehntel Millimeter dünn, auch für völlig ebene Flächen geeignet und leichter zu entfernen als Klebstoff-Filme ohne Trägermaterial.
- Beidseitig klebstoffbeschichtete Bänder mit **dickerem** Schaumstoff-Trägermaterial: Einige Zehntel bis mehrere Millimeter Dicke, für größere Werkstück-Abmessungen, um Unterschiede in der Wärmeausdehnung über den Schaumstoff auszugleichen; geeignet auch für weniger glatte, aber saubere und nicht poröse Klebflächen.

Werden über die Fläche plan-ebener Plattenzuschnitte Klebebandstreifen angebracht, sollte ihr Abstand untereinander höchstens 300 mm sein. Die Dauerbelastbarkeit vieler Klebebänder liegt bei 0,2 bis 0,25 N/cm². Danach kann bei Belastung, z. B. durch das Eigengewicht, die erforderliche Länge des Klebebandes ermittelt werden. Für die Anwendung sind grundsätzlich die Angaben der Hersteller maßgebend.

Für das Ankleben von PLEXIGLAS® SPIEGEL XT Platten gibt es eine gesonderte Broschüre (Kenn-Nr. 232-3), die beim Lieferanten erhältlich ist.

3 Schweißen

PLEXIGLAS® XT und PLEXIGLAS® Spritzgussteile sind gut zu schweißen. Dies liegt daran, dass ihr Ausgangsprodukt, PLEXIGLAS® Formmasse, bei Erwärmung nach Durchlaufen einer schmalen thermoelastischen Phase einen breiten thermoplastischen Zustandsbereich erreicht, der für das Verschweißen erforderlich ist.

PLEXIGLAS® GS ist nur bei Verwendung von Zusatzwerkstoffen, z. B. Schweißstäben aus PLEXIGLAS® XT oder Hart-PVC, bedingt schweißbar.

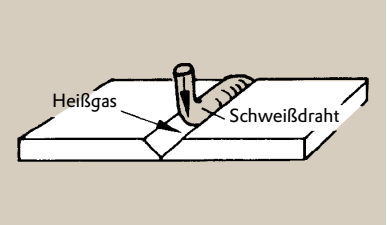
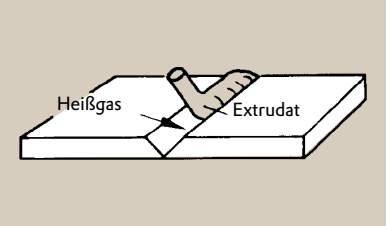
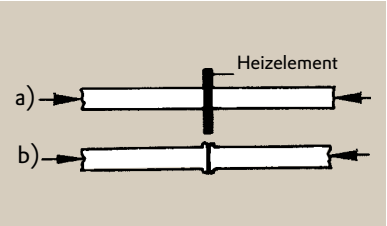
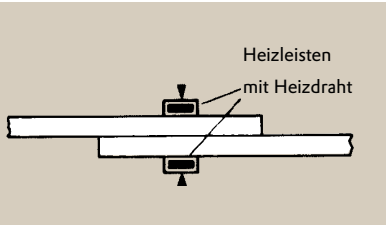
PLEXIGLAS® GS ist über einen breiten Temperaturbereich thermoelastisch und hat erst im Übergangsbereich zur Zersetzung plastische Anteile, die jedoch für eine gute Verschweißung im Allgemeinen nicht ausreichen. Eine weitere Temperaturerhöhung bewirkt keine Erweichung, sondern Zersetzung und damit Blasenbildung durch verdampfendes Methylmethacrylat.

Der Schweißprozess, d. h. die Verschmelzung der Fügeiteile in der Schweißzone, kann technisch in verschiedener Weise durchgeführt werden. Die Anwendung der verschiedenen Verfahren wird im Wesentlichen bestimmt von Gestalt und Größe

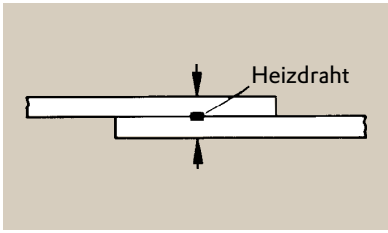
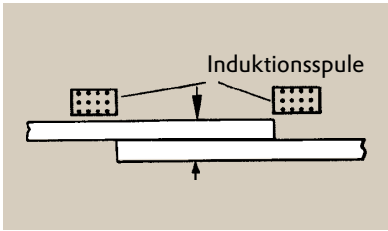
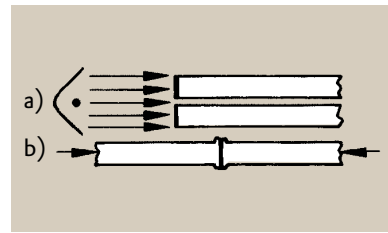
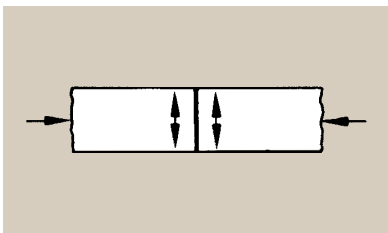
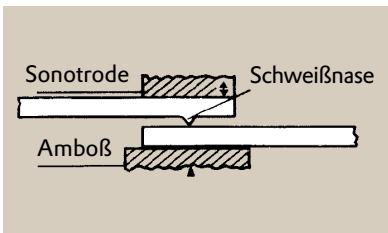
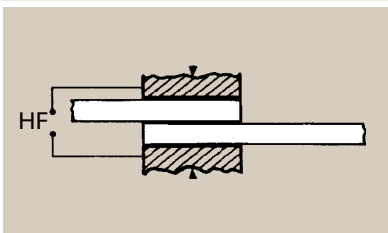
der zu verbindenden Werkstücke und vom Fertigungsablauf, in den das Schweißen zu integrieren ist.

Ein Nachteil des Schweißens ist, dass durch die örtlich starke Erwärmung der Fügezone gegenüber den benachbarten Materialbereichen nach Abkühlung erhebliche **Zugspannungen** in der Schweißnaht entstehen. Sie müssen vor allem dann, wenn mit Korrosionsmittel-Einfluss zu rechnen ist, durch Tempern abgebaut werden. Die Höhe der Zugspannungen kann dadurch verringert werden, dass man die zu verschweißenden Teile unmittelbar vorher möglichst hoch erwärmt.

Die folgende Übersicht zeigt die prinzipiell anwendbaren Schweißverfahren:

Verfahren	Prinzipdarstellung	Kurzbeschreibung
Heißgasschweißen		Erwärmung der Fügezone und des Schweißdrahtes mit Heißgas (Luft, CO ² , N ²).
Extrusionsschweißen		Schweißhilfsmittel wird bereits plastifiziert in die Schweißnaht extrudiert; u. U. ist es erforderlich, die Schweißnaht zusätzlich mit Heißgas zu erwärmen.
Heizelementschweißen		a) Die Fügezonen werden durch Kontakt an heißen Flächen erwärmt. b) Nach Entfernen des Heizelementes werden sie unter Druck gefügt.
Wärmeimpulsschweißen		Die Erwärmung der Schweißnaht geschieht durch das Material hindurch mit elektrisch beheizten Heizleisten. – Nur für Folien geeignet –

Die folgende Übersicht zeigt die prinzipiell anwendbaren Schweißverfahren:

Verfahren	Prinzipdarstellung	Kurzbeschreibung
Heizdraht-Widerstandsschweißen		In die Fügezone eingelegter Draht wird mit elektrischem Strom oder auch induktiv erwärmt, Draht verbleibt nach dem Schweißen in der Schweißnaht.
Induktionsschweißen		Metallstaubgefülltes Schweißhilfsmittel wird induktiv im HF-Magnetfeld erwärmt. – EMA-Schweißen –
Strahlungsschweißen		a) Die Fügeflächen werden mit Strahlung (Dunkelstrahler, Hellstrahler, Laser) erwärmt und b) unter Druck zusammengefügt.
Reibschweißen		Erwärmung der Fügeflächen durch Reibung aneinander unter gleichzeitiger Druckeinwirkung. – Rotation, Vibration –
Ultraschallschweißen		Mechanische Ultraschallschwingungen unter statischem Druck führen zu innerer, teils äußerer Reibung und zur Erwärmung.
Hochfrequenzschweißen		Erwärmung im elektrischen Hochspannungs-Wechselfeld ($f = 27,12 \text{ MHz}$) durch dielektrische Verluste.

3 Schweißen

Von den genannten Schweißverfahren werden bei PLEXIGLAS® XT überwiegend das Heißgasschweißen, das Ultraschallschweißen, das Heizspiegelschweißen und das Reibungsschweißen angewendet und hier näher erläutert.

Heißgasschweißen

Prinzipiell gelten für das Schweißen von PLEXIGLAS® XT die Richtlinien der DIN 16930. Zur Erwärmung des wasser- und ölfreien Gases eignen sich elektrische und gasbeheizte Heißluftgeräte bzw. Warmgasschweißgeräte, die von 250 bis 500 °C stufenlos regelbar sein sollten.

In der Praxis wird als Schweißgas vorwiegend Luft verwendet.

Der Schweißvorgang wird möglichst bei waagerechter Lage der Fügeteile durchgeführt. Aber auch in anderen Lagen der Fügeteile ist Schweißen möglich – ein eventueller Vorteil z.B. unter Baustellen-Bedingungen gegenüber dem Kleben. Der Schweiß-„Draht“ wird an einem Ende der Schweißnaht angeheftet und unter dauerndem, gleichmäßigem Druck in die Schweißfuge eingefügt. Dabei sollen mit der Schweißdüse fächernde Bewegungen zwischen Grundwerkstoff und Schweißdraht vorgenommen werden.

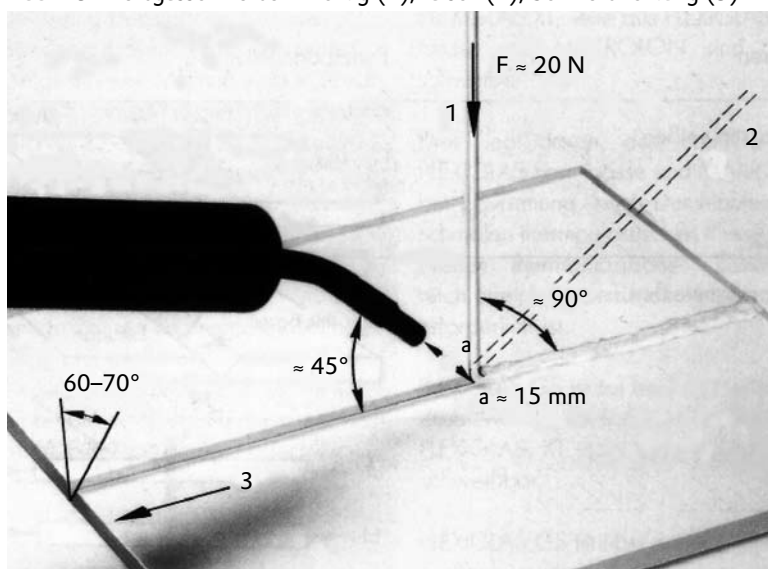
Der Schweißdraht wird fast senkrecht zur Schweißnaht geführt (siehe Abb. 23).

Schräges Führen des Schweißdrahtes beansprucht die Schweißnaht auf Zug und verursacht Spannungen.

Weitere Kenndaten zum Heißgasschweißen sind:

Schweißdrähte für PLEXIGLAS® XT und GS	Quadratische Plattenstreifen oder Rundstäbe aus PLEXIGLAS® XT oder Hart-PVC (Durchmesser 2 bis 4 mm)
Schweißdruck	ca. 2,8 MPa = 20 N Anpressdruck bei 3 mm dickem Stab
Schweißgeschwindigkeit	ca. 150 bis 250 mm/min
Abstand Düse/Schweißstelle	ca. 15 mm
Düsendurchmesser	ca. Schweißnahtbreite
Luftmenge	ca. 25 l/min
Anzahl der Schweißlagen	möglichst wenig; richtet sich nach Plattendicke, Schweißstabform und Abmessungen
Kurzzeitfestigkeit von PLEXIGLAS® XT Verschweißungen	35 bis 45 % der Materialfestigkeit

Abb. 23: Heißgasschweißen: richtig (1), falsch (2), Schweißrichtung (3)



Ultraschallschweißen

Das Ultraschallschweißen ist vorwiegend auf das Verschweißen von Spritzgussteilen, wie z. B. Kfz-Rückstrahler begrenzt. Gute Schweißergebnisse lassen sich bei PLEXIGLAS® XT mit sich selbst, mit ABS und mit SAN erzielen. PLEXIGLAS® GS kann nur begrenzt mit Ultraschall verschweißt werden. Dieses Schweißverfahren setzt Erfahrung voraus, die weitgehend durch Versuche erzielt werden kann. Dabei gilt es, auf folgende Faktoren zu achten: Amplitude, Frequenz, statischer Druck (Anpressung), Sonotrodenausbildung, Schweißzeit, Ausbildung der Fügefläche.

Die Abb. 24 zeigt das Prinzip des Schweißens, des Nietens und Einsetzens von Metallteilen mit Ultraschall. Dabei wird die Geometrie der Sonotrode bzw. des einzusetzenden Metallteils so gewählt, dass die Erwärmung **in der Oberfläche** von PLEXIGLAS® stattfindet. Auf jeden Fall müssen Kerben vermieden werden, da sie die Festigkeit herabsetzen. Oft ist ein anschließendes Tempern der Werkstücke empfehlenswert.

Heizspiegelschweißen

Die zu verbindenden Teile aus PLEXIGLAS® XT werden gleichzeitig leicht gegen einen 400 °C heißen Heizspiegel gedrückt, bis sie genügend plastisch sind. Dabei müssen die Andrückflächen der Schweißteile und des Heizspiegels einander entsprechen. Dann werden die Werkstücke rasch in die gewünschte Lage zueinander gebracht und so stark zusammengedrückt, dass das aufgeschmolzene Material seitlich herausgequetscht wird. Der Druck muss so lange einwirken, bis es wieder erstarrt ist (siehe Abb. 25). Das rasche Zusammenfügen der Schweißteile ist meist mit rein manueller Geschicklichkeit nicht zu erreichen; entsprechende Hilfsvorrichtungen sind also vorzubereiten. Nachträgliches Drehen der Schweißteile ist nicht möglich. Um den Heizspiegel sauber zu halten, empfiehlt sich eine Beschichtung mit TEFLON.

Reibungsschweißen

Bei diesem für PLEXIGLAS® XT sehr sicheren Verfahren werden die zu verschweißenden Flächen ballig vorgedreht. Anschließend sind beide Werkstücke so zwischen Dreibackenfutter und mitlaufender Reitstockspitze in die Drehbank einzuspannen, dass sie fluchten und nicht seitlich ausweichen können; u. U. muss das zunächst feststehende Werkstück mit einer Lünette geführt werden. Das im Drehbankfutter eingespannte Werkstück läuft nun mit ca. 360 U/min, während das andere über die Reitstockspindel von Hand angedrückt und so lange festgehalten wird, bis die Schweißung beendet ist.

Folgende Richtwerte können angenommen werden:

Frequenz	20 bis 30 kHz
Amplitude	5 bis 15 µm
Schweißzeit	1 bis 4 s
Energierichtungsgeber	ca. 0,2 mm Mindesthöhe

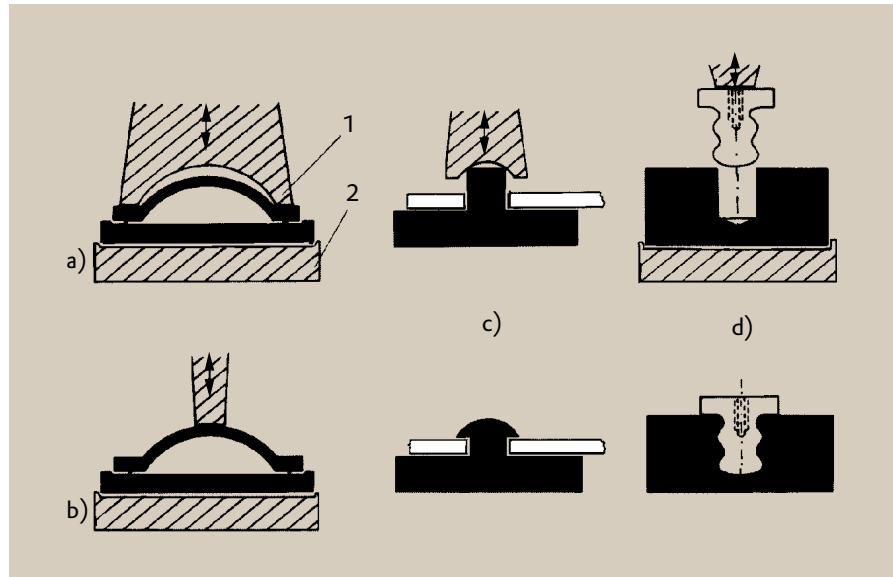
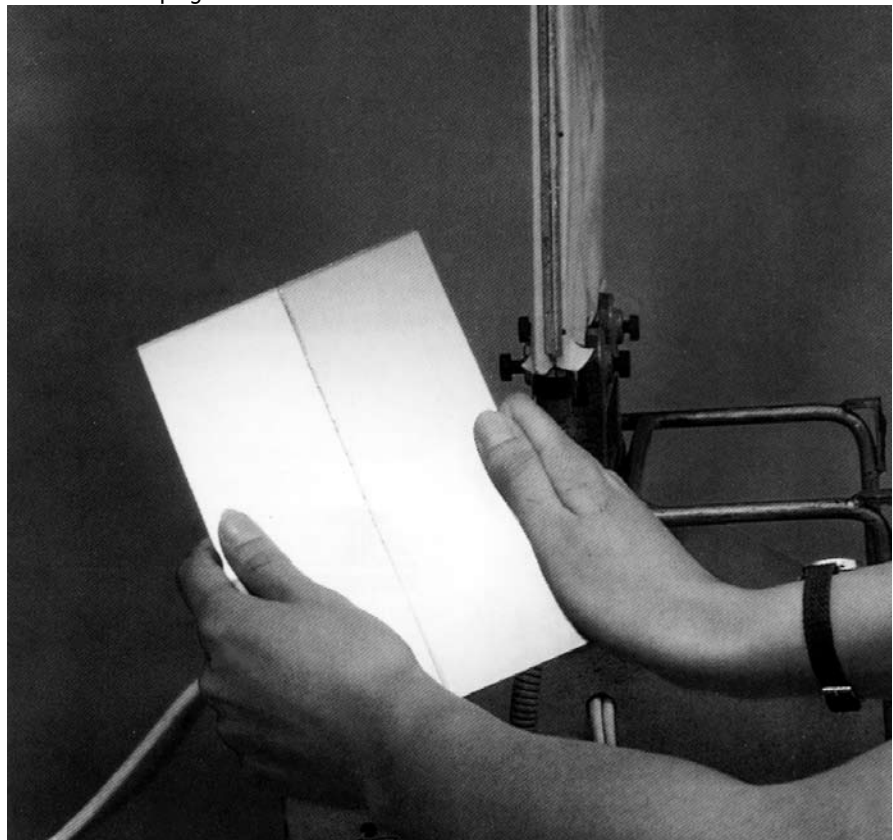


Abb. 24: Ultraschallschweißen: Sonotrode (1), Amboss (2), Nahfeldschweißung (a), Fernfeldschweißung (b), Wärmestauchen (Nieten) (c), Einsetzen (d)

Abb. 25: Heizspiegelschweißen



4 Nieten

Obwohl von dieser Fügeart eher abzura-
ten ist, lassen sich werkstoffverträgliche
Vernietungen von Platten aus
PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT
allenfalls mit speziellen Metallnieten, z. B.
mit Aluminium-Hohlknoten, durchführen,
die nur geringe Schließkräfte erfordern
(siehe Abb. 26a). Unbedingt sollten aber
hohe Spannungsspitzen an den Nietstellen
vermieden werden. Sie können unter
Umständen zum Bruch der verbundenen
Teile führen.

Werkstoffgerecht dagegen ist die Verwen-
dung sogenannter Reck- bzw. Schrumpfnie-
te (siehe Abb. 26b und Verarbeitungs-
Richtlinien „Umformen“, Kap. 5.7). Hier
wird das Rückstell- bzw. Schrumpfnie-
streben von PLEXIGLAS® genutzt, indem
daraus gefertigte Rundstäbe erwärmt
und um ca. 70% gereckt werden, z. B.
auf der Drehbank, eingespannt zwischen
Drehbankfutter und Werkzeughalter.
Anschließend wird der Niet abgeschnitten.
Seine Länge entspricht der Nietverbindung
einschließlich der beiden rückzuschrump-
fenden Nietköpfe. Dabei ist es vorteilhaft,
die beiden Stirnseiten der noch nicht
bearbeiteten Köpfe in planem Zustand zu
polieren. Zum Erwärmen der Enden eignet
sich ein Heißluftgerät, dessen Düsenöff-
nung nicht größer als der Nietdurchmesser
sein sollte. Das Rückschrumpfen des Niet-
kopfes wird durch fächerndes Aufheizen
erreicht. Dabei sollte die Umgebung der
Fügeteile nicht unnötig erwärmt werden,
da Spannungen entstehen können.

Eine andere Art des Nietens ist die Verbin-
dung durch sogenannte Spreizniete (siehe
Abb. 26c) oder Klemmniete (siehe
Abb. 26d), die aus Metall oder Kunst-
stoff im Handel erhältlich sind. Bei ihrer
Verarbeitung ist darauf zu achten, dass die
Spreizkräfte von dem Metallteil aufge-
nommen werden, damit die Fügeteile
nicht unnötig hohen Spannungen ausge-
setzt sind.

Wichtig ist beim Vernieten von
PLEXIGLAS® außerdem, dass die Niete
von allen Verschmutzungen, Schutzüber-
zügen, Einfettungen usw. befreit werden,
um Spannungsrissbildung in den genieteten
Kunststoffteilen zu vermeiden.

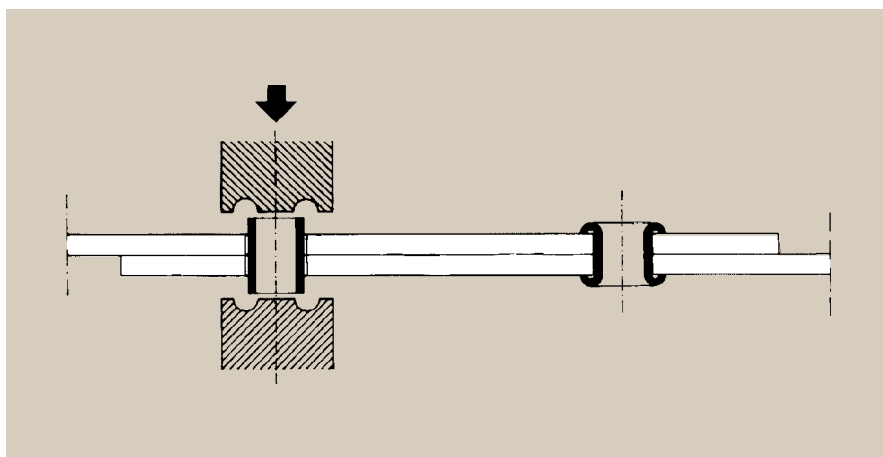


Abb. 26a: Hohlknoten

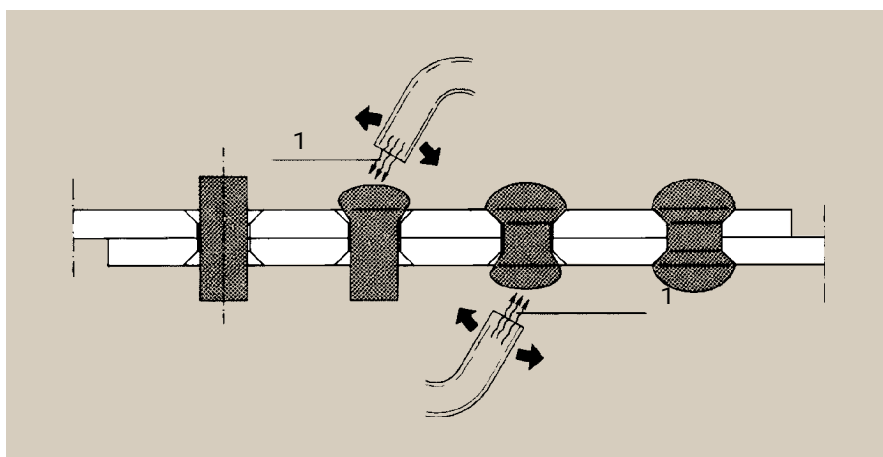


Abb. 26b: Reck- bzw. Schrumpfniet: Heiße Luft (1)

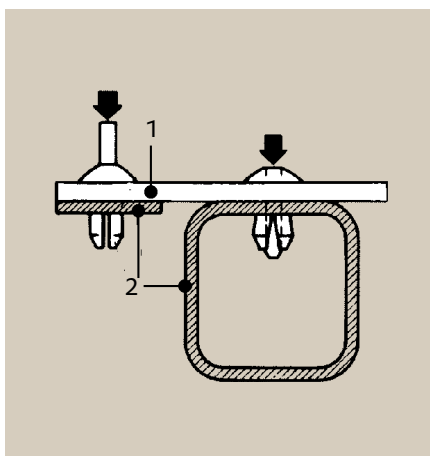


Abb. 26c: Spreizniet: Kunststoff (1),
Metall (2)

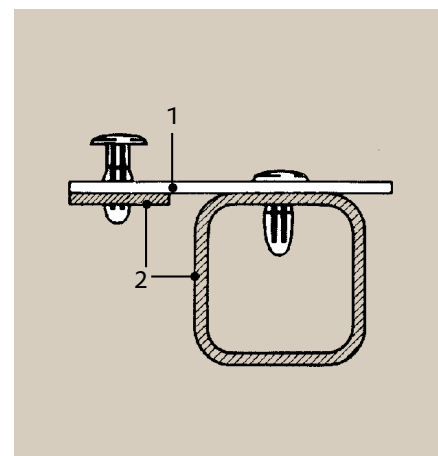


Abb. 26d: Klemmniet: Kunststoff (1),
Metall (2)

5 Klemmen

Klemmverbindungen sind für den Einbau von PLEXIGLAS® die **am besten geeignete Verbindungsart**, weil sie die Forderungen nach spannungsfreiem Einbau, großflächiger Kräfteübertragung und ausreichendem Dehnungsspiel erfüllen.

Bei der Auswahl der elastischen Dichtungsmaterialien ist allerdings darauf zu achten, dass sie keine Spannungsrissbildung verursachen. Außerdem soll der Klemmdruck nicht höher als nötig sein, weil sonst eine starke Haftung zwischen dem Werkstoff und dem Dichtungsmaterial entstehen kann, die das notwendige Walken oder Gleiten verhindert.

Da beim Fügen Klemmverbindungen von besonderer Bedeutung sind, finden sich ausführliche Informationen in der Druckschrift „Verglasungshinweise zu Massivplatten“ (Kenn-Nr. 312-1), die vom PLEXIGLAS® Lieferanten angefordert werden kann.

6 Schrauben

Bei **Durchgangsverschraubungen** in Kunststoff ist – noch stärker als in Metallen – auf spannungsfreien Einbau zu achten, um überhöhte Knick- und Biegemomente zu vermeiden. Die Schrauben sollen außerdem nicht zu stark angezogen und die Kräfte großflächig in die Kunststoffteile eingeleitet werden.

Zu beachten ist ferner, dass PLEXIGLAS® GS und PLEXIGLAS® XT wie alle Thermoplaste einen relativ hohen Wärme-Längenausdehnungskoeffizienten besitzen und zusätzlich Feuchtigkeitsausdehnung auftreten kann: Bezogen auf eine Einbautemperatur von beispielsweise 10°C zieht sich Acrylglas in der kalten Jahreszeit bis zu 2,5 mm pro Meter zusammen. Dagegen sollte für die Ausdehnung durch Wärme und Feuchtigkeit ein **pauschales Dehnungsspiel, d. h. ein Abstand zum „lichten Einbaumaß“ von 5 mm/m für PLEXIGLAS® (PLEXIGLAS RESIST® bis 8 mm/m) vorgesehen werden.**

Große Bohrungen, Ausdehnungsmöglichkeiten an den Enden und der systematische Einbau mit Fest- und Gleitpunkten

vermeiden schädliche Materialspannungen (siehe Abb. 27).

Ob Metall- oder Kunststoffschrauben verwendet werden, ist eine Frage der jeweiligen Anforderung. Während Kunststoffschrauben u. a. leicht und geräuschkämpfend sind und in vielen Fällen weniger stark korrodieren, lassen sich mit Metallschrauben größere Kräfte übertragen.

Außerdem ist keine Spannungsrelaxation zu erwarten, und es werden hohe Dauertemperaturen ausgehalten. Wesentlich bei der Verwendung von Metallschrauben ist die geringere Wärmedehnung bzw. Wärmecontraktion. Das ist besonders wichtig bei Schraubverbindungen, die dauerhaft dicht sein müssen.

Im Gegensatz dazu verringert die unterschiedliche Wärmedehnung von PLEXIGLAS® GS und XT die Klemmkraft bei fallender Temperatur und erhöht sie bei steigenden Temperaturen. Einen Ausgleich schaffen hier materialverträgliche Unterlagen aus EPDM, PE, PTFE usw. (kein Weich-PVC !) (siehe auch Abb. 28).

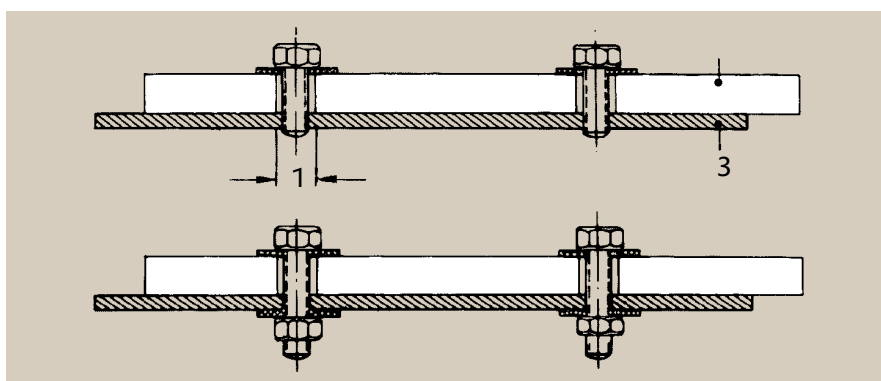
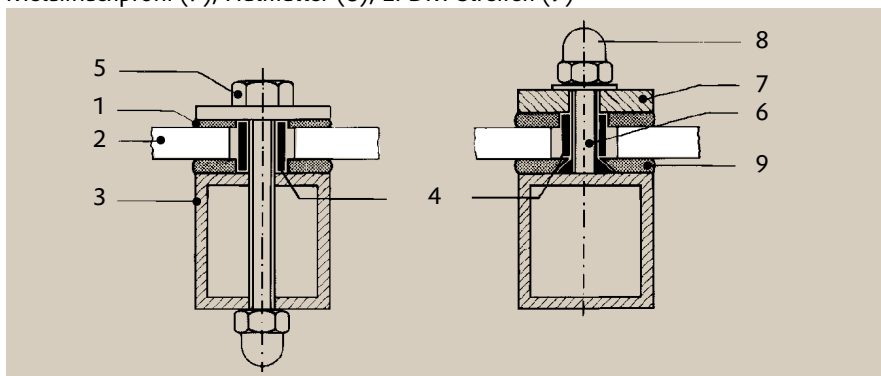


Abb. 27: Einfache Schraubverbindung:
Bohrung mit Dehnungsspiel (1), Kunststoff (2), Metall (3)

Abb. 28: Beispiele werkstoffgerechter Schraubverbindungen: EPDM-Scheiben (1), PLEXIGLAS® XT, 8 mm (2), Geländerpfosten (3), Schutzhülse (z. B. PE) (4), Schraube mit großer Unterlegscheibe und Hutmutter (5), Schraubbolzen angeschweißt (6), Metallflachprofil (7), Hutmutter (8), EPDM-Streifen (9)



6 Schrauben

Bohrungs-Ø [mm] = Bolzendurchmesser + (L [m] x 5*)

(* bei PLEXIGLAS® Grundsorten, bis "8" bei PLEXIGLAS RESIST®)

L = Länge der Platte in Meter

Bohrungsabstand vom Plattenrand:
min. 1,5 x Bohrungs-Ø

Gewinde sollten nicht direkt in oder auf PLEXIGLAS® geschnitten werden, da die Beanspruchung meist unterschätzt wird, und Werkzeuge für Sondergewinde, beispielsweise mit abgerundeten Gewindespitzen und breiten Flanken, erfahrungsgemäß nicht immer vorhanden sind. Wo dennoch auf Bewegungsgewinde nicht verzichtet werden kann, sollten Gewindeeinsätze verwendet werden.

Selbstschneidende Schrauben sind ungeeignet, sofern sie in PLEXIGLAS® geschnitten werden sollen. Sie können jedoch eingesetzt werden, wenn das Gewinde in eine darunter liegende Konstruktion – beispielsweise aus Metall – eingearbeitet wird und ausreichend große Durchgangslöcher in der PMMA-Platte vorhanden sind.

Eine werkstoffgerechte Verbindungsmethode, um Gewinde in PLEXIGLAS® zu vermeiden, aber z. B. **T-förmige Stöße** von Möbeln, Regalen usw. gutaussehend und stabil zu gestalten, zeigt Abb. 29. Hierbei wird außer der (Senk-) Schraube ein mit Gewinde versehener zweiter (Metall-)Bolzen als Widerlager benötigt, in welchen die Schraube eingeschraubt wird. In der waagerechten PLEXIGLAS® Platte wird somit eine zusätzliche senkrechte Bohrung nötig; dagegen entfällt das Gewinde und seine riskante Kerbwirkung im Acrylglas.

Der PLEXIGLAS® Verarbeiter kann solche T-Stoß-Verbindungsstücke handelsüblich verwenden oder sie sich nach eigenem „Design“ für seine (Serien-) Fertigteile anfertigen lassen.

Bei **Stumpfstoß-Verbindungen** von PLEXIGLAS® Platten bietet sich als mechanische Methode die sogenannte

„heiße Schraube“ an. Hierbei werden die zu verbindenden Platten zusammengelegt und arretiert. Genau in die Fügestelle bohrt man ein Loch, so dass eine halb-kreisförmige Bohrung in jeder Platte entsteht (siehe Abb. 30). Als verbindendes Element wird eine Metallschraube

Nach dem Abkühlen entsteht eine feste Verbindung. Auf die gleiche Art lassen sich aufeinanderliegende Platten verbinden. Um Spannungsrissbildung zu vermeiden, ist es empfehlenswert, die Füge-teile nachträglich zu tempern. Der Vorteil dieser

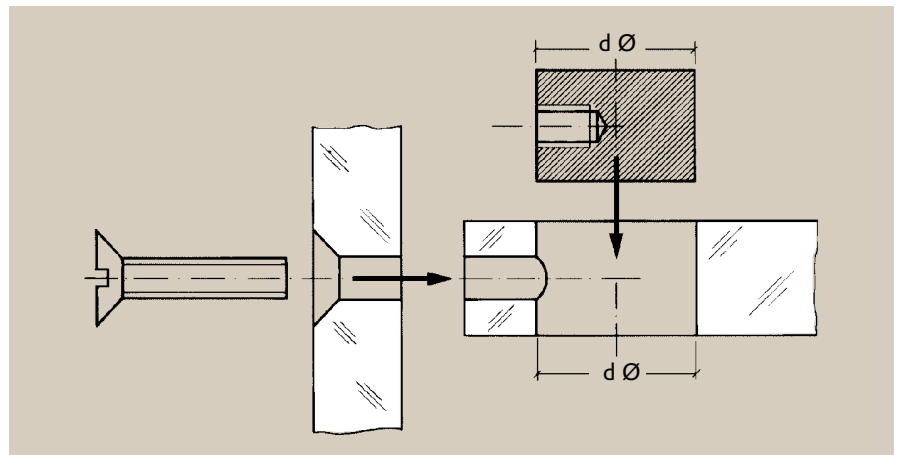
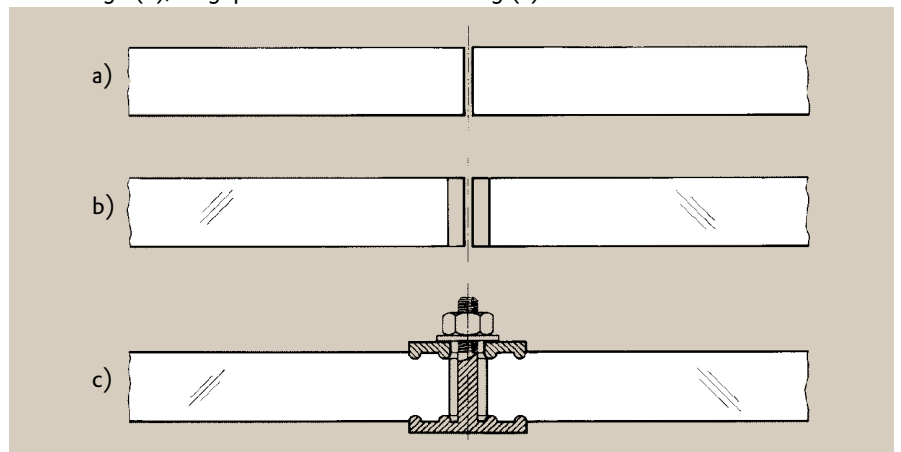


Abb. 29: T-Stoß-Verbindung

mit Gengenscheibe und Mutter benutzt, deren Schaftdurchmesser kleiner als der Bohrdurchmesser ist. Der Schraubenkopf besitzt auf der Unterseite, ebenso wie die Gengenscheibe, mehrere um den Schaft konzentrisch verlaufende Wulste. Die Schraube wird auf ca. 160°C erwärmt, durch die Bohrung geführt, die ebenfalls erwärmte Gengenscheibe auf den Schaft gesteckt und die Mutter angeschraubt. Dabei erwärmt sich die PLEXIGLAS® Platte an dieser Stelle auf Umformtemperatur, wobei sich die polierte Oberfläche der beiden Metallteile in die Platte einpresst bzw. -prägt.

Schraubenverbindung ist die gleichmäßige Kraftverteilung ohne Kerbwirkung. Durch das Einpressen entsteht zusätzlich eine Materialvergütung.

Abb. 30: Stumpfstoß-Verbindung mit der „heißen Schraube“: Plattenstoß (a), Bohrung an der Fuge (b), eingepresste Schraubverbindung (c)



7 Verwalzen

Im Rahmen der verarbeitungstechnischen Weiterentwicklung für PLEXIGLAS® entstand die **Verwalztechnik***, eine klebstofffreie Technologie zum flächigen, bleibenden Verbinden von PLEXIGLAS® Platten für Displays, Werbe-Elemente und technische Teile, meist mit Einbettung von Informationsträgern.

Dabei werden PLEXIGLAS® Platten-Zuschnitte (bis Größe DIN A2) nach kontrolliertem IR-Erwärmen ihrer Fügeflächen unter linienförmigem Rolldruck zu einer Art „Flächenverschweißung“ gebracht. Diese Technik wirkt daher optimal bei PLEXIGLAS® **XT mit XT**, unter Bedingungen auch **XT mit GS**, nicht jedoch GS mit GS.

Zwischen bzw. in den Verbund von zwei oder drei, meistens farblosen PLEXIGLAS® Platten lassen sich

- Gravuren,
- Ausfräsungen (Hohlräume),
- Digitaltransferdrucke,
- Siebdrucke,
- Papier oder
- dünne Gegenstände, z. B. bis zur Dicke von Münzen

einarbeiten bzw. einbetten.

Gegenüber hierfür herkömmlichen Verfahren, wie

- Eingießen,
- Flächenverkleben (siehe Kap. 2.7),
- Heißpressen

bietet die Verwalztechnik – sofern der Verarbeiter sich dafür eingerichtet hat – mehrere Vorteile:

- kürzere Taktzeiten bei Unikaten und Serien,
- keine Emissionen durch Gießharze und Klebstoffe,
- Farben von Sieb- und Transferdruck werden nicht angegriffen,
- Abmessungen von DIN A5 bis DIN A2 möglich,
- in eingearbeitete Hohlräume können bewegliche Einlagen (Kugeln, Sand, Flüssigkeiten) eingebettet werden.

Um mit dem Verwalzen zufriedenstellende Arbeitsergebnisse zu erhalten, wird ein speziell entwickeltes System benötigt, das aus drei Geräte-Elementen besteht:

1. einer Erwärmungsstation,
2. einem Walzenstuhl,
3. einer Abkühlstation.

Das Prinzip des Verwalzens (siehe Abb. 31) ist, dass zwei miteinander zu verwalzende PLEXIGLAS® XT Zuschnitte liegend mit IR-Strahlern an ihren obigen Flächen erwärmt, während ihre Unterseiten möglichst kühl gehalten werden. Nach Erreichen der optimalen Temperatur werden beide dem Walzenstuhl zugeführt. Dabei wird das „oben“ liegende Element umgedreht, so dass beide Teile mit ihren heißen Seiten aufeinander zwischen die Rollen gelangen. Vor diesem Arbeitsschritt werden zügig eventuelle einzubettende Informationsträger und/oder Einlageobjekte dazwischen positioniert. Das verwalzte Teil sollte abschließend bei Raumtemperatur eine plane, ebene Gestalt aufweisen, was durch gesteuertes Abkühlen des Verbundes in der Abkühlstation erreicht wird.

Viele PLEXIGLAS® Verarbeiter stellen im Lohnauftrag PLEXIGLAS® XT Verwalzungen her, die fast beliebige Design-Wünsche erfüllen. Für Verarbeiter, die sich selbst die Verwalztechnik aneignen wollen, bieten wir als Entwickler und PLEXIGLAS® Hersteller ein umfassendes, vorteilhaftes Lizenzpaket an, das u. a. die erwähnten Geräte sowie das nötige Verfahrens-Know-how beinhaltet. Interessenten können sich gerne an unseren Technischen Service oder unser Verkaufsteam wenden.

*) patentrechtlich geschützt für Evonik Röhm GmbH, Darmstadt.



Abb. 31: Gerätesystem zum Verwalzen: Erwärmungsstation, Walzenstuhl, Abkühlstation (von links nach rechts)

® = eingetragene Marke

PLEXIGLAS
PLEXIGLAS ALLTOP
PLEXIGLAS FREE FLOW
PLEXIGLAS HEATSTOP
PLEXIGLAS RESIST
PLEXIGLAS SATINICE
PLEXIGLAS SOUNDSTOP
ACRIFIX
EUROPLEX und
ROHACELL

sind eingetragene Marken der

Evonik Röhm GmbH, Darmstadt, Deutschland.

Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001 (Qualität)
und DIN EN ISO 14001 (Umwelt)

Unsere Informationen entsprechen unseren heutigen Kenntnissen und Erfahrungen nach unserem besten Wissen. Wir geben sie jedoch ohne Verbindlichkeit weiter. Änderungen im Rahmen des technischen Fortschritts und der betrieblichen Weiterentwicklung bleiben vorbehalten. Unsere Informationen beschreiben lediglich die Beschaffenheit unserer Produkte und Leistungen und stellen keine Garantien dar. Der Abnehmer ist von einer sorgfältigen Prüfung der Funktionen bzw. Anwendungsmöglichkeiten der Produkte durch dafür qualifiziertes Personal nicht befreit. Dies gilt auch hinsichtlich der Wahrung von Schutzrechten Dritter. Die Erwähnung von Handelsnamen anderer Unternehmen ist keine Empfehlung und schließt die Verwendung anderer gleichartiger Produkte nicht aus.

Kenn-Nr. 311-3 Dezember 2007
10/1207/09429 (de)



EVONIK
INDUSTRIES

Geschäftsbereich
Performance Polymers

Evonik Röhm GmbH
Kirschenallee
64293 Darmstadt
Deutschland

info@plexiglas.de
www.plexiglas.de
www.evonik.com

Evonik. Kraft für Neues.