# Die Kunstharzklebetechnik im Amateur-Instrumentenbau [Fortsetzung]

Autor(en): **Ziegler, Herwin G.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Orion : Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft**

Band (Jahr): **29 (1971)**

Heft 125

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899927

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

**Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

**http://www.e-periodica.ch**

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| UV Leo | 084.377 | 13479½ | —0.031 | 4 | US | a |
| UV Leo | 084.388 | 13479½ | —0.019 | 9 | RG | a |
| UZ Leo | 2 441 057.466 | +20047 | —0.104 | 11 | KL | d |
| UZ Leo | 062.415 | 20055 | —0.104 | 10 | KL | d |
| UZ Leo | 062.425 | 20055 | —0.094 | 9 | HP | d |
| UZ Leo | 070.456 | 20068 | —0.104 | 10 | HP | d |
| AM Leo | 2 441 043.380 | +14894 | —0.012 | 19 | HP | d |
| δ Lib | 2 441 082.554 | + 2857 | +0.037 | 10 | KL | a |
| TZ Lyr | 2 441 070.474 | +38478 | +0.029 | 8 | RD | d |
| TZ Lyr | 124.406 | 38680 | +0.021 | 10 | RD | d |
| UZ Lyr | 2 441 070.529 | + 8884 | +0.025 | 11 | RD | b |
| FL Lyr | 2 441 057.502 | + 3306 | —0.010 | 12 | HP | a |
| V 508 Oph | 2 441 070.547 | +36701 | —0.024 | 10 | RD | a |
| V 508 Oph | 080.535 | 36730 | —0.035 | 9 | RD | a |
| V 508 Oph | 088.473 | 36753 | —0.027 | 5 | KL | a |
| V 508 Oph | 115.534 | 36831½ | —0.032 | 4 | RD | a |
| V 508 Oph | 116.571 | 36834½ | —0.030 | 5 | KL | a |
| V 1010 Oph | 2 441 059.626 | +23029 | —0.039 | 10 | KL | d |
| V 1010 Oph | 126.432 | 23130 | —0.038 | 8 | KL | d |
| RT Per | 2 441 056.336 | +19429 | —0.045 | 7 | KL | d |
| XZ Pup | 2 441 057.313 | + 6936 | +0.002 | 15 | KL | d |
| YY Sgr | 2 441 070.585 | + 8219 | —0.013 | 11 | KL | d |
| AO Ser | 2 441 057.444 | +14843 | +0.003 | 11 | KL | a |
| W UMa | 2 441 023.405 | +19584 | +0.009 | 8 | RD | a |
| W UMa | 050.448 | 19665 | +0.018 | 14 | HP | a |
| W UMa | 107.487 | 19836 | +0.005 | 7 | RD | a |
| W UMi | 2 441 070.436 | + 4475 | —0.006 | 13 | HP | a |
| UW Vir | 2 441 062.487 | + 8903 | +0.174 | 16 | HP | d |
| UW Vir | 062.491 | 8903 | +0.178 | 14 | KL | d |
| UW Vir | 091.460 | 8919 | +0.176 | 20 | HP | d |
| AH Vir | 2 441 061.376 | +17096 | +0.026 | 14 | HP | b |
| AH Vir | 062.388 | 17098½ | +0.019 | 11 | HP | b |
| AH Vir | 062.422 | 17098½ | +0.053 | 8 | KL | b |
| AH Vir | 070.362 | 17118 | +0.047 | 12 | HP | b |
| AH Vir | 071.376 | 17120½ | +0.042 | 5 | PS | b |
| AH Vir | 116.417 | 17231 | +0.052 | 5 | KL | b |
| AZ Vir | 2 440 720.468 | +41738½ | +0.043 | 11 | RD | d |
| AZ Vir | 731.473 | 41775½ | +0.040 | 10 | RD | d |
| AZ Vir | 733.392 | 41782 | +0.025 | 7 | RD | d |
| AZ Vir | 740.392 | 41805½ | +0.040 | 6 | RD | d |
| BF Vir | 2 441 059.509 | +10834 | +0.014 | 11 | KL | b |
| BF Vir | 061.430 | 10837 | +0.013 | 5 | KL | b |
| BF Vir | 070.460 | 10851 | +0.015 | 5 | KL | b |
| BF Vir | 091.532 | 10884 | +0.008 | 6 | KL | b |
| BH Vir | 2 441 054.471 | +12013 | +0.025 | 11 | HP | b |
| RR Vul | 2 441 116.490 | + 1204 | +0.010 | 8 | KL | d |
| BP Vul | 2 441 082.528 | + 1878 | +0.011 | 6 | RD | d |
| BU Vul | 2 441 082.509 | +13154 | +0.058 | 7 | RD | a |
| BU Vul | 107.549 | 13198 | +0.063 | 10 | RD | a |
| BU Vul | 115.516 | 13212 | +0.063 | 4 | RD | a |

La signification des colonnes est: 1 = nom de l'étoile; 2 = O = date Julienne héliocentrique du minimum observé; 3 = E = nombre de périodes individuelles écoulées dès l'époque initiale; 4 = O – C = date observée moins date prédite du minimum en jours; 5 = n = nombre d'observations individuelles déterminant le moment du minimum; 6 = observateurs: PB = Peter Bertschinger, 8610 Uster, RD = Roger Diethelm, 8400 Winterthur, RG = Robert Germann, 8636 Wald, KL = Kurt Locher, 8624 Grüt-Wetzikon, EM = Ernst Mayer, Barberton, Ohio 44203, USA, HP = Hermann Peter, 8112 Otelfingen, PS = Paul Schönsleben, 8635 Dürnten, US = Ueli Straumann, 8603 Schwerzenbach; 7 = base pour le calcul de E et de O – C: a, b, d = General Catalogue of Variable Stars 1958, 1960, 1969.

Réductions par R. Diethelm et K. Locher

# Die Kunstharzklebetechnik im Amateur-Instrumentenbau

von Herwin G. Ziegler, Nussbaumen

2. Teil

Während im ersten Teil dieser Artikelserie[1]) auf die allgemeinen Aspekte und Eigenheiten der Klebetechnik eingegangen wurde, sollen nun ganz konkret die Technik und die handwerkliche Seite behandelt werden.

Es stellt sich hier die Frage, ob eine Behandlung dieses Themas nicht überflüssig, oder sogar eine Zumutung an den Leser ist, da sich doch heute jedermann im Laden eine Packung «Araldit» oder «Uhu-Plus» kaufen kann, um damit an Hand der beiliegenden Anleitung seine Klebearbeiten auszuführen! Nach diesen Kurzanleitungen scheint das Kleben tatsächlich keine sehr komplizierte Manipulation zu sein. In Tat und Wahrheit werden jedoch ein Grossteil der so ausgeführten Klebeverbindungen mit einer professionellen Klebeverbindung ausser dem Namen wenig gemeinsam haben, obwohl hier wie da die gleichen Bindemittel verwendet werden. Dies mag auch der Grund sein, warum selbst bei manchen Betriebsfachleuten und Konstrukteuren eine gewisse skeptische Einstellung zur Klebetechnik herrscht, weil die ersten Versuche nicht die in sie gestellten Erwartungen erfüllten. Die Anfangsgründe einer Technik sind immer recht einfach, ihre Beherrschung setzt jedoch weitgehende Handfertigkeiten, eine grosse Erfahrung und auch eine gute Kenntnis des technischen Hintergrundes voraus. Nur so wird eine Klebeverbindung eine Schweiss- oder Schraubverbindung vollwertig ersetzen können und gegenüber diesen die im ersten Teil beschriebenen spezifischen Vorteile aufweisen. Aus diesem Grunde scheint eine eingehende Behandlung der Technik sinnvoll, auch wenn von den Bindemittelherstellern den Produkten jeweils Applikationshinweise beigegeben werden.

Der Klebeprozess umfasst folgende Arbeitsgänge, die im Nachfolgenden detailliert behandelt werden:

1) Vorbereitungsarbeiten und Arbeitsplanung;
2) Vorbehandlung und Reinigung der Klebeflächen;
3) Bereitstellen des Bindemittels und Auftragen desselben;
4) Zusammenfügen und Fixieren der Klebeteile;
5) Aushärten der Klebeverbindung.

Ehe auf die Einzelheiten dieser Arbeitsgänge näher eingegangen wird, sollen noch einige Hinweise zu den dafür erforderlichen Hilfsmitteln gegeben werden. Es wurde schon darauf hingewiesen, dass für die meisten im Amateurbereich anfallenden Klebearbeiten nur sehr

bescheidene Hilfsmittel erforderlich sind. Bei der Behandlung dieser Hilfsmittel wird davon ausgegangen, dass die Teile in ihrer Form bereits fertig bearbeitet vorliegen und auch an den Klebeflächen nur mehr geringfügige Nacharbeiten, wie Einstellen der richtigen Klebespaltdicke und Aufrauhen der Flächen, notwendig sind.

*Standard-Hilfsmittel*
1 Rolle Packpapier zum Belegen des Arbeitstisches;
1 Rolle Haushaltkreppapier für Reinigungszwecke;
eine genügende Menge sauberer, wenn möglich weisser Putzlumpen;
je ein Flachpinsel 15 und 25 mm;
je zwei Bogen Schmirgeltuch Nr. 80, Nr. 100 und Nr. 220;
Karborundum Körnung 120 aus unserer Spiegelschleifkiste;
1 bis 2 Liter Aceton oder Chlorothene-NU[2]);
1 kleine Tasse aus Metall oder Porzellan;
1 alte, nicht zu kleine Konservenbüchse oder ein ähnlicher Blechbehälter;
1 bis 2 Mischspatel aus Hartholz;
eine grössere Anzahl Mischplättchen aus Karton oder Preßspan;
für grössere Bindemittelmengen (sehr selten!) ein geeignetes Mischgefäss und eine Briefwaage;
einige kleine Schreinerzwingen für das Fixieren und Zusammenspannen der Teile;
1 Rolle Kreppklebeband ebenfalls für Fixierzwecke;
etwas steifer Karton und einige kleine Brettchenabfälle für die Herstellung von Fixiereinrichtungen, Schablonen und für das Zusammenspannen komplizierterer Teile.

Ferner wird man sich bei der Hausfrau die Bewilligung, in ihr Küchenrefugium eindringen zu dürfen, einholen, um Kochplatte und Backofen zu benützen. Wer nur ganz gelegentlich Klebearbeiten an einfachen Teilen auszuführen gedenkt, der wird sich keineswegs diese angeführten Utensilien vollständig anzuschaffen brauchen. Für solche Arbeiten reicht neben dem Bindemittel ein kleines Fläschchen Aceton für die Reinigung der Klebeflächen.

Zu den angeführten Hilfsmitteln sollen noch einige ergänzende Bemerkungen gemacht werden: Es versteht sich von selbst, dass die für die Reinigung von Gewinden, Ecken und schwer zugänglichen Stellen vorgesehenen Pinsel ausnahmslos nur für die Klebetechnik verwendet werden dürfen. Wer damit zwischendurch Anstreicharbeiten ausführt, schafft sich damit die allerbeste Grundlage für minderwertige Klebeverbindungen geringer Haftfestigkeit. Ähnliche Gesichtspunkte gelten auch für die Putzlumpen. Man kann ohne Übertreibung sagen, dass ein frisch gewaschenes und gebügeltes Taschentuch für unsere Reinigungsarbeiten gerade noch gut genug ist. Alles, was hinsichtlich Sauberkeit darunter liegt, scheidet mit Ausnahme von groben Vorreinigungsarbeiten aus und darf auf keinen Fall verwendet werden. Die Putzlumpen sollen ausserdem aus einem nichtfasernden Stoff wie Leinen oder Baumwolle bestehen.

Aceton eignet sich sehr gut für die notwendigen Entfettungs- und Reinigungsarbeiten. Es ist jedoch ausserordentlich feuergefährlich und seine Dämpfe sind explosiv. Man wird daher nur in einem gut belüfteten Raum damit arbeiten und das Rauchen strikte unterlassen. Aceton löst ferner fast alle Anstriche und Lacke sowie eine Reihe von Kunststoffen und Bodenbelägen. Mit Aceton getränkte Putzlumpen gehören daher weder auf den ungeschützten Tisch noch auf den Boden, sondern auf eine Blechunterlage oder, wenn sie nicht mehr benötigt werden, in die bereitgestellte Blechbüchse, die man dann auf den Balkon oder ins Freie stellt, wo sich das Lösungsmittel gefahrlos verflüchtigen kann. Ebensogut geeignet wie Aceton ist das von der Firma Dow Chemical Corp. auf den Markt gebrachte Reinigungsmittel «Chlorothene-NU»[2]). Es ist nicht entflammbar und weist nur eine sehr geringe Toxizität auf. Trotzdem soll man auch mit diesem Lösungsmittel nur in einem gut durchlüfteten Raum arbeiten. Eine wichtige Regel ist ferner, dass Pinsel, Werkzeuge und Putzlumpen niemals direkt in der Kanne oder Flasche mit dem Reinigungsmittel befeuchtet werden, da man dadurch sukzessive den ganzen Inhalt verschmutzt. Man giesst immer zuerst eine kleine Flüssigkeitsmenge aus dem Vorratsbehälter in eine bereitgestellte Schale, in der man dann erst diese Manipulationen ausführt. Bei der Anschaffung des Reinigungsmittels soll man nicht sparen und gleich eine grössere Menge einkaufen (1–2 Liter). Besonders Chlorothene-NU ist für zahlreiche Bastelarbeiten und ebenso im Haushalt als universelles Fleckputz- und Reinigungsmittel verwendbar.

In der *Abb. 1* sind für das Abmischen des Bindemittels ein Plättchen aus Karton und ein Spatel besonderer Form gezeigt, die sich für diesen Arbeitsgang am besten bewährt haben. Nur sehr dünnflüssige Bindemittel und grosse Klebstoffmengen wird man in einem Gefäss oder in einer Schale abmischen. Solche Kartonplättchen haben den grossen Vorteil, dass man auf ihnen Harz und Härter sehr innig durchmischen kann und dass man sie nach Gebrauch mit den Bindemittelresten einfach wegwirft. Man schneidet sie aus glattem, steifem Karton oder Preßspan in den Grössen 40 × 40 bis 80 × 80 mm aus und hält sich immer eine grössere Anzahl davon auf Vorrat.

Den Spatel für das Mischen und Auftragen des Bindemittels schnitzt man sich in der gezeigten Form aus

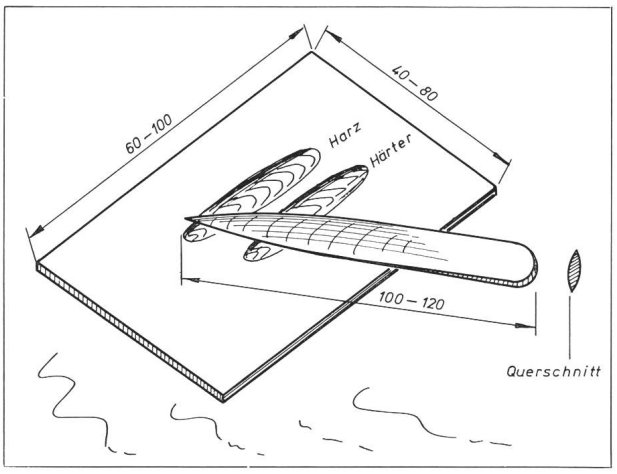


*Abb. 1:* Mischplättchen aus Karton oder Preßspan und Spatel zum Mischen und Auftragen des Bindemittels.

Hartholz und glättet ihn anschliessend sauber mit feinem Glaspapier. Eine kleinere und schlanke Ausführung davon ist für Bohrungen und kleine Klebeteile sehr zweckmässig.

Der teuerste Posten im Hilfsmittelverzeichnis sind die Schreinerzwingen. Für viele Klebearbeiten sind sie entbehrlich, für viele andere dagegen sehr erwünscht oder sogar notwendig. Wenn sie noch nicht im Bastelwerkzeug vorhanden sind, lohnt sich ihre Anschaffung auf jeden Fall, da sie für zahllose Arbeiten ein sehr nützliches und vielseitig verwendbares Hilfsmittel sind. Günstig ist die Anschaffung von 2–4 kleinen Bastelzwingen leichter Bauart und 2–3 grösseren Schreinerzwingen.

Der wichtigste Posten ist natürlich das in der Liste nicht aufgeführte Bindemittel. Es gibt heute eine ausserordentlich grosse Zahl von verschiedenen Bindemitteln und Klebstoffen und eine fast ebenso grosse Zahl von Herstellern, die vielfach Produkte mit sehr ähnlichen Eigenschaften, jedoch unterschiedlichen Namen auf den Markt bringen. Auf jeden Fall weist das heute im Handel erhältliche Sortiment ein so weites Eigenschaftsspektrum auf, dass man praktisch für jedes Klebeproblem, und sei es noch so ausgefallen, ein geeignetes Bindemittel findet. Es würde zu weit führen und den Amateur auch verwirren, wenn hier eine grössere Anzahl von Fabrikaten und Bindemitteltypen vorgestellt würde. Aus der Vielzahl wurden daher nur einige typische Bindemittel mit universeller Anwendbarkeit und guter Eignung für unsere Instrumentenbaubelange herausgegriffen. Ihre Daten und wesentlichen Eigenschaften sind in der *Tabelle I* zusammengestellt. Für besondere Anwendungen wird man sich an einen gut ausgewiesenen Hersteller solcher Bindemittel wenden, die gerne Auskunft erteilen und die entsprechenden Unterlagen vermitteln.

Nicht nur bei der Anwendung der Reinigungsmittel, sondern auch bei der Verarbeitung und Handhabung der Bindemittel ist die Beachtung von hygienischen Vorsichtsmassnahmen unerlässlich. Gewisse Härter können bei manchen Personen, besonders wenn eine allgemeine Allergie vorliegt, zu Hautrötungen, Reizungen und Ausschlägen führen. Einige Klebestoffe auf der Basis von Cyanakrylatharzen, wie Eastman 910, sind sogar giftig. Es ist daher grösste Vorsicht bei allen Manipulationen erforderlich, und ausserdem soll jeder direkte Kontakt solcher Stoffe mit der Haut vermieden werden. Man wird ganz allgemein Sauberkeit üben und verunreinigte Stellen sofort mit viel warmem Seifenwasser abwaschen. Es versteht sich von selbst, dass auch die Berührung von Genussmitteln und Kücheneinrichtungen mit solchen Stoffen zu vermeiden ist. Im ausgehärteten Zustand sind jedoch die Kunstharze und Bindemittel weitgehend inert und unschädlich.

| Bindemittel-Gruppe | Bindemittel-Typ (Konsistenz der Komponenten) | | Harzbasis des Bindemittels | Lagerzeit bei Raumtemp. |
|---|---|---|---|---|
| | Harz | Härter | | |
| 1-Komponenten Kalthärter | Cyanolit 202 (klar dünnflüssig) | | Cyanakrylat | 1 Jahr bei 5° |
| | Eastman 910 (klar dünnflüssig) | | Cyanakrylat | 6 Mon. bei 5° |
| | Tixo K-20 | | Cyanakrylat | 6 Mon. bei 5° |
| | Loctite Monomet 310 (farblose Paste) | | Poly-Akrylharz | 1 Jahr |
| Zweikomponenten Kalthärter | Araldit AW 106 (opak dickflüss.) | HV 953 U (gelb dickflüss.) | mod. Epoxyharz | 2 Jahre |
| | Araldit AW 108 (beige Paste) | HV 997 (beige Paste) | mod. Epoxyharz | 1 Jahr |
| | Araldit AW 116 (beige Paste) | HV 953 U (gelb dickflüss.) | mod. Epoxyharz | 1 Jahr |
| | Grilonit K 60.161 (gelb dickflüss.) | Grilonit HK 60.201 (gelb dickflüss.) | mod. Epoxyharz | 1 Jahr |
| | EC-1614-B (gelbbraune Paste) | EC-1614-A (gelbbraune Paste) | mod. Epoxyharz | 1 Jahr |
| | EC-1838-B (crème Paste) | EC-1838-A (grüne Paste) | mod. Epoxyharz | 1 Jahr |
| | EC-2216-B (weisse Paste) | EC-2216-A (graue Paste) | mod. Epoxyharz | 6 Mon. bei 5° |
| 1-Komponenten Warmhärter | EC-1386 EC-2086 (elfenbeine Paste) | | mod. Epoxyharz | 1 Jahr bei 5° |
| | EC-2214 (aluminium Paste) | | mod. Epoxyharz | 1 Jahr bei 5° |
| | Araldit AV 8 (Paste) | | Epoxyharz | 6 Mon. |

### 1. *Vorbereitungsarbeiten und Arbeitsplanung*

Es ist dies ein Kapitel, dem vielfach nicht die Beachtung geschenkt wird, die es eigentlich verdient. Gerade der Anfänger neigt dazu, sich schnell und ohne lange Überlegungen und Vorbereitungen an die Arbeit zu machen und einfach flugs die Teile zusammenzukleben. Neben minderwertigen und wenig festen Klebeverbindungen sind dann meistens die Folgen, dass man zum Beispiel in der ganzen Wohnung nervös nach einem Hilfsmittel zu suchen beginnt, das man sich vorher nicht zurechtgelegt hat, dass im Handumdrehen der ganze Tisch mit Bindemittel verschmutzt ist und klebt, weil man sich nicht die Mühe nahm, ihn

| chungs-<br>hältnis<br>ichtsteile)<br>z:Härter | Verarbeitungs-Zeit bei Raumtemp. | Aushärtebedingungen<br>Zeit | volle Aushärtung nach<br>bei<br>Temp. | <br>Zeit | Zugscher-festigkeit b. Raumtemp. kp/cm² | Härteverhältnisse der Klebeverbindung | Hersteller | Vertreten durch Firma (Adresse) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | einige sec | 10–30 min<br>einige min | 20°<br>80° | 12 h | 200–250 | hart | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG<br>Sihlquai 55<br>8031 Zürich |
| | einige sec | einige min | 20° | 12 h | 200–300 | hart, spröde | Eastman-Kodak | Merz & Benteli AG<br>Bümplizstrasse 91<br>3018 Bern |
| | einige sec | einige min | 20° | 12 h | 200–250 | hart<br>(mittelhart) | Tixo KG | S. Kissling & Cie.<br>Postfach 100<br>8048 Zürich |
| | | 24–28 h<br>10–15 min | 25°<br>100° | 7 Tage<br>— | 200–240 | mittelhart<br>gute Schälfest. | Loctite Corp. | Schoellkopf & Co.<br>Schaffhauserstr. 265<br>8057 Zürich |
| 100:100<br>100: 60 | 75 min | 7–12 h<br>60 min | 20°<br>100° | 7 Tage<br>— | 100–120<br>200–300 | elastisch<br>gute Schälfest. | Ciba-Geigy AG | Basel |
| 100:100<br>100: 60 | 30 min | 7–12 h<br>10–20 min | 20°<br>100° | 3 Tage<br>— | 100–220 | mittelhart | Ciba-Geigy AG | Basel |
| 100:100<br>100: 60 | 90 min | 12–24 h<br>15–20 min | 20°<br>100° | 5 Tage<br>— | 100–200 | elastisch<br>gute Schälfest. | Ciba-Geigy AG | Basel |
| 100:100 | 2 h | 15–24 h<br>20 min | 20°<br>100° | 3 Tage<br>— | 150–220 | mittelhart<br>gute Schälfest. | Emser Werke AG | 7013 Domat/Ems |
| 100:100 | 90 min | 2 Tage<br>10–15 min | 20°<br>100° | 7 Tage<br>— | 100–130<br>200–250 | mittelhart | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG |
| 100:100 | 60 min | 2 Tage<br>20–30 min | 20°<br>100° | 7 Tage<br>— | 180–200<br>200–300 | hart | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG |
| 100:150 | 75 min | 2 Tage<br>30 min | 20°<br>100° | 7 Tage<br>— | 180–200 | elastisch<br>gute Schälfest. | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG |
| | | 1–2 h<br>1 h | 160°<br>200° | | 300–380 | mittelhart<br>gute Schälfest. | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG |
| | | 1 h<br>5 min | 120°<br>180° | | 300–350 | mittelhart<br>gute Schälfest. | 3-M Corp. | Wahl + Lehmann AG |
| | | 4 h<br>1 h | 150°<br>180° | | 200–290 | hart | Ciba-Geigy AG | Basel |

*Anmerkungen zur Bindemittel-Tabelle*

a) Bei vielen Bindemitteln auf Epoxyharzbasis führt eine vermehrte Beimischung von Härter zu elastischeren, aber weniger festen Klebeverbindungen. Damit hat man die Möglichkeit, in gewissen Grenzen die Härte der Verklebung den Gegebenheiten und Anforderungen anzupassen.

b) Den angegebenen Festigkeitswerten sind Zugscherversuche an einfach überlappten Verklebungen zweier 25 mm breiter Streifen aus 1.5 mm dickem Anticorrodalblech zugrundegelegt. Die Klebeflächen wurden dabei sorgfältig entfettet und chemisch angeätzt. Ferner wurde ein optimaler Klebespalt sowie optimale Mischungsverhältnisse und Aushärtebedingungen gewählt. Der Anfänger rechnet bei seinen Klebeverbindungen mit etwas geringeren Festigkeitswerten.

c) Elastizität und Zugscherfestigkeit sind ungefähr invers einander zugeordnet. Feste und wenig elastische Verbindungen sind an und für sich im Instrumentenbau erwünscht, da sie eine geringe innere Deformation aufweisen. Solche Verbindungen sind jedoch sehr schlag- und schälempfindlich und sollen daher nur dort angewendet werden, wo keine Stoss- und Vibrationsbeanspruchungen auftreten und in der Klebefuge eindeutige Schubspannungen herrschen. Bei unbestimmten und ungünstigen Belastungsfällen (siehe 1. Teil) sind etwas elastischere Bindemittel vorzuziehen.

vorher mit Packpapier zu belegen, dass die bereits mit Bindemittel versehenen Teile nicht zusammenpassen, dass man beim Zusammenspannen der Teile keine Fixiervorrichtung zur Hand hat und plötzlich registriert, dass eine Schreinerzwinge allein dazu einfach nicht genügt, dass ... usw. Diese und ähnliche Situationen lassen sich jedoch immer vermeiden, wenn man sich das vorliegende Klebeproblem in aller Ruhe überlegt, sich die dafür erforderlichen Hilfsmittel griffbereit zurechtlegt, nicht hastig darauflosszuwerken beginnt und einige einfache Grundregeln beachtet. Zu diesen Grundregeln gehören:

- dass man den Arbeitstisch frei macht und für genügend Platz sorgt;
- dass man den Tisch mit Packpapier belegt, um ihn gegen Verschmutzung zu schützen;
- dass man schon zu Beginn der Arbeit für eine gute Belüftung des Raumes sorgt und sieht, ob dies die übrigen «Mitbewohner» nicht stört;
- dass man alle Hilfsmittel griffbereit und funktionsgerecht zurechtlegt;
- dass man das abgemischte Bindemittel nicht unmittelbar zur rechten Hand ablegt, weil man sonst sicherlich im Laufe der Arbeit mit dem Ellbogen oder der Hand hineintappt;
- dass man die zu verklebenden Teile vorher probeweise zusammenfügt, ihre gegenseitige Position markiert und wirklich alle notwendigen Anpass- und Nacharbeiten ausführt;
- dass man auch die Fixiermanipulationen an den Teilen simuliert. Dabei wird man oft mit Erstaunen feststellen, dass dies gar nicht so einfach ist, wie man es sich vorstellte und dass man dazu vielleicht noch ein besonders geformtes Brettchen, eine einfache Hilfsvorrichtung, einige Kartonplättchen als Unterlagen oder auch einen Anschlagwinkel für die Kontrolle der Rechtwinkligkeit benötigt. Oder aber man merkt, dass man bei einer ganz komplizierten Manipulation sogar einen Mitarbeiter und Gehilfen benötigt, der natürlich vorher genau zu instruieren ist;
- dass man sich überlegt, ob man nicht gleich mehrere Teile in Arbeit nehmen und verkleben kann, für die dann nur einmal das Bindemittel abzumischen und alle Vorbereitungsarbeiten auszuführen sind;
- dass man sich bei komplizierten und insbesondere mehrfachverklebten Teilen die Reihenfolge der Verklebung sehr genau überlegt. Vielfach ist das Zusammenfügen von nur zwei Teilen bereits recht schwierig, es wird dann bei drei und mehr Teilen oft geradezu unmöglich. In einem solchen Fall wird man nicht zuviel auf einmal machen wollen und sich Zeit lassen. Zuerst werden die Grundteile verklebt und aushärten gelassen und danach sukzessive die weiteren Verklebungen ausgeführt.

Wenn man auf diese Weise vorgeht, wird man unliebsame und nervöse Situationen vermeiden, und der ganze Arbeitsablauf wird einem leicht von der Hand gehen. Zur Reihenfolge der Verklebung einzelner Teile sei noch eine Bemerkung gemacht: Ein wesentlicher Vorteil der Klebetechnik ist, dass sich grössere Werkstücke realisieren lassen als auf den zur Verfügung stehenden Einrichtungen und Werkzeugmaschinen bearbeitet werden können. Die fertig bearbeiteten Teile können ohne wesentliche Einschränkung der Präzision verklebt werden. Die Herstellung solcher Teile erfordert aber einen besonders genau überdachten Arbeitsplan und zweckmässige Positionierschablonen, damit die Genauigkeit auch wirklich erhalten bleibt. Es kann sich jedoch auch die andere Situation ergeben, dass man nämlich zweckmässigerweise zuerst die Einzelteile verklebt und erst danach die spanabhebenden Bearbeitungen durchführt. Dies ist dann angebracht, wenn eine sehr hohe Präzision erforderlich ist oder die Bearbeitung am fertigen Werkstück einfacher durchzuführen ist. Ein Beispiel dazu wäre die Bearbeitung eines Lagerwinkels. Ein solcher ist auf der Drehbank nur recht schwer aufzuspannen und zu bearbeiten. Verklebt man jedoch die zwei Lagerwinkel eines Achssystems zu einem geschlossenen Achswürfel, dann lässt sich ein solcher sehr einfach auf der Planscheibe aufspannen und in zwei zueinander senkrechten Ebenen bearbeiten.

*2. Vorbehandlung und Reinigung der Klebeflächen*

Als erstes wird man sehen, dass die Klebeflächen einigermassen genau aufeinanderpassen und sich auch ein gleichmässiger Klebespalt von ungefähr 0.1 bis 0.2 mm einstellen kann. Ein solcher Klebespalt ergibt die besten Festigkeitswerte. Vorstehende und störende Flächenerhöhungen sind mit einer Feile nachzuarbeiten. Wieweit bei diesen Anpassarbeiten gegangen wird, hängt weitgehend von der gewünschten Präzision und Festigkeit ab. Sehr glatte Flächen müssen ausserdem aufgerauht werden. Auch dies lässt sich mit einer feinen Schlichtfeile oder mit Schmirgeltuch Nr. 80 bis Nr. 100 machen. Sehr dünnwandige und präzise Teile wird man mit feinerem Schmirgelleinen behandeln. Beim Aufrauhen arbeitet man immer im «Kreuzstrich» über die Flächen hinweg. Eine richtig aufgerauhte Fläche muss gleichmässig matt erscheinen und darf keine glänzenden Stellen aufweisen. Eine ausgezeichnete Methode, Klebeflächen anzupassen und aufzurauhen, ist, sie in der vom Spiegelschliff bekannten Weise mit Karborundumpulver Nr. 120 gegeneinander anzuschleifen. Nach dem Anschleifen werden die Flächen gründlich mit Wasser abgespült und im Backofen getrocknet. Solche Flächen weisen eine sehr gute Reinheit auf und dürfen danach nicht mehr mit den Fingern oder anderen Gegenständen berührt werden. Es wurde schon im ersten Teil erwähnt, dass Oxyd- und Zunderschichten sowie alle Farbanstriche vollständig entfernt werden müssen. Welche Methode man dafür anwendet, wird man von Fall zu Fall untersuchen müssen.

Das Entfetten und Reinigen der Flächen erfolgt mit Aceton oder Chlorothene-NU. Stark verschmutzte Flächen wird man zuerst mit Haushaltskreppapier abreiben und vorreinigen, danach werden sie mehrmals mit einem lösungsmittelgetränkten Putzlappen abgerieben, wobei jedesmal ein neuer Putzlappen zu verwenden ist. Die letzte Reinigung muss besonders sorgfältig und sowohl mit einem absolut sauberen Putzlappen als auch mit einem nicht verunreinigten Lösungsmittel erfolgen. Bohrungen, Gewinde, Kleinteile und kompliziert geformte Flächen werden im Tauchverfahren und/oder mit einem Pinsel gereinigt. Ein rigoroser Test für einwandfrei gereinigte Flächen ist die Wasserbenetzungsprobe. Man gibt einige Tropfen destilliertes Wasser auf die gereinigten Flächen, auf

denen sich ein zusammenhängender Wasserfilm ausbreiten muss. Findet keine einwandfreie Benetzung statt, zieht sich das Wasser an einigen Stellen zurück oder perlt sogar in Tropfen ab, so weist dies auf ungenügend gereinigte Flächen hin. Es wird dem Amateur empfohlen, an einem öligen Blechstück einmal einen Reinigungsversuch zu üben und den beschriebenen Test zu machen. Er wird bald sehen, dass dies gar nicht so einfach ist und es dazu einiger Übung bedarf. Er kann dabei auch recht eindrücklich die Auswirkung eines Fingerabdruckes auf der Fläche untersuchen. Bestehen die Flächen den Benetzungstest, so sind sie für die meisten Klebearbeiten genügend gereinigt und müssen vorher nur noch im leicht vorgewärmten Backofen getrocknet werden. Die besten Festigkeitseigenschaften ergeben jedoch chemisch vorbehandelte Flächen. Es handelt sich dabei um spezielle Ätzprozesse. Da unterschiedliche Metalle und Werkstoffe auch verschiedene Ätzbäder erfordern, wäre eine detaillierte Behandlung dieser Methoden viel zu umfangreich. Es muss hier auf die entsprechende Literatur verwiesen werden[3]). Es soll jedoch ein Ätzbad für Aluminium und Leichtmetallegierungen beschrieben werden, da diese Werkstoffe bevorzugt im Instrumentenbau Anwendung finden. Diese Ätzlösung ist unter dem Namen «Pickling-Beize» bekannt. In 65 Gewichtsteilen Wasser werden 28 Gewichtsteile konzentrierte Schwefelsäure langsam eingerührt. Niemals darf Wasser in konzentrierte Schwefelsäure eingerührt werden, da dieser umgekehrte Prozess zu einer ausserordentlich heftigen exothermen Reaktion führt. Zu dieser Säurelösung werden dann noch 7 Gewichtsteile Natriumdichromat hinzugefügt. Die Ätzlösung kann in Glasflaschen aufbewahrt werden. Der Ätzprozess selber wird in geeigneten Blechbehältern aus nichtrostendem Stahl bei einer Raumtemperatur von ca. 60° durchgeführt. Die Einwirkungsdauer soll etwa 20 bis 30 Minuten betragen. Nach dieser Oberflächenbehandlung werden die Teile in fliessendem Wasser gründlich abgespült und im leicht vorgewärmten Backofen getrocknet und sind damit für den Bindemittelauftrag bereit. Gereinigte und chemisch vorbehandelte Teile sollen niemals längere Zeit an der Luft liegenbleiben, da sich auf den Flächen innerhalb kurzer Zeit wieder Oxydschichten, Wasserfilme und Ölbeläge ausbilden und niederschlagen.

Es können nach sorgfältiger Reinigung auch eloxierte Leichtmetalle und mit galvanischen Belägen versehene Werkstücke verklebt werden. Die Festigkeit solcher Klebeverbindungen ist jedoch meistens gering, da solche Oberflächen in der Regel sehr glatt sind und die Schichten ausserdem nur eine geringe Haftfestigkeit zum Grundmetall haben. Für viele Fälle reicht jedoch die dabei erzielte Festigkeit aus.

### *3. Bereitstellung des Bindemittels und Auftragen desselben*

Bei der Handhabung muss man zwischen Einkomponenten- und Zweikomponenten-Bindemitteln und zwischen Kalthärtern und Warmhärtern unterscheiden, da jede dieser Bindemittelklassen eine andere Verarbeitung erfordert. Ausserdem ist die Verarbeitung oft sehr vom Fabrikat und Bindemitteltyp abhängig. Die für jedes Bindemittel spezifischen Verarbeitungsvorschriften sind den Datenblättern und Applikationshinweisen der Hersteller zu entnehmen und möglichst genau einzuhalten. Eine gewisse Versiertheit in der Handhabung eines Fabrikates erlangt man jedoch erst durch eine ausgedehnte Anwendung desselben. Dabei werden meistens auch eine Reihe von Eigenschaften eines Produktes ersichtlich, die in keinem Datenblatt angeführt sind. Die Vermittlung solcher produktspezifischer Erfahrungswerte ist einigermassen schwierig und würde auf jeden Fall den Rahmen dieses Beitrages sprengen. Es kann jedoch sehr empfohlen werden, mit einem in der Handhabung und Anwendung noch unbekannten Bindemittel einige Probeklebungen durchzuführen. Diese liefern dann meistens mehr Erfahrungsmaterial als eine lange Beschreibung. Natürlich wird man für solche Versuche keine wertvollen Werkstücke verwenden. Die weiteren Angaben dieses Abschnittes werden sich mehr auf fabrikat-unspezifische Hinweise beschränken, die für die einzelnen Bindemittelgruppen charakteristisch sind.

#### *a)* Kalthärtende Einkomponentenkleber

Typische Vertreter dieser Gruppe sind die in der Tabelle angeführten Bindemittel auf Cyanakrylat-Basis. Hier sei nochmals darauf hingewiesen, dass es sich dabei auch um recht giftige Substanzen handeln kann, die mit der nötigen Vorsicht gehandhabt werden müssen. Bei diesen Einkomponentenklebern entfällt die Mischprozedur, was ihre Anwendung sehr vereinfacht. Sie kommen in kleinen Applikationsfläschchen als klare, dünnflüssige Substanz in den Handel. Wegen ihrer dünnflüssigen Konsistenz erfordern sie sehr genaue und mit kleiner Klebefuge aufeinanderpassende Flächen. Sie sind deshalb für die Ausfüllung von grösseren Spalten und Unebenheiten ungeeignet und wären dafür auch viel zu teuer. Sie sind jedoch ausgezeichnete Bindemittel für das Verkleben präziser Kleinteile, sind dabei sparsam im Bindemittelverbrauch, einfach in der Handhabung und ergeben sehr feste, wenn auch etwas spröde Verbindungen. Das Bindemittel wird direkt aus der Applikationsflasche in ganz dünner Schicht auf die Klebeflächen aufgetragen, die darauf sofort und ohne Druckanwendung zusammengefügt werden. Um den Klebestoff in der Fuge gleichmässig zu verteilen und eventuelle Lufteinschlüsse herauszufördern, reibt man beide Fügeteile noch leicht aneinander und presst sie darauf in der richtigen Position kurz kräftig zusammen. Dieser Pressdruck und die beim Auftragen erfolgte Einwirkung der Luftfeuchtigkeit leiten den Aushärteprozess ein, der sofort einsetzt und je nach Fabrikat nach 2 bis 12 Stunden beendet ist. Die Haftfestigkeit ist jedoch schon nach einigen Minuten so gross, dass die Teile leicht belastet werden können. Der ganze Trick bei diesen Bindemitteln ist das rasche Auftragen des Klebers und das satte Zusammenfügen der

Teile, ohne dass diese schon vorher festsitzen und ohne Einschluss von Luft.

*b)* Warmhärtende Einkomponentenkleber

Die warmhärtenden Bindemittel kommen in zahlreichen Handelsformen auf den Markt. Man findet hier Zweikomponentenharze von dünnflüssiger bis pastenartiger Konsistenz, Harze zum Aufspritzen, Bindemittel in Pulver- und Stangenform, die auf die vorgewärmten Klebeflächen aufgestreut oder aufgerieben werden, oder auch Klebefolien, die in der richtigen Form ausgeschnitten und in die Klebefuge eingelegt werden. Wir haben uns hier bewusst auf Einkomponentenkleber mit pastenförmiger Konsistenz beschränkt, da diese einfach in der Handhabung sind und im Instrumentenbau universell eingesetzt werden können. Die einzige Einschränkung ist, dass die Klebeteile die zwischen 120° und 200° liegende Aushärtetemperatur ohne Schaden zu nehmen aushalten müssen. Der grosse Vorteil dieser Bindemittel neben der einfachen Handhabung und ihrer hohen Festigkeit ist, dass ihnen der Härter bereits in optimaler Dosierung beigemischt ist. Das richtige und innige Abmischen von Harz und Härter ist ja einer jener Punkte, bei dem gerne Fehler gemacht werden, die sich dann auf die Festigkeit sehr nachteilig auswirken. Ein weiterer Vorteil ist auch bei diesen Bindemitteln der sehr sparsame Verbrauch.

Der dem Harz beigemischte Härter ist im Kaltzustand unwirksam, er wird erst bei Temperaturen über 100° aktiviert und leitet dann den Härteprozess ein. Die Applikation dieser Bindemittel ist ausserordentlich einfach und besteht einzig aus dem gleichmässigen und dünnen Auftrag auf die gereinigten und allenfalls chemisch vorbehandelten Klebeflächen. Dazu wird der beschriebene Holzspatel verwendet.

*c)* Kalthärtende Zweikomponentenkleber

Diese Bindemittel sind heute als «Tubenaraldit» und «Uhu-Plus» in weiten Kreisen bekannt und in Drogerien, Papeterien und Eisenhandlungen erhältlich. Es handelt sich dabei um Universalkleber mit weniger ausgeprägten Eigenschaften, die eine Klebeverbindung mittlerer Festigkeit und etwas höherer Elastizität ergeben, die nicht sehr empfindlich gegen Stoss- und Schlagbeanspruchung ist. In der Tabelle sind einige weitere Produkte bekannter Hersteller angeführt, die sich für die im Instrumenten- und Montierungsbau ergebenden Anforderungen sehr gut eignen.

Neben der Einhaltung des vorgeschriebenen Mischungsverhältnisses ist die innige Durchmischung von Harz und Härter ausserordentlich wichtig. Beim Mischen ist darauf zu achten, dass nicht Luft in Form von kleinen Bläschen in das Bindemittel eingemischt wird, da dies die Festigkeit beeinträchtigen würde. Dieser Effekt tritt immer dann auf, wenn man die beiden Komponenten in der üblichen Weise durch «Umrühren» zu vermischen versucht. Am besten gelingt die innige und blasenfreie Durchmischung, wenn mit dem Holzspatel eine langgezogene Streich-Knetbewegung, ähnlich wie beim Abziehen eines Rasiermessers, ausgeführt wird. Bei kleineren Bindemittelmengen mittlerer Viskosität muss gut 1 bis 2 Minuten auf diese Weise gemischt werden und bei grösseren Mengen und pastenförmiger Konsistenz entsprechend länger. Es gibt Bindemittel, wie z. B. EC-1838, bei denen Harz und Härter auffallend eingefärbt sind. Die gründliche Durchmischung wird dann durch einen gleichmässigen Zwischenfarbton angezeigt. Eine Bemerkung verdient noch die für eine Klebeaufgabe benötigte Bindemittelmenge. Der Amateur wird schon bei den ersten Versuchen feststellen, dass er jeweils eine viel zu grosse Menge abgemischt hat. Er wird auch mit einiger Wahrscheinlichkeit das Bindemittel in zu dicker Schicht auf die Flächen aufgetragen haben, so dass ein Grossteil wieder aus der Klebefuge herausgepresst wird. Überflüssige Harzmengen, die nicht innerhalb der Verarbeitungszeit aufgebraucht werden, stellen jedoch einen Verlust dar. Es ist erstaunlich, wie klein die Bindemittelmengen sind, die selbst für grössere Klebeflächen benötigt werden. Die Wahl der richtigen Menge ist weitgehend eine Erfahrungssache. Zum Auftragen selbst braucht nicht viel gesagt zu werden. Ein gleichmässiger und nicht zu dicker Auftrag ohne Lufteinschlüsse ist das einzige Kriterium. Bei dieser Arbeit braucht man keineswegs hastig vorzugehen, da die meistens kalthärtenden Zweikomponentenkleber eine Verarbeitungszeit von mindestens einer Stunde besitzen. Andererseits muss darauf hingewiesen werden, dass bereits zähflüssig gewordene Bindemittel nicht mehr verwendet werden dürfen. Dickflüssige oder pastenförmige Bindemittel lassen sich sehr gut abmischen und auftragen, wenn diese Arbeitsgänge bei erhöhter Temperatur durchgeführt werden. Man braucht dazu das Mischplättchen nur auf die vorgewärmte Kochplatte zu legen und die Teile im Backofen auf etwa 60° bis 80° zu erwärmen. Allerdings muss man dann einigermassen speditiv arbeiten, da durch diese «Vorhärtung» die Verarbeitungszeit des Bindemittels wesentlich herabgesetzt wird. Diese Technik führt zu kürzeren Aushärtezeiten und wirkt sich auch vorteilhaft auf die Festigkeit der Klebeverbindung aus, soll jedoch erst angewendet werden, wenn man einige Übung im Umgang mit dem betreffenden Bindemittel erlangt hat.

*4. Zusammenfügen und Fixieren der Klebeteile*

Die mit dem Bindemittel versehenen Klebeflächen müssen mit einem gewissen Druck zusammengefügt und ausserdem gegen Verschieben gesichert werden. Mit dem senkrecht auf die Klebeflächen ausgeübten Druck sollen die Teile nicht nur zusammengehalten werden, sondern es soll auch überschüssiges Bindemittel aus der Klebefuge soweit herausgequetscht werden, dass sich ein optimaler Spalt von 0.05–0.2 mm einstellt. Dafür darf der Druck weder zu klein noch zu gross sein. Werden nämlich zwei präzise bearbeitete Flächen mit einer Schreinerzwinge kräftig zusam-

mengepresst, so lässt sich ohne grosse Mühe das Bindemittel fast vollständig herausquetschen. Man muss hier demnach mit einem gewissen technischen Gefühl ans Werk gehen und gegebenenfalls durch Zwischenlagen ein zu weitgehendes Herausquetschen des Bindemittels verhindern. Dafür eignen sich schmale Streifen aus Papier oder Metallfolie, aber auch kurze Stücke aus 0.1 mm dickem Draht, die an einigen Stellen in die Klebefuge eingelegt werden. In manchen Fällen reicht das Eigengewicht der Teile für das Aufbringen des nötigen Druckes, in anderen Fällen wird man noch zusätzlich Gewichte auflegen müssen oder zu anderen Hilfsmitteln wie Schreinerzwingen, Wäscheklammern, Gummibändern, Klebestreifen und ähnlichem mehr greifen. Das reine Zusammenpressen der Fügeteile wird jedoch in vielen Fällen ein gegenseitiges Verschieben und Abgleiten nicht verhindern können. Das noch nicht ausgehärtete Bindemittel wirkt als gute Gleitschicht, die diese Drifteffekte sehr begünstigt. Es sind daher geeignete Massnahmen zu ergreifen, wenn man nicht nach der Aushärtung komplett verschobene Teile vorfinden will. Die eleganteste Abhilfe dagegen ist, wenn man schon bei der Konstruktion der Teile diesem Abgleiteffekt Rechnung trägt. Bewährte konstruktive Lösungen dafür sind: Zentrierungen, Nuten, Anschläge und Bünde sowie ineinandergreifende Fügeteile. Ausserdem sei hier auf die zahlreichen Fügeverbindungen des Holz- und Möbelbaues verwiesen, die ja aus einer Jahrhunderte alten Tradition und Erfahrung erwuchsen und den Gegebenheiten der Klebetechnik (Verleimung) bestens gerecht werden. Die kalthärtenden Zweikomponentenkleber sind auch für solche anspruchsvolle Holzverleimungen sehr gut geeignet. Überhaupt verdient der Werkstoff Holz eine vermehrte Beachtung beim amateurmässigen Montierungs- und Instrumentenbau. Dem Maschinenbau entlehnte Lösungen für die Positionierung zweier Teile sind Pass- und Prisonstifte sowie leichte Zentrierverschraubungen. Bei den letzteren werden die Teile mit einigen kleinen Schrauben M3 – M4 gegen ein seitliches Verschieben gesichert und gleichzeitig zusammengepresst, so dass sich weitere Spannelemente erübrigen. Solche Verschraubungen sind jedoch nur ein Positioniermittel. Sie sollen im ausgehärteten Zustand keine nennenswerten Kräfte aufnehmen, für die ja die Klebeflächen selbst richtig zu dimensionieren sind. Neben diesen Fixiermethoden gibt es noch zahlreiche andere Möglichkeiten. Bei Kleinteilen, an die keine hohen Genauigkeitsanforderungen gestellt werden, führt oft schon ein Fixieren mit Klebestreifen zum Ziel. Es lassen sich auch an den Werkstücken in einem der Verklebung vorangegangenen Arbeitsgang kleine Anschläge, Winkel und Abstützungen aus Blech aufkleben, mit denen dann die Teile in der richtigen Lage festgehalten werden. Eine weitere Möglichkeit sind Halteschablonen und Positionierlehren aus Holz oder Blech, die sich ohne grosse Mühe für die jeweils vorliegenden Gegebenheiten anfertigen lassen.

Der letzte Arbeitsgang vor der Aushärtung ist das Reinigen der Teile vom überschüssigen Bindemittel, das aus den Klebefugen herausgequollen ist. Solche Harzwülste und heruntergelaufene Tropfen beeinträchtigen das gefällige Aussehen des fertigen Teiles sehr. Im ausgehärteten Zustand ist ihre Entfernung sehr mühsam und in Ecken und schlecht zugänglichen Stellen meist sogar unmöglich. Das «Verputzen» der Teile muss daher unmittelbar nach dem Zusammenfügen erfolgen, solange der Aushärteprozess noch nicht zu weit fortgeschritten ist. Grössere Bindemittelmengen werden mit einem Spatel abgestreift und aufgenommen und danach der verbliebene Rest mit einem in Aceton getränkten Lappen sauber entfernt. Dabei ist darauf zu achten, dass nicht bei zu reichlicher Acetonanwendung das Bindemittel aus der Klebefuge herausgewaschen wird.

Es versteht sich von selbst, dass sofort nach beendeter Arbeit alle Werkzeuge, die Hilfsmittel und der Arbeitstisch und auch die Hände sorgfältig gereinigt werden. Dafür ist Aceton und auch warmes Seifenwasser gut geeignet, solange der Aushärteprozess nicht zu weit fortgeschritten ist.

### 5. *Aushärten der Klebeverbindung*

Aus der *Tabelle I* können einige Angaben über die Aushärtebedingungen verschiedener Bindemittel entnommen werden. Detaillierte Hinweise findet man in den Datenblättern der Hersteller. Die wichtigsten Punkte, die bei der Aushärtung beachtet werden müssen, sind:

- das Einhalten der mindestens erforderlichen Aushärtetemperatur;
- das Einhalten der mindestens erforderlichen Aushärtezeit bei der ihr zugeordneten Temperatur;
- ein von Krafteinwirkungen und Erschütterungen ungestörter Aushärteprozess.

Es wurde schon darauf hingewiesen, dass auch kalthärtende Zweikomponentenkleber nicht unter 20° ausgehärtet werden sollen[4]). Hingegen verkürzt eine Erhöhung der Temperatur die Aushärtezeit wesentlich und wirkt sich auch auf die Festigkeit der Verbindung sehr günstig aus. Die Zusammenhänge zwischen dem Mischungsverhältnis Harz zu Härter und der Festigkeit der Verbindung mit der Aushärtezeit als Parameter sind in der *Abb. 2* dargestellt. Es handelt sich dabei um Verbindungen mit Araldit AW 106 + HV 953 U. Es sind aus diesem Diagramm die wesentlich besseren Festigkeitseigenschaften einer Verbindung, die bei höherer Temperatur ausgehärtet wurde, ersichtlich. Bei Kleinteilen lässt sich eine solche «Warmaushärtung» sehr gut auf der Kochplatte ausführen, die auf der niedersten Heizstufe vorgewärmt wurde. Für grössere Teile und warmhärtende Bindemittel ist der Backofen gut geeignet. Bei Warmhärtern ist allerdings eine genaue Messung und Kontrolle der Temperatur unerlässlich, damit einerseits die vorgeschriebene Härtetemperatur auch mit Sicherheit erreicht wird und damit andererseits auch wieder Temperaturen weit über 200° nicht überschritten werden. Nach

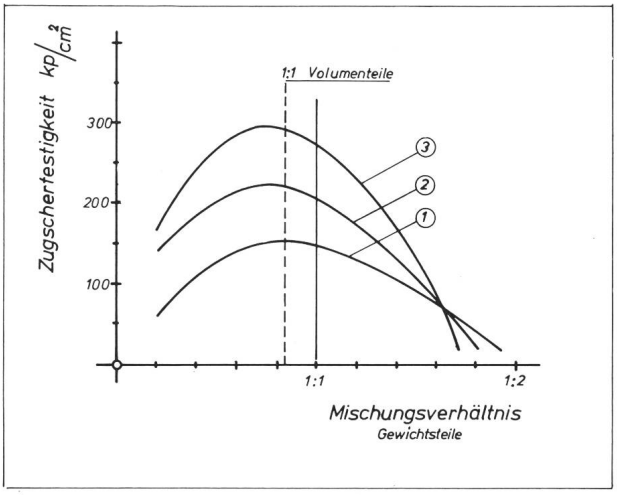


*Abb. 2:* Abhängigkeit der Zugscherfestigkeit vom Mischungsverhältnis und von den Aushärtebedingungen: ① Aushärten bei 20° während 24 Stunden, ② Aushärten bei 100° während 30 Minuten, ③ Aushärten bei 180° während 10 Minuten.

einigen Messungen und Versuchen weiss man dann, auf welcher Heizstufe sich im Backofen eine Beharrungstemperatur einstellt, die für das Aushärten günstig ist. Die Aushärtezeiten sind eher etwas länger als zu knapp zu wählen, da ja die Teile auch eine gewisse Zeit für die Aufheizung benötigen und ausserdem eine verlängerte Aushärtung in keiner Weise schadet, vorausgesetzt, dass man mit der Temperatur nicht bis an die Grenze der Warmfestigkeit des Bindemittels geht. Kalthärter erreichen ihre grösste Festigkeit erst nach mehreren Tagen. Hoch ausgenützte Verbindungen dürfen daher nicht zu früh belastet werden. Auch bei Warmhärtern ist mindestens eine langsame Abkühlung auf Raumtemperatur abzuwarten, ehe man sie belastet. Für die Aushärtung müssen die Teile vollkommen ruhig und ohne Erschütterungen gelagert werden. Auch sollen Teile, die sich gegenseitig zu verschieben beginnen, nicht ständig zurechtgedrückt werden. Dies tritt dann auf, wenn die Fixierung der Teile unzulänglich war, und in einem solchen Fall fängt man am besten wieder von vorne an, da solche Klebeverbindungen fast immer eine stark reduzierte Festigkeit aufweisen.

In einer weiteren Artikelfolge ist vorgesehen, die klebegerechte Konstruktion der Fügeteile zu behandeln, wozu konkrete Beispiele aus dem Montierungsbau und der optischen Feinwerktechnik herangezogen werden.

*Fussnoten und Literaturhinweise:*

1) Der erste Teil dieser Artikelserie erschien im ORION 29. Jg. (1971) Nr. 123, S. 35–41.

2) Das von der Dow Chemical Corp. hergestellte Reinigungs- und Entfettungsmittel «Chlorothene-NU» wird in der Schweiz von den Firmen Scheller AG, Hottingerstrasse 21, 8032 Zürich, und Prochem AG, Lagerstrasse 33, 8004 Zürich, vertrieben. Technische Unterlagen sind direkt bei der Dow Chemical Europe S. A., Alfred-Escher-Strasse 82, 8027 Zürich, erhältlich.

3) Angaben über die chemische Oberflächenbehandlung findet man:
– Druckschrift Teil B «Vorbehandlung metallischer und nichtmetallischer Werkstoffe für die Verklebung mit Araldit-Bindemitteln», Ciba-Geigy AG.
– Druckschrift «Werkstoff-Vorbehandlung für den Einsatz der Loctite-Industriekleber», Loctite Corp.
– Standardwerk der Metallklebetechnik: A. Mattig, «Metallkleben», Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg und New York.

4) Es gibt auch Zweikomponentenkleber auf dem Markt, die bei tieferen Temperaturen aushärten.

5) Zugezogene Literatur: siehe Literaturverzeichnis 1. Teil im ORION 29. Jg. (1971) Nr. 123, S. 41, ferner:
– H. Rüegsegger: Nieten, Schweissen oder Kleben? Hinweise für klebegerechte Konstruktionen. Zeitschr. f. Schweisstechnik Nr. 12 (1966) S. 463–469.
– W. Jurt: Metallkleben von Aluminiumprofilen. Aluminium-Rundschau Nr. 5 (1967) 7, S. 149–156.
– Datenblätter und Prospekte über Bindemittel lieferten: Ciba-Geigy AG, Basel; 3-M Corp. (Minnesota Mining and Manufacturing Corp.), vertreten durch Wahl + Lehmann; Loctite Corp., vertreten durch S. Kissling AG, Zürich; Emser Werke AG, Zürich; Tixo, vertreten durch Schöllkopf und Co., Zürich; Eastman Co., vertreten durch Merz & Bentli AG, Bern.

*Adresse des Verfassers:* Herwin G. Ziegler, El.-Ing., Hertensteinerstrasse 23, 5415 Nussbaumen.

# Bibliographie

Hans Haffner und Albert Eisenhuth: *Das Weltall im Bild*, Photographischer Himmelsatlas. Verlag Styria, Graz, Wien, Köln, 2., durchgesehene und erweiterte Auflage, 1971; 28 Seiten Text und 205 Photographien.

Im ORION *12* (1967) Nr. 102, Seite 115, haben wir unserer Begeisterung über die Erstauflage dieses Werkes Ausdruck gegeben. In der Zwischenzeit hat die Astronomie wiederum grosse Fortschritte gemacht, denken wir doch nur an die Pulsare, an die Mondlandungen und an die photographischen Marssonden.

Speziell die wunderbare Ausbeute an Photographien des Mondes und des Mars durch Raumsonden haben den Verfasser und den Verlag bewogen, das Buch in einer zweiten Auflage dem Publikum zugänglich zu machen.

Der Aufbau des Buches wurde unverändert beibehalten: Im Textteil gibt uns Prof. Dr. Hans Haffner eine sehr präzise, leicht lesbare Einführung in die wesentlichen Grundlagen der Astronomie, wobei er vom Nahen, vom Sonnensystem, zum Fernen, den Galaxien, geht.

Im zweiten Teil werden 205 der schönsten Farb- und Schwarzweiss-Bilder auf schönstem Kunstdruckpapier vorgestellt. Die Verfasser sind zur glücklichen Auswahl der Bilder zu beglückwünschen, ist doch alles wesentliche vorhanden, von der Sonnenfinsternis bis zum Quasar 3C 273 mit dem sonderbaren Gasstrahl.

Das Buch ist jedem Sternfreund, der sich an den Schönheiten des Himmels zu begeistern weiss, wärmstens zu empfehlen.

Niklaus Hasler-Gloor

*Sterngucker*, Pfadfinderheft Nr. 9, 2. Auflage, herausgegeben vom Schweizer Pfadfinderbund; 74 Seiten; Fr. 3.60.

Ein verdienstliches kleines Werk, das ich jedem jungen Sternfreund, aber auch jedem Lehrer freudig empfehle. Das Büchlein, mit zahlreichen, geschickten Zeichnungen des sachverständigen Verfassers, Forstmeister Karl Oechslin RFm in Altdorf, ist eine elementare Einführung in die Himmelskunde, wie es kaum eine zweite gibt: Einfach, praktisch und leicht verständlich auch