Die Kunstharzklebetechnik im Amateur-Instrumentenbau

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

Objekttyp: **Article**

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

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

Heft 123

PDF erstellt am: **29.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-899909

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

ORION

Zeitschrift der Schweizerischen Astronomischen Gesellschaft
Bulletin de la Société Astronomique de Suisse

29. Jahrgang, Seiten 33–64, Nr. 123, April 1971 | 29e année, pages 33–64, No. 123, avril 1971

Die Kunstharzklebetechnik im Amateur-Instrumentenbau

von Herwin G. Ziegler, Nussbaumen

Résumé

Dans la première partie de cet article, seront exposés les principes généraux de la technique de collage aux résines synthétiques, et les applications de cette dernière à la construction d'instruments par les amateurs. On insistera sur les exigences spécifiques que la construction des instruments et leur montage présentent quant aux éléments de liaison, et on montrera comment on peut les satisfaire par le système du collage. On décrira aussi les propriétés typiques des liaisons dues au collage, et on discutera tout particulièrement de la grandeur des forces qui déterminent la solidité de la liaison.

La seconde partie traitera de la technique du collage, de la façon de s'y prendre et des artifices du métier. Il s'agira donc du côté pratique de cette technique.

Dans la troisième partie il sera finalement question de l'assemblage des différentes parties par un collage convenable. On montrera aussi comment éviter les arrangements défavorables et les accidents dus à une surcharge. La technique du collage ne donne de bons résultats que si l'on a bien pris en considération, dès le stade de la construction, les propriétés spécifiques de cet élément de collage, si intéressant pour l'amateur.

Zusammenfassung

Im 1. Teil des hier vorliegenden Artikels werden die allgemeinen Gesichtspunkte der Kunstharzklebetechnik und ihre Anwendungen im Amateur-Instrumentenbau behandelt. Es wird auf die spezifischen Anforderungen eingegangen, die der Instrumenten- und Montierungsbau an die Verbindungselemente stellt, und gezeigt, wie diese durch Klebeverbindungen einwandfrei erfüllt werden können. In diesem Teil werden auch die typischen Eigenschaften der Klebeverbindungen beschrieben, wobei besonders die Einflussgrössen erörtert werden, die die Festigkeit der Verbindung bestimmen.

Der 2. Teil wird dann auf die Technik des Klebens, das «know how» und die Kniffe eingehen. Er wird also die praktische Seite der Klebetechnik behandeln. Im 3. Teil wird schlussendlich die klebegerechte Konstruktion der Teile besprochen und vor Augen geführt, wie man für die Klebeverbindung ungünstige Belastungsfälle und Anordnungen umgeht. Hier wird dann auch gezeigt, dass eine Klebeverbindung nur dann einwandfreie Resultate ergibt, wenn schon im Konstruktionsstadium auf die spezifischen Eigenheiten dieses für den Amateur interessanten Verbindungselementes Rücksicht genommen wird.

1. Teil

Der sich seine Instrumente und Geräte selbst bauende Amateur wird immer wieder mit dem Problem der Herstellung und der dafür notwendigen Hilfsmittel und Einrichtungen konfrontiert. Im heutigen hektischen Wirtschaftsleben ist es nicht leicht, einen Mechaniker oder eine Werkstätte zu finden, die bereit sind, auf unsere Amateurwünsche einzugehen. Hat man doch das Glück, eine präzis arbeitende Werkstätte zu finden, dann wird man meistens von den horrenden Preisen überrascht, die man selbst für einfache Teile zahlen muss. Der Amateur wird daher in den meisten Fällen darauf angewiesen sein, sich seine Instrumente weitgehend selbst zu bauen. Das Gelingen und der Erfolg beim Selbstbau der Instrumente hängt jedoch nur in geringem Masse von den zur Verfügung stehenden Einrichtungen ab, der viel wichtigere Punkt ist die Geschicklichkeit und der Einfallsreichtum des Amateurs. Mit findigen Ideen, einfachen Hilfsmitteln und guten Kniffen kann man sich ohne weiteres Möglichkeiten erschliessen, die sonst nur gut eingerichteten Werkstätten zugänglich sind. Die Kunstharzklebetechnik ist sicherlich eines dieser Hilfsmittel, sie trägt bei sinnvoller Anwendung wesentlich zur Vereinfachung, zur Verminderung des Bearbeitungsaufwandes und damit zur Verbilligung unserer Geräte bei. Die Klebetechnik hat heute aber auch der industriellen Fertigungstechnik Möglichkeiten erschlossen, die vorher undurchführbar oder nur sehr schwierig zu realisieren waren.

Jedes Gerät oder Instrument besteht aus einer mehr oder weniger grossen Anzahl von Einzelteilen, die durch geeignete Verbindungselemente verbunden werden müssen. Die Technik kennt sehr viele Verbindungselemente, die man in zwei Gruppen unterteilen kann.

1) Lösbare Verbindungen
2) Unlösbare Verbindungen

Zur ersten Gruppe gehören, um nur einige zu nennen, die Verbindungen mit Schrauben, Keilen, Stiften, Bolzen und auch die Schrumpfverbindungen. Diese Verbindungen können alle bei Bedarf gelöst und die damit verbundenen Teile wieder getrennt werden. Damit soll jedoch noch nicht zum Ausdruck gebracht werden, dass z. B. zwei verschraubte Teile auch funktionell wirklich je wieder getrennt werden müssen. In die Gruppe der unlösbaren Verbindungen gehören die Nietverbindungen, die Bördelverbindungen, sowie die Löt-, Schweiss- und Klebeverbindungen.

Jede Verbindungsart hat ihre ganz spezifischen Eigenschaften, die sie für den einen oder anderen Anwendungsfall besonders geeignet macht. Jede Verbin-

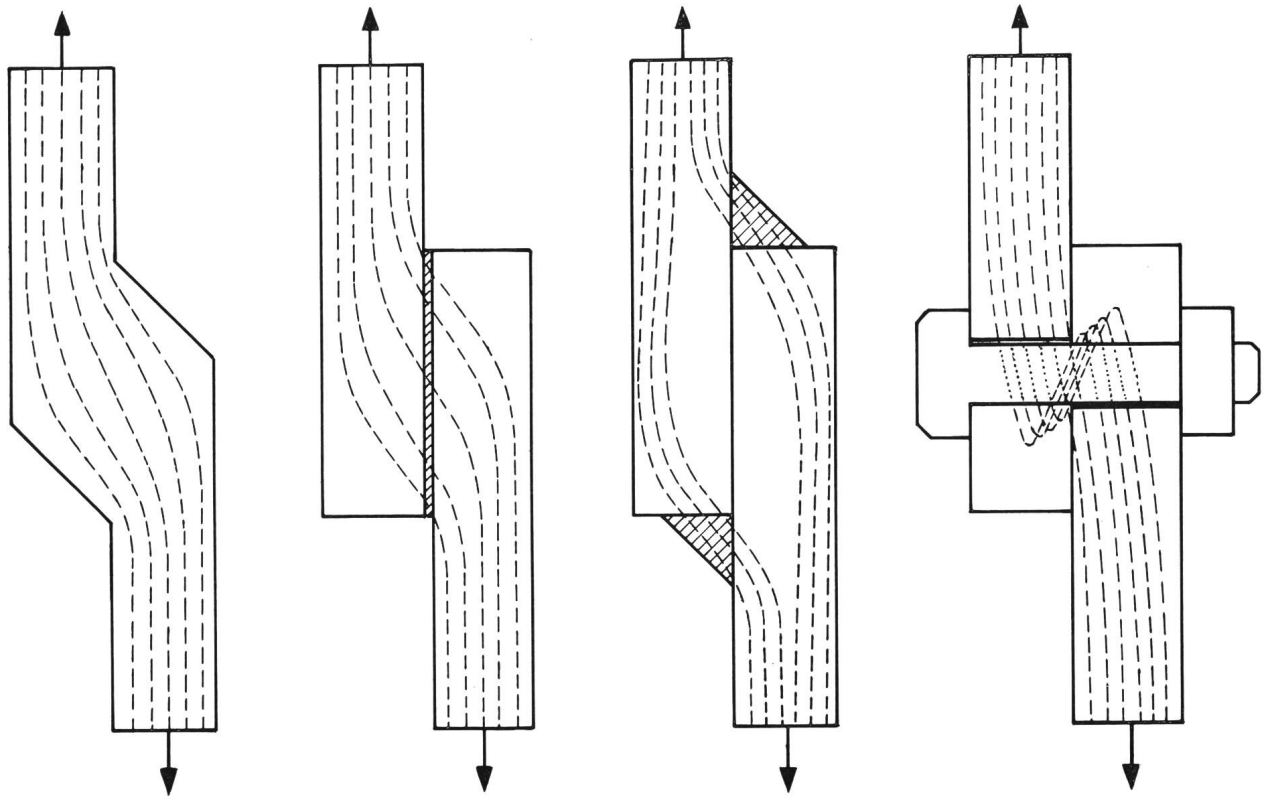
dungsart erfordert aber auch ganz besondere Einrichtungen für ihre Herstellung, die nicht immer ganz billig sind. So ist jedem Amateur bekannt, dass etwa eine Schweissanlage mit dem notwendigen Zubehör beträchtliche Investitionen erfordert, ganz abgesehen davon, dass das Schweissen selber eine recht anspruchsvolle Sache ist, die gelernt und gekonnt sein will.

Für den Amateur sind aber nur Methoden interessant, die einfach in der Handhabung sind, die keine kostspieligen Werkzeuge und Einrichtungen erfordern und trotzdem keinen technischen Kompromiss darstellen. Die Klebetechnik erfüllt diese Anforderungen in idealer Weise. Die Gefahr von Misserfolgen wird jedoch immer dann auftreten, wenn man ein Verfahren mit seinen Eigenheiten und Grenzen nicht genau kennt und es kritiklos anwendet. Aus diesem Grunde wird hier auf die Eigenheiten der Kunstharzklebetechnik detailliert eingegangen, wobei zuerst auf die Anforderungen hingewiesen wird, die der Montierungsbau an die Verbindungselemente überhaupt stellt. Es wird sich dabei zeigen, dass das in der Technik bekannte Kriterium der «Festigkeit» für den Montierungsbau vollkommen belanglos ist und hier ganz andere Kriterien ins Spiel kommen.

Die Qualität eines Teleskopes wird in erster Linie nach seiner Starrheit, seinem Schwingungsverhalten und seiner Spielfreiheit zu beurteilen sein. Eine Konstruktion wird man als «starr» ansprechen können, wenn sich ihre Teile unter den Wirkungen der Kräfte nur sehr wenig dehnen, deformieren und durchbiegen. Der Begriff der Schwingungsfreiheit soll hier besser durch den Begriff der Eigenfrequenz ersetzt werden[1]), da es in der Technik keine absolut schwingungsfreien Gebilde gibt. Wie einfache theoretische Betrachtungen zeigen, wird man von einer Montierung eine möglichst hohe Eigenfrequenz fordern. Eine Konstruktion mit hoher Eigenfrequenz wird bei einer Anregung durch einen Stoss einerseits nur eine kleine Auslenkung erfahren, andererseits aber auch wieder rasch zur Ruhe kommen. Starrheit und hohe Eigenfrequenz gehen in vielen Punkten Hand in Hand, so dass einem starren Gebilde auch eine hohe Eigenfrequenz zugeordnet werden kann. Es ist auch heute noch eine weit verbreitete Ansicht, dass zur Erzielung dieser beiden Eigenschaften Werkstoffe mit hoher Festigkeit notwendig sind und man eine Konstruktion mit hohem Gewicht anzustreben hat. Diese beiden Ansichten sind physikalisch grundsätzlich falsch, ein Umstand, auf den der Amateur nicht oft genug aufmerksam gemacht werden kann. Die Festigkeit der verwendeten Werkstoffe tritt in den Formeln, die die Dehnung, Deformation und Durchbiegung eines Konstruktionsteiles beschreiben, gar nicht auf. Für die Dehnung, Deformation und Durchbiegung ist nur die geometrische Form des Teiles und der Elastizitätsmodul des verwendeten Werkstoffes massgebend. Der Elastizitätsmodul ist eine Materialeigenschaft, eine für jeden Werkstoff charakteristische Grösse, die jedoch in keinem direkten und einfachen Zusammenhang mit der Festigkeit des betreffenden Werkstoffes steht. So ist der Elastizitätsmodul von billigem Walzeisen gleich gross wie jener eines hochwertigen Chrom-Nickelstahles höchster Festigkeit. Das gleiche gilt auch für Aluminium und seine Legierungen, so dass sich das als sehr weich bekannte Reinaluminium bezüglich Dehnung und Durchbiegung in keiner Weise von einer hochfesten Aluminiumlegierung unterscheidet. Der Begriff der Festigkeit ist nur bei jenen Konstruktionen von Bedeutung, bei denen es auf die Sicherheit gegen Bruch ankommt, und nicht bei allen jenen Anwendungsfällen, bei denen Dehnung, Deformation und Durchbiegung die bestimmenden Kriterien sind.

Wenn wir uns dem Gewicht der Konstruktionsteile zuwenden, dann ist leicht einzusehen, dass dieses sich an den wesentlichen Teilen einer Teleskopmontierung sehr ungünstig auswirkt und nur an wenigen Orten, wie etwa der Säule, angebracht erscheint. Die Dehnung und Durchbiegung eines Teiles ist der ihn belastenden Kraft direkt proportional. Ein schwerer Teil wird durch sein Eigengewicht stärker belastet als ein leichter Teil. Die sogenannten «Schwerkonstruktionen» sind daher kein geeignetes Mittel, um die Deformationen einer Montierung klein zu halten. Dies wird ausschliesslich durch die geometrische Formgebung der Teile erreicht. Ausserdem wirkt sich ein hohes Gewicht sehr nachteilig auf das Schwingungsverhalten des Systems aus, da es zu einer niedrigen Eigenfrequenz führt. Die für die Starrheit und hohe Eigenfrequenz einer Konstruktion wesentlichen Punkte sind: *Ein möglichst kurzer und ungestört Kraftfluss, ein hohes Trägheitsmoment aller im Kraftfluss liegenden Querschnitte und ein geringes Eigengewicht der Teile.*

Jedes Verbindungselement stört in mehr oder weniger gravierender Weise den Kraftfluss eines Konstruktionsteiles. *Eine Montierung wird daher im obigen Sinne um so besser sein, aus je weniger zusammengefügten Teilen sie besteht, die einer Krafteinwirkung ausgesetz sind.* In der *Abb. 1* ist an einen Massivteil und an 3 sehr ähnlich ausgebildeten Verbindungen gezeigt, wie der Kraftfluss im Werkstück verläuft und wie er durch das Verbindungselement beeinflusst wird. Man sieht, dass die in Laienkreisen sehr günstig beurteilte Schweissverbindung einen stark gestörten Kraftfluss aufweist und dieser Sachverhalt bei der Schraubverbindung noch viel ausgeprägter in Erscheinung tritt. Andererseits kommt der Spannungsverlauf einer Klebeverbindung den Verhältnissen im Massivteil sehr nahe. In Wirklichkeit liegen die Verhältnisse bei der Schraub- und Schweissverbindung noch viel ungünstiger, da bei unseren vereinfachten Betrachtungen die in beiden Fällen auftretenden hohen «Kerbspannungen» und bei der Schweissverbindung die noch zusätzlich überlagerten «thermischen Spannungen» vernachlässigt wurden. Aus der *Abb. 1* lässt sich noch ein weiterer Schluss ziehen, dem der 3. Teil dieses Artikels gewidmet sein wird: Die Konstruktion eines Teiles muss dem vorgesehenen Verbindungselement «kraftflussoptimal» angepasst sein.



Massivteil — Klebeverbindung — Schweissverbindung — Schraubverbindung (Druck- u. Schubspannungen)

Mit anderen Worten, man kann nicht eine Schraubverbindung durch eine geometrisch ähnliche Schweiss- oder Klebeverbindung ersetzen.

Als Abschluss dieses Kapitels sollen noch einige Betrachtungen zum Problem der Spielfreiheit von Teleskopmontierungen angestellt werden. Jeder Amateur kennt und fürchtet das «Wackeln» seines Instrumentes. Dieses Wackeln darf hier allerdings nicht mit den durch die Eigenfrequenz festgelegten Instrumentenschwingungen verwechselt werden. Es hat seinen Sitz in den Spiel- und Lockerstellen der Konstruktion. Untersucht man ein gegebenes Instrument auf den Ort dieser Spielstellen, dann zeigt sich, dass die Lager des Achsensystems eine wesentliche Rolle spielen. Auf diesen Punkt soll hier jedoch nicht näher eingegangen werden, da dies ein Kapitel für sich ist. Bei kritischer Untersuchung wird man jedoch finden, dass zu diesen Wackelerscheinungen auch die lösbaren Verbindungen der Konstruktion beitragen. Alle lösbaren Verbindungen erfordern ein sehr hohes Mass an fabrikatorischer Präzision, wenn sie nicht Sitz von, wenn auch kleinen, Spielstellen sein sollen. Eine weitere Grundregel des Montierungsbaues ist daher, dass man alle lösbaren Verbindungselemente auf ein Minimum reduziert und nur dort einsetzt, wo dies aus funktionellen Gründen unerlässlich ist. Hier sei erwähnt, dass man Schraubverbindungen, die funktionell nicht mehr gelöst werden müssen, durch eine nachträgliche Verklebung wesentlich verbessern kann.

Alle diese angeführten Aspekte machen die Klebeverbindung für den Amateurinstrumentenbau sehr interessant. Eine weitere interessante Eigenschaft der Klebeverbindungen ist, dass sehr unterschiedliche Werkstoffe miteinander verklebt werden können. Dies ist bei den meisten anderen Verbindungen nicht der Fall. Wenn nicht sehr grossflächige Werkstücke mit stark unterschiedlichen Wärmeausdehnungszahlen zu verkleben sind, können folgende Werkstoffgruppen gepaart verbunden werden:

Metalle	mit beliebigen anderen Metallen.
Metalle	mit Gläsern und keramischen Stoffen.
Metalle	mit Holz.
Metalle	mit Kunststoffen.
Gläser und keramische Stoffe	mit Gläsern und keramischen Stoffen.
Gläser und keramische Stoffe	mit Kunststoffen.
Kunststoffe	mit Kunststoffen.

Lediglich bei den Kunststoffen ist einige Vorsicht am Platz, da die meisten Kunststoffe mit Ausnahme von Teflon wohl sehr gut verklebt werden können, dafür jedoch in der Regel Spezialklebstoffe erforderlich sind. So lassen sich z. B viele Kunststoffe mit den weit verbreiteten Epoxyharzklebern nicht einwandfrei verkleben. Ein weiterer Vorteil der Klebeverbindungen ist, dass durch den Klebeprozess in den Teilen keine Materialspannungen erzeugt werden, wie dies zum Beispiel bei der Schweissverbindung in hohem

Masse der Fall ist. Es können daher präzis bearbeitete Teile verklebt werden, ohne dass ihre Masshaltigkeit beeinträchtigt wird. Dies ist eine Eigenschaft, die im optischen Instrumentenbau und in der Feinwerktechnik sehr geschätzt wird. Ausserdem sind Klebeverbindungen dekorativ, da keine Schraubenköpfe vorstehen und keine unschönen Schweissnähte zu sehen sind; mit ihr lassen sich auf einfache Weise glatte und geschlossene Formen realisieren. Klebeverbindungen sind ausserdem korrosions- und auch weitgehend klimafest und können als dichte Verbindungen für den Behälter-Bau eingesetzt werden, wobei sich zusätzliche Dichtungen erübrigen. Da die meisten Kunstharzbindemittel sehr gute elektrische Isolatoren sind, sind sie vorteilhaft im gesamten Elektroapparatebau verwendbar. Der für den Amateur grösste Vorteil der Klebeverbindungen ist jedoch ihre einfache Herstellung und die sehr bescheidenen Hilfsmittel und Einrichtungen, die dafür benötigt werden.

Nachteile der Klebeverbindungen und ihre Eigenschaften

Ein Nachteil der Klebeverbindungen ist, dass ihre Festigkeitseigenschaften von einer Reihe von Faktoren abhängig sind. Wir haben zwar gesehen, dass die Festigkeitseigenschaften einer Klebeverbindung nicht das wesentliche Kriterium für den Instrumenten- und Montierungsbau sind, müssen hier jedoch trotzdem näher auf diesen Punkt eingehen, da uns erst die Kenntnis dieser Einflussfaktoren einen tieferen Einblick in die Eigenschaften dieses Verbindungselementes erschliesst. Ausserdem werden wir sehen, dass viele dieser Einflussgrössen von grosser praktischer Bedeutung sind. Die Festigkeitseigenschaften einer Klebeverbindung sind ausser von der Haft- und Eigenfestigkeit des verwendeten Bindemittels von folgenden Parametern und Grössen abhängig:

1) Belastungsart der Klebeverbindung und Wirkungsrichtung der Kräfte.
2) Geometrische Form der Teile und Elastizitätsmodul der Werkstoffe sowie des Bindemittels.
3) Oberflächenrauheit und Klebespaltdicke.
4) Reinheit der Oberflächen und Oberflächenbehandlung.
5) Temperatureinflüsse.
6) Chemische Einflüsse.
7) Verarbeitungseinflüsse beim Klebeprozess.

In den nun folgenden Abschnitten wird auf diese 7 Einflussgrössen näher eingegangen.

1) Belastungsart der Klebeverbindung und Wirkungsrichtung der Kräfte

Die verschiedenen Belastungsarten einer Klebeverbindung sind in der *Abb. 2* schematisch dargestellt. Die Eignung einer Klebeverbindung hinsichtlich dieser Belastungsfälle ist in der *Tabelle I* übersichtlich zusammengestellt. Man sieht, dass Zug- und Biegebeanspruchungen nach Möglichkeit zu vermeiden sind. Im Instrumenten- und Montierungsbau sind jedoch viele Verbindungsstellen spezifisch so niedrig belastet, dass man an solchen Stellen auch Zug und Biegebelastungen zulassen kann, ohne ein grosses Risiko einzugehen. Ein für Klebeverbindungen besonders ungünstiger Belastungsfall sind die sogenannten «Schälkräfte». Ein Musterbeispiel dafür ist das Öffnen einer Sardinenbüchse. Es handelt sich dabei um einen komplizierten Belastungsfall, der immer dann auftritt, wenn ein relativ dünner Werkteil, z. B. ein Blech, auf einem steifen Gegenteil aufgeklebt ist und ein abschälendes Drehmoment einwirkt, wie dies in *Abb. 3* gezeigt ist. Dieser Belastungsfall tritt gar nicht so selten bei der Konstruktion von Instrumenten und Montierungen auf und ist unter allen Umständen zu vermeiden. Es ist nun die Aufgabe des geschickten Konstrukteurs, die Werkteile so anzuordnen, dass Schälkräfte oder andere ungünstige Belastungsfälle vermieden werden. Dies ist bei einiger Überlegung immer möglich, doch darüber soll im Teil 3 dieses Beitrages gesprochen werden.

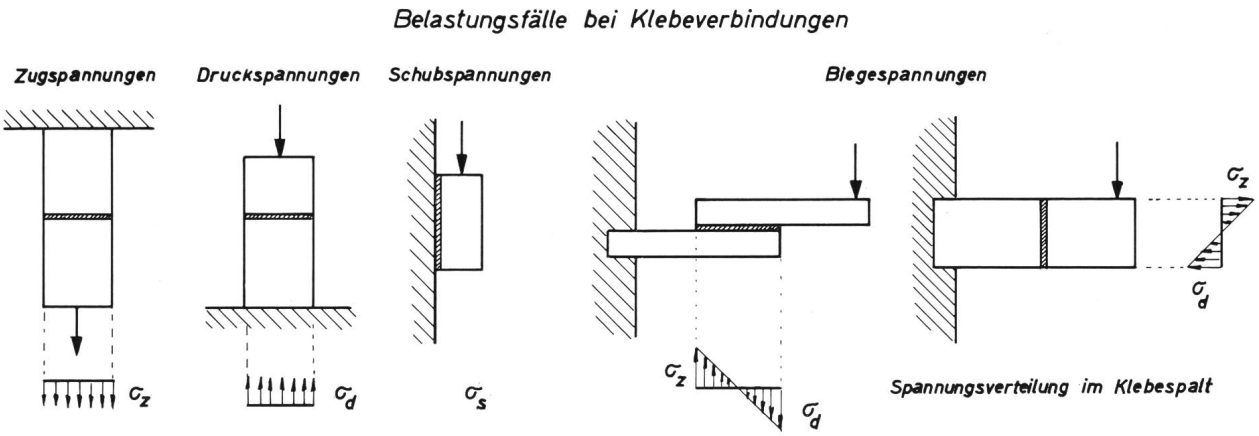


Abb. 2: Bei der Druck- und Zugbelastung treten die Spannungen senkrecht zur Klebefläche auf, während bei der Schubbelastung der Spannungsvektor in der Ebene der Klebefuge liegt. Bei der Biegebelastung treten in einem Teil des Querschnittes Zug- und in einem Teil Druckspannungen auf.

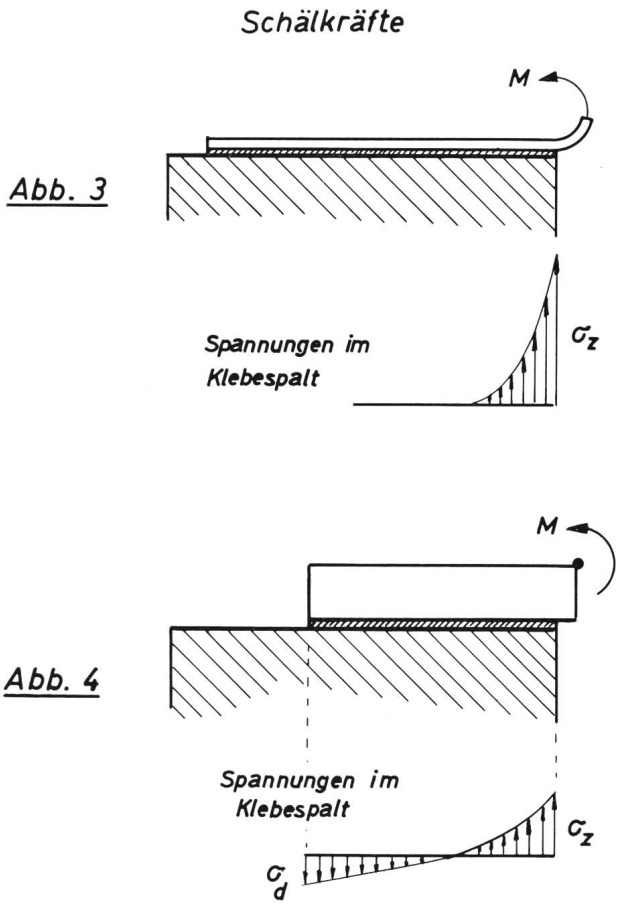
Belastungsart der Klebefuge	Eignung	Bemerkungen
Zugspannungen	ungünstig	Zugspannungen sollen in Klebeverbindungen vermieden, oder nur bei schwach belasteten Konstruktionen zugelassen werden. Bei höheren Belastungen sind die Zugkräfte durch andere Elemente aufzunehmen, um dadurch die Klebefuge zu entlasten.
Druckspannungen	sehr gut	Druck- und Schubspannungen sind die günstigsten Belastungsfälle für Klebeverbindungen, die wenn immer möglich konstruktiv anzustreben sind. Die Belastungswerte von Klebestoffen werden von den Herstellern an Hand von Zugscherversuchen ermittelt und angegeben. Die Schubbeanspruchung wird daher als Normbelastung von Klebeverbindungen angesehen.
Schubspannungen (Scherspannungen)	sehr gut	
Biegespannungen	ungünstig	Bei Biegebelastung wird ein Teil der Klebefuge auf Druck und ein Teil auf Zug beansprucht. Der auf Zug belastete Querschnitt wird kritisch beansprucht, so dass eine gewisse Vorsicht notwendig ist. Bei höherer Beanspruchung ist der zugspannungsbelastete Querschnitt durch geeignete geometrische Formgebung, oder andere konstruktive Mittel zu entlasten.
Schälkräfte	sehr schlecht	Schälkräfte müssen durch geeignete konstruktive Formgebung unter allen Umständen vermieden werden.

2) Geometrische Form der Teile und Elastizitätsmodul der Werkstoffe

Das Beispiel der Schälkräfte zeigt, dass die Beanspruchung der Klebefuge nicht nur vom Belastungsfall abhängt, sondern auch von der Anordnung und Geometrie der zu verklebenden Teile. In der *Abb. 4* wirkt dasselbe Belastungsmoment wie in der *Abb. 3*, und doch wird hier die Klebefuge nicht kritisch belastet, da das dünne Blech durch eine biegesteife Platte ersetzt wurde. Eine Klebeverbindung wird demnach um so kritischer beansprucht, je schwächer und deformierbarer die zu verklebenden Teile selber sind. Man wird daher bestrebt sein, eine jede Klebekonstruktion so biege- und verformungssteif wie nur möglich auszuführen. Wir haben gesehen, dass dieser Gesichtspunkt im Montierungsbau ohnehin oberstes Gebot ist, so dass wir uns hier darüber nicht weiter auslassen wollen. Sehr ähnliche Überlegungen zeigen, dass die Klebefuge weniger kritisch beansprucht wird, wenn die Fügeteile aus einem Werkstoff mit hohem Elastizitätsmodul bestehen oder aber der Klebestoff sehr elastisch ist. Elastische Bindemittel wird man im Montierungsbau jedoch kaum einsetzen, da sie unserer Forderung nach einer möglichst kleinen Gesamtdeformation widersprechen. Andererseits wäre es aber auch wieder falsch, sehr spröde Bindemittel zu verwenden.

3) Oberflächenrauheit und Klebespaltdicke

Einen grossen Einfluss auf die Bindefestigkeit einer Klebeverbindung hat die Oberflächenrauheit und die Dicke des Klebespaltes. Es wirkt sich sowohl eine sehr glatte als auch eine sehr rauhe Oberfläche nachteilig auf die Festigkeit der Klebeverbindung aus. Die günstigsten Hafteigenschaften ergeben fein gesandstrahlte Oberflächen. Eine solche Oberflächenbehandlung wird jedoch dem Amateur in den seltensten Fällen zugänglich sein. Einfach zu realisieren sind Oberflächen geeigneter Rauheit, wenn man die Fügeteile in der vom Spiegelschliff bekannten Weise mit «Karbo 120»



gegeneinander anschleift. Glatte Flächen kann man auch mit sehr grobem Schmirgeltuch im Kreuzstrich aufrauhen. Gerade die richtige Rauheit weisen auch alle Flächen auf, die durch Drehen, Fräsen und durch Bearbeitung mit einer Schlichtfeile geschaffen wurden. Solche Flächen werden in der Fertigungstechnik allgemein als Schlichtflächen bezeichnet. In sehr dünnen Klebespalten wird die makromolekulare Vernetzung

des Bindemittels beeinträchtigt, so dass sich eine geringere Festigkeit ergibt. Ist die Klebefuge dagegen zu dick, so wird nur die reine Eigenfestigkeit des Bindemittels wirksam. Bei einem Klebespalt optimaler Dicke ist jedoch die Gesamtfestigkeit der Verbindung grösser als die Eigenfestigkeit des Bindemittels. Die für dieses interessante Phänomen verantwortlichen Effekte sind bis heute noch nicht restlos geklärt. Der optimale Klebespalt liegt bei etwa «0,05 bis 0,3» mm. In den meisten Fällen wird sich automatisch ein Klebespalt optimaler Dicke durch die Oberflächenrauheit, den immer vorhandenen Planfehler der Flächen und die Viskosität des Bindemittels einstellen. Bei sehr präzis bearbeiteten Flächen, die mit grösserem Druck zusammengepresst werden, kann sich jedoch leicht ein zu dünner Spalt ausbilden. In solchen Fällen kann leicht Abhilfe geschaffen werden, indem man die Teile durch schmale Streifen aus 0,1 bis 0,2 mm dicker Aluminium- oder Messingfolie distanziert. Diese Methode wird man auch bei allen Präzisionsverklebungen anwenden, bei denen zwei fertig bearbeitete Teile in einer genau zueinander festgelegten Lage verklebt werden müssen. Die Dicke der Distanzplättchen ist natürlich bei der Konstruktion zu berücksichtigen.

Dieses Kapitel zeigt uns, dass wir bei anspruchsvollen und präzisen Klebeverbindungen um eine sehr sorgfältige Bearbeitung der Teile und Klebeflächen nicht herumkommen. Andererseits wird man in dieser Hinsicht auch nicht ängstlich zu sein brauchen, wenn es sich um Klebeverbindungen niedriger Belastung und nicht allzugrosser Präzision handelt.

4) Reinheit der Oberflächen

Die Oberflächenreinheit ist das A und O der ganzen Klebetechnik. Erfahrungsgemäss beruhen die meisten Misserfolge auf der Nichtbeachtung dieses Punktes. Der Reinigung und Vorbehandlung ist daher die allergrösste Aufmerksamkeit und Sorgfalt zu widmen. Die Klebeflächen müssen absolut fettfrei und trocken, sowie frei von Rost, Zunder und groben Oxydschichten sein, wie man sie besonders bei allen Stahl-Walzenprodukten antrifft. Selbstverständlich dürfen die Klebeflächen auch keine Farbanstriche aufweisen. Rost- und Zunderschichten können durch mechanische Bearbeitung oder durch chemische Beiz- und Ätzprozesse entfernt werden. Die Ätzbehandlung liefert auch bei Leichtmetallklebeteilen ausgezeichnete Ergebnisse. Es sei hier der Hinweis gegeben, dass schon ein einziger Fingerabdruck auf einer vorher fachgerecht gereinigten Klebefläche die Haftfestigkeit um den Faktor 2–3 herabsetzen kann. Nähere Angaben über die Reinigung der Klebeflächen werden im zweiten Teil gebracht.

5) Temperatureinfluss

Mit steigender Temperatur nimmt die Festigkeit einer Klebeverbindung stark ab. Dabei erfolgt der Festigkeitsabfall bei den meisten kalthärtenden Kunstharzbindemitteln schon bei etwa 60°, während bei den typischen Heisshärtern dieser Festigkeitsabfall erst oberhalb 120° einsetzt. Für den Montierungs- und Instrumentenbau spielt dies nur eine sehr untergeordnete Rolle, da hier Temperaturen über 60° wohl kaum vorkommen. Da heisshärtende Bindemittel eine 2- bis 4mal grössere Festigkeit als kalthärtende Kleber besitzen, kann dies ein Grund sein, sie für hoch beanspruchte Verbindungen einzusetzen, obwohl ihre Handhabung und Verarbeitung nicht so bequem ist. In den allermeisten Fällen wird man jedoch mit den kalthärtenden Bindemitteln völlig auskommen. Mit heisshärtenden Bindemitteln zu verklebende Teile können auf einfache Weise im Backofen ausgehärtet werden, den man natürlich auf die jeweils vorgeschriebene Aushärtungstemperatur einzuregeln hat.

6) Chemische Einflüsse

Wenn auch die Kunstharzbindemittel gegen chemische Einflüsse sehr beständig sind, so kann doch eine langdauernde Einwirkung von Lösungsmitteln, Laugen und auch Wasser zu Quellungserscheinungen führen, die eine Herabsetzung der Festigkeit zur Folge hat. Besonders kalthärtende Bindemittel auf Polyester- und Epoxyharzbasis sind in dieser Hinsicht etwas empfindlicher als heisshärtende Bindemittel. In kritischen Fällen kann man die exponierten Klebefugen mit geeigneten Schutzüberzügen versehen. Sehr geeignet dafür sind Siliconharz- und Silikongummiüberzüge, die eine ausserordentlich grosse chemische Resistenz besitzen.

7) Verarbeitungseinflüsse

In dieses Kapitel fallen das genaue Mischungsverhältnis von Harz und Härter, die innige Durchmischung dieser beiden Komponenten und die Aushärtebedingungen. Das Mischungsverhältnis ist den Vorschriften der Hersteller zu entnehmen und genau einzuhalten. Es gibt jedoch Bindemittel, bei denen dieses Mischungsverhältnis nicht sehr kritisch ist und bei denen kleine Abweichungen davon keinen nennenswerten Einfluss auf die Festigkeit der Klebeverbindung haben. Zu diesen Bindemitteln gehört zum Beispiel das im Handel in Tuben erhältliche Araldit[2]), das sehr bequem in der Handhabung ist. Andere Bindemittel hinwiederum erfordern eine sehr genaue Einhaltung des Mischungsverhältnisses. Bei solchen Harzen leistet eine Briefwaage gute Dienste, die man auch verwenden wird, wenn grössere Harzmengen für Flächenverklebungen zu mischen sind.

Von grösster Wichtigkeit ist die innige Durchmischung von Harz und Härter. Dies ist erfahrungsgemäss der zweite Punkt, gegen den vielfach verstossen wird und der für manche Misserfolge verantwortlich zu machen ist. Die gute Durchmischung grösserer Mengen sehr zähviskoser Harze ist gar keine einfache Sache. Sie erfordert etliche Ausdauer und gehörig viel Kraft.

Die vollständige Aushärtung des Bindemittels ist Voraussetzung für das Erreichen der vollen Festigkeit

der Klebeverbindung. Die wesentlichen Faktoren für die einwandfreie Aushärtung sind die Temperatur und die Aushärtezeit. Im allgemeinen werden die Aushärtezeiten mit steigender Temperatur immer kürzer. Die volle Festigkeit wird jedoch meistens erst ein bis zwei Tage nach beendeter Aushärtung erreicht. Die Härtetemperaturen und die ihnen zugeordneten Aushärtezeiten sind den Verarbeitungsvorschriften der Bindemittelhersteller zu entnehmen. Weniger bekannt ist, dass auch die kalthärtenden Bindemittel eine gewisse Minimaltemperatur für eine einwandfreie Aushärtung erfordern. Unter dieser Mindesttemperatur härten die Bindemittel nur sehr langsam oder unvollständig aus und ergeben mangelhafte Verbindungen. Man wird daher in der kalten Jahreszeit die zu verklebenden Gegenstände in einem warmen Wohnraum in der Nähe der Heizung zur Aushärtung bringen.

Aus dem Gesagten wird ersichtlich, dass eine Klebeverbindung erst nach vollkommener Aushärtung ihre volle Festigkeit erreicht und aus diesem Grunde auch erst danach belastet werden darf. Es hat gar keinen Sinn, bei der Aushärtung zu pressieren und neugierige Versuche zu unternehmen, bei denen man dann plötzlich zwei Teile in der Hand hält und sich ärgert oder gar dem Bindemittel die Schuld gibt. Aus demselben Grunde muss man auch darauf achten, dass sich die Teile während der Aushärtephase nicht durch das Eigengewicht verschieben oder sogar lösen. Dieser Effekt tritt, solange das Harz noch zähviskose Konsistenz hat, leicht auf und ist sehr unangenehm. Oft findet man dann anderntags die Teile arg verschoben ausgehärtet vor oder ist gezwungen, während der Aushärtezeit die Teile mehrmals zurechtzurücken, was die Festigkeit empfindlich beeinträchtigen kann. Abhilfen gegen diese Erscheinung werden im 2. Teil besprochen.

Ein weiterer Punkt verdient noch erwähnt zu werden: Es ist dies die sogenannte «shelf time» oder Lagerzeit des Bindemittels. Die meisten Bindemittel sind im Rohzustand chemisch nicht sehr stabile Substanzen, die auch ohne Beimischung des Härters nur eine beschränkte zeitliche Haltbarkeit aufweisen. Unter shelf time versteht man nun die vom Hersteller bei Raumtemperatur garantierte Lagerdauer. Lang über die shelf time gelagerte Bindemittel können stark reduzierte Festigkeitswerte ergeben oder überhaupt unbrauchbar geworden sein. Daraus ergibt sich die Regel, dass man Bindemittel nur in Geschäften kaufen soll, die Gewähr für einwandfreie und nicht zu lange gelagerte Ware bieten, und dass man auch selbst die Harze nicht zu lange aufbewahrt. Man kann die Lagerfähigkeit der Bindemittel ausserordentlich verlängern, wenn man sie bei tiefen Temperaturen aufbewahrt. So hat der Autor den bekannten Klebstoff «Eastman 910», der bei Raumtemperatur nach ca. 3 Monaten vollkommen unbrauchbar wird, durch Lagerung im Tiefkühlfach des Kühlschrankes über 2 Jahre verwendungsfähig erhalten. Für das bekannte Tubenaraldit beträgt die shelf time etwa 1 Jahr.

Literatur und Randbemerkungen:

1) Siehe «Astro Amateur» S. 77–92, Rascher Verlag, Zürich/Stuttgart 1962.
2) Die Handelsbezeichnung vom Tubenaraldit ist: Araldit AW 106 + Härter HV 953 U.
3) A. Pohl: Klebeverbindungen Theorie und Anwendungen. Technische Rundschau Sonderreihe Heft Nr. 44.
4) A. Mattig: Metallkleben. Standardwerk der Klebetechnik. Erschienen im Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
5) H. Eder: Feinwerktechnische Verbindungen durch Kleben. Feinwerktechnik *70* (1966), Heft 11, S. 529–537.
6) H. Schlegel: Möglichkeiten zur Berechnung von Metallklebeverbindungen. Schweisstechnik 56 (1966), Heft 8, S. 328–339.
7) Technische Daten, Eigenschaften und Verarbeitungshinweise der Bindemittel herstellenden Firmen: CIBA, Emser Werke, Minnesota Mining & Manufacturing Corp. (3-M Corp.), Loctite Corp.

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

Planspiegel

von J. Schaedler, Astronomische Vereinigung St. Gallen

Irgendwann einmal ergibt sich beim aktiven Astro-Amateur die Notwendigkeit oder mindestens der Wunsch, einen oder mehrere Planspiegel zu erstehen oder selber herzustellen. Einige Erfahrungen, die wir nachstehend beschreiben, sollen Lesern, die bereits mit dem Schliff von Parabolspiegeln sehr gut vertraut sind, helfen, die Besonderheiten des Planschliffes zu meistern.

Wir setzen voraus, dass kein Probeglas mit einwandfreiem Planschliff greifbar ist, wir uns also die Planflächen erarbeiten müssen. Es sind hiezu drei Glasstücke gleicher Grösse und gleicher Dicke nötig, wobei wir die Verwendung von Duranglas, bzw. Pyrex, empfehlen. Ränder und Kanten der drei Glasstücke sind möglichst fein zu schleifen, sofern nicht der Lieferant diese Arbeit bereits besorgt hat.

Da wir zur Prüfung der Planflächen freie Durchsicht durch die einzelnen Gläser haben müssen, dürfen keine Griffe angebracht werden, und unsere Schleifvorrichtung muss so beschaffen sein, dass wir die beiden gerade bearbeiteten Stücke sehr rasch umlegen können. Die drei Glasstücke werden numeriert und die für den Planschliff vorgesehenen Seiten durch einen Pfeil markiert. Man verwende eine gut haftende Farbe.

Eine Schleifvorrichtung nach *Abb. 1* und *2* hat sich bewährt. Die beiden gegeneinander stehenden Flanschen sind durch eine Welle verbunden, die gestattet, den oberen Flansch zu drehen. Der Drehwiderstand