Handbuch Klebtechnik

Bearbeitet von
Manfred Rasche

1. Auflage 2012. Buch. XVIII, 616 S.
ISBN 978 3 446 42402 9
Format (B x L): 20,7 x 27,7 cm
Gewicht: 1887 g

Weitere Fachgebiete > Technik > Produktionstechnik > Fertigungstechnik

Zu Inhaltsverzeichnis

schnell und portofrei erhältlich bei

beck-shop.de
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung beck-shop.de ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

HANSER

Leseprobe

Manfred Rasche

Handbuch Klebtechnik

ISBN (Buch): 978-3-446-42402-9

ISBN (E-Book): 978-3-446-43198-0

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-42402-9

sowie im Buchhandel.

© Carl Hanser Verlag, München

5.9 Verarbeiten von 2-K-Klebstoffen

Die Komponenten der Klebstoffe werden häufig als Harz und Härter oder als Basis und Härter bezeichnet, ohne dass hierbei Rücksicht auf die chemische Charakteristik der Produkte genommen wird. Der Abbindemechanismus tritt ein, wenn die Komponenten miteinander in Kontakt treten. Er ist beendet, wenn keine Reaktionen mehr möglich sind. 2-K-Klebstoffe haben Vor- und Nachteile gegenüber anderen Klebstoffen.

Vorteile:
- Die Reaktion läuft bei Raumtemperatur ab.
- Der Klebstoff bindet in jeder Schichtdicke vollständig ab.
- Die entstehenden Produkte sind chemisch vernetzt und weisen daher gute mechanische, thermische und chemische Eigenschaften auf.
- Bei maschineller Verarbeitung können extrem schnell abbindende Klebstoffe verarbeitet werden.
- Die einzelnen Komponenten können lange gelagert werden.

Nachteile:
- Begrenzte Verarbeitbarkeit nach dem Mischen; Topfzeit beachten.
- Probleme bei Arbeitsunterbrechungen bei der Verwendung von statischen oder dynamischen Mischern. Die Unterbrechung des Mischvorgangs führt dazu, dass die Viskosität des Klebstoffs im Mischer ansteigt. Bevor sie so stark angestiegen ist, dass der Klebstoff von den nachströmenden Komponenten nicht mehr herausgedrängt werden kann, muss entweder ein Mischvorgang durchgeführt werden, bei dem der Klebstoff nicht genutzt wird oder die Mischeinheit muss gereinigt werden. Kann der Klebstoff wegen zu hoher Viskosität nicht mehr heraus gefördert werden, ist das Mischgefäß zu ersetzen. Dies ist nur bei einfachen und billigen statischen Mischern sinnvoll. Weiter ist zu beachten, dass Klebstoff, der nicht vollständig gemischt und deshalb nicht vollständig abgebunden ist, in der Regel als Sondermüll entsorgt werden muss. Das gilt für die Anfänge des statischen Mischrohres.
- Die Komponenten müssen im exakten Mischungsverhältnis zueinander dosiert werden.
- Die Komponenten müssen intensiv miteinander vermischt werden.
- Bei einer maschinellen Verarbeitung von Klebstoffen mit sehr unterschiedlichen Viskositäten der Komponenten können Probleme auftreten, siehe Tabelle 5.9.36.
- Bei kleinen Mengen und extremen Mischungsverhältnissen (100:1) wird das Dosieren problematisch.
- Die Aushärtungszeit kann bei Raumtemperatur sehr lang sein.

Die beiden Komponenten der Klebstoffe liegen im Allgemeinen in flüssiger bzw. pastöser Form vor. In Einzelfällen kommt neben einer flüssigen eine zweite pulverförmige Komponente vor. Die Viskositäten der Komponenten können sehr unterschiedlich sein, was die maschinelle Verbreitung erschwert. Gegebenenfalls muss für jede Komponente eine spezielle Pumpe beschafft werden. Am einfachsten ist das Mischungsverhältnis 1:1 zu verarbeiten. Zweikomponentige Klebstoffe binden nach unterschiedlichen Mechanismen ab, was bei der Verarbeitung berücksichtigt werden muss. Folgende Abbindemechanismen sind möglich:
- 2-K-No-Mix-Systeme
- 2-K-Polymerisationsklebstoffe
- 2-K-Polyadditionsklebstoffe
- 2-K-Polykondensationsklebstoffe

2-K-No-mix-Systeme

Bei den 2-K-No-Mix-Systemen ergibt sich eine andere Verarbeitung als bei den anderen Systemen. Die beiden Komponenten werden nicht gemischt, sondern der Härter wird auf das eine und der Klebstoff auf das andere Fügeteil aufgetragen. Die Härtungsreaktion beginnt dann, wenn die beiden Teile zusammengefügt werden, so dass Harz und Härter miteinander in Kontakt treten. Der Härter wird bei diesen Systemen auch als Aktivator bezeichnet. Siehe dazu auch Kapitel 4.4.3.

2-K-Polymerisationsklebstoffe

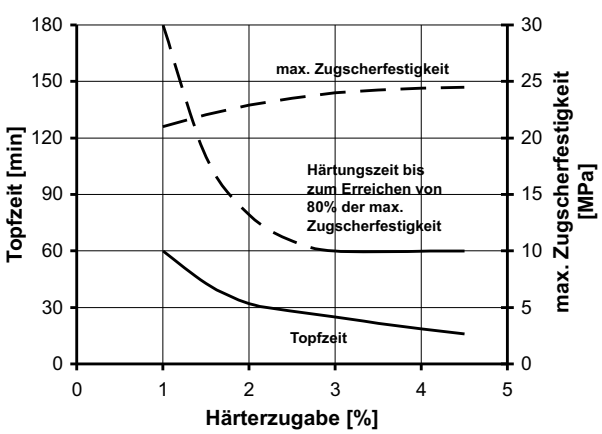


Bild 5.9.1 Einfluss des Härteranteils auf Klebfestigkeit, Topfzeit und Abbindezeit von Klebverbindungen mit Methacrylatklebstoffen [Krebs]

Bei diesen Klebstoffen löst der zum Harz zugemischte „Härter“ die Polymerisation aus. Sie kann eine vernetzte Copolymerisation sein, so dass nach der Polymerisation ein Duromer vorliegt. Da der „Härter“ die Reaktion auslöst, muss kein exaktes stöcheometrisches Mischungsverhältnis eingehalten werden. Dem Klebstoff wird Härter im Bereich um 1 % zugegeben. **Bild 5.9.1** zeigt, dass Härtergehalte zwischen 1 und 4 % die Klebfestigkeit nur wenig beeinflussen. Eine höhere Härterzugabe führt jedoch zum schnelleren Abbinden und zu einer verkürzten Topfzeit. Bei diesen Klebstoffen ist kein intensives Durchmischen der Komponenten wie bei den 2-K-Polyadditions- und 2-K-Kondensationsklebstoffen erforderlich. Daher sind auch Verarbeitungstechniken ohne Mischvorgang möglich, siehe Verarbeiten von Methacrylatklebstoffen, Kap. 4.4.3.

2-K-Polyadditionsklebstoffe

Bei der Polyaddition reagieren die Moleküle von Harz- und Härter miteinander. Die Mischungsverhältnisse liegen je nach Produkt etwa im Bereich von 1:1 bis zu 10:1. In Einzelfällen kommen auch noch extremere Mischungsverhältnisse vor. Dieser Reaktionstyp ist häufig anzutreffen. Typische Vertreter für 2-K-Polyadditionsprodukte sind zweikomponentige Epoxidharze und Polyurethane. Auch einige Polyester und gewisse zweikomponentige Silikone gehören in diese Kategorie. Die Reaktion erfolgt nur an den reaktiven Enden der Moleküle. Sie findet nur dann statt, wenn Harz- und Härtermoleküle nahe beieinander liegen. Deshalb müssen die beiden Komponenten intensiv miteinander vermischt werden, da die möglichen Diffusionswege relativ kurz sind.

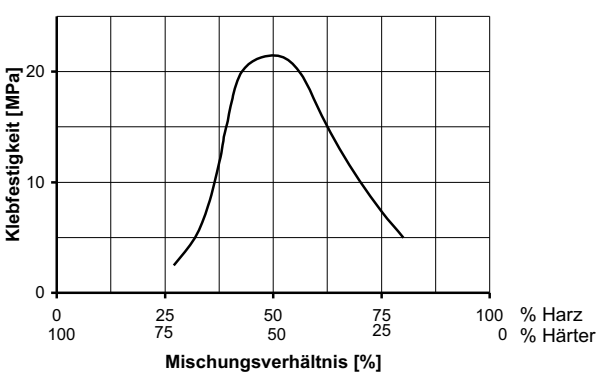


Bild 5.9.2 Einfluss des Mischungsverhältnisses auf die Festigkeit von Klebverbindungen eines Polyadditonsklebstoffes auf Epoxidharzbasis [Krebs]

Damit es zu einer vollständigen Härtungsreaktion zwischen Harz und Härter kommen kann, müssen bei Polyadditions- und Polykondensationsprodukten die beiden Komponenten im entsprechenden Verhältnis exakt zueinander dosiert werden. Dieses ist das stöcheometrische Mischungsverhältnis. Es ist so ausgelegt, dass alle reaktiven Gruppen von Harz und Härter miteinander reagieren können. Ist eine Komponente über- oder unterdosiert, so wird, wie **Bild 5.9.2** zeigt, die maximale Klebfestigkeit nicht erreicht. Außerdem sind nach Beendigung des Abbindevorganges noch reaktive Bestandteile im Klebstoff vorhanden. Dies kann sich nachteilig auf die Alterungsbeständigkeit dieser Produkte auswirken, da die reaktiven Gruppen mit eindiffundierendem Wasser reagieren können. „Generell kann festgestellt werden, dass chemisch ausgewogene Klebstoffe, die ohne Härterüberschuss auskommen, vorzuziehen sind“ [Matz]. Es gibt allerdings auch Klebstoffe, bei denen neben einer Polyaddition noch eine Polymerisation auftritt. Bei diesen Produkten kann das Harz-Härter-Mischungsverhältnis variiert werden.

2-K-Polykondensationsklebstoffe

Bei der Polykondensation verläuft die Reaktion ähnlich wie bei der Polyaddition. Harz und Härter reagieren miteinander. Es entsteht jedoch nicht nur das feste Endprodukt, sondern während der Reaktion spaltet sich das sogenannte Kondensat ab. Dadurch kann die Verarbeitung erschwert werden, denn das Kondensat kann zur Bläschenbildung im Klebstoff führen oder es besteht die Möglichkeit, dass es toxisch ist. Angaben hierzu sind bei der Beschreibung der Polykondensationsklebstoffe zu finden.

Ein typischer Vertreter der Kondensationsprodukte ist das Phenolharz. Das Kondensat ist hier Wasser. Da diese Klebstoffe in der Regel bei Temperaturen über 100 °C gehärtet werden, liegt das Wasser als Wasserdampf vor. Wegen des großen Volumens des Dampfs würde die Klebfuge auseinander gedrückt. Daher können diese Klebstoffe nur bei so hohen Drücken gehärtet werden, bei denen das Wasser noch flüssig vorliegt. Polykondensationsreaktionen treten auch beim Abbinden von Polyimiden und 1-K-Silikonen auf. Bei den Silikonen entstehen je nach Typ Kondensate wie Essigsäure oder Amine. Diese treiben die Fügeteile nicht auseinander, jedoch sind für diese Stoffe AGW-Werte einzuhalten. Da bei dicken Klebfugen der Abbindeprozess lange dauert, ist die Kondensatbildung nicht nur auf den Klebarbeitsplatz beschränkt.

5.9.1 Abbindevorgang

Die Abbindereaktion der 2K-Reaktionsklebstoffe erfolgt nicht schlagartig, sondern sie benötigt eine gewisse Zeit. Unmittelbar nach dem Zusammenfügen der beiden Komponenten beginnt die Reaktion. Dadurch erhöht sich die Viskosität des Produktes, **Bild 5.9.3**, es wird zunächst zähflüssig und dann fest. Erwärmt sich der Klebstoff aufgrund der Abbindereaktion, so reduziert sich die Klebstoffviskosität

zunächst bevor sie ansteigt. Übersteigt die Viskosität ein entsprechendes Maß, so kann der Klebstoff mit der dafür vorgesehenen Technik nicht mehr verarbeitet werden.
In diesem Zusammenhang muss auf die Problematik des Einsatzes statischer und dynamischer Mischer hingewiesen werden. Bei einer Unterbrechung des kontinuierlichen Mischvorganges kann nach dem Ablauf einer gewissen Zeit das gemischte Produkt nicht mehr aus der Mischeinheit herausgefördert werden, da die Viskosität zu hoch geworden ist. Die Mischeinheit ist in diesem Falle unbrauchbar geworden und muss durch eine neue ersetzt werden. Es ist daher zu entscheiden, ob nur einmal benutzbare Mischsysteme verwendet werden, die nach dem Ende der Topfzeit beseitigt werden, oder ob die Mischeinheit gereinigt wird. In letztem Falle ist dafür Sorge zu tragen, dass das gemischte Produkt zu dem Zeitpunkt aus dem Misch- und Auftragsgerät entfernt wird, wo dies noch problemlos möglich ist. Das kann durch eine Spülung der Mischeinheit geschehen. Um das Spülen der Mischeinheit oder deren Wechsel möglichst zu verhindern, sollte die Topfzeit des Klebstoffes so gewählt werden, dass dies nicht so häufig notwendig ist.

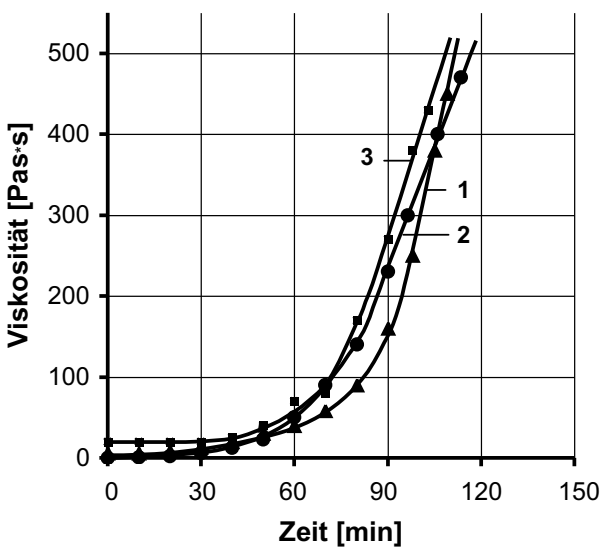


Bild 5.9.3 Viskositätsanstieg von 2-K-PUR-Klebstoffen in Abhängigkeit von der Zeit [Tauber]; 1–3: Unterschiedliche Messungen

Nachdem zunächst nur die Viskosität des Klebstoffes anstieg, verfestigt sich der Klebstoff mit der Zeit immer weiter. Die Festigkeit von Klebverbindungen nimmt in etwa in Form einer E-Funktion zu, **Bild 5.9.4**. Je nach dem wie schnell die Abbindereaktion abläuft, spricht man von langsam oder schnell reagierenden Produkten. Die Reaktionsgeschwindigkeit der Produkte kann in weiten Bereichen durch deren Chemie beeinflusst werden. Die Reaktionsgeschwindigkeit hängt jedoch nicht nur vom Klebstofftyp, sondern auch von der Abbindetemperatur ab. Mit zunehmender Temperatur verkürzt sich die Abbindezeit. Dieses Verhalten zeigt beispielhaft **Bild 4.4.5.5** für Epoxidharze und **Bild 4.4.6.1** für Polyurethane. Hierbei ist zu beachten, dass in der Regel eine Warmaushärtung zu einer erhöhten Klebfestigkeit, siehe **Bild 4.5.5.3** und Alterungsbeständigkeit führt.

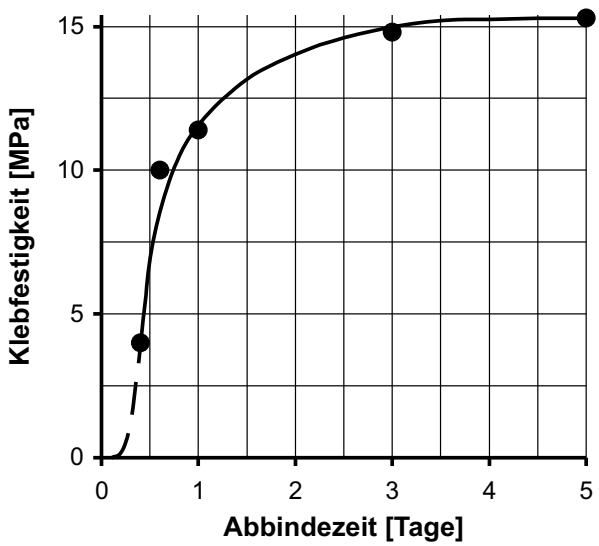


Bild 5.9.4 Festigkeitsverlauf eines kalthärtenden Epoxidharzes, Topfzeit 60 min [Araldit]

5.9.2 Topfzeit

Der Begriff Topfzeit wird beim Verarbeiten von zwei- oder mehrkomponentigen Reaktionsklebstoffen verwendet. Die englische Bezeichnung für Topfzeit ist „pot life“. Mit Topfzeit wird die Gebrauchs- bzw. Verarbeitungsdauer von Zwei- und Mehrkomponentenklebstoffen bezeichnet. Die Bezeichnung kommt daher, dass ein Klebstoffe den „Topf“, in dem er angemischt wurde, bis zum Ende der Topfzeit verlassen haben muss, d. h. er muss innerhalb dieser Zeit verarbeitet sein. Topfzeitangaben sind in den Datenblättern der Klebstoffhersteller zu finden.
DIN 16 920 definiert als Topfzeit für Klebstoffe die „... Zeitspanne, in der ein Ansatz eines Reaktionsklebstoffes nach dem Mischen aller Klebstoffbestandteile für eine bestimmte Verwendung brauchbar ist“. Diese Definition enthält keine exakt prüfbaren bzw. nach einer Norm überprüfbaren Daten und lässt somit dem Hersteller bei der Festlegung der Topfzeit für ein bestimmtes Produkt einen relativ weiten Spielraum. Es kann folglich auch nicht davon ausgegangen werden, dass Topfzeiten unterschiedlicher Hersteller gleiches aussagen.
DIN EN 14 022, Bestimmung der Topfzeit (Verarbeitungszeit) von Mehrkomponentenklebstoffen, formuliert sprach-

lich anders, inhaltlich jedoch ähnlich. Die Norm lässt 5 verschiedene Methoden zur Topfzeitbestimmung zu. Damit ergibt sich, dass die Topfzeit immer in Verbindung mit dem Prüfverfahren gesehen werden muss. Die Möglichkeiten, die Topfzeit durch den manuellen Auftrag *(„... ein Reaktionsklebstoff nicht mehr von Hand ausgestrichen werden kann...“)* oder durch Betasten der Oberfläche *(„... die Oberfläche keinen Tack (Klebrigkeit) mehr zeigt...“)* zu bestimmen, lassen einen bereiten Spielraum des Prüfenden zu. Folglich enthält der genormte Begriff „Topfzeit“ beträchtliche zeitliche Interpretationsspielräume. Das erschwert seine Umsetzung in die Praxis.

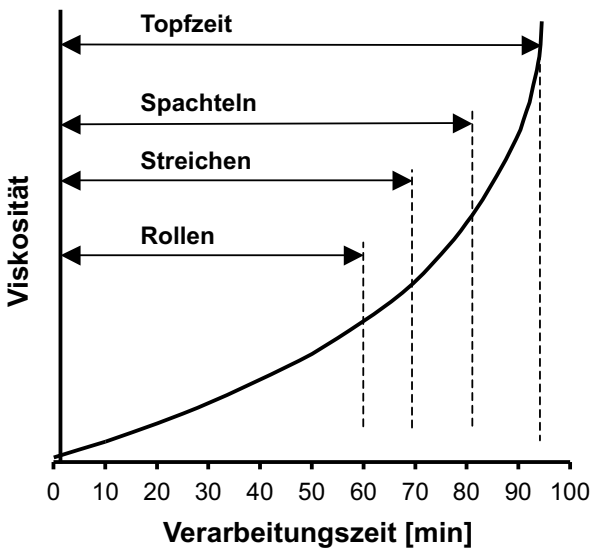
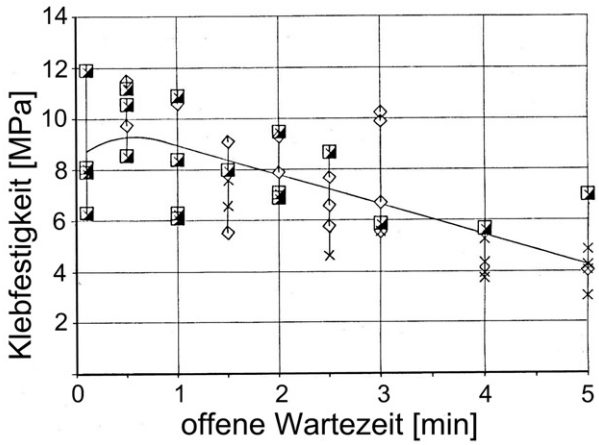


Bild 5.9.5 Verarbeitungszeit für verschiedene Verarbeitungsverfahren und Topfzeit (hier Beginn des Gelierens) für einen Klebstoff [N.N.]

Das Ende der Topfzeit wird durch zwei unterschiedliche Mechanismen bestimmt, die beide auf der Abbindereaktion des Klebstoffes beruhen. Mit dem Zusammenführen der reaktiven Komponenten des Klebstoffes beginnt die Abbindereaktion. Die chemische Reaktion führt zunächst zu einem Anstieg der Viskosität des Klebstoffs, siehe **Bild 5.9.3**. Dies begrenzt den Einsatz des Klebstoffes für gewisse Verarbeitungstechniken. So kann ein höherviskoser Klebstoff zwar noch gespachtelt, jedoch nicht mehr durch Rollen aufgetragen werden. **Bild 5.9.5** zeigt, dass je nach der beabsichtigten Verwendung, die Topfzeit des Klebstoffes entsprechend der Definition nach DIN 16 920 zwischen 60 min (Rollen) und 80 min (Spachteln) betragen kann. Wird der Beginn des Gelierens als Topfzeitgrenze festgelegt **Bild 5.9.5**, so beträgt die Topfzeit sogar 95 min. Diese Topfzeitdefinition entspricht zwar nicht der Norm DIN 16 920; zeigt jedoch wie weit der Begriff „Topfzeit“ ausgelegt wird.



◪ Fügeteilbruch am Ende der Überlappung durch das Stahlteil.
◇ Fügteilbruch in der Kunststoffoberfläche.
X Adhäsionsbruch am Kunststoffteil

Bild 5.9.6 Einfluss der offenen Wartezeit bei einem Epoxidharz mit kurzer Topfzeit auf die Klebfestigkeit von ABS-Stahl-Klebverbindungen

Neben dem Viskositätsanstieg verändert sich mit fortschreitender Reaktion auch die Möglichkeit des Klebstoffs, Bindungen mit der Oberfläche einzugehen. Ein fester Klebstoff reagiert überhaupt nicht mehr damit. Auch hierdurch ergibt sich eine Grenze für die Topfzeit und zwar dann, wenn keine ausreichende Klebfestigkeit mehr erreicht wird. Bei einem hoch reaktiven, kalt abbindenden Epoxidharz mit kurzer Topfzeit führten bereits offene Wartezeiten von länger als einer Minute zu verringerten Klebfestigkeiten und Veränderungen im Bruchverhalten, **Bild 5.9.6**. Während bei offenen Wartezeiten unterhalb von einer Minute alle Proben im Kunststoffteil versagten, trat dieser Bruch bei 4 min Wartezeit nur noch bei zwei Prüflingen ein. Bei den drei anderen der Serie wurden Adhäsionsbrüche festgestellt.
Bild 5.9.7 zeigt den Einfluss einer Wasserlagerung auf den Schälwiderstand von Klebverbindungen, die zu unterschiedlichen Zeiten nach einem einseitigen Klebstoffauftrag gefügt wurden. Dieser Klebstoff hat lt. Datenblatt [Konstruktionsklebstoffe] eine Gebrauchsdauer von 50–70 min (100 g Ansatz). Die nach 30 und 60 min gefügten Bauteile wurden folglich noch innerhalb der zulässigen Verarbeitungszeit geklebt. Trotzdem trat bei ihnen ein deutlich stärkerer Haftungsverlust auf, als bei den unmittelbar nach dem Klebstoffauftrag geklebten Proben. Die Ursache für die in **Bilder 5.9.6** und **5.9.7** gezeigte verminderte Haftung ist die Reaktion der Komponenten miteinander. Die abreagierten reaktiven Enden der Komponenten stehen für eine Reaktion mit der Oberfläche nicht mehr zur Verfügung. Aus den Bildern folgt weiter, dass immer dann, wenn hochfeste und beständige Klebverbindungen gefertigt werden sollen, das Benetzen der Oberflächen unmittelbar nach dem Mischen erfolgen muss. Eine Lagekorrektur der gefügten Teile kann noch zu einem späteren Zeitpunkt

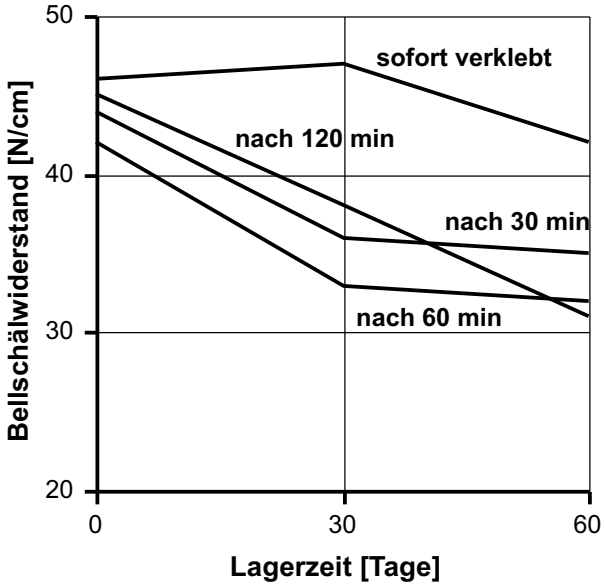


Bild 5.9.7 Einfluss einer Wasserlagerung bei 20°C auf den Schälwiderstand von Klebverbindungen, die nach unterschiedlichen Zeiten gefügt wurden [Gerstle]

Einfluss der Temperatur

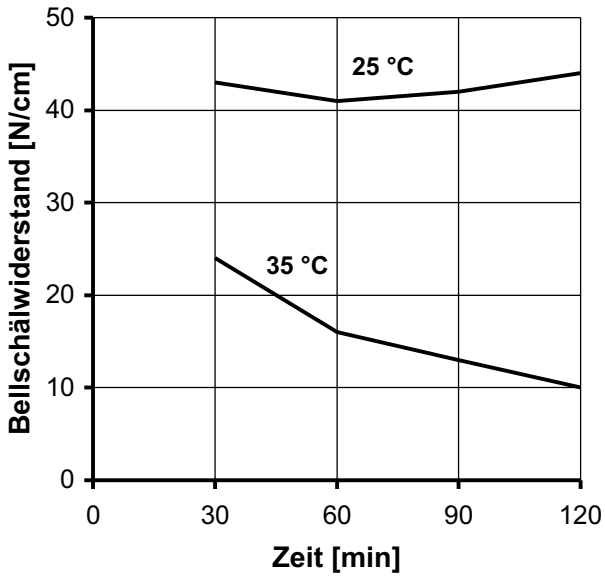


Bild 5.9.8 Einfluss der Zeit zwischen dem einseitigen Klebstoffauftrag bei unterschiedlicher Temperatur und dem Fügen auf den Schälwiderstand [Gerstle]

erfolgen. Wird hiermit jedoch zu lange gewartet, so kann dies ebenfalls den Festigkeitsaufbau stören.

Bei einigen Anwendungen ist es nötig, ein Gewebe, Gewirke oder ähnliches mit einem Klebstoff zu tränken. Das Tränkvermögen eines Klebstoffes nimmt mit steigender Reaktionszeit ab. Dieses Verhalten kann nicht immer auf die erhöhte Viskosität des Klebstoffes zurückgeführt werden. Starke Veränderungen der Tränkbarkeit sind auch dann möglich, wenn sich die Viskosität nicht oder nur geringfügig verändert hat.

Die Topfzeit eines Klebstoffansatzes wird nicht nur durch die Reaktivität des Klebstoffes bestimmt, sondern auch durch die Klebstofftemperatur und die angesetzte Klebstoffmenge, sowie die Art und Form des Mischbehälters.

Chemische Reaktionen werden in ihrer Geschwindigkeit von der herrschenden Temperatur beeinflusst. Sie laufen bei erhöhter Temperatur schneller, bei verminderter Temperatur langsamer ab. Dementsprechend ist ein Einfluss der Temperatur auf die Topfzeit zu berücksichtigen. Eine erhöhte Umgebungstemperatur führt zu einer schnelleren Abbindereaktion und verkürzt die Topfzeit einerseits durch einen schnelleren Viskositätsanstieg. Andererseits wirkt sich die Temperatur auch auf die Reaktion des Klebstoffes mit der Oberfläche aus. **Bild 5.9.8** zeigt, dass bei der auf 35°C erhöhten Verarbeitungstemperatur eine verlängerte Zeit zwischen dem einseitigen Klebstoffauftrag und dem Fügen zu einem Abfall des Schälwiderstandes führt.

Der Vergleich zwischen dem **Bild 5.9.7** und der Kurve für die Klebstoffverarbeitung bei 25° C in **Bild 5.9.8** zeigt einen interessanten Aspekt. Der Einfluss der Verarbeitungszeit hat auf die Langzeitbeständigkeit von Klebverbindungen eine stärkere Auswirkung als auf deren Kurzzeitfestigkeit. Bei der in **Bild 5.9.8** gezeigten Anfangsfestigkeit von Klebverbindungen, die bei 20°C erstellt wurden, konnte bei Verarbeitungszeiten bis zu 120 Minuten kein Abfall des Schälwiderstandes festgestellt werden. Wurden derartige Proben jedoch einer Alterung in Form einer Wasserlagerung ausgesetzt, so wiesen bereits Proben, die 30 Minuten nach dem einseitigen Klebstoffauftrag gefügt wurden, einen Abfall des Bellschälwiderstandes auf.

Eine grobe Faustregel besagt, dass bei einer Temperatursteigerung um 10°C die Reaktionszeit halbiert wird. Dies gilt auch für 2-K-Reaktionsklebstoffe. Daraus folgt, dass eine Temperaturerhöhung um 10°C die Topfzeit etwa halbiert. Diese Auswirkung soll an einem kleinen Beispiel erläutert werden: Wird ein Klebstoff bei 20°C in einem Gebäude verarbeitet, so wird die angegebene Topfzeit, beispielsweise von 60 Minuten, erreicht. Wenn der Klebstoff durch Sonneneinstrahlung auf etwa 30°C erwärmt wird, so steht jedoch nur noch eine Topfzeit von einer halben Stunde zur Verfügung. Nach einer intensiven Wärmelagerung beispielsweise im sonnenbeschienenen Kofferraum eines Fahrzeuges, kann die Temperatur sogar auf 40°C und mehr ansteigen. Dann hat dieser Klebstoff nur noch eine Topfzeit von 15 Minuten. Wird der Klebstoff hingegen bei 10° C verarbeitet, so kann mit einer verdoppelten Topfzeit, d. h. mit 2 Stunden gerechnet werden.

Einfluss der Ansatzmenge

Die Abbindereaktion von 2-K-Reaktionsklebstoffen ist ein exothermer Vorgang d. h. es entsteht Reaktionswärme. Wenn diese nicht abgeleitet wird, kommt es zu einer Erwärmung des Klebstoffs. Da Klebstoffe schlechte Wärmeleiter sind, erwärmt sich ein Klebstoffansatz, solange er als kompakte Masse im Mischgefäß vorliegt. Je größer eine angesetzte Menge ist, desto größer wird das Problem der Wärmeableitung aus der Mitte des Klebstoffansatzes heraus. Unter bestimmten Bedingungen kann die Temperaturerhöhung so hoch sein, dass es zur Selbstzerstörung des Klebstoffes kommt, [Tauber].

Die Temperaturerhöhung verkürzt die Topfzeit. In welchem Maße die Temperatur ansteigt und sich dadurch die Topfzeit verkürzt, hängt von der Reaktivität des Systems und von der Ansatzmenge ab. **Bild 5.9.9** zeigt für einen pastösen Epoxidharzklebstoff die Topfzeit (Endpunktbestimmung durch Prüfung der Verstreichbarkeit) in Abhängigkeit von der Ansatzmenge.

Bei hochreaktiven Produkten, die in kurzer Zeit abbinden, kommt es zu stärkeren Temperaturerhöhungen als bei langsam abbindenden Produkten. **Bild 5.9.10** zeigt den Temperaturanstieg in einem Epoxidharzansatz in Abhängigkeit von der Zeit für zwei verschiedene Ansatzmengen und für einen „langsamen“ (Härter 8) und einen „schnellen“ (DPTA) Härter. Wird mit dem „schnellen“ Härter eine größere Klebstoffmenge (500 g) angemischt, so stellt sich im Klebstoffansatz die hohe Temperatur von 70°C ein. Bei dieser Klebstofftemperatur beträgt die Topfzeit nur noch einen Bruchteil der Angaben des Datenblattes. Derart hohe Temperaturen werden beim „langsamen“ Härter 8 nicht erreicht.

Einfluss des Mischgefäßes

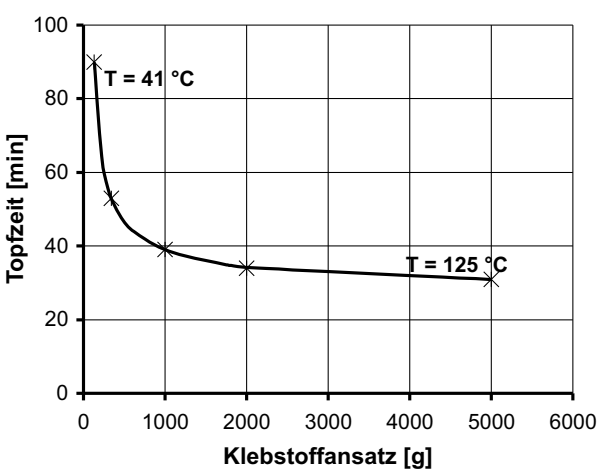


Bild 5.9.9 Einfluss der Ansatzmenge auf die Topfzeit eines pastösen Epoxidharzes [Tauber]

Je kompakter ein Klebstoffansatz ist, desto schlechter ist die Ableitung der entstehenden Reaktionswärme. In großen flachen Gefäßen ist die Wärmeabfuhr besser und damit die Erwärmung geringer, als in zylindrischen oder würfelförmigen. Behälter aus Metall sind zum Mischen besser geeignet als solche aus Kunststoff, da sie die Wärme verstärkt ableiten. Das Mischen auf einer Metallplatte ist wegen der geringeren Erwärmung zwar günstig, das intensive Mischen ist jedoch schwieriger. Eine Temperaturerhöhung findet nur solange statt, wie sich der Klebstoffansatz als kompakte Masse in einem Mischgefäß befindet. Sobald der Klebstoff als dünne Schicht auf ein Fügeteil aufgetragen wird, wird die Reaktionswärme an das Fügeteil abgeführt. Da die Reaktionswärme des Klebstoffes in einer dünnen Schicht gut abgeführt werden kann, kommt es in diesem Falle, von Ausnahmen abgesehen, zu keiner Temperaturerhöhung.

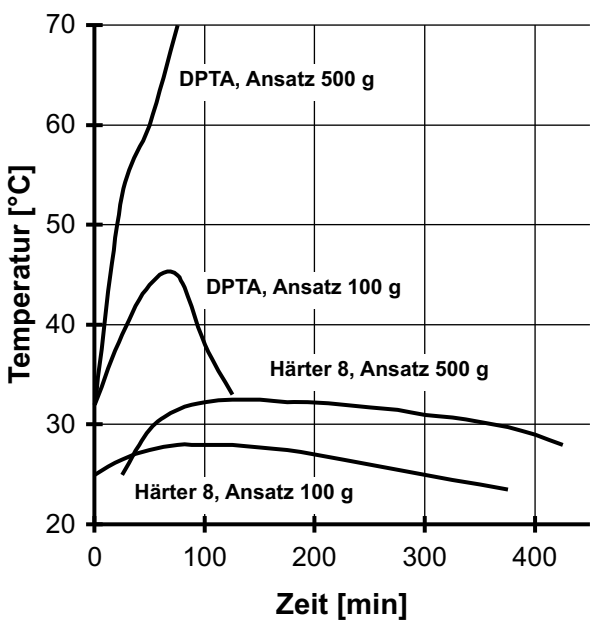


Bild 5.9.10 Temperaturerhöhung in einem Klebstoffansatz in Abhängigkeit von der Zeit für unterschiedliche Ansatzmengen und verschieden „schnellen“ Härter [Epilox Gießharzsysteme]

Eine Klebstoffverarbeitung mit geringer Erwärmung besteht aus dem intensiven Vermischen eines kompakten Klebstoffansatzes der dann schnell auf die Fügeteile aufgetragen wird. Dadurch kommt es nur zur einer geringen bzw. zu keiner Klebstofferwärmung. Das Fügen und die Lagekorrektur der Teile können zu einem späteren Zeitpunkt innerhalb der Topfzeit erfolgen.

5.9.3 Zusammenhang zwischen Abbindezeit und Topfzeit

Die Reaktivität eines Produktes bestimmt die Abbinde- und die Topfzeit, wobei zwischen diesen Zeiten ein Zusammenhang besteht. Es gilt, dass Klebstoffe, die eine lange Topfzeit haben, auch eine lange Abbindezeit aufweisen. Wird jedoch aus Gründen der Fertigungsgeschwindigkeit eine kurze Abbindezeit angestrebt, so steht auch nur eine kurze Topfzeit, d. h. eine kurze Verarbeitungszeit des Klebstoffes zur Verfügung. Das Verhältnis zwischen Topfzeit und Abbindezeit kann jedoch recht unterschiedlich sein. Es liegt für kaltaushärtende Klebstoffe aus dem Hause CIBA GEIGY zwischen 8 und 48. Das heißt die sogenannte minimale Aushärtungszeit beträgt beim Klebstoff AV 144/2 das 8-fache der Topfzeit, beim Klebstoff XW 455/2A das 48-fache der Topfzeit. Der Zusammenhang zwischen Topfzeit und Abbindezeit ist bei einer Verarbeitung bei Raumtemperatur immer gegeben. Wünscht man lange Verarbeitungszeiten, d. h. lange Topfzeiten und kurze Abbindezeiten, so ist dies bei Arbeiten bei Raumtemperatur nicht möglich. Dies kann nur durch eine gezielte Wärmeführung bei der Verarbeitung erreicht werden.

Eine weitere Möglichkeit, die Topfzeit zu verlängern ohne die Abbindezeit zu beeinflussen, besteht im Kühlen der Einzelkomponenten und des Mischproduktes. Allerdings sind hier die Einflussmöglichkeiten nicht so groß wie bei der Wärmezufuhr beim Abbinden. Es gilt weiter zu beachten, dass die verminderte Temperatur zu einem Anstieg der Viskosität führt, was die Verarbeitung erschweren kann. Bei einer stärkeren Temperaturabsenkung kann es zur Kristallisation von Klebstoffbestandteilen kommen. Diese Kristalle tauen beim Erwärmen u. U. nicht schnell genug wieder auf, so dass es zu einer unzureichenden Abbindereaktion kommt. Darum sollten bei einer Abkühlung unter die vom Hersteller angegebene tiefste Lagertemperatur Informationen eingeholt werden, ob und unter welchen Randbedingungen dies problemlos durchführbar ist. Abschließend muss noch darauf hingewiesen werden, dass verminderte Temperaturen zu einer verlängerten Abbindezeit führen bzw. den Abbindevorgang völlig verhindern können. So kann bei Arbeiten im Winter im Freien keine hinreichende Abbindereaktion eintreten.

Eine Wärmezufuhr während der Abbindephase verkürzt die Abbindezeit wesentlich. Bei entsprechend hoher Abbindetemperatur kann die Abbindezeit sogar wesentlich kürzer als die Topfzeit sein. Beim Warmabbinden kann es allerdings zu Wärmespannungen kommen. Dies gilt vor allem dann, wenn die Fügeteile nur partiell erwärmt werden und beim Kleben von Werkstoffen mit unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten.

5.9.4 Manuelles Mischen von 2-K-Klebstoffen

Vor dem Mischen von 2-K-Reaktionsklebstoffen müssen beide Komponenten genau zueinander dosiert werden. Bei Einzelanwendungen kann das mit Hilfe einer Waage erfolgen. Die Komponenten werden nacheinander in ein Mischgefäß gegeben und dann intensiv mit der Hand vermischt. Eine einfache Möglichkeit der Kleinmengendosierung sind Doppelbriefchen. Harz und Härter befinden sich in zwei abgeschlossenen Kammern des Briefchens, **Bild 5.9.11**. Die Kammern werden zum Entleeren übereinander gelegt, die Ecken abgeschnitten und entleert. Nach dem Mischen der ausgetretenen Komponenten ist der Klebstoff verarbeitbar.

Doppelkammerbrief Mischplatte

Ausdrücken des Doppelkammerbriefs

Bild 5.9.11 Klebstoffbriefchen und dessen Verarbeitung. Die ausgetretenen Klebstoffkomponenten müssen noch gemischt werden.

Bild 5.9.12 Doppelkartusche mit einfacher Handbetätigung; oben Einzelteile

Bild 5.9.13 Koaxiale Doppelkartusche mit mechanisierter Betätigung

Bild 5.9.14 Klebstoffauftrag aus großer Doppelkartusche mit Druckluftbetätigung und langem statischen Mischrohr

Eine einfachere Möglichkeit als das Wiegen der einzelnen Komponenten ist die Verwendung von Doppelkartuschen, **Bild 5.9.12**. In zwei miteinander verbundenen Kartuschen befinden sich jeweils Harz und Härter. Wenn der Doppelkolben mit der Hand in die Kartuschen gedrückt wird, treten Harz und Härter im gewünschten Mischungsverhältnis aus. Wird bei einer Kleinmengenverarbeitung nur wenig Klebstoff in ein Mischgefäß gegeben, so besteht allerdings die Gefahr, dass bei einseitigem Druck auf den Doppelkolben von einer Komponente mehr austritt, als beabsichtigt ist. Günstiger ist die Verwendung einer mechanischen Vorschubeinrichtung, **Bild 5.9.13**.

Setzt man auf die Doppelkartusche ein statisches Mischrohr, **Bild 5.9.22–5.9.24**, so erübrigt sich das Mischen mit der Hand. Neben der gezeigten Doppelkartusche mit gleichen Durchmessern können in gleicher Weise auch Kartuschen mit unterschiedlichen Durchmessern verarbeitet werden. Das Mischungsverhältnis ergibt sich aus den Querschnittsverhältnissen der Kartuschen. Wegen der aufwendigen Verpackung des Klebstoffes ist er in dieser Form sehr teuer. Weiterhin werden nur relativ wenige Klebstofftypen für diese Verarbeitungstechnik angeboten. Werden allerdings größere Mengen benötigt, so können Kartuschen durch Lohnabfüller mit dem speziellen Klebstoff gefüllt werden. Bei großen Doppelkartuschen und höherviskosen Klebstoffen empfiehlt sich eine Druckluftbetätigung des Kolbens, **Bild 5.9.14**, da es sonst zur schnellen Ermüdung des Werkers kommt. Bei großen Kartuschen und langen Mischrohren kann ein exakter Klebstoffauftrag allerdings schwierig sein, da die haltenden Hände weit vom Auftragspunkt entfernt sind.

Neben den koaxialen Doppelkartuschen, der **Bilder 5.9.12–5.9.14** gibt es Kartuschen, in denen die beiden Komponenten hintereinander angeordnet sind. Mit einer Mischplatte, die an einer Stange befestigt ist, die von außen betätigt wird, wird die Trennwand zwischen den Komponenten zerstoßen und der Klebstoff in der Kartusche gemischt. Die gesamte Klebstoffmenge muss innerhalb der Topfzeit verarbeitet werden. Das Austragen des Klebstoffes erfolgt mit manuellen oder druckluftbetätigten Auftragspistolen.

5.9.5 Maschinelles Mischen von 2-K-Klebstoffen

Bei 2-K-Reaktionsklebstoffen beginnt unmittelbar nach dem Zusammenfügen der Komponenten die Abbindereaktion, die Viskosität des Klebstoffes steigt an. Deshalb kann der Klebstoff nach einer längeren Unterbrechung des Mischvorganges durch die wieder nachdrückenden Komponenten nicht mehr aus der Mischeinheit herausgefördert werden, sie wird unbrauchbar. Sie muss entweder ersetzt oder rechtzeitig gereinigt werden. Das Ersetzen der Mischeinheit ist nur bei preiswerten Mischern sinnvoll. Hierfür werden statische Mischrohre aus Kunststoff in unterschiedlichen Ausführungen und Querschnitten verwendet. Dynamische Mischer und statische Mischer aus Metall müssen, wegen der hohen Kosten, immer gereinigt werden. **Tabelle 5.9.15** zeigt Lösungsmöglichkeiten für die Reinigungsproblematik bei Mischern.

Tabelle 5.9.15 Möglichkeiten zum Mischen und Reinigen bei der Verarbeitung von 2-K-Klebstoffen

Möglichkeiten zum Mischen und Reinigen bei 2-K-Klebstoffen	
Mischeinheit ohne Reinigung	
Mischen im Mischgefäß	Bei gründlicher Mischung der beiden Komponenten kann das Mischgefäß nach dem Abbinden des Klebstoffes als Kunststoffmüll entsorgt werden.
Mischen mit Einmalmischer	Mischer enthält in Teilbereichen nicht abgebundenen Klebstoff, daher ist der gefüllte Mischer Sondermüll.
Mischen mit Einmalmischer	Druckluft entleert den Mischer vollständig. Wenn der ausgetretene Klebstoff gemischt und ausgehärtet wird, können die Reste als Hausmüll entsorgt werden.
Unterkühlen der Mischeinheit (Bild 5.9.18)	■ Lagerdauer begrenzt ■ nur für Klebstoffe mit längerer Topfzeit ■ Zeitbedarf für das Erwärmen ■ bei Wiederaufnahme der Produktion
Mischeinheit wird gereinigt durch:	
Lösemittelreinigung	Lösemittelproblematik
Reinigen mit Luft und Luft/Lösemittelgemisch (Bild 5.9.16)	Lösemittelproblematik, allerdings geringer als bei Lösemittelreinigung
Reinigen mit einer Komponente	Die austretende Komponente ist Sondermüll
einen Leerschuss	Vor dem Ablauf der Topfzeit wird so viel Klebstoff abgeben, dass der Mischer mit neuem Klebstoff gefüllt ist

In **Bild 5.9.16** ist die Reinigungsmöglichkeit eines statischen Mischrohres durch Luft oder Lösemittel oder ein Lösemittel-Luft Gemisch gezeigt. Zunächst wird die Mischeinheit mit Luft leer geblasen. Die Reinigung von Klebstoffresten erfolgt dann mit Hilfe von Lösemitteln. Die austretende Luft muss abgesaugt werden, die Klebstoffreste und das Lösemittel sind Sondermüll.
Durch Unterkühlen bzw. Einfrieren der Mischeinheit kann die Reaktion so stark verlangsamt werden, dass längere Lagerzeiten möglich sind. Wie lange gelagert werden kann, ist je nach Klebstofftyp unterschiedlich, **Tabelle 5.9.17**. Für das Unterkühlen eigenen sich statische Mischer aus Metall besonders gut, da sie dünn und lang sind. Damit der Mischer

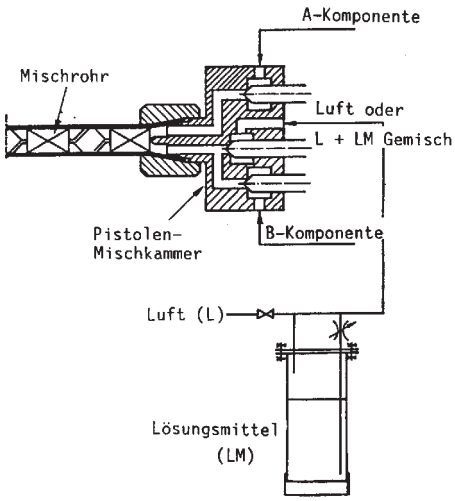


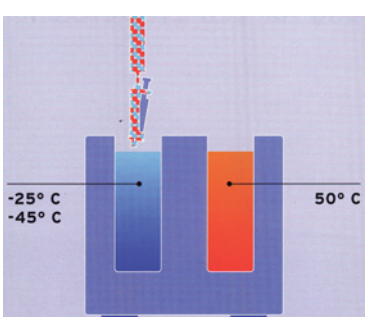
Bild 5.9.16 Reinigung mit Luft-Lösemittelgemisch [Werkbild Reinhardt-Technik]

nicht zu lang wird, kann er mehrfach um 180° geknickt werden. **Bild 5.9.18** zeigt den prinzipiellen Aufbau einer Anlage zum Unterkühlen und Wiedererwärmen von statischen Mischrohren. Zu Beginn einer Arbeitsunterbrechung wird der Mischer in einem Kühlaggregat stark abgekühlt. Vor dem erneuten Arbeitsbeginn wird er im Auftaubereich wieder auf Arbeitstemperatur gebracht. Dieses Verfahren hat zwei beachtliche Vorteile:
1. Es entsteht kein Materialverlust
2. Es werden keine Lösemittel zur Reinigung benötigt.

Tabelle 5.9.17 Mögliche Lagerdauer von Klebstoffen im Mischer bei Unterkühlung [Reinhardt Technik]

Klebstoff	Lagerdauer	Lagertemperatur
Polysulfid	einige Wochen	– 25° C
PU	einige Tage	– 28° C
Silikon	60 h	– 45° C

Förderschläuche mit statischem Mischrohr



unterkühlen auftauen

Bild 5.9.18 Prinzip der Anlage zum Unterkühlen eines statischen Mischrohres für 2-K-Produkte [Werkbild Reinhart-Technik GmbH]

5.9.6 Statische und dynamische Mischer

Ein dynamischer Mischer besteht aus einer runden Kammer, in der sich ein Rührer oder Mischer mit hoher Geschwindigkeit dreht. Der Antrieb erfolgt vielfach durch einen Druckluftmotor. Die beiden Komponenten des Klebstoffes werden in der entsprechenden Dosierung über zwei Leitungen zugeführt. Der Mischer verrührt Harz und Härter intensiv. Immer dann, wenn neuer Klebstoff in die Kammer eintritt, wird das gemischte Produkt herausgedrückt. Vor Ablauf der Topfzeit muss die Kammer von Klebstoff befreit werden. Dazu wird entweder mit einem Löse- oder Reinigungsmittel gespült oder man drückt den gemischten Klebstoff mit einer Komponente heraus. In beiden Fällen entsteht Sondermüll als Abfall.
Beim Beginn des Mischens ist die Mischkammer leer. In die Kammer treten die Komponenten ein und werden durch den mit hohen Umdrehungszahlen laufenden Rührer vermischt. Dabei wird zwangsläufig Luft eingerührt. Dieser Klebstoff ist nicht zu gebrauchen und muss beseitigt werden. Nur ein blasenfreier Klebstoff darf zum Kleben eingesetzt werden. Den schematischen Aufbau eines dynamischen Mischkopfes zeigt **Bild 5.9.19**. Die Form des Rührers ist der Viskosität des Klebstoffes und der beabsichtigten Fördermenge anzupassen. In **Bild 5.9.20** ist die Außenansicht eines dynamischen Mischers älterer Bauart zu sehen. **Bild 5.9.21** zeigt einen Mischkopf anderer Bauart, der eine bessere Zugänglichkeit zu den Fügestellen erlaubt.

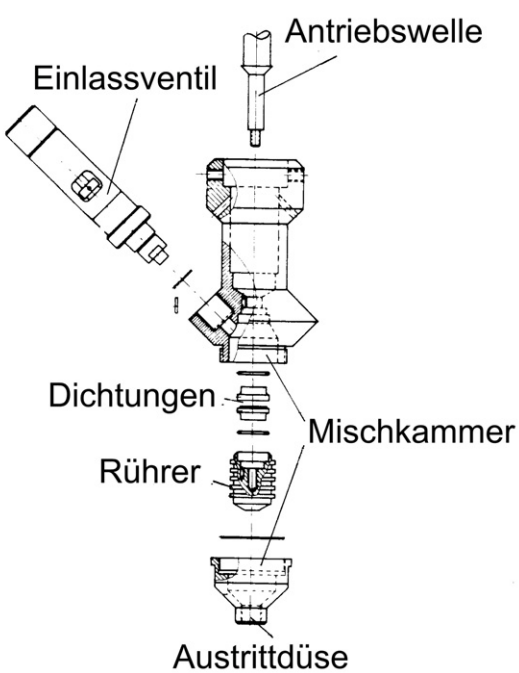


Bild 5.9.19 Explosionszeichnung eines dynamischen Mischkopfes

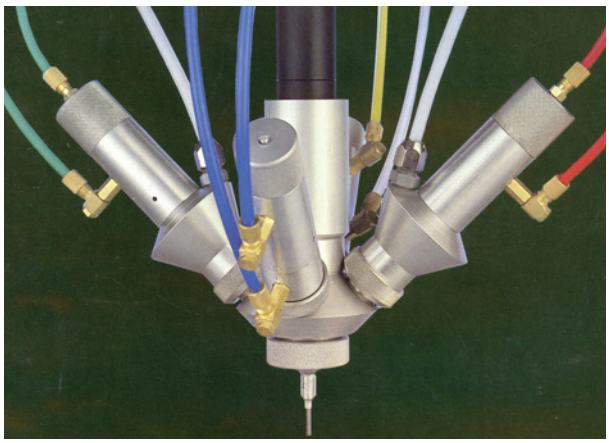


Bild 5.9.20 Bild eines älteren dynamischen Mischkopfes mit zwei Ventilen für die Komponenten, rote und grüne Zuleitungen und je eins für Löse- bzw. Reinigungsmittel, gelbe und Luft, blaue Zuleitungen

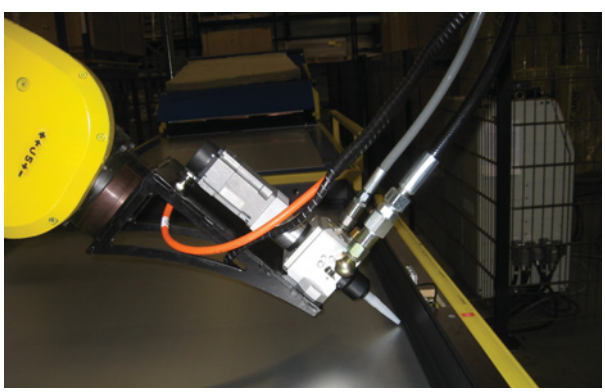


Bild 5.9.21 Dynamischer 2-K-Mischkopf [Werkbild Reinhardt Technik]

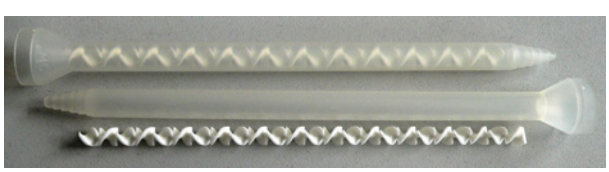
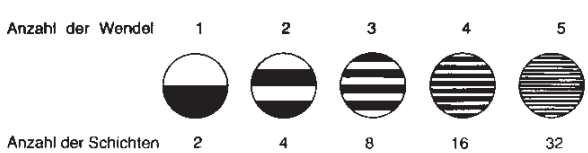


Bild 5.9.22 Statischer Mischer des Systems KENICS



nach 6 Mischelementen	64 Schichten
nach 12 Mischelementen	4.096 Schichten
nach 18 Mischelementen	262.144 Schichten
nach 12 Mischelementen	16.777.216 Schichten
nach 12 Mischelementen	1.073.741.824 Schichten

Bild 5.9.23 Mischprinzip eines statischen Mischers des Systems KENICS [Werkbild Hilger und Kern / Dopag]

In **Bild 5.9.22** ist ein statischer Mischer abgebildet. Er besteht aus dem Mischrohr und den eingefügten Mischwendeln. Das Mischprinzip dieses Mischers zeigt **Bild 5.9.23**. Die beiden Komponenten werden getrennt in das Mischrohr eingepresst. Durch die Wendeln wird der Strom der Komponenten geteilt und dann mit der anderen wieder zusammen geführt. Dies erfolgt so oft, bis es zu einer guten Durchmischung kommt. Bei niederviskosen Klebstoffen überlagert sich diesem Mischeffekt noch ein weiterer. Durch die Umlenkung in jedem Mischelement entstehen Turbulenzen, die den Mischeffekt verstärken [Dosiertechnik]. Es gibt diese Mischer als Einmalmischer aus Kunststoff aber auch aus Metall. Letztere werden vor dem Ablauf der Topfzeit gereinigt; die Kunststoffmischer ausgetauscht und beseitigt. Neben dem in **Bild 5.9.21** gezeigten Aufbauprinzipen des statischen Mischers vom Prinzip KENICS gibt es den Turbulenzmischer QUADRO™ der Fa. Sulzer Mixpac. Dessen Aufbau und Mischprinzip zeigt **Bild 5.9.24**.

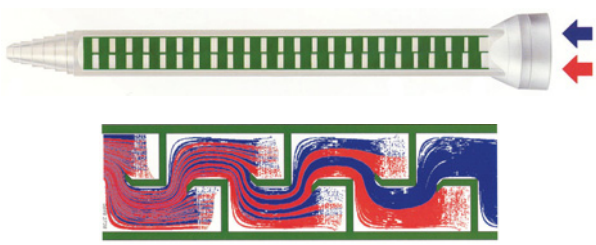


Bild 5.9.24 Statischer Mischer und Mischprinzip des System Sulzer [Werkbild Sulzer Mixpac AG]

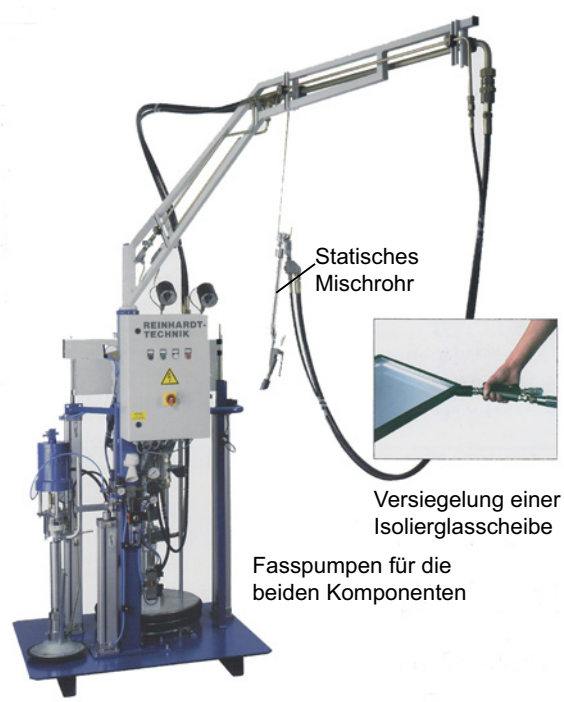


Bild 5.9.25 2-K-Misch-und Dosieranlage mit statischem Mischrohr [Werkbild Reinhardt Technik]

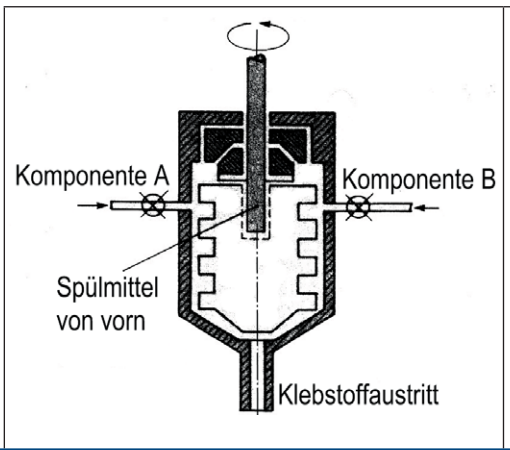
Bild 5.9.26 Statisch-dynamische Mischpistole [Werkbild HILGER u. KERN / DOPAG]

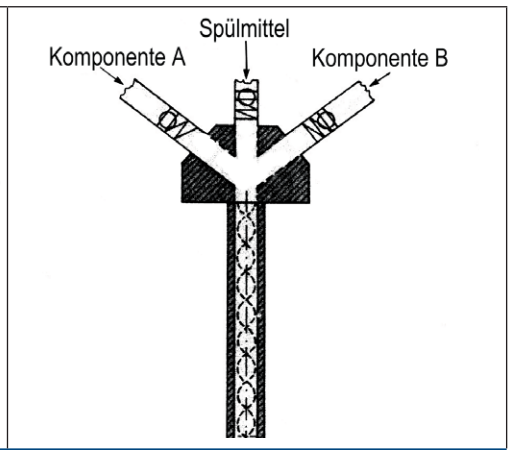
Wenn die Auftragseinheit über weite Bereiche bewegt werden muss, wie beim Versiegeln von Isolierglasscheiben, dann bietet sich ein statischer Mischer an, **Bild 5.9.25**. Dadurch entfällt die Notwendigkeit, einen dynamischen Mischer über eine größere Strecke hin anzutreiben. Eine biegsame Welle, ein Druckluftschlauch oder eine Stromleitung zusätzlich zu den beiden Materialschläuchen würden die Handhabung der Auftragsdüse in Verbindung mit dem Gewicht des dynamischen Mischers und seines Antriebes erschweren.

Statische Mischer sind in vielen Fällen auch für Produkte mit extremen Mischungsverhältnissen und unterschiedlichen Viskositäten der Komponenten geeignet [Dosiertechnik]. Die weit überwiegende Zahl der mechanischen Mischaufgaben wird mit statischen Mischrohren erledigt [Dosiertechnik]. Neben den reinen statischen Mischern gibt es eine weitere Bauform, bei der der Mischeinsatz gedreht wird. Dies verbessert den Mischerfolg. Dadurch können kürzere Mischrohre eingesetzt werden, was die Handhabbarkeit beim Klebstoffauftrag verbessert [Dosiertechnik]. **Bild 5.9.26** zeigt eine derartige Mischpistole. Der Antrieb der Kunststoffmischelemente erfolgt über eine nach außen hin abgedichtete Welle, die angetrieben wird. Nach Ablauf der Topfzeit kann dieser Mischer ebenfalls einfach ersetzt werden. In **Tabelle 5.9.27** ist der Unterschied zwischen dem statischen und den dynamischem Mischverfahren aufgezeigt.

Neben den statischen und dynamischen Mischern werden bei der Verarbeitung von 2-K-Polyurethanen Hochdruck-Gegenstrommischanlagen eingesetzt. Das Misch- und Reinigungsprinzip ist in **Bild 5.9.28** dargestellt. Eine Ansicht des Mischers zeigt **Bild 5.9.29**. In der Mischkammer treffen die beiden Komponenten mit hohem Druck aufeinander und vermischen sich dadurch. Diese Mischtechnik schränkt das Mischungsverhältnis ein. Stark unterschiedliche Mengenverhältnisse vermischen sich nicht gut. Der Mindestdurchsatz liegt bei 5 g/s. Daher ist diese Mischtechnik für Kleinmengen nicht geeignet.

Tabelle 5.9.27 Statischer und dynamischer Mischer [Wacker]





Bezeichnung		dynamischer Mischkopf	statisches Mischrohr
Beschreibung	Mischraum-volumen	klein (geringes Volumen gemischten Klebstoffs)	groß (großes Volumen gemischten Klebstoffs, Topfzeitprobleme)
	Ausstoßventil	nein	ja
	Antrieb	Pressluftmotor: preiswert, laut, drehzahlinkonstant Elektromotor: teuer, Drehzahl konstant oder regelbar	keiner
	Systemeigen-heiten	teuer	preiswert
		aufwendige Demontage	einfache Demontage
		kleine Material- und Spülmittelverluste bei topfzeitüberschreitenden Pausen	große Material- und Spülmittelverluste bei topf-zeitüberschreitenden Pausen
		gute Funktion bei ähnlichen und unterschied-lichen Mischungsverhältnissen	gute Funktion bei ähnlichen Mischungsverhält-nissen
		anwendbar bei kurzen Topfzeiten	problematisch bei kurzen Topfzeiten
		kurze Füllzeit	lange Füllzeit
		kleine Schussmengen möglich	inhomogen bei kleinen Schussmengen
		abrasionsempfindlich (aber Möglichkeit der Härtung)	abrasionsempfindlich
		faserhaltige Materialien verarbeitbar	faserhaltige Materialien setzen Mischrohr zu
		Wellenabdichtung anfällig	entfällt
		Reibungswärme beeinflusst Topfzeit (aber Möglichkeit der Wärmeabführung)	entfällt

Die Reinigung der Mischkammer erfolgt mechanisch durch einen Stößel. Dadurch entfallen der Einsatz von Lösemitteln und das Beseitigen von nicht ausgehärteten Klebstoffresten. Eine weitere Möglichkeit des Mischens von 2-K-Polyurethanen ist der selbstreinigende Schneckenrührer der Fa. Klöckner Desma, **Bild 5.9.30** und **5.9.31**. Das Mischprinzip entspricht dem der dynamischen Mischer. Die Reinigung erfolgt durch die Rührerform bei sehr hohen Drehzahlen. Sie erreichen bis zu 18 000 min^{-1}. Bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 beträgt der Mindestdurchsatz bei diesem System 20 g/s. Die Mischerschnecke hat dabei einen Durchmesser von 25 mm. Auch hier ist kein gesonderter Reinigungsvorgang mit seinen speziellen Problemen notwendig.

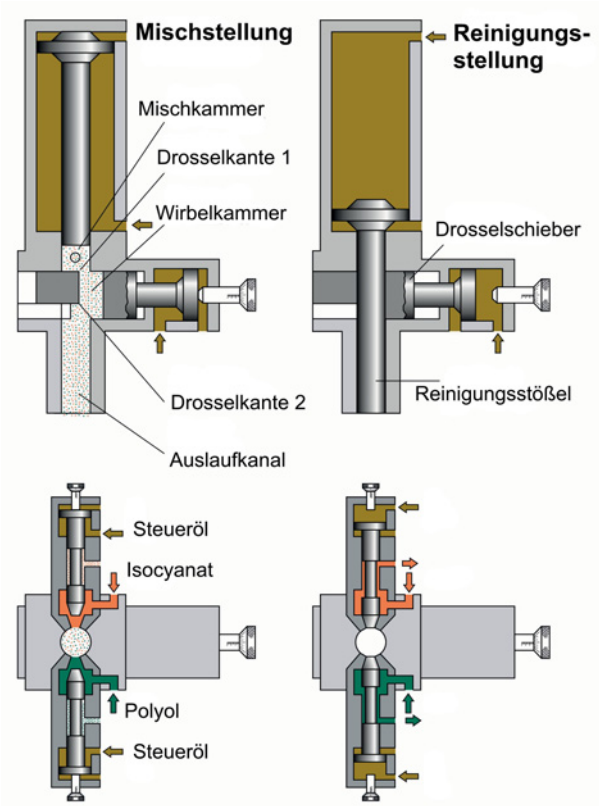


Bild 5.9.28 Prinzipdarstellung eines Gegenstrommischers [Werkbild Hennecke GmbH Polyurethane Technology]

Bild 5.9.29 Gegenstrommischer [Werkbild Hennecke GmbH Polyurethane Technology]

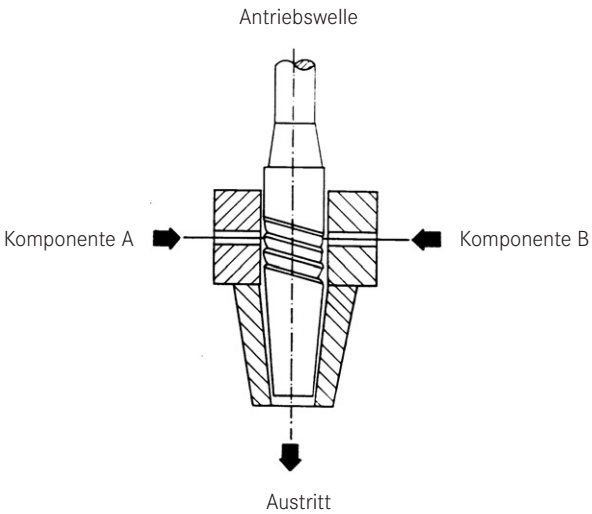


Bild 5.9.30 Funktionsprinzip des selbstreinigenden Schneckenrührers der Fa. Klöckner Desma [Werkbild Klöckner Desma]

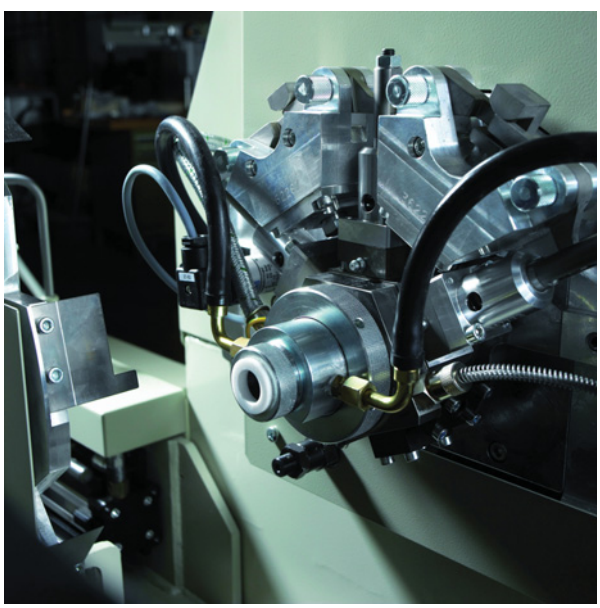


Bild 5.9.31 Außenansicht des selbstreinigenden Schneckenrührers DESMA RGE (Reaktions-Gieß-Einheit) [Werkbild Klöckner Desma]

5.9.7 Misch- und Dosieranlagen für 2-K-Klebstoffe

Eine 2-K Misch- und Dosieranlage besteht mindestens aus den beiden Klebstoffbehältern, den Dosierpumpen und der Mischeinheit. Der Auftrag auf das Fügeteil kann direkt aus dem Mischer heraus erfolgen, so dass keine Auslassventile notwendig sind. Bei Verwendung von Einmalmischern kann auf eine Reinigungseinheit verzichtet werden. Die Bauelemen-