

# Was Kleber über Kunststoffe wissen sollten

Wenn heute innovative Produkte auf den Markt gebracht werden, sind meist Kunststoffe mit von der Partie. Sie können häufig nur durch den Einsatz der Klebtechnik zuverlässig gefügt werden – insbesondere wenn es darum geht, unterschiedliche Kunststoffe miteinander oder Kunststoffe mit anderen Werkstoffen zu verbinden. Um dabei erfolgreiche Ergebnisse zu erzielen, sollte der Verarbeiter auch hinsichtlich der zu fügenden Kunststoffe über ein Basiswissen verfügen.

Henning Gleich, Andreas Hartwig, Hartwig Lohse

Wir leben in einer Welt, in der Kunststoffe omnipräsent sind und in nahezu jedem Produkt des täglichen Lebens vorkommen. Gründe hierfür gibt es viele – so zum Beispiel ihre einfache Verarbeitung und geringe Dichte. Außerdem sind sie preiswert und erfordern im Vergleich zu Alternativmaterialien oftmals auch einen geringeren Energiebedarf bei ihrer Herstellung und Verarbeitung. In einer großen Zahl von Fällen besteht ein Produkt aber nicht aus einem monolithischen Kunststoffteil, sondern wird aus den verschiedensten Komponenten zusammengesetzt. Meist beinhalten diese die unterschiedlichsten Materialien. Gerade für das Fügen verschiedener Werkstoffe ist die moderne Klebtechnik das prädestinierte Verfahren. Allerdings müssen die notwendigen technischen Eigenschaften erfüllt und gleichzeitig eine hohe Produktivität, Qualität und Zuverlässigkeit gewährleistet werden. Wie dies in der Praxis gelingt, veranschaulichen die Serie und das begleitend dazu entstehende Buch anhand eines Überblicks und zahlreicher Beispiele. Nur wenn man weiß, wie es funktioniert, ist die Klebtechnik das beste Fügeverfahren, um die genannten Randbedingungen zu erfüllen.

## Einteilung und Eigenschaften

Bei Kunststoffen handelt es sich um synthetisch hergestellte Polymere, die mit verschiedensten Zusatzstoffen formuliert sind. Dies können Füllstoffe oder Fasern sein, aber auch Trennmittel, Weichmacher, Antioxidantien und UV-Stabilisatoren. Neben dem Polymer selber spielen alle diese Stoffe eine Rolle für das Klebverhalten – insbesondere dann, wenn sie sich an der Oberfläche befinden. In diesen Fällen ist dann vor dem Kleben in der Regel eine Reinigung oder Vorbehandlung notwendig. Die meisten Kunststoffe sind außerdem unpolar, was zu einer schlechten Benetzung – auch durch den Klebstoff – führt, und inert, d.h. sie werden von anderen Stoffen wenig angegriffen bzw. reagieren nicht mit diesen. Oftmals sind dies gewünschte Eigenschaften der Kunststoffe, erfordern aber eine Vorbehandlung, um eine hinreichende Verbundfestigkeit zu erzielen. Inzwischen sind auch Klebstoffe auf dem Markt, die selbst inerte Kunststoffe ohne Vorbehandlung zuverlässig kleben. Diese sind jedoch verhältnismäßig teuer und zeigen manchmal Nachteile bezüglich des Arbeitsschutzes und der Verarbeitbarkeit. Ihre Einsatzbreite ist daher noch sehr begrenzt. In der Praxis werden

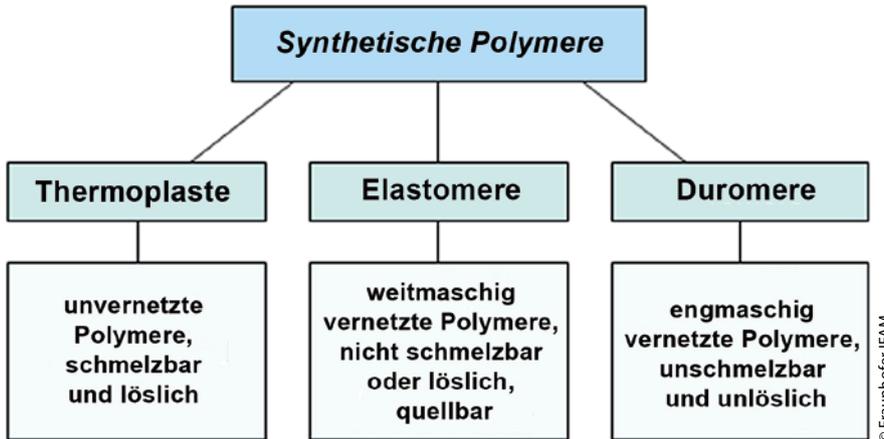
somit fast alle Kunststoffe vor dem Kleben vorbehandelt.

Durch Formulierung lassen sich die Eigenschaften von Kunststoffe in einem hohen Maße anpassen, die Basiseigenschaften sind aber durch die verwendeten Polymere gegeben. *Bild 1* zeigt die Systematik. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen:

a) **Thermoplasten:** Verarbeitung aus der Schmelze; die Polymerketten sind miteinander verschlauft, aber nicht chemisch miteinander verbunden; es handelt sich also um nicht vernetzte Polymere; Schmelzklebstoffe zählen ebenfalls zu den Thermoplasten

b) **Duromeren:** nicht schmelzbar und nicht löslich; die Bausteine bilden ein enges chemisches Netzwerk aus; oftmals erfolgt die Polymerbildung aus den Monomeren beim Endverarbeiter; viele Reaktivklebstoffe wie zum Beispiel die Epoxid- und die strukturellen Polyurethan-klebstoffe sind nach der Aushärtung Duromere

c) **Elastomeren:** meist nicht schmelzbar und nicht löslich; das Polymer bildet ein weitmaschiges Netzwerk aus; es gibt aber auch Elastomere, die lediglich physikalisch vernetzt sind (z.B. thermoplastische Polyurethane - kurz TPU); die



Glasübergangstemperatur liegt unterhalb der Anwendungstemperatur, so dass ein gummielastisches Verhalten vorliegt; die feuchtigkeitshärtenden Polyurethan- und Silikonklebstoffe sowie viele Kontaktklebstoffe gehören zu den Elastomeren.

Der größte Teil der technisch hergestellten Kunststoffe sind Thermoplaste und davon wieder der weit überwiegende Teil sogenannte Standardkunststoffe. Häufig werden die Thermoplaste in Form einer Pyramide dargestellt (Bild 2), wobei zur Spitze hin die Verarbeitungstemperatur, die Temperaturbeständigkeit und somit die mögliche Anwendungstemperatur, aber auch der Preis ansteigen, während die hergestellte Menge abnimmt. Somit sind im mittleren Bereich die technischen Kunststoffe angesiedelt und an der Spitze die Hochleistungskunststoffe. Nach oben hin nimmt nicht nur die Temperaturbeständigkeit zu, sondern auch die Beständigkeit gegenüber Medien wie zum Beispiel Lösemitteln, Ölen oder Betriebsstoffen. Dies führt dazu, dass die Hochleistungskunststoffe insbesondere für hochbeanspruchte Bauteile zum Einsatz kommen. Wenn diese gefügt werden müssen, bestehen hier auch höhere Ansprüche an die Verbindung. Dabei sind die Kunststoffe im oberen Bereich der Pyramide nicht grund-

## Klebtechnisches Wissen von vielen bündeln

Serie „Kunststoffe erfolgreich kleben“ auch als Buch

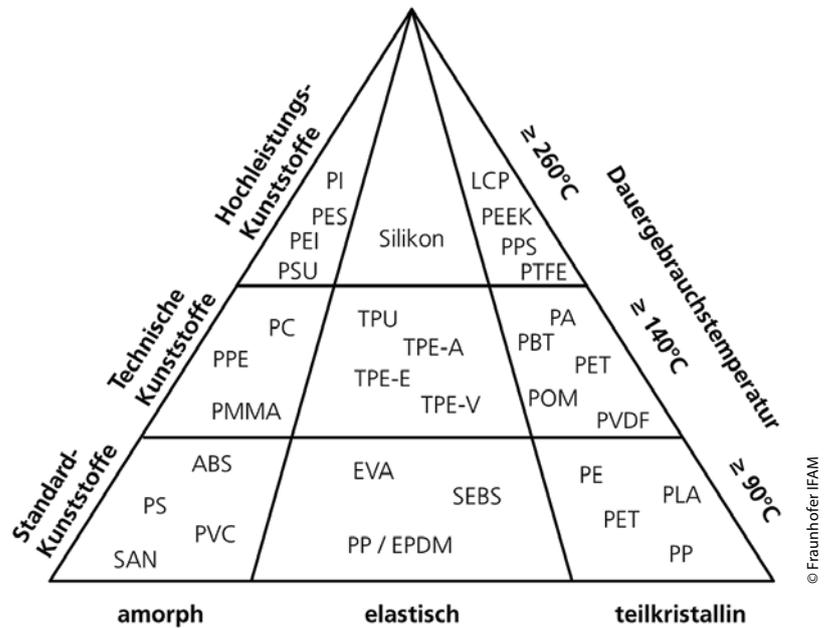
Mit der Serie „Kunststoffe erfolgreich kleben“ rücken Experten aus Industrie und Wissenschaft die Leistungsfähigkeit der Klebtechnik beim Fügen von Kunststoffen mit Kunststoffen oder anderen Werkstoffen in den Mittelunkt des Leserinteresses. Nach einführenden Beiträgen über Kunststoffe, Grundlagen der Klebstoffe und Klebtechnik werden alle für das erfolgreiche Kleben von Kunststoffen wichtigen Aspekte behandelt. Zahlreiche Best Practice Beispiele aus verschiedensten Industriebranchen beleuchten die anwendungstechnischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten der Klebtechnik beim Fügen von Kunststoffen. Auf Basis der Serienbeiträge entsteht im Hintergrund ein umfangreiches Fachbuch. Es bündelt das im Rahmen der Serie dargestellte Wissen von mehr als 50 Autoren und bietet dem Leser / der Leserin anwendungsnahe Hilfestellung bei der erfolgreichen Lösung von Klebaufgaben in der Herstellung von innovativen Kunststoffprodukten.

Weitere Infos zum Buchprojekt: [marlene.doobe@springer.com](mailto:marlene.doobe@springer.com)

sätzlich schlechter klebbar, die Belastung der Klebverbindung und des Klebstoffes ist aber höher als bei Klebverbindungen von Standardkunststoffen. Dies betrifft beispielsweise die Notwendigkeit einer hohen Medienbeständigkeit der Klebstoffe. Da die Materialien aber einen großen Temperatureinsatzbereich abdecken, wirken durch die höheren Temperaturwechsel auch stärkere

Spannungen auf die Klebverbindung. Letztere sind durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten der beiden Fügeteile und des Klebstoffes bedingt und besonders ausgeprägt, wenn die Hochleistungskunststoffe mit Metallen verbunden werden – eine typische Materialkombination in der Medizintechnik oder in Motorbestandteilen.

**Bild 2** > Pyramide der Thermoplaste mit Beispielen für amorphe, teilkristalline und elastomere Standardkunststoffe, technische Kunststoffe und Hochleistungskunststoffe



Thermoplaste können amorph oder teilkristallin sein und einige zeigen auch ein elastomeres Verhalten. Dies ist als weiteres Unterscheidungskriterium bei der beispielhaften Auflistung von Kunststoffen in der Pyramide der Thermoplaste in Abbildung 2 mit berücksichtigt. Grundsätzlich hat die Morphologie und Kristallinität keinen Einfluss auf das Klebverhalten eines Thermoplastes, schon alleine weil die direkt an der Oberfläche liegenden Moleküle ohnehin nicht in einem Kristallit vorliegen. Bei gleichem Basispolymer hat die Kristallinität jedoch einen deutlichen Einfluss auf die Festigkeit und Bruchdehnung des Thermoplastes. Um tatsächlich die mechanischen Eigenschaften des Thermoplastes in dem Bauteil auszunutzen, steigen dann auch die Anforderungen an die Klebverbindung. Ähnliches gilt für die thermoplastischen Elastomere, die spezifische Eigenschaft ist ihre Elastizität und diese muss sich auch in den Eigenschaften des ausgewählten Klebstoffes wieder finden, abhängig natürlich von dem Fügepartner und der Konstruktion des Bauteils. Duomere und Elastomere werden meist direkt in der finalen Geometrie aus den Monomeren hergestellt und dann gegebenenfalls noch mechanisch bearbeitet. Ungesättigte Polyester, Epoxidharze, Polyurethane und Phenolharze sind die wichtigsten Klassen von Duomeren. Im Gegensatz zu den Thermoplasten, welche in „World Scale Anlagen“ produziert wer-

den, erfolgt die Herstellung von Bauteilen aus den genannten Duroplasten häufig in kleinen Anlagen. Dabei können die Bauteileigenschaften durch geschickte Zusammensetzung der Reaktivmassen in hohem Maße anwendungsspezifisch modifiziert werden. Dies führt aber letztendlich dazu, dass sich die Klebbarkeit von Rezeptur zu Rezeptur deutlich unterscheiden kann. Andererseits weisen sie oftmals chemische Gruppen auf, die eher eine gute Benetzung und Reaktion mit dem Klebstoff erlauben, als dies bei den typischen Thermoplasten der Fall ist. Zudem ähneln Duroplaste in ihrer chemischen Zusammensetzung derjenigen der typischen Reaktionsklebstoffe - oder sind sogar identisch. Alles das lässt eine bessere Klebbarkeit vermuten, was teilweise auch der Fall ist.

**Trennmittel stören**

Die Welt der Elastomere ist sehr vielfältig und reicht von solchen auf Basis von Naturkautschuk über thermoplastische Elastomere bis hin zu Silikonen und Polyurethanen. Aus klebtechnischer Sicht sind sie ähnlich zu betrachten wie die Thermoplaste und insbesondere Duomere. Ein großer Unterschied liegt in der hohen Flexibilität, was zu Relativbewegungen in der Klebfuge und damit zu einer besonderen mechanischen Last führen kann. In einigen Fällen wird die Verbindung zwischen Elastomeren und einem anderen Fü-

geteil dadurch geschaffen, dass das Elastomer im nicht vernetzten Zustand auf den Fügepartner appliziert und dann vernetzt wird. Hierbei fungiert das Bauteil bildende Elastomer gleichzeitig als Klebstoff. Insbesondere bei Metall-Naturkautschuk-Verbindungen spricht man dann auch von Aufvulkanisieren. Um die hergestellten Bauteile aus den notwendigen Formen zu lösen, ist in der Regel aber der Einsatz interner (bereits in der Kunststoffformulierung enthaltener) oder externer (vor der Befüllung der Form in die Form eingebrachter) Trennmittel notwendig. Diese müssen in der Regel vor dem Kleben der Bauteile durch eine Vorbehandlung entfernt werden. In den letzten Jahren hat es zahlreiche Entwicklungen gegeben, durch die der Trennmittelanteil gesenkt werden kann, bzw. es wurden Klebstoffe entwickelt, die eine gewisse Toleranz gegenüber bestimmten Trennmitteln aufweisen. Außerdem gibt es erste permanente Trennschichten, die keinen Trennmittelübertrag mehr auf das Bauteil verursachen. Eine neue Entwicklung sind tiefziehfähige Folien mit unterschiedlich trennender Wirkung auf beiden Seiten (FlexPlas-Folie, Fraunhofer IFAM). Diese wird durch Tiefziehen in die Form gebracht und dann mit dem hergestellten Bauteil entnommen. Da die sehr gut trennende Seite an der Form anliegt, ist eine einfache Entnahme aus der Form möglich. Die Folie selber verbleibt als Schutzfolie auf dem Bauteil und wird erst unmittel-

bar vor der Weiterverarbeitung abgezogen, wobei keinerlei Trennmittelrückstände auf der Oberfläche verbleiben. Ein zusätzlicher positiver Nebeneffekt solcher Folien ist der Schutz der Fügeiteiloberflächen vor Kontamination mit anti-adhäsiven Stoffen. Somit ist das Kleben und Lackieren ohne eine weitere Vorbehandlung mit hoher Zuverlässigkeit gewährleistet. Dies alles trägt zu einer besseren Klebbarkeit und Vereinfachung der Prozesse bei.

### Fasern verstärken Kunststoffe

Kunststoffe enthalten sehr häufig Füllstoffe, wobei Fasern eine besondere Rolle spielen. Hierbei kommen sowohl Kurz-, Lang- als auch Endlosfasern zum Einsatz. Die entsprechend modifizierten Kunststoffe werden dann faserverstärkte Kunststoffe – kurz FVK – genannt. Als Fasern kommen vornehmlich Glas-, Kohlenstoff- und Aramidfasern zum Einsatz, aber auch die verschiedensten Naturfasern (z.B. Flachs, Jute, Baumwolle) sind verbreitet. Zweck der Fasern ist meist die mechanische Verstärkung der Kunststoffe, teilweise aber auch eine Anpassung des Wärmeausdehnungskoeffizienten an den anderer Bauteile und die Einstellung der Richtung von Dimensionsänderungen durch äußere Einflüsse. In erster Näherung ändert sich das klebtechnische Verhalten durch die Faserverstärkung nicht. Da die Fasern jedoch die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe signifikant verbessern und die FVK oft in hochwertigen Gütern zum Einsatz kommen, hat dies zur Folge, dass an die Klebverbindungen deutlich höhere Anforderungen gestellt werden. Dies betrifft sowohl die Anfangsfestigkeit, insbesondere aber auch die Dauerbeständigkeit (Medien, mechanische Wechsellasten, Temperatur- und Feuchteinfluss) sowie die Qualität und Reproduzierbarkeit der Klebverbindung. Daraus folgt wiederum, dass der Entwicklungs- und Qualifizierungsaufwand für Klebverbindungen mit FVK-Substraten oftmals höher ist, als bei „normalen“ Kunststoffklebverbindungen. Hierfür gibt es in den folgenden Beiträgen zahlreiche Beispiele.

### Weichmacher

Vielfach werden Kunststoffen sogenannte Weichmacher zugesetzt, um bestimmte Eigenschaften zu erzielen. Hierbei unterscheidet man zwischen reaktiven und nicht reaktiven Weichmachern. Während

die reaktiven Weichmacher bei der Polymerisation in das Polymer chemisch eingebaut werden und somit nicht migrationsfähig sind, liegen die nicht reaktiven Weichmacher als mehr oder weniger bewegliche und somit migrationsfähige Bestandteile im Polymercompound vor. Ihre Migrationsfähigkeit kann zum Beispiel dazu führen, dass sie über die Zeit in die Klebschicht wandern und diese schwächen. Darüber hinaus können sie sich auch mit der Zeit aus dem Kunststoff in die Umgebungsluft verflüchtigen, was sich in einer Versprödung des Kunststoffbauteils und somit in einer Veränderung seiner mechanischen Eigenschaften bemerkbar macht. Dies wiederum führt zu einer Veränderung der Belastbarkeit der Klebung. //

*Der zweite Teil dieser Serie in der nächsten Ausgabe erklärt das Phänomen Haftung und veranschaulicht alle Faktoren, die auf die Verbundfestigkeit geklebter Kunststoffe Einfluss nehmen.*

### Die Autoren

#### Prof. Dr.-Ing. Henning Gleich

(Henning.Gleich@inpro.de) leitet bei der inpro Innovationsgesellschaft für fortgeschrittene Produktionssysteme in der Fahrzeugindustrie mbH in Berlin den Bereich Füge- und Werkstofftechnik.

#### Prof. Dr. Andreas Hartwig

(andreas.hartwig@ifam.fraunhofer.de) ist beim Fraunhofer IFAM in Bremen Leiter der Abteilung Klebstoffe und Polymerchemie.

#### Dr. Hartwig Lohse

(hlohse@hdyg.de) unterstützt mit seinem Beratungsunternehmen Klebtechnik Dr. Hartwig Lohse e.K. Anwender bei der Lösung von klebtechnischen Fragestellungen.

**Verbrauchsmaterial** wie Dosiernadeln, Kartuschen und Zubehör. Die umfangreichste Produktpalette die man finden kann!

## Verbrauchsmaterial



**VIEWEG**   
simply dispensing