



STAATSINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT
UND BILDUNGSFORSCHUNG
MÜNCHEN

KUNSTSTOFF

im LehrplanPLUS der Realschule in Bayern



Werken 8





STAATSWINSTITUT FÜR SCHULQUALITÄT
UND BILDUNGSFORSCHUNG
MÜNCHEN

Kunststoff im LehrplanPLUS der Realschule in Bayern

Erarbeitet im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht
und Kultus

Leitung des Arbeitskreises:

Simone Eder, ISB

Mitglieder des Arbeitskreises:

Silvia Rauß, Staatliche Realschule Marktoberdorf

Günter Trager, Staatliche Realschule Altötting

Martin Hornung, Staatliche Realschule Neusäß

auf der Grundlage des Arbeitshefts für das Fach Werken an Realschulen in
Bayern, Kunststoff, Jahrgangsstufe 8, Jens Knautd/Marie-Luise Pfeifer, 2010

Bildrechte:

Titelbilder (links, mittig, rechts): © ClipDealer

Abb. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14, 15, 16, 17, 20, 23, 25, 26, 28, 30, 31, 32, 34, 35, 36,
37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 45, 46, 52, 56, 64, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92,
93, 94, 95: © ClipDealer

Abb. 7, 18, 19, 21, 24, 27, 29, 33, 53, 54, 55, 59, 60, 61, 62, 63, 68, 71, 72,
73, 74, 75, 77, 79, 80, 81, S. 20: I–V, 83, 84, 96, 98, 99: Silvia Rauß

Abb. 8, 9, 10: alamy, Abb. 11: ETH Zürich, Abb. 12: Evonics

Abb. 13: Roy Plunkett with Teflon insulated cable, DuPont Company External
Affairs Department photograph file, AVD_2004268_P00000217,
Hagley Museum and Library. Courtesy of the Hagley Museum and Library.

Abb. 22, 50, 97, 100: Simone Eder

Abb. 44, 47, 48, 49, 51, 57, 58, 65, 66, 67: Jens Knautd/Marie-Luise Pfeifer

Abb. 69, 70: Elisabeth Mehrl

Abb. 76: Günter Trager

Abb. 78, 82: Marie-Luise Pfeifer

Herausgeber:

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
München 2020, 2. Fassung

Anschrift:

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung
Abteilung Realschule
Schellingstr. 155
80797 München
Telefon: 089 21 70-24 46
Telefax: 089 21 70-28 13
Internet: www.isb.bayern.de

Hinweise zum Einsatz im Unterricht

Die Gliederung im Heft entspricht dem LehrplanPLUS im Fach Werken und deckt alle prüfungsrelevanten Inhalte zu den Kompetenzen des Profulfaches ab. Um Wissen zu vernetzen, werden wichtige Hintergründe und Zusammenhänge ggf. auch vertieft erläutert. **Für die Erhebung von Leistungsnachweisen gilt grundsätzlich der LehrplanPLUS.**

Mit dem Infoheft kann im Unterricht gearbeitet werden, es eignet sich aber auch zum Nachholen, Wiederholen und Lernen zu Hause.



Dieses Zeichen ist bei einigen Schemazeichnungen zu finden. Es bedeutet, dass die Zeichnung prüfungsrelevant ist. Diese Zeichnung muss selbständig angefertigt werden können. **Darüber hinaus gibt es selbstverständlich weitere Sachverhalte, deren zeichnerische Darstellung verlangt werden kann.**



Dieses Zeichen kennzeichnet größere inhaltliche Blöcke, die über den LehrplanPLUS hinausgehen und der weiteren Information dienen.

Es empfiehlt sich, zusätzlich zum vorliegenden Infoheft, die umfassenden illustrierenden Aufgaben sowie Materialien zum LehrplanPLUS für den Unterricht zu nutzen: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/fachlehrplan/realschule/8/werken>

Zur intensiveren Vernetzung und Strukturierung der **Kenntnisse über Werkstoffe und Werkstoffeigenschaften** trägt insbesondere die folgende Aufgabenstellung bei: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/zusatzinformationen/aufgabe/kapitel/67579/fachlehrplaene/realschule/8/werken>

Die Auswahl der dort angeführten **Werkstoffeigenschaften** orientiert sich dabei an den Kompetenzerwartungen und Inhalten der verschiedenen Lernbereiche in der Wahlpflichtfächergruppe IIIb; unter anderem verdeutlicht eine tabellarische Übersicht deren Relevanz über die Jahrgangsstufen hinweg.

Inhaltsverzeichnis

KUNSTSTOFF | Kultureller Kontext

Kunststoff – eine Begriffsklärung	3
Entwicklungsgeschichte der Kunststoffe	
Vorläufer der Kunststoffe	4
Wichtige Stationen der Kunststoffentwicklung	5

KUNSTSTOFF | Werkstoff

Ausgangsstoffe der Kunststoffproduktion	7
Gegenwärtige Anwendungsbereiche von Kunststoffen	8
Allgemeine Eigenschaften der Kunststoffe	9
Eigenschaften von Acrylglas (PMMA)	11
Einteilung der Kunststoffe nach thermischem Verhalten	13
Eigenschaften und Aufbau von Faserverbundwerkstoffen (FVW)	15

KUNSTSTOFF | Werkverfahren

Messen und Anzeichnen	17
Einspannen	17
Spanende Arbeitsverfahren	17
Oberflächenbearbeitung durch Polieren	18
Thermisches Umformen	19
Fügen durch Kleben	20
Gesundheitsschutz	21

KUNSTSTOFF | Funktion, Gestaltung

Das Potenzial des Materials und die Auswirkung auf Funktion und Ästhetik	22
--	----

KUNSTSTOFF | Ökologie

Umweltproblematik	23
-------------------	----

Kunststoff – eine Begriffsklärung

Holz wächst auf der Erdoberfläche, Metalle gewinnen wir aus der Erdrinde, Ton entsteht durch einen natürlichen Verwitterungsprozess und kann aus Lagern abgebaut werden. All das sind Werkstoffe, die uns die Natur schon seit Urzeiten zur Verfügung stellt. Kunststoff ist im Vergleich dazu ein noch relativ junger, vom Menschen geschaffener Werkstoff. Ursprünglich suchte man nur Ersatz für herkömmliche Materialien, doch nach einer rasanten Entwicklung gehören Kunststoffe mittlerweile aufgrund ihrer vielseitigen, maßgeschneiderten Eigenschaften zu den wichtigsten Werkstoffen unserer Zeit und sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken.

Was aber ist Kunststoff?

„Kunststoffe“ sind organische Werkstoffe, die aus Makromolekülen aufgebaut sind. Sie entstehen durch **Umwandlung von Naturprodukten** oder durch **Synthese von Primärstoffen aus Erdöl, Erdgas oder Kohle**. „Organisch“ bedeutet: Kunststoffe bestehen aus den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N) und Schwefel (S). Sie gleichen in ihren Eigenschaften natürlich gewachsenen Stoffen wie Holz, Horn oder Harz.



Kunststoffe können maßgeschneidert den jeweiligen Anforderungen angepasst werden, da ihre mechanischen, physikalischen und chemischen Eigenschaften vielseitig beeinflussbar und gestaltbar sind.

Durch **Variation des chemischen Aufbaus von Polymeren** kann eine Vielzahl unterschiedlicher Kunststoffe hergestellt werden. Jeder Kunststoff kann für sich auch noch durch **Zugabe spezieller Zusatzstoffe (Additive)** abgewandelt, verstärkt, eingefärbt oder stabilisiert werden.

Abb. 1: Eingefärbtes Kunststoffgranulat

Quelle: © ClipDealer

Eine gemeinsame Eigenschaft haben alle Kunststoffe: Sie bestehen aus Polymeren.

Ohne Polymere gäbe es kein Leben und sie sind allgegenwärtig, z. B. als Informationsspeicher DNS oder als Zellwand von Pflanzen. Es gibt eine extreme Vielfalt in Formen und Funktionen natürlicher Polymere. Sowohl ein natürliches als auch ein künstliches Polymer ist ein riesig großes Molekül, das aus vielen Einzelbausteinen, so genannten Monomeren, zusammengesetzt ist.

Kunststoff oder Plastik?

Die Verwechslung des Fachbegriffs Kunststoff mit dem umgangssprachlichen Begriff Plastik stammt noch aus den Tagen, als diese ein und dasselbe bedeuteten, als nämlich Kunststoffe noch überwiegend durch einfache Umformungsverfahren (plastisch = verformbar) zur Herstellung von Massenartikeln genutzt wurden. Alle Arten von Plastik sind auch Kunststoffe, aber nicht jeder Kunststoff ist Plastik.



Abb. 2:
Kunststoffprodukte in beliebigen Farben

Quelle: © ClipDealer

Entwicklungsgeschichte der Kunststoffe

Vorläufer der Kunststoffe



Abb. 3: Einsatz von Asphalt im Straßenbau

Quelle: © ClipDealer

Asphalt

Einer der frühesten polymeren organischen Rohstoffe in der Geschichte der Menschheit ist Asphalt. Bei dem natürlichen Asphalt handelt es sich um braunschwarze, glänzende Stücke. Wenn man diese erhitzt, werden sie allmählich weich und der Asphalt hat dann eine gute Formbarkeit. In den USA (vor allem in Kalifornien und in Colorado), in Argentinien, in Kuba, aber auch in Syrien und am Toten Meer sind Asphalt-Lagerstätten zu finden. Vor mehr als 5000 Jahren nutzten bereits die Babylonier Asphalt zum Abdichten von Bauwerken oder von Wasserkanälen, ohne dass die chemische Zusammensetzung bekannt war. In Deutschland wurde im Jahre 1838 erstmals eine Straße asphaltiert.



Abb. 4: Geschliffener und polierter Bernstein mit fossilem Einschluss

Quelle: © ClipDealer

Bernstein

Bernstein ist ein Harz ehemaliger Nadelhölzer der Tertiärzeit (vor 66 Mio. bis 2,6 Mio. Jahren). Er ist fettglänzend durchscheinend, leicht und man findet ihn häufig an den Stränden der Ostsee. Der gelbbraune Bernstein wurde schon seit dem Altertum in geschliffener und polierter Form als Schmuckstein verwendet. Früher wurde daraus Bernsteinlack hergestellt, eine Lösung von Bernstein in Leinöl.



Abb. 5: Ein Bernsteinfund in seinem ursprünglichen Aussehen

Quelle: © ClipDealer



Abb. 6: Schellackblätter

Quelle: © ClipDealer

Schellack

Schellack ist das einzige natürliche Harz mit tierischem Ursprung und man gewinnt es aus dem Sekret der weiblichen Lackschildlaus. Schellack bildet dünne filmartige Schichten, welche sehr hart und abriebfest sind.

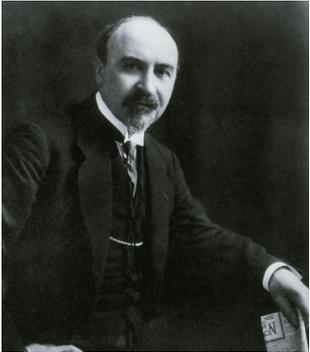
Daher eignet er sich hervorragend für Lacke und Firnisse. Früher stellte man aus Schellack Schallplatten her und auch heute hat das Material ein breites Einsatzspektrum, z. B. zum Beschichten von Tabletten und Kaugummis oder zur Herstellung von Klebstoffen, Polituren oder Druckfarben.



Abb. 7: Mit Schellack beschichtete Tabletten

Entwicklungsgeschichte der Kunststoffe

Wichtige Stationen der Kunststoffentwicklung

<p>1851</p>		<p>Charles Nelson Goodyear präsentierte auf der Weltausstellung in London den ersten mit technischen Mitteln hergestellten Kunststoff. Durch Zufall entdeckte er das Vulkanisieren von Naturkautschuk unter Hitzeeinwirkung und durch Zugabe von Schwefel. Das Endprodukt war ein elastisches und dauerhaft geschmeidiges Material (Gummi). Goodyear wurde somit zum Begründer der modernen Gummiindustrie. Darüber hinaus entwickelte er auch Ebonit®, ein sehr harter Gummi aus Naturkautschuk und Schwefel, aus dem Schmuckstücke oder Teile von Telefonen gemacht wurden.</p> <p><i>Abb. 8: Charles Nelson Goodyear (1800–1860) Quelle: alamy</i></p>
<p>1869</p>		<p>John Wesley Hyatt, der in Amerika als „father of the plastics industry“ gilt, erfand den ersten thermisch verformbaren Kunststoff, das Zelluloid. Zellstoff wird gepresst, verknetet und mit Kampfer, Alkohol und Zusatzstoffen zu einer Paste vermischt. Mit diesem Kunststoff war man erstmalig in der Lage, Imitate von Luxusartikeln aus Naturstoffen, wie z. B. Elfenbein, Ebenholz oder Perlmutter, in großen Stückzahlen herzustellen. Trotz seiner großen Feuergefährlichkeit wurden Zelluloidfilme lange Zeit als Material für Fotografie und Film verwendet. Aus dem zähen und elastischen Werkstoff wurden aber auch Brillengestelle und Puppen hergestellt.</p> <p><i>Abb. 9: John Wesley Hyatt (1837–1920) Quelle: alamy</i></p>
<p>1905</p>		<p>Leo Hendrik Baekeland, ein belgisch-amerikanischer Chemiker, entwickelte aus Phenol und Formaldehyd das Bakelit®, den ersten Massenkunststoff, und meldete sein Herstellungsverfahren zum Patent an. Bakelit®, ein unbrennbares Kunstharz, wurde unter anderem zum Imprägnieren von Gewebe und Papier verwendet.</p> <p>Auch für die aufstrebende Elektroindustrie war dieser Kunststoff von Bedeutung, z. B. für Lichtschalter-, Steckdosen- und Telefongehäuse.</p> <p><i>Abb. 10: Leo Hendrik Baekeland (1863–1944) Quelle: alamy</i></p>
<p>1922</p>		<p>Hermann Staudinger, ein deutscher Chemiker, entdeckte, dass organische Werkstoffe aus riesig langen Molekülen bestehen und schlug dafür die Bezeichnung „Makromolekül“ vor. Er versuchte, solche Riesenmoleküle künstlich durch Aneinanderlagern von kleinen Molekülen herzustellen (Polymerisation) und es gelang ihm, künstlichen Kautschuk herzustellen.</p> <p>Staudinger gilt als Begründer der Polymerchemie (Chemie der Makromoleküle). Für seine Leistungen erhielt er 1953 den Nobelpreis für Chemie.</p> <p><i>Abb. 11: Hermann Staudinger (1881–1965) Quelle: ETH Zürich</i></p>

1933



Otto Röhm, ein deutscher Chemiker, ließ für einen glasähnlichen thermoplastischen Kunststoff den Handelsnamen **Plexiglas®** eintragen.

Das Acrylglas ist für Lichtstrahlen ohne Verzerrungen durchlässig und eignet sich aufgrund seiner besonderen Eigenschaften für vielfältige Anwendungen, z. B. in der Automobilindustrie für Blinker- und Rückleuchten, als Sicherheitsglas für Arbeitsmaschinen, für Flugzeugfenster, in der Lichttechnik und in der Optik, z. B. für Kontaktlinsen, Brillengläser und Lupen.

Abb. 12: Otto Röhm (1876–1939) Quelle: Evonics

1928
–
1938



In einem Zeitraum von 10 Jahren wurden viele bedeutende Kunststoffe entdeckt, u. a.:

Polyacryl, eine Kunstfaser auf Erdölbasis mit Wolle ähnlichem Charakter

Polyvinylchlorid (PVC), z. B. als Bodenbeläge oder Kabelummantelungen

Polyamidfaser (Perlon), als Synthesefaser für Textilien, z. B. für Bekleidung, Fallschirme, Ballone

Ein weiterer wichtiger Punkt war die zufällige Entdeckung von **Teflon®**, eine Beschichtung für Töpfe und Pfannen, die äußerst beständig ist und an der alles abperlt.

Abb. 13: Der amerikanische Teflon®-Erfinder Roy Plunkett (1910–1994)

Quelle: Roy Plunkett with Teflon insulated cable, DuPont Company External Affairs Department photograph file, AVD_2004268_P00000217, Hagley Museum and Library.

Nach der Entwicklung und Produktion der ersten Kunststoffe begann in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts deren Massenproduktion. Der Verbrauch an Kunststoff übertraf 1983 mit rund 125 Mio. Kubikmetern erstmals den von Stahl. Seit Mitte der 1980er Jahre lag der Schwerpunkt der Forscher nicht mehr auf der Entdeckung neuer Kunststoffe, sondern vor allem auf der Weiterentwicklung der Faserverbundwerkstoffe. So testete man alle möglichen Kombinationen verschiedener Fasern und Einbettungsmaterialien und es entstanden neue Werkstoffe mit neuen Eigenschaften. Diese Hybridwerkstoffe werden bis heute in der Luft- und Raumfahrt, im Sport, in der Medizin und in vielen weiteren Gebieten eingesetzt.

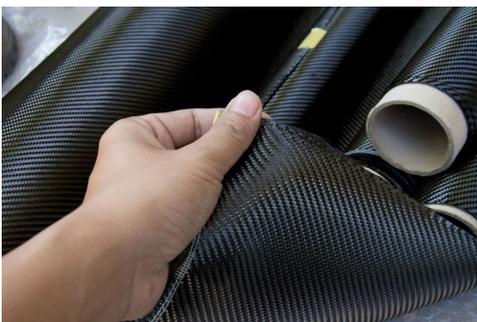


Abb. 14:
Carbonfasergewebe
Quelle: © ClipDealer



Abb. 15:
Autospoiler aus Carbon
Quelle: © ClipDealer



Abb. 16:
Kugelsichere Schutzweste aus Kevlar
Quelle: © ClipDealer

Ausgangsstoffe der Kunststoffproduktion

Im Verlaufe der Industrialisierung hatte es sich gezeigt, dass Naturstoffe nicht in ausreichenden Mengen vorhanden waren bzw. dass diese nicht die erforderlichen Eigenschaften aufweisen konnten, um den gestiegenen Anforderungen zu genügen. Auf der Suche nach Ersatzstoffen begann man zunächst damit, Naturmaterialien umzuwandeln bis es schließlich gelang, durch chemische Prozesse völlig neuartige, synthetische Stoffe zu entwickeln.

Halbsynthetische Kunststoffe

Vor etwa 150 Jahren begannen Chemiker makromolekulare **Naturstoffe chemisch umzuwandeln** und als halbsynthetische Kunststoffe für den Menschen nutzbar zu machen. Celluloid, Viskose und Kunsthorn waren die ersten Erfolge.

Ausgangsstoffe, z. B.

- **Kasein**, ein Milcheiweiß als Rohstoff für das Kunsthorn
- **Zellulose und Kampfer**, die zu Zelluloid verbunden werden
- **Milchsaft des Kautschukbaumes**, aus dem man elastischen Gummi herstellt



Abb. 17: Milchsaft aus dem Kautschukbaum wird gesammelt
Quelle: © ClipDealer

Vollsynthetische Kunststoffe

Ein vollsynthetischer Kunststoff ist ein **künstlich hergestelltes Polymer**, das es in der Natur nicht gibt. Zur Herstellung vollsynthetischer Kunststoffe verknüpft man kleine Moleküle von fossilen Primärstoffen zu Makromolekülen. Der erste vollsynthetische Kunststoff war Bakelit®.

Fossile Primärstoffe als Ausgangsstoffe:

- **Erdöl**
- **Erdgas**
- **Kohle**



Abb. 20: Historisches Telefon aus Bakelit®
Quelle: © ClipDealer



Abb. 18:
Knöpfe aus Kunsthorn (Galalith)

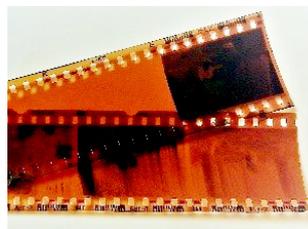


Abb. 19:
Alte Fotofilme aus Zelluloid

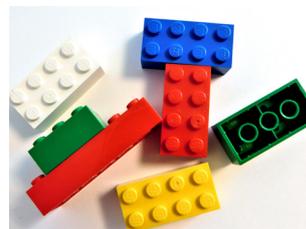


Abb. 21:
Spielsteine aus ABS-Kunststoff



Abb. 22:
Regenkleidung: PU und Polyester

Eine **neue Generation** von halbsynthetischen Kunststoffen kann man z. B. aus Maisstärke herstellen. Auch aus den Schalen von Krebstieren, von denen jährlich sechs bis acht Millionen Tonnen als Abfall anfallen, wurde mit Hilfe eines neuen Herstellungsverfahrens ein biologisch abbaubarer Kunststoff entwickelt. Aus diesen und anderen Kunststoffen, basierend auf natürlichen Ausgangsstoffen, werden bereits Einweggeschirr, Strohhalme und Verpackungen hergestellt.



Abb. 23:
Einwegteller aus Biomaisstärke und eine Holzgabel
Quelle: © ClipDealer

Kunststoffe sind maßgeschneiderte Werkstoffe

Durch gezielte Maßnahmen können die Eigenschaften der Kunststoffe beeinflusst werden. So werden im Verlauf des Herstellungsprozesses sogenannte Additive (Zusatzstoffe) zugesetzt.

Additive dienen

- der genauen Einstellung der Materialeigenschaften auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung.
- der Verbesserung der chemischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften.

Additive:

Weichmacher: Sie sind eine Art „molekulares Schmiermittel“, um Kunststoffe, Lacke, Klebstoffe etc. weicher, geschmeidiger und damit auch besser form- und verarbeitbar zu machen.

Stabilisatoren: Sie erhöhen die Lebensdauer des Kunststoffs und schützen ihn vor schädigenden Einflüssen wie Oxidation, Strahlung oder Hitze.

Farbmittel: Diese werden in Form von Farbstoffen (für Textilien) und Pigmenten zum Färben der meist in reiner Form farblosen Polymere eingesetzt.

Füllstoffe: Kreide oder Quarz z. B. dienen als Streckmittel, um die Herstellung des Kunststoffs zu verbilligen und zudem die Oberflächenbeschaffenheit, die Festigkeit und die thermische Belastbarkeit zu verbessern.

Verstärkungstoffe: Fasern aus Glas, Kohlenstoff, Aramid, Polyester oder auch aus Naturprodukten wie Flachs oder Jute werden gezielt zur Verbesserung mechanischer und physikalischer Werkstoffeigenschaften, wie z. B. der Zug- und Druckfestigkeit, eingesetzt.

Gegenwärtige Anwendungsbereiche von Kunststoffen

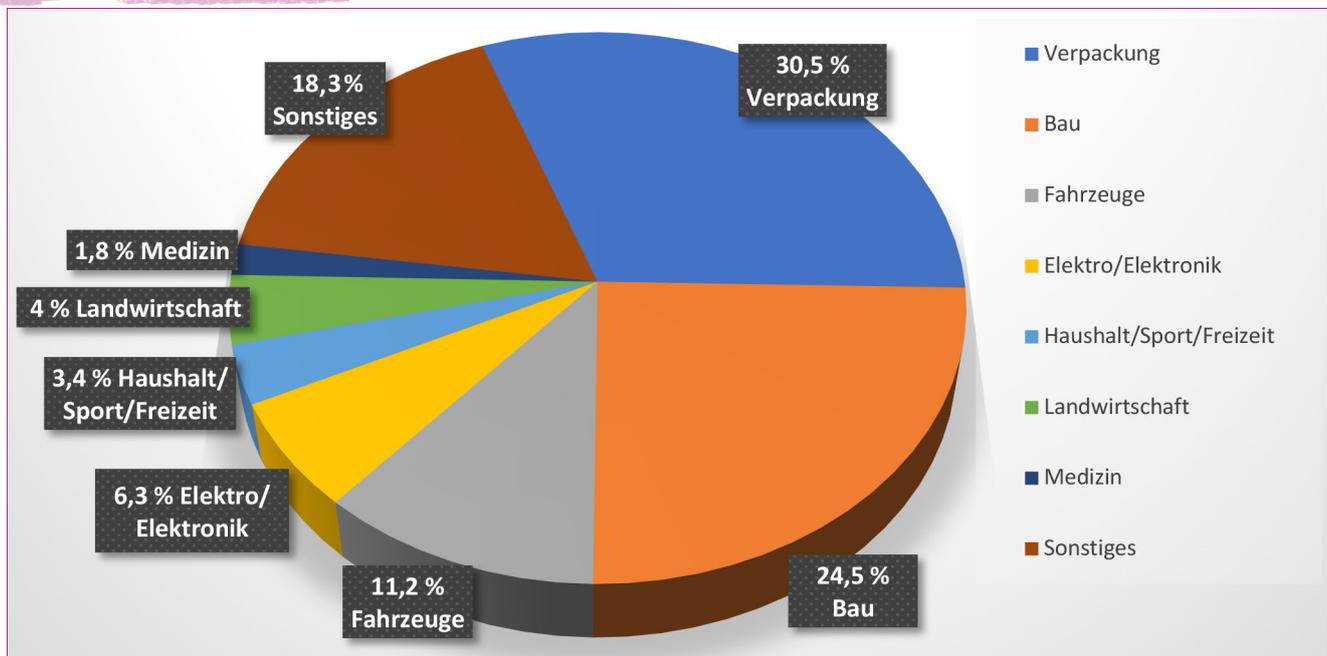


Abb. 24: Anteile der in Deutschland verarbeiteten Kunststoffe nach Branchen, 2017

Kunststoffe haben Eingang in alle Bereiche menschlichen Lebens gefunden und sind Voraussetzung für viele technische Entwicklungen, die unseren Lebensstandard begründen. Sie werden zu Verpackungen, Baubedarfsartikeln, technischen Teilen, Halbzeugen, Konsumwaren und vielen anderen Produkten verarbeitet. Im Jahr 2018 betrug die weltweite Kunststoffproduktion (Kunststoffwerkstoffe als Neuware und Rezyklat sowie sonstige Kunststoffe, z. B. für Kleber, Farben, Lacke, Fasern etc.) 359 Millionen Tonnen.

Allgemeine Eigenschaften der Kunststoffe

Kunststoffe zeichnen sich durch eine Reihe besonderer Eigenschaften aus und sind dadurch herkömmlichen Werkstoffen wie Metall oder Keramik in vielen Bereichen überlegen. Somit sind sie nicht nur Ersatz- oder Austauschstoffe, sondern eröffnen völlig neuartige Möglichkeiten, ohne welche die Fortschritte auf dem Gebiet der Elektrotechnik, des Maschinen- und Fahrzeugbaus und anderer Industriezweige nicht möglich gewesen wären.

Folgende charakteristische Eigenschaften, die auf viele Kunststoffe zutreffen, machen diese für unterschiedlichste Anwendungen attraktiv.

Niedriges Gewicht

Aufgrund ihrer geringen Dichte sind v. a. geschäumte Kunststoffe erheblich leichter als andere Werkstoffe. Damit erschließen sich neue technische Felder wie z. B. superleichte Wärmeisolierungen, federleichte und doch stabile Bootsrümpfe, Sportgeräte sowie alle Arten von Verpackungen.



Abb. 25: Surfbrett und Windsurfsegel
Quelle: © ClipDealer

Geringe Wärmeleitfähigkeit

Kunststoffe sind sehr schlechte Wärmeleiter bzw. einige Kunststoffe sind sogar Isolatoren. Ihre Dämmeigenschaften gegen Wärme und Kälte helfen, fossile Brennstoffe einzusparen.

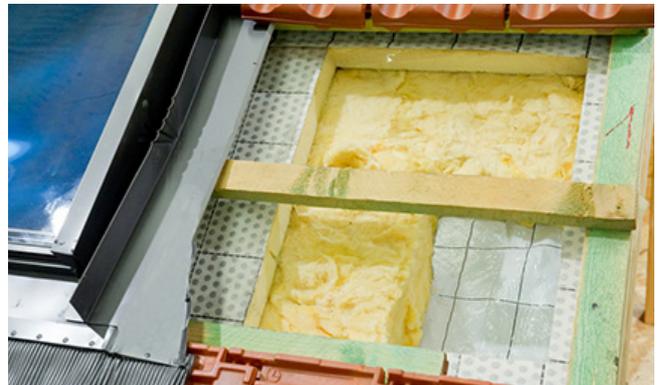


Abb. 26: Verschiedene Dämmstoff-Schichten im Hausbau
Quelle: © ClipDealer

Geschlossene Oberfläche

Die Oberfläche der meisten Kunststoffe ist glatt und porenfrei dicht. Aufgrund dessen sind sie leicht zu reinigen, abriebfest, feuchtigkeitsabweisend und hygienisch.



Abb. 27: Küchenutensilien aus Kunststoff

Geringe elektrische Leitfähigkeit

Kunststoffe besitzen eine sehr geringe elektrische Leitfähigkeit. Sie wirken isolierend und abschirmend gegen Strom und Hitze und werden deshalb in der Elektrotechnik zur Isolation von elektrischen Leitungen und Kabeln eingesetzt.



Abb. 28:
Detailaufnahme einer Kupferlitze mit einer Kabelummantelung aus PVC
Quelle: © ClipDealer

Beständigkeit gegen Licht und Witterung

Durch ihre UV-Beständigkeit sind einige Kunststoffarten besonders geeignet für die Innenausstattung von Kraftfahrzeugen, für Stühle im Stadion u. v. m. Die Beständigkeit von Kunststoffen gegen Licht und Witterung wird in der Regel durch Zugabe von Additiven wie UV-Stabilisatoren, eine schwarze Einfärbung oder eine Schutzbeschichtung (z. B. Farbe oder Metallbeschichtung) erreicht.

Nicht alle Kunststoffe sind ausreichend licht- und wetterbeständig. Eine Folge von Witterungseinflüssen sind Versprödung des Materials, die Oberfläche kann ausbleichen oder es kommt zu Spannungsrissbildung.



Abb. 29:
Wäscheklammern: links nach zwei Jahren im Freien



Abb. 30:
Stadionsitze aus Kunststoff
Quelle: © ClipDealer

Mechanische Belastbarkeit

Kunststoffe besitzen meist keine große Festigkeit und Steifigkeit, was man jedoch teilweise mit konstruktiven Mitteln (höhere Wandstärken) oder dem Einsatz von faserverstärkten Kunststoffen kompensieren kann. Ein Beispiel ist „Kevlar“, das u. a. schnitthemmend und hitzebeständig ist und in einigen Motorradhandschuhen verwendet wird.

Trotz der niedrigen Festigkeit sind Kunststoffe sehr belastbar und weisen zumeist eine gute Zähigkeit auf. Sie sind nicht so zerbrechlich wie beispielsweise Keramik oder Glas.



Abb. 31:
Motorradhandschuh mit Schutz aus Kevlar im Inneren
Quelle: © ClipDealer

Beständigkeit gegen Chemikalien und Korrosion

Viele Kunststoffe sind beständig gegenüber Säuren, Laugen und wässrigen Salzlösungen. Sie rosten und zersetzen sich nicht und schützen in Lacken oder Beschichtungen auch andere Werkstoffe vor Korrosion.

Allerdings reagieren sie empfindlich auf organische Lösungsmittel wie Alkohole, Aceton oder Benzin. Dennoch gelang es auch auf diesem Gebiet, beständige Kunststoffe zu entwickeln. So sind bei manchen Fahrzeugtypen der Kraftstofftank und die Ölwanne aus Polyethylen.

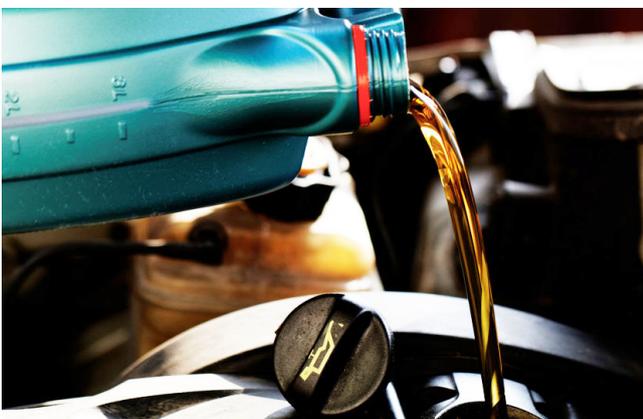


Abb. 32: Nachfüllen von Motorenöl
Quelle: © ClipDealer

Einfache Verarbeitung

Kurze Produktionszeiten durch hochautomatische Verarbeitungsverfahren ermöglichen eine rationelle und wirtschaftliche Herstellung. Während Metalle bei hohen Temperaturen aufwändig gegossen werden müssen und Einschränkungen bezüglich der Gussformen bestehen, lassen sich aus Kunststoffen auch höchst komplizierte Formteile mit vergleichsweise geringem Aufwand fertigen. Gleichzeitig können in einem Verarbeitungsschritt Additive eingearbeitet werden. Mechanisches Bearbeiten wie Sägen, Schleifen, Bohren oder Fräsen ist bei den meisten Kunststoffen problemlos möglich.



Abb. 33: Sägen einer Glasfaserplatte

Eigenschaften von Acrylglas (PMMA)

Polymethylmethacrylat – umgangssprachlich Acrylglas – ist ein Werkstoff, der wegen seiner vielen positiven Materialeigenschaften geschätzt und sehr vielseitig verwendet wird. Polymethylmethacrylat (= PMMA) wird heute in großen Mengen hergestellt. Der Kunststoff findet vielfältige Verwendung, unter anderem als splitterfreier und leichter Ersatz für Glas und auch in der Medizin als sogenannter „Knochenzement“ zur Stabilisierung von Implantaten im Knochen. Otto Röhm hat PMMA im Jahr 1933 unter dem Handelsnamen Plexiglas® zum Patent angemeldet. Seitdem ist es ein eingetragener Markenname: Plexiglas®.

Acrylglas (PMMA) – ein Kunststoff mit speziellen Eigenschaften:

- hervorragende Lichtdurchlässigkeit und UV-durchlässig
- verzerrungsfreie Durchsicht und Optik
- ausgezeichnet einfärbbar, sowohl lichtdurchlässig als auch lichtundurchlässig
- witterungs- und alterungsbeständig
- geringes Gewicht, aber hart (z. B. nur halb so schwer wie das Glas für Fensterscheiben)
- sehr gute Lichtbeständigkeit, vergilbt nicht
- elastisch
- ab 150–160 °C plastisch umformbar und vielfältige Formgebung möglich
- ähnlich zu bearbeiten wie Holz
- durch Kleben und Schweißen zu verbinden
- Schnittflächen und Oberflächen polierbar
- geringe Wärmeleitfähigkeit
- beständig gegen Säuren und Laugen mittlerer Konzentration
- sehr spannungsrissempfindlich, darf nicht mit Alkohol, Aceton und Benzol gereinigt werden



Abb. 34:
Die Lichtqualität in einem Gewächshaus mit Acrylglas entspricht nahezu dem natürlichen Licht
Quelle: © ClipDealer



Abb. 35, 36:
Kontaktlinsen und Flugzeugfenster aus Acrylglas
Quelle: © ClipDealer



Abb. 37:
Stühle aus Acrylglas, die extremer Witterung ausgesetzt sind
Quelle: © ClipDealer

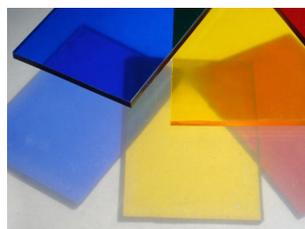


Abb. 38, 39:
Lichtundurchlässiges und lichtdurchlässiges Acrylglas
Quelle: © ClipDealer





Abb. 40:
Helikopter-Cockpit mit Acrylglasfenstern

Quelle: © ClipDealer



Abb. 41:
Autorücklicht

Quelle: © ClipDealer



Abb. 42:
Doppelwandiger Thermobecher aus Acrylglas

Quelle: © ClipDealer



Abb. 43:
Balkonverkleidung

Quelle: © ClipDealer

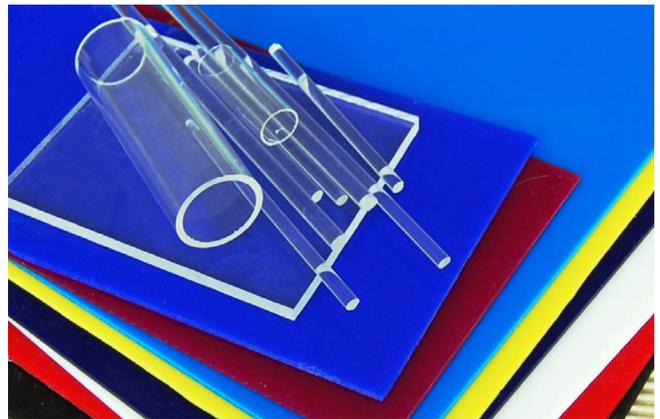


Abb. 44:
Farbige und transparente Halbzeuge aus Acrylglas



Abb. 45: Feilen eines Werkstücks aus PMMA

Quelle: © ClipDealer

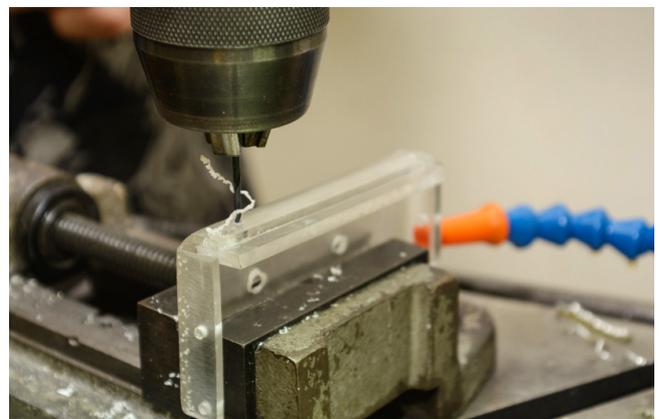


Abb. 46: Bohren von Acrylglas

Quelle: © ClipDealer

Einteilung der Kunststoffe nach thermischem Verhalten

Kunststoffe verhalten sich hinsichtlich ihrer Eigenschaften bei Erwärmung sehr verschieden. Es gibt keine scharfen Temperaturgrenzen, an denen sich ihre Eigenschaften ändern. So können manche Kunststoffe bei einer Temperaturerhöhung über einen breiten Temperaturbereich hin erweichen und verschiedene Übergangsformen zwischen fest und flüssig einnehmen. Andere sind wiederum verhältnismäßig temperaturbeständig, lassen sich nicht schmelzen und auch durch Wärme nicht verformen. Die Ursache für dieses unterschiedliche Verhalten liegt in der Anordnung und Verknüpfung ihrer Makromoleküle.

Im Hinblick auf ihre Festigkeit und ihr Verhalten beim Erwärmen werden Kunststoffe eingeteilt in **Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere**.

Thermoplaste (thermos = warm)

bestehen aus **fadenartigen** oder **nur gering verzweigten, unvernetzten Makromolekülen**, die **lose nebeneinanderliegen** und **nur durch physikalische Bindungen zusammengehalten** werden. Bei höheren Temperaturen werden diese Bindungen schwächer und verschwinden schließlich vollständig. Aus diesem Grund werden Thermoplaste beim Erwärmen weich und formbar und schmelzen schließlich.

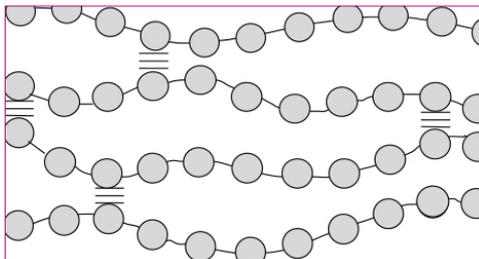


Abb. 48: Thermoplast bei Raumtemperatur

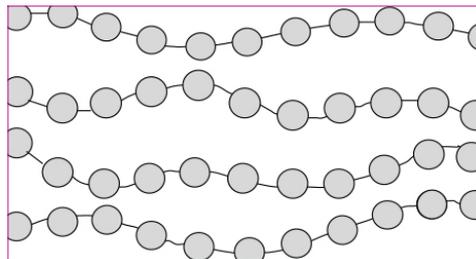


Abb. 49: Thermoplast ab über 100 °C

Thermoplaste können durch verschiedene Verfahren wie z. B. Biegen oder Gießen in eine gewünschte Form gebracht werden. Man kann sie trennen, verschmelzen oder schweißen. Nach dem Erkalten werden sie wieder fest und behalten ihre Form bei. Dieser Vorgang ist **reversibel (umkehrbar)**.

Thermoplaste bilden die größte Gruppe unter den Kunststoffen. Dazu zählen u. a. **PE, PP, PS, PVC und Acrylgas (PMMA)**. Aufgrund der thermoplastischen Eigenschaften lassen sich die vielfältigsten Formen herstellen. Daher werden sie für einfache Konsumwaren oder kurzlebige Verpackungen ebenso eingesetzt wie für komplizierte technische Bauteile in der Automobil-, Elektro- und Bauindustrie.

Duroplaste (durus = hart)

sind Kunststoffe mit **räumlich engmaschig** und **fest vernetzten Makromolekülen**, die ein **unlösbares, starres Raumnetz** bilden. Bei normaler Temperatur sind sie hart bis spröde. Diesen Zustand behalten sie bis zu ihrer Hitzezersetzung (Bräunung, Schwärzung) bei. Der Vorgang ist **irreversibel (nicht umkehrbar)**.

Aufgrund der engen chemischen Vernetzung sind Duroplaste nach ihrer Formgebung auch unter Wärmeeinwirkung nicht mehr verformbar und lassen sich nur noch mechanisch durch spanende Verfahren bearbeiten. Sie können geklebt aber nicht verschweißt werden. Gegenüber Chemikalien sind sie besonders widerstandsfähig.

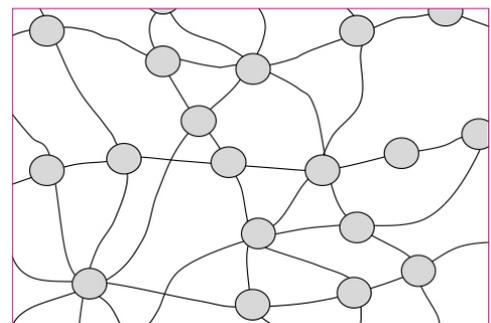


Abb. 51: Räumlich (dreidimensional) eng verknüpfte Makromoleküle



Abb. 47: Geschmolzene Kunststofftasse



Abb. 50: Kinderspielzeug aus einem Thermoplast

Duroplaste werden aufgrund ihrer Hitzebeständigkeit häufig für Elektroinstallationen verwendet. Einer der meistverbreiteten und ältesten Kunststoffarten dieser Klasse ist **Bakelit®**. In diese Gruppe fallen auch **Polyurethanharze** für Lacke und Oberflächenbeschichtungen, **Polyesterharze** für hitzebeständige Griffe an Töpfen sowie für **Lacke** oder **Epoxidharze** als Klebstoff und für Steckdosen.



Abb. 52:
Griff und Knauf aus Duroplast
Quelle: © ClipDealer

Elastomere (elastos = dehnbar)

sind Kunststoffe mit **nur lose vernetzten Makromolekülen**, die mit **relativ wenigen Querverbindungen** zu einem **lockeren dreidimensionalen Netz** verknüpft sind. Die Makromoleküle bilden dichte „Knäuel“, die beim Dehnen auseinandergezogen werden. Lässt die Krafteinwirkung nach, so kehren sie in ihre ursprüngliche Lage zurück, die Moleküle „verknäueln“ sich erneut. Elastomere zeichnen sich durch hohe Elastizität in einem breiten Temperaturbereich aus und lassen sich ohne viel Kraft bis auf das Doppelte ihrer normalen Länge dehnen und strecken.

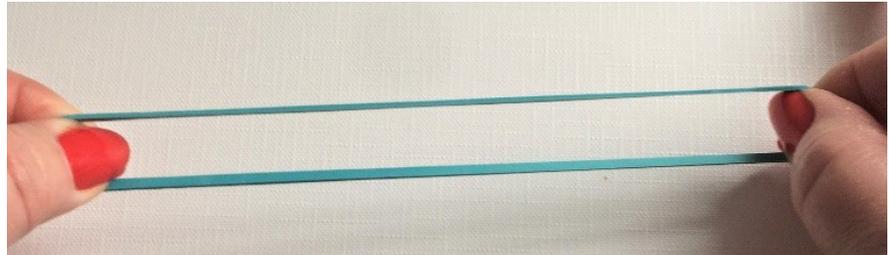
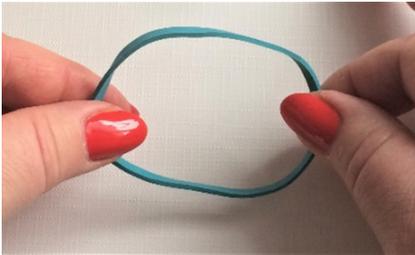


Abb. 53, 54:
Ein Gummi in lockerem und in gedehntem Zustand

Nach der chemischen Vernetzung, auch Vulkanisation genannt, sind sie nicht mehr schmelzbar und deshalb auch nicht mehr plastisch formbar. Bei niedrigen Temperaturen zeigen Elastomere einen dramatischen Rückgang der Elastizität. Sie werden bei Erwärmung nicht weich, bei hohen Temperaturen zersetzen sie sich. In Lösungsmitteln sind sie nur quellbar, aber nicht löslich. Sie sind nicht schweißbar, können aber verklebt werden.



Abb. 55:
Putzschwamm

Zur Gruppe der Elastomere gehören alle Arten von **Kautschuk** (engl. „Rubber“), z. B. Naturkautschuk für LKW-Reifen und Matratzen ebenso wie Synthesekautschuk als Schaumgummi und andere Kautschukarten für PKW-Reifen oder für Gummihandschuhe und Dichtungen. Auch **Silikone** für Implantate in der plastischen Chirurgie oder für Dichtmassen zählen dazu.



Abb. 56:
Monstertruck mit Reifen aus einem Elastomer
Quelle: © ClipDealer

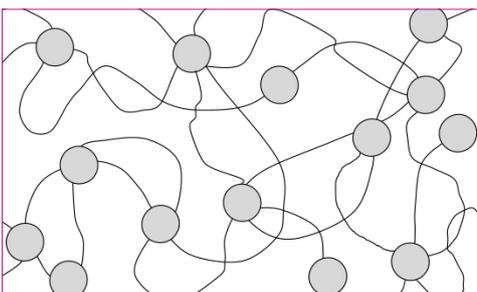


Abb. 57: Verknäuelte Molekülketten

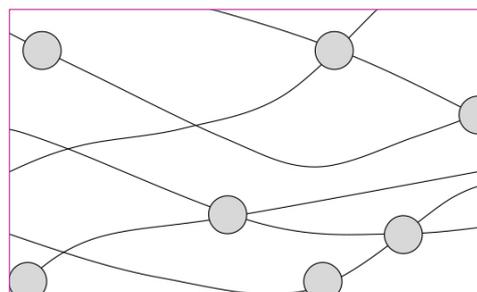


Abb. 58: Gestreckte Molekülketten

Eigenschaften und Aufbau von Faserverbundwerkstoffen (FVW)

Heute sind die Anforderungen an Bauteile häufig so komplex, dass sie von einem einzelnen Werkstoff nicht mehr erfüllt werden können. Hier bieten Kombinationen verschiedener Werkstoffe Abhilfe, so dass in der Summe die gewünschten Bauteileigenschaften erreicht werden. Diese Technik ist keine neue Erfindung. Die Natur beherrscht diese Bauweise vollkommen, z. B. beim Aufbau von Pflanzenstängeln (Stängel größtenteils aus Fasern in Lignin eingebettet), Holz (Cellulosefasern in Lignin eingebettet) oder Knochen (Fasern durch anorganische Substanz verbunden).

Was sind Faserverbundwerkstoffe?

Faserverbundwerkstoffe (engl. fiber reinforced composites) sind der Überbegriff für eine große Anzahl von Materialpaarungen, die miteinander kombiniert neue, optimierte Eigenschaften für den entsprechenden Verwendungszweck besitzen.

Ein Faserverbundwerkstoff besteht im Allgemeinen aus zwei Hauptkomponenten: den **verstärkenden Fasern** (z. B. aus Kohlenstoff) sowie einer **betenden Matrix** (z. B. Füll- und Klebstoff).

Faser

Fasern, wie z. B. Glasfasern, Aramidfasern, Polymerfasern, Kohlenstofffasern, Keramikfasern, Mineralfasern oder Naturfasern werden als Endlosfasern auf Spulen gewickelt. Danach erfolgt die Weiterverarbeitung auf Web- oder Wirkmaschinen zu **Faserhalbzeugen** in Form von **Matten, Gelegen, Gestricken, Geflechtes** oder **Geweben**. Diese werden meist in mehreren Lagen als Verstärkung in ein anderes Material (Matrix) eingebettet.

Matrix

Diese bildet die zweite Komponente des Faserverbundwerkstoffs; sie bettet die Fasern ein (z. B. in Epoxidharze, Dispersionskleber/Leim, aber auch in Thermoplaste, Keramik oder Beton). Die Matrix zeichnet sich durch hohe Zähigkeit aus, umschließt die Fasern, fixiert und stützt diese, schützt vor mechanischen und chemischen Einflüssen und dient der Krafteinleitung sowie der Übertragung von Spannungen in die Faser.

Laminat

Das flächige Produkt aus dem Verbund von Fasern und Matrix heißt Laminat. Die Fasern innerhalb eines Laminates können in verschiedene Richtungen verlaufen, je nach gewünschter Wirkung. Die beiden Komponenten (Matrix und Faser) bilden im Verbund einen besonders leichten und hochbelastbaren Werkstoff. Dieser kann dann mechanisch weiterbearbeitet werden.

Laminat bestehen meist aus mehreren übereinandergelegten Faserplatten mit unterschiedlichen Richtungen der Fasern. Für ihre Herstellung gibt es mehrere Verfahren, z. B. das **Handlegeverfahren**. Hierbei werden die Faserhalbzeuge (Gewebe/Gelege/Faserplatten) von Hand auf oder in eine vorgefertigte Form gelegt und mit Kunstharz getränkt.

Bei einem anderen Verfahren, der **Prepreg-Technologie**, werden bereits mit Harz getränkte Faserplatten auf die Form aufgelegt. Das Harz ist dabei nicht mehr flüssig, sondern leicht klebrig und etwas fester. Der Verbund wird anschließend entlüftet und danach unter Druck und Hitze ausgehärtet.

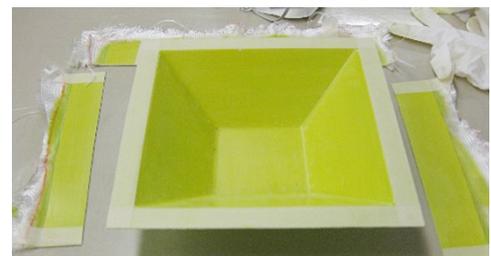
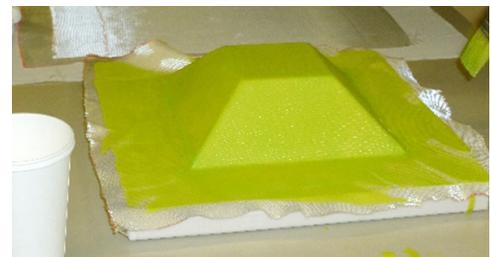
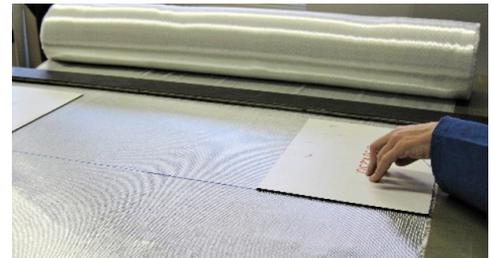


Abb. 59–63:
Handwerkliches Laminieren, vom Zuschnitt des Glasfasergewebes bis zur ausgehärteten und zugesägten Endform

Faserverbundwerkstoffe zeichnen sich u. a. aus durch

- hohe Zug- und Biegefestigkeit
- geringes spezifisches Gewicht
- hohe Temperaturbeständigkeit
- hohe Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringer Dichte
- Möglichkeit der freien Formgestaltung
- ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit

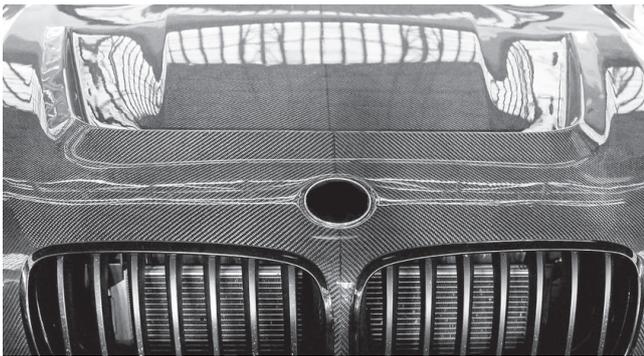


Abb. 64: Kohlefasermotorhaube an einem Auto vor dem Lackieren
Quelle: © ClipDealer

Faserverbundwerkstoffe sind für viele Anwendungsbereiche zukunftsweisend, aber herkömmliche Materialien wie z. B. Aluminium oder Stahl können sie nicht einfach ersetzen oder ablösen. Vergleicht man andere Werkstoffe mit Faserverbundwerkstoffen, ergeben sich für letztere unter anderem folgende Nachteile:

- oft höherer Materialpreis im Vergleich zu Metall
- hohe Komplexität in der Entwicklung
- höherer Energieaufwand je nach Herstellungsprozess
- teils aufwändige Be- und Verarbeitungsprozesse
- Serienfertigung noch unausgereift
- Gesundheitsschädigung durch Faserstaub
- Verarbeitungsfehler und Materialschäden nur mit aufwändigen technischen Untersuchungen erkennbar und nur eingeschränkt reparierbar
- Recycling aufwändig, nur begrenzt möglich

Material und Aufgaben zum Thema Faserverbundwerkstoffe findet man unter: <https://www.lehrplanplus.bayern.de/zusatzinformationen/aufgabe/lernbereich/67624/fach-lehrplaene/realschule/8/werken>

In der Industrie häufig verwendete Faser-Kunststoff-Verbunde sind z. B. **Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK)**, **Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)** und **Aramidfaserverstärkter Kunststoff (AFK)**.

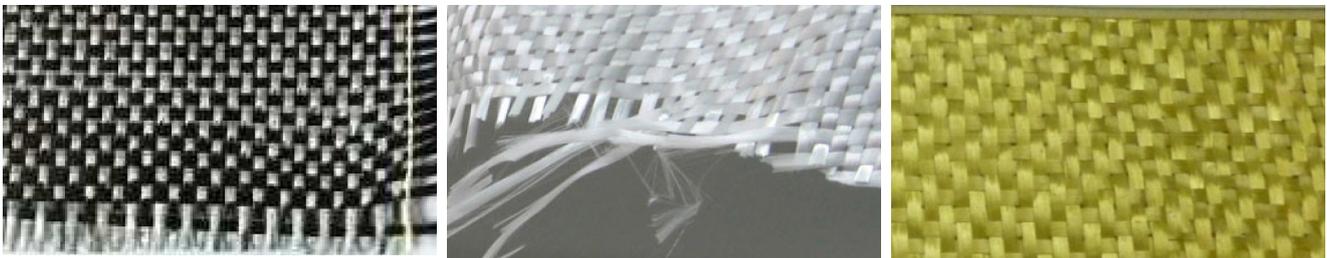


Abb. 65–67: Carbonfaser-, Glasfaser- und Aramidfasergewebe

Ressourceneinsparung, Reduktion des CO₂-Ausstoßes, Langlebigkeit und Wirtschaftlichkeit sind Herausforderungen des 21. Jahrhunderts. Mit **Carbonfaserverstärktem Kunststoff (CFK)** lassen sich viel leichtere, energieeffizientere, auch kompliziert gestaltete und sehr große Bauteile mit verhältnismäßig geringem Aufwand herstellen. Die Einsatzgebiete von CFK sind vielfältig, z. B. in der **Luft- und Raumfahrt** (die Boeing 787 und der Airbus A350 bestehen zu 50 % aus Carbon), im **Fahrzeugbau** (Motorsport), in der **Energietechnik** (Rotorblätter von Windrädern aus CFK, ursprünglich GFK), in **Sport und Freizeit** (Fahrradrahmen, Eishockeyschläger) und in der **Bauindustrie** (Carbonbeton).

Kohlenstofffasern (Kohlefasern, Carbonfasern) sind industriell hergestellte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterialien, die durch Pyrolyse (Umwandlungsprozess durch Hitze) in graphitartig angeordneten Kohlenstoff umgewandelt werden. Eine Kohlenstoff-Faser hat einen Durchmesser von etwa 5 bis 8 µm. Zum Vergleich: ein Menschenhaar ist ca. 50 µm dick. Üblicherweise werden 1.000 bis 24.000 Einzelfasern (**Filamente**) zu einem Bündel (**Roving**) zusammengefasst.

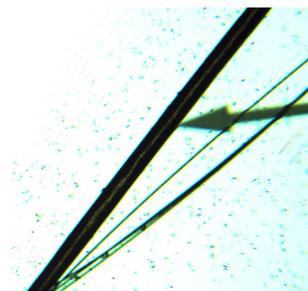


Abb. 68: Unter dem Mikroskop: Menschenhaar (Pfeil)/Carbonfaser



Abb. 69: Kohlenstofffasern



Abb. 70: Roving (Bündel aus Einzelfasern)

Messen und Anzeichnen



Abb. 71:
 1 Stahllineal
 2 Stahlmaßstab
 3 Stahlwinkel
 4 Reißnadel
 5 wasserfester Foliestift

Beim Messen und Anzeichnen kommt es wie bei allen Materialbereichen auf Genauigkeit und Sauberkeit an. Zum Anzeichnen benutzt man Foliienstifte, die wasserunlöslich sind, damit sie auf der glatten Oberfläche nicht verwischen. Man kann aber auch mit Reißnadel und Reißzirkel die Maße antragen. Bohrlöcher werden mit dem Vorstecher markiert. Wichtige Werkzeuge sind auch der Stahlmaßstab, das Stahllineal und der Stahlwinkel. Vom Hersteller werden die Kunststofftafeln mit einer dünnen, meist transparenten Schutzfolie überzogen. Diese sollte erst so spät wie möglich entfernt werden.



Abb. 72: Acrylglas mit Schutzfolie

Einspannen

Bei den meisten trennenden Arbeitsverfahren ist darauf zu achten, dass das Werkstück fest eingespannt ist, so dass es sich bei der Bearbeitung nicht bewegen kann und die Oberfläche nicht beschädigt wird. Außerdem soll es nicht zu weit überstehend eingespannt werden, damit es nicht „flattert“, was zum Abrutschen des Werkzeugs oder zu Materialbruch führen könnte. Beim Einspannen in den **Maschinenschraubstock** oder andere Vorrichtungen sind zum Oberflächenschutz Beilagen aus Filz oder weicher Pappe zwischen Werkstück und Schutzbacken oder zwischen die Zwingen und das Werkstück zu klemmen.

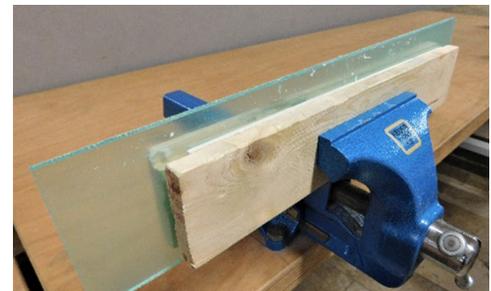


Abb. 73:
 Ein Acrylglasstreifen, eingespannt zwischen zwei mit Pappe beklebten Holzbrettchen, die als Oberflächenschutz dienen. Das Holz kann dabei helfen, eine gleichmäßige Druckverteilung zu erzielen und vergrößert dabei gleichzeitig die Auflagefläche.

Spannende Arbeitsverfahren

Trennen durch Sägen

Zum Sägen vor allem von thermoplastischen Kunststoffen eignen sich alle vielzahnigen **Handsägen**, möglichst ohne geschränkte Zähne (die Sägezähne sind nicht wechselseitig „gebogen“), wie beispielsweise die **Laubsäge** oder die **Handbügelsäge** mit einem Sägeblatt mit Wellenschränkung.

Man erzielt damit eine feine und glatte Schnittkante. Die Schutzfolie wird beim Sägen nicht entfernt. Damit der Sägeschnitt nicht ausreißt, kann dieser zusätzlich mit einem Klebestreifen abgeklebt werden. Kunststoff kann man ähnlich wie Holz sägen. Bei vielen Kunststoffsorten ist es nicht günstig, wenn man zu schnell sägt. Das Sägeblatt wird durch die Reibung am Werkstoff warm und schmilzt den Kunststoff, in welchem es dann festklebt. Kurze Unterbrechungen während des Sägens sind ggf. sinnvoll, damit sich das Sägeblatt wieder abkühlen kann.

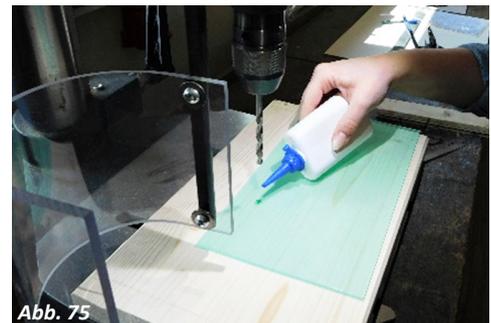
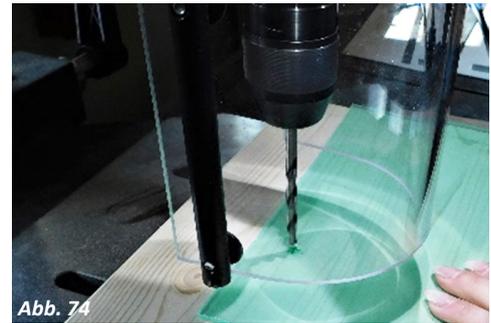
Bohren

Zum Bohren von Kunststoffen eignen sich **spezielle Kunststoffbohrer**, die das Werkstück eher schabend als schneidend bearbeiten, aber auch normale **HSS-Spiralbohrer**. Der Bohrlochmittelpunkt wird durch leichtes Drehen mit dem Vorstecher auf dem Material markiert. Eine ebene (plane) Holzunterlage und langsames Bohren gegen Ende des Bohrvorgangs verhindern das Ausbrechen der unteren Bohrränder (Abb. 74). Man wählt eine niedrige Drehzahl, um eine zu große Wärmeentwicklung zu vermeiden, und bohrt mit geringem Vorschub, d. h. ohne großen Druck.

Dabei sollte man den Bohrer immer wieder kurz anheben („lüften“), damit der Span abreißt. Bei mehr als 5 mm Bohrlochdurchmesser sollte zuerst mit einem dünneren Bohrer vorgebohrt werden. Da beim Bohren Reibungswärme entsteht, muss mit Kühlschmierstoff oder Acrylglas verträglichem Bohrl gekühlt bzw. geschmiert werden. Bohrl gewährleistet auch glatte Bohrungswandungen (Abb. 75). Werden mehrere gleiche Teile gebohrt, kann man diese mittels Schraubzwingen oder mit Klebeband verbinden.

Abb. 76:

Herkömmlicher HSS-Bohrer (oben) im Vergleich zu einem speziellen Kunststoffbohrer mit langgezogenen Wendelnuten



Feilen

Zum Feilen benutzt man nicht zu grobe **Werkstattfeilen** oder **Schlüsselfeilen**, deren fachgerechte Verwendung der von Metall oder Holz entspricht. Das Werkstück muss beim Feilen stets fixiert sein. Verstopfte Feilenhiebe säubert man mit einer Drahtbürste. Weitere Informationen zur Arbeitsweise und zu den Bestandteilen einer Feile findet man bereits im Infoheft Holz 7, S. 14 sowie im Infoheft Metall 8, S. 14.

Abziehen

Zum Nachbearbeiten von Kanten kann auch eine **Ziehklinge** benutzt werden. Dabei hält man die Ziehklinge aus Stahl, die einen Grat haben muss, mit beiden Händen und zieht diese gleichmäßig über die Kanten, bis keine Riefen oder Kratzer mehr sichtbar sind.



Schleifen

Das Schleifen von Hand erfolgt in mehreren Stufen:

Man verwendet zuerst **gröberes Schleifpapier**, dann immer **feineres** und für den letzten Schliff **Nassschleifpapier** (Körnung auch über 1000), um Wärmespannungen im Werkstück und das Zusetzen des Schleifpapiers zu vermeiden. Tiefe Kratzer müssen so lange ausgeschliffen werden, bis nur noch feinste Kratzer des Schleifpapiers vorhanden sind, die man im nächsten Arbeitsschritt auspoliert. Beim Schleifen mit Maschinen verursacht ein zu festes Andrücken an die Schleifrolle eine Überhitzung des Materials, was zu einer Schädigung der Oberfläche führen kann.

Oberflächenbearbeitung durch Polieren

Durch Polieren werden Kanten und Oberflächen, die durch Bearbeitung matt oder ganz leicht verkratzt sind, wieder hochglänzend. Man kann Acrylglas durch starkes Reiben von Hand mit einem **nicht fasernden, weichen Tuch** und einem **Poliermittel** polieren. Feinste Kratzer können mit Lappen und **Polierpaste** auspoliert werden. Maschinelles Polieren an der Bohrmaschine oder an der **Poliermaschine** ist mit einem Polierschwabbel und Wachs möglich.

Thermisches Umformen

Halbzeuge aus thermoplastischen Kunststoffen wie z. B. Acrylglas (PMMA) können durch äußere Krafteinwirkung linear oder flächig umgeformt werden, aber sie müssen für diesen Arbeitsgang über ihre Erweichungstemperatur (Acrylglas z. B. bei ca. 150–160 °C) erhitzt werden. Der Kunststoff wird dabei weich und lederartig, hat allerdings bei Abkühlung das Bestreben, wieder in seine ursprüngliche Lage zurückzukehren (Memoryeffekt). Um dem entgegenzuwirken, muss das Werkstück nach der Umformung fixiert bleiben, bis es ausgekühlt ist. Vor dem thermischen Umformen sollten alle mechanischen Bearbeitungsschritte abgeschlossen sein und es empfiehlt sich, an einem geeigneten Reststück den Biegevorgang auszuprobieren.

Vor dem Warmumformen:

- Schutzfolie entfernen
- Kunststoff mit Seifenwasser reinigen, mit einem weichen, fusselfreien Tuch vorsichtig trockentupfen, dabei nicht reiben
- Heizquelle vorbereiten
- Biegehilfen/Fixierungshilfen bereitlegen
- Platz zum Abkühlen vorbereiten und Holzklötze o. ä. Hilfsmittel zum Abstützen während der Abkühlungszeit bereitstellen
- Sicherheitsvorkehrungen treffen (siehe Gesundheitsschutz S. 21)

Das Erwärmen

Als Wärmequelle stehen verschiedene Hilfsmittel zur Verfügung wie der **Heizstab** oder das **Heißluftgerät** (Heißluftfön, -pistole, -gebläse). Für ein gleichmäßiges lineares Erwärmen eignet sich z. B. ein spezieller Heizstab, der sicher in einer Aluschiene im Biege- und Abkanttisch liegt. Flächige Biegungen lassen sich durch Erwärmen mit einem Heißluftgerät erreichen. Nicht zu verformende Bereiche können mit hitzebeständigen Platten abgedeckt werden. Durch ständiges Hin- und Herbewegen der Heizquelle wird mit etwas Übung das Material in der Biegezone gleichmäßig erwärmt.

Um eine Platte aus thermoplastischem Kunststoff wie zum Beispiel Acrylglas biegen zu können, wird diese an der Biegezone bis in den plastischen Zustand erwärmt. Weil Kunststoff nur eine geringe Wärmeleitfähigkeit besitzt, muss das Erwärmen langsam und gleichmäßig erfolgen. Die einzige Schwierigkeit: Man muss ziemlich genau die Temperaturmarke erreichen, bei der ein Umformen möglich ist. Dabei kann das Acrylglas ohne Kraftaufwand gebogen werden. Die Dauer der Erwärmung ist abhängig von der Heizquelle und der Materialstärke und kann bis zu 4 Minuten dauern. Damit das Material an der Biegekante nicht zu dünn wird, muss eine ausreichend breite Zone erwärmt werden.

Wird zu lange oder zu hoch erwärmt oder befindet sich das Kunststoffteil zu nahe an der Heizquelle, kann das zu **Bläschenbildung** und **Verschmoren** bis hin zur **Materialersetzung** führen. Die richtige Temperierung ist eine Sache der Erfahrung. Der Erwärmungsvorgang muss ständig beobachtet werden und es ist ratsam, zwischendurch immer wieder zu probieren, ob sich das Material schon ohne Widerstand biegen lässt.



Abb. 80, 81

Das Umformen

Sobald die richtige Temperatur erreicht ist, kann das Kunststoffteil von Hand leicht frei oder unter Verwendung einer Vorrichtung (Biegehilfe/Abkantvorrichtung) in Form gebogen werden. Dies kann z. B. ein fest eingespannter Rundstab aus Holz sein, über den die Platte an der erwärmten Zone gebogen wird, oder ein Klotz mit einer definierten Kante.

Zu klein gewählte Biegeradien können zu Materialspannungen, zu Überdehnungen an der Außenseite oder zu Quetschfalten auf der Innenseite führen.

Das Abkühlen

Um ein Zurückfedern des umgeformten Teils zu verhindern, wird das Werkstück in der gewünschten Stellung gehalten, bis es unter ca. 60 °C abgekühlt ist. Die Abkühlung unter Formzwang muss langsam und gleichmäßig erfolgen, um Abkühlspannungen und eine eventuelle Rissbildung zu vermeiden.



Abb. 78:
Thermisch umgeformte Werkstücke aus Acrylglas

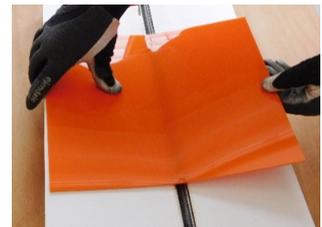


Abb. 79

Fügen durch Kleben

Eine Möglichkeit, unterschiedliche oder gleiche Kunststoffe dauerhaft miteinander zu verbinden, ist das Kleben.

Bei der Suche nach dem richtigen Klebstoff muss man sich vorab einige Fragen stellen:

- Um welche Kunststoffart handelt es sich? (z. B. Duroplast, Thermoplast, Elastomer)
- In welchem Zustand sind die Klebeflächen? (z. B. glatt oder rau)
- Welche Form haben die Klebeflächen? (z. B. Flächenverklebung, Kante auf Kante)



Abb. 82:
Stiftehalter mit
geklebter Zettelbox

Für das Verkleben von Kunststoffen gibt es viele verschiedene Klebstoffe und Klebetechniken, aber es gibt auch Kunststoffarten, die man nicht kleben kann. Für das Verkleben von Acrylglas gibt es speziell entwickelte Klebstoffe.

Beim Einsatz von Klebstoffen ist die jeweilige Gebrauchsanweisung unbedingt genau zu beachten. Man unterscheidet in Einkomponenten-Klebstoffe (z. B. Sekundenkleber) und in Zwei- oder Mehrkomponenten-Klebstoffe (z. B. Epoxidharzklebstoff mit Binder und Härter).

Klebstoffe härten entweder **physikalisch** (z. B. Entweichen des Lösungsmittels) oder **chemisch** (zwei Stoffe reagieren miteinander). Dies hängt von der Klebestoffart ab.

Die Klebestellen müssen zuerst gut gesäubert und entfettet werden. Sie können mit einem Klebeband abgegrenzt werden (**Abb. III**).

Bei **Flächenverklebungen** trägt man den Kleber auf eine Platte auf, setzt dann die andere mit einer Kante an den Klebewulst an und drückt sie langsam zusammen, damit kleine Luftblasen entweichen und die zu klebende Fläche gleichmäßig benetzt wird. Mit einer Klammer kann man die verklebten Teile fixieren (**Abb I, II**).

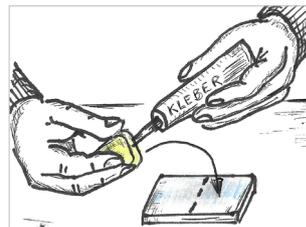


Abb. I

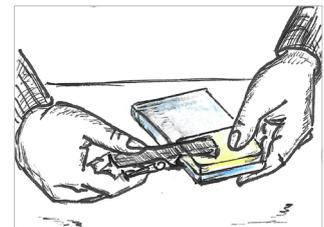


Abb. II

Bei **T- und L-Verbindungen** wird der Klebstoff zuerst auf das liegende Teil aufgetragen (**Abb. III**), dann setzt man das stehende Teil auf. Dieses muss nun einige Sekunden festgehalten werden, dabei wird das Material angelöst und die Teile verbinden sich dabei dauerhaft miteinander (**Abb. IV**).

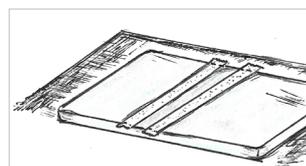


Abb. III

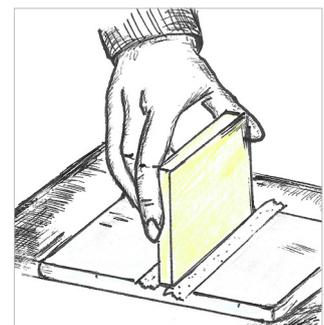


Abb. IV

Zur Stabilisierung sollte man die Klebeverbindung beidseitig mit Klötzen abstützen, damit sie so in ihrer Position bleiben, bis der Kleber ausgehärtet ist (**Abb. V**).

Um ein ansprechendes Ergebnis zu erzielen, ist darauf zu achten, nur so viel Klebstoff wie nötig aufzutragen.

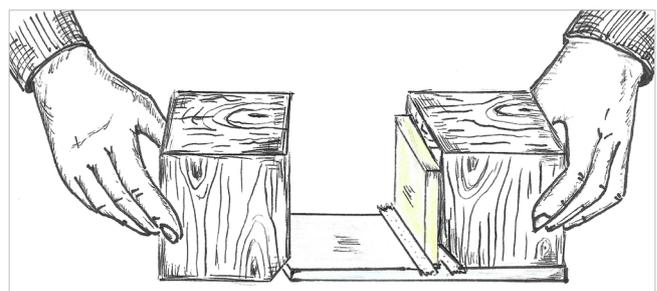


Abb. V

Gesundheitsschutz

Wichtige Voraussetzungen zur Vermeidung von Gefahren, die sowohl vom Werkstoff selbst als auch von den Werkzeugen, Arbeitsmaterialien und Geräten ausgehen, sind grundsätzlich ein übersichtlicher und gut organisierter Arbeitsplatz und konzentriertes, umsichtiges Arbeiten.

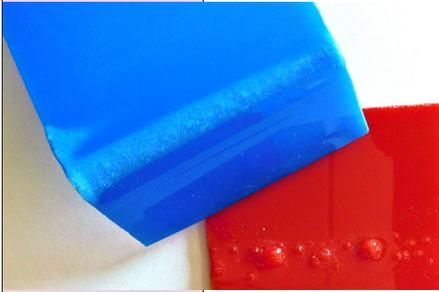
Gefahrenquelle	Mögliche Gesundheitsgefährdung	Schutzmaßnahmen
Thermisches Umformen: Heizstab, Heißluftgerät 	Verbrennungen, Reizung der Atemorgane durch gesundheitsschädliche Dämpfe bei Überhitzung	<p><i>Vor Beginn der Arbeit:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsplatz in Fensternähe vorsehen (Fenster öffnen) • für standfeste und sichere Arbeitsvorrichtungen sorgen • Biegehilfe in Greifnähe bereithalten • Platz zum Abkühlen vorbereiten • Schutzhandschuhe bereitlegen • Anschlusskabel der Heizquelle überprüfen und nur technisch einwandfreie Geräte verwenden <p><i>Während des Umformprozesses:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Arbeitsraum gut durchlüften, Temperaturen über 200 °C sind unbedingt zu vermeiden • Heizstab und Heißluftgerät umsichtig handhaben, Berührung der heißen Teile vermeiden, ggf. Schutzhandschuhe tragen • beim Heißluftgerät auf die Richtung des Heißluftstroms achten • heiße Düse des Heißluftgerätes oder den Heizstab nicht auf dem Stromkabel ablegen (Stromschlag durch defektes Kabel!)
Mechanische Bearbeitung: Sägen, Feilen, Schleifen	Reizung der Atemorgane durch Stäube, Schnittverletzungen und Abschürfungen	<ul style="list-style-type: none"> • letzter, feiner Schleifgang immer mit Nassschleifpapier in hoher Körnung • anfallende Stäube sind umgehend aufzusaugen • Überprüfen der Werkzeuge vor Arbeitsbeginn (z. B. festsitzendes Heft) • fachgerechte Handhabung der Werkzeuge • beim Bohren Regeln beachten, die schon aus der 7. Klasse bekannt sind (s. Infoheft Holz 7, S. 16)
Fügen durch Kleben: Klebstoffe	Schädigung der Atemorgane, Allergien durch Hautkontakt, Brandgefahr durch Selbstentzündung	<ul style="list-style-type: none"> • in gut durchlüftetem Arbeitsraum arbeiten • Hautkontakt mit Klebstoffen vermeiden • Klebstofftube direkt nach Verwendung wieder verschließen • Lesen der Gefahrenhinweise auf der Verpackung vor Arbeitsbeginn • Klebstoffabfälle fachgerecht entsorgen



Abb. 83

Abb. 85–88: Gefahrstoffzeichen Quelle: © ClipDealer



Systemische Gesundheitsgefährdung

(schwerwiegende Gefährdung für innere Organe)



Achtung: Umweltgefährlich



Achtung: Entzündlich



Achtung: Ätzend

Das Potenzial des Materials und die Auswirkung auf Funktion und Ästhetik

Im Vergleich zu anderen Materialien wie Holz, Metall oder Keramik ist Kunststoff ein sehr junger Werkstoff. Allerdings weist er Eigenschaften auf, bei denen ihre jahrtausendalten „Werkstoffkollegen“ nicht mithalten können. Anfangs eine willkommene Alternative zu natürlichen, hochwertigen Stoffen wie Elfenbein oder Horn, eröffnete gerade die Weiterentwicklung dieser Werkstoffgruppe nur ein paar Jahrzehnte später ganz neue, ungeahnte Möglichkeiten der **Innovation**.

Erfinder, Ingenieure und Designer auf der ganzen Welt haben es in Verbindung mit neuen maschinellen Fertigungstechniken (z. B. Spritzgussverfahren) ermöglicht, in komplett **neuen Formen** und **Farben** zu denken und dadurch maßgeblich auch das Erscheinungsbild unserer heutigen Umwelt mitgeprägt. Möbel, Bekleidung, elektrische Geräte, Autos, Verpackungen, Spielzeug – die Liste der Gegenstände, in denen sich Kunststoff wiederfinden lässt, ist unendlich lang. Kunststoffe waren dabei auch maßgeblich an der Weiterentwicklung vieler Alltagsbereiche beteiligt. So profitierte z. B. der Sport von verschiedenen Arten von Funktionsbekleidung, neuartigen Sportschuhen, Sportgeräten oder unver-

wüstlichen Netzen für Tore. Aber auch neueste Entwicklungen wie z. B. die Digitalisierung oder der 3-D-Druck wären ohne Kunststoffe gar nicht möglich geworden.

Am Beispiel Kunststoff lässt sich ablesen, wie sehr die Produkte in unserer Welt durch den gestaltenden Designer, und hier eben auch durch seine **Materialwahl**, bestimmt werden. Für den Designer ist Kunststoff dabei ein unendlich flexibles Material, das die ausgefallensten Formen annehmen kann. Es war und ist Inspirationsquelle für komplett neue Entwürfe und Ideen, basierend auf ständig weiterentwickelten Funktionen der entsprechenden Gegenstände und Geräte.



Abb. 89:
Thonet-Stuhl Nr. 14:
Bugholzmöbel von 1859
Quelle: © ClipDealer



Abb. 90 –94:
Verschiedene Designs:
Stühle aus und mit
Kunststoff
Quelle: © ClipDealer



Wesentlich für ein Objekt ist immer auch dessen **Funktion**, welche stets mit der **Formgebung** einhergeht. Analysiert man die Funktion eines Gegenstandes, so unterscheidet man zwischen:

- **praktisch-technische Funktion:**

Welche konkrete Funktion hat das Objekt?

Wichtige Aspekte sind hier: Ergonomie, Sicherheit, Lagerbarkeit, Pflegebarkeit oder Nachhaltigkeit.

- **symbolische Funktion:**

Welche sozialen, gesellschaftlichen und kulturellen Aspekte und welche Wertigkeiten vermittelt das Objekt (z. B. im Hinblick auf soziale Schicht, Altersgruppe, Luxusaspekte, Coolness, Sportlichkeit, etc.)?

- **ästhetische Funktion:**

Wie wirkt das Objekt in seiner Materialwahl und seiner Form- und Farbgestaltung auf den Betrachter (z. B. Sieht es ansprechend aus? Wie fühlt es sich an? Riecht es angenehm?).

Designern und Konzernen kommt hier eine verantwortungsvolle Aufgabe zu. Sie bestimmen durch die Gestaltung eines Produktes nicht nur, aus welchem Material es ist, sondern auch, wie wir es verwenden (nutzen) können und wie lange es der Nutzung vermutlich standhält (Verschleißfestigkeit). Ökologische Kunststoffe in die Wertschöpfungskette mit einzubeziehen, bis hin zum Recycling in einem geschlossenen Wertstoffkreis, wird immer wichtiger. Dies treibt die Weiterentwicklung neuer kunststoffbasierter Materialien und innovativer Verwertungsmöglichkeiten weiter an.

Umweltproblematik

Kunststoffe sind sehr vielseitige Werkstoffe, was ihre Eigenschaften anbelangt. Sie können spezielle Anforderungen oft besser erfüllen als herkömmliche Werkstoffe, oft zu einem geringeren Preis und erstaunlicherweise zum Teil auch im Hinblick auf ihre Ökobilanz. Viele Errungenschaften in der Medizin, Kommunikation oder Mobilität wären ohne Kunststoffe nicht denkbar. Immer leichtere Fahrzeuge und eine verbesserte Wärmedämmung von Gebäuden sorgen dafür, dass der Treibstoff- und Energieverbrauch sinkt und somit die Umwelt weniger belastet wird. So leisten Kunststoffe einerseits auch einen wichtigen Beitrag zum Leitprinzip der Nachhaltigkeit. Andererseits wurden mit der vielseitigen und massenhaften Verwendung von Kunststoffen aber auch neue Probleme geschaffen.

Probleme der Massenproduktion

Kunststoffprodukte werden in großen Mengen vor allem als Wegwerfartikel gefertigt und halten nicht unendlich lange. Etwa sechs Millionen Tonnen Kunststoffmüll fallen pro Jahr insgesamt allein in Deutschland an. Deshalb ergibt sich zwangsläufig das **Problem der Entsorgung**. Kunststoffe können Bestandteile enthalten, die zum einen nicht wasserlöslich sind und zum anderen nicht organisch zersetzt werden können (Ausnahme: biologisch abbaubare Kunststoffe). Die Folge sind riesige Abfallmengen, die beispielsweise in **Deponien** gelagert werden und dort, wenn überhaupt, nur sehr langsam verrotten. In den Weltmeeren und sogar in den Böden gibt es stetig größer werdende Mengen an **Mikroplastik**. Gefahr geht auch von den Additiven in den Kunststoffen aus, wie Farbstoffe oder Flammschutzmittel, die in die Umwelt gelangen, oder Weichmacher, welche z. B. über Trinkflaschen vom Menschen aufgenommen werden.

Entsorgung und Recycling

Man verfolgt verschiedene Strategien, um die Abfallproblematik zu bewältigen.

Deponierung ist die schlechteste Lösung, weil das Material damit jeder weiteren Nutzung entzogen ist. Der gesamte Müll verrottet im Laufe der Zeit durch Mikroorganismen, die jedoch nicht in der Lage sind, Kunststoffe vollständig zu zersetzen. Das bedeutet, dass Kunststoffgegenstände zwar kontinuierlich kleiner, aber nicht vollständig abgebaut werden. Es entstehen Mikroplastikpartikel. Eine dünne Kunststofftüte für Obst und Gemüse braucht rund 10 bis 20 Jahre, eine Chipstüte etwa 80 Jahre und PET-Flaschen können bis zu 500 Jahre benötigen, bis sie zersetzt sind. Jedes Stück Kunststoff, welches bisher hergestellt und nicht verbrannt wurde, „existiert“ also irgendwo auf der Welt immer noch. Auf der Deponie erfüllt Kunststoff aber auch eine wichtige Funktion: Mehr als 100 Jahre haltbare Folienbahnen aus Kunststoff sollen den Untergrund der Deponie abdichten.

Man verfolgt drei Wege der Wiederverwertung von Kunststoffabfällen. Als **Recycling** gelten die ersten beiden Formen, wenn dabei **neue Produkte entstehen**:

Werkstoffliche Verwertung:

Sortenreiner, sauberer Kunststoffabfall wird zerkleinert, gemahlen und als **Regranulat** zur Herstellung neuer, hochwertiger Produkte verwendet. Jede Verunreinigung mindert die



Abb. 95: Riesiger Müllberg mit überwiegend Kunststoffabfällen
Quelle: © ClipDealer

Qualität des Recyclingprodukts. Haupteinsatzgebiete von sogenannten **Kunststoff-Rezyklaten** (Rezyklat = Stoffe, die ganz oder teilweise aus Materialien bestehen, die einem Recycling entstammen) sind beispielsweise Bauprodukte und Verpackungen.

Rohstoffliche Verwertung:

In verschiedenen technischen Verfahren können kleinteilige und verschmutzte Produkte aus Kunststoff **in den Kreislauf zurückgeführt** werden. Dabei erhält man beispielsweise wieder die Ausgangsprodukte Öl oder Gas, die dann in Raffinerien oder Chemieanlagen weiterverarbeitet oder auch zur Energiegewinnung genutzt werden.

Daneben wird die energetische Verwertung genutzt:

Wenn es sich um sehr schwierig aufbereitbare Abfälle handelt, ist dies die sinnvollste Alternative. In Verbrennungsanlagen dient der Kunststoffabfall, der einen weit höheren Heizwert hat als anderer Müll, als Ersatz für Primärbrennstoffe (Kohle, Erdöl, Gas). Die entstehende **Verbrennungsenergie** wird zur Gewinnung von **Fernwärme, Dampf und Strom** genutzt. Die bei der Verbrennung entstehenden gesundheitsgefährdenden Abgase müssen jedoch aufwändig gefiltert werden. Sie durchlaufen ein spezielles Filtersystem in den Verbrennungsanlagen, um nicht in die freie Umwelt zu gelangen.

Deutschland verwertet nahezu alle gesammelten Kunststoffe (2018 beispielsweise zu 98,8%), so werden wichtige Ressourcen gespart.

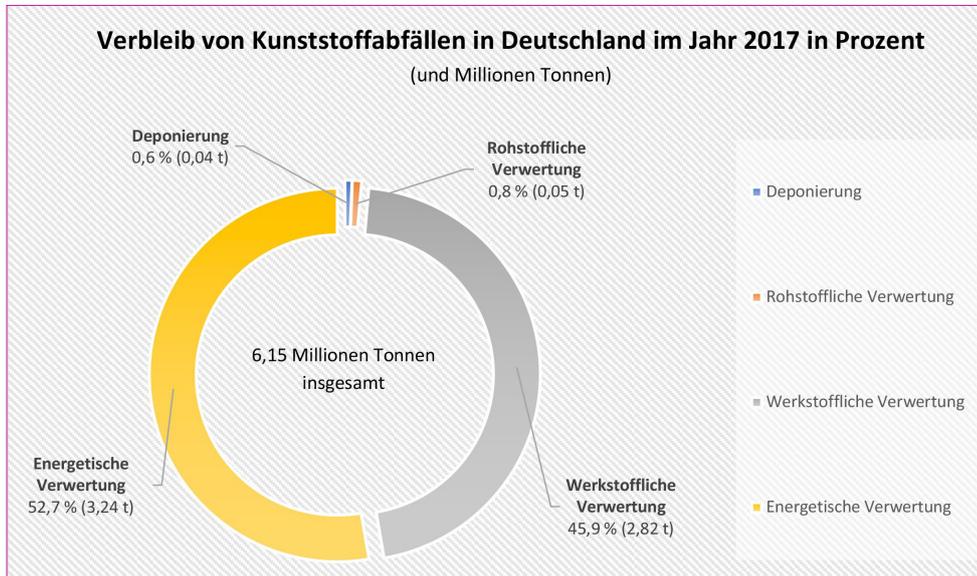


Abb. 96 Quelle: „Das BMU klärt auf zum Thema Plastikrecycling, 21.01.2019“, <https://www.bmu.de>, abgerufen am 02.09.2020

Alternativen zu nicht nachwachsenden Rohstoffen

Aufgrund der hohen Abhängigkeit der Kunststoffproduktion von den Erdölvorkommen ist die Zukunft der Kunststoffe auf Erdölbasis langfristig fraglich. Geeignete alternative Materialien müssen ähnliche positive Eigenschaften wie herkömmliche Kunststoffe haben, zudem sollen sie natürlich und biologisch abbaubar sein.

In einigen Bereichen gibt es bereits viele altbekannte aber auch neue Alternativen aus anderen Werkstoffen. Besonders bei Artikeln, die eine kurze Lebensdauer haben, wie z. B. Babywindeln, Wattepaden oder Wattestäbchen, kommt man immer mehr von der Verwendung von Kunststoffen ab. Prinzipiell hilft der gesunde Menschenverstand, wenn es um das **Vermeiden von Kunststoffabfällen** als Konsument geht.

Maßnahmen im Alltag für einen umweltbewussten Umgang mit Kunststoffen

- Lebensmittel unverpackt kaufen
- Mehrweg- und Glasflaschen den Vorzug geben
- Verzicht auf Produkte aus Einwegplastik wie Einwegrasierer, Wegwerf-Kaffeebecher oder Plastikbecher
- Selbst und frisch kochen, anstatt in Folie verpackte Fertiggerichte kaufen
- Mikroplastik vermeiden durch Wahl von Kosmetikprodukten ohne erdölbasierte Bestandteile
- Kleidung lange nutzen, Vermeidung von „Fast Fashion“ und Synthetikmaterialien
- Produkte aus alternativen Werkstoffen in Betracht ziehen
- Kunststoffabfälle konsequent dem Recycling zuführen



Abb. 97: Schulranzen mit Stoff aus zu 100 % recycelten PET-Flaschen



Abb. 98: Alternative zur Plastiktüte: Papiertragetasche mit 30 % Grasrischfaser-Anteil



Abb. 100: Alternative zu Plastikstrohhalm: Essbare Trinkhalm

Abb. 99: Textmarker aus 90 % nachwachsenden Rohstoffen

