



KUNSTSTOFF

Jahrgangsstufe 10

**Arbeitsheft für das Fach Werken
an Realschulen in Bayern**

Erarbeitet im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Unterricht und Kultus

Leitung des Arbeitskreises

Elisabeth Mehrl, ISB

Mitglieder des Arbeitskreises:

Wolfgang Gobmeier, Staatliche Realschule Pfaffenhofen a. d. Ilm

Marie-Luise Pfeifer, Staatliche Realschule Nabburg

Günter Trager, Staatliche Realschule Altötting

Bildrechte:

Marie-Luise Pfeifer (Autorin)

Titelbild: Vollautomatische Kunststoffteileproduktion Quelle: ContiTech Waltershausen

Herausgeber:

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

München 2012

Anschrift:

Staatsinstitut für Schulqualität und Bildungsforschung

Abteilung Realschule

Schellingstr. 155

80797 München

Tel.: 089 2170-2446

Fax: 089 2170-2813

Internet: www.isb.bayern.de

Hinweis:

Die Gliederung im Heft entspricht dem Lehrplan im Fach Werken und deckt alle prüfungsrelevanten Inhalte des Profulfaches ab.

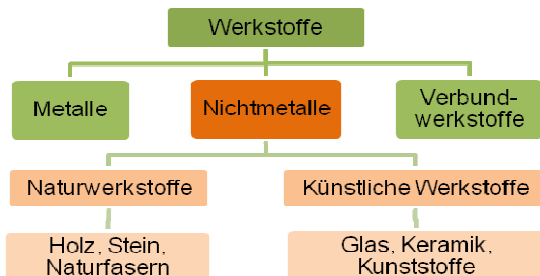
Mit dem Heft kann im Unterricht gearbeitet werden, es eignet sich aber auch zum Nachholen, Wiederholen und Lernen zu Hause.



Dieses Zeichen findest du bei einigen Schemazeichnungen. Es bedeutet, dass die Zeichnung **prüfungsrelevant** ist. Diese Zeichnung muss ein Schüler selbstständig anfertigen können.

Kunststoffe - moderne Werkstoffe mit einem hohen Entwicklungspotential

Als **Werkstoffe** bezeichnet man alle Materialien, die in eine bestimmte Form gebracht werden können und sich somit zum technischen Gebrauch eignen.



Kunststoffe sind organische Werkstoffe, die aus Makromolekülen aufgebaut sind. Sie entstehen durch **Umwandlung von Naturprodukten** oder durch **Synthese von Primärstoffen** aus Erdöl und Erdgas oder Kohle.

Organisch bedeutet: Kunststoffe bestehen aus den Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Sauerstoff (O), Stickstoff (N), Schwefel (S) und gleichen in ihren Eigenschaften natürlich gewachsenen Stoffen wie Holz, Horn oder Harz.

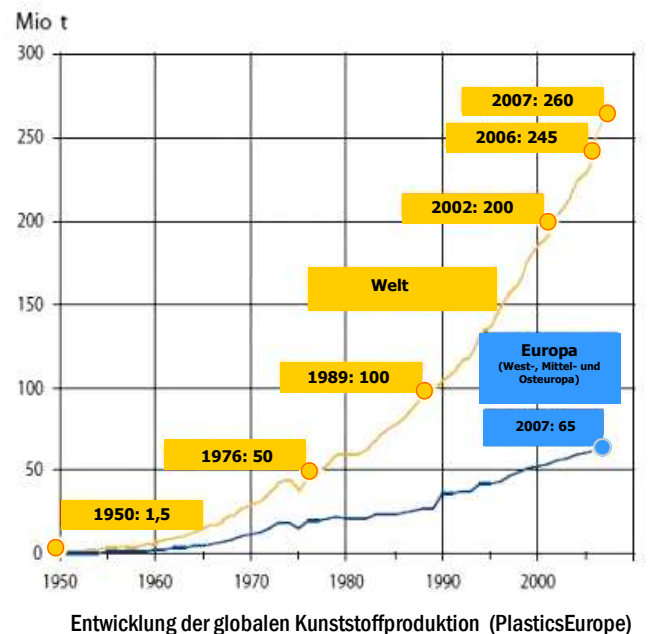
Kunststoffe bilden die größte und vielfältigste Gruppe innerhalb der künstlichen Werkstoffe. Die drei Grundtypen synthetischer Kunststoffe sind **Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere**. Daneben werden unterschiedlichste Gemenge verarbeitet, wie z. B. Kunststofflegierungen, Dispersionen, Lösungen, Polymerblends oder Verbundwerkstoffe. Sie setzen sich jeweils aus zwei oder mehr Einzelkomponenten zusammen mit dem Ziel, die guten mechanischen und physikalischen Eigenschaften der jeweiligen Komponenten gleichzeitig zu nutzen. Ein Beispiel für faserverstärkte Kunststoffe: Hochfeste Glasfasern in Kombination mit einem leichten Kunststoff ergeben den hochfesten und leichten glasfaserverstärkten Kunststoff „GFK“.



Rennverkleidung am Motorrad aus GFK

Die wirtschaftliche Bedeutung der Kunststoffe

Kunststoffe haben schon lange ihren Ruf als „billige Ersatzstoffe“ abgelegt. Sie sind aus unserem Alltag nicht mehr wegzudenken, denn sie erleichtern in vielen Bereichen unser Leben und ermöglichen die Entwicklung neuer Technologien. Erst in den 30er Jahren des 20ten Jahrhunderts begann die großtechnische Produktion von Kunststoffen. 1949 übertraf die globale Produktion an Kunststoffen erstmals eine Million Tonnen. Mit einem durchschnittlichen Wachstum bis 2008 von 9% jährlich, stieg die Produktion auf 245 Millionen Tonnen pro Jahr an. Erst die Wirtschaftskrise von 2009 hinterließ eine spürbare Delle in der Wachstumskurve. Um sich ein Bild von den Zahlen machen zu können, kann man sich vorstellen, dass wir mit der von uns bisher produzierten „Plastikmenge“ den gesamten Erdball sechsmal mit Folie einwickeln könnten. Und die Produktion wird weiter rasant ansteigen, da ein starkes Wachstum des Verbrauchs speziell in Asien und Osteuropa erwartet wird.



Recherchiere, wie hoch jeweils der Anteil der wichtigsten Kunststoffe am Weltverbrauch ist.

Massenproduktion: Notwendigkeit - Vorteile - Probleme

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts entstand in den USA ein neues Wirtschaftssystem, das auf Massenproduktion und Massenkonsum basierte. Der Unternehmer Henry Ford hatte dafür die technische und ökonomische Grundlage geliefert und damit den weiteren Verlauf der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung in den Industrienationen geprägt. Nicht nur die Versorgung der rapide wachsenden Bevölkerung mit den notwendigen Gütern war damit gesichert, auch die bislang in Einzel- oder Serienfertigung produzierten teuren Luxusgüter wurden durch Massenfertigung preiswerter, was zu größerem Wohlstand für breite Bevölkerungsschichten führte. Das Prinzip der Massenfertigung wird gegenwärtig in allen Teilen der Welt angewendet und bildet eine der Grundlagen der Globalisierung.



Seriengefertigte Tankhauben aus glasfaserverstärktem Kunststoff GFK

Industrielle Massenproduktion ist die Herstellung von großen Mengen gleicher Produkte unter Verwendung von austauschbaren, standardisierten Einzelteilen und Baugruppen. Maschinelle Fertigung und Fertigungsstraßen sind oft für die Massenproduktion eingesetzte Technologien.

Die Prinzipien der Massenproduktion

Arbeitsteilung: Jeder Mitarbeiter erledigt nur bestimmte Tätigkeiten, auf die er spezialisiert ist.

Standardisierung: Austauschbare Teile müssen maßhaltig sein; alles, was außerhalb eines gewissen Toleranzbereichs liegt, gilt als Ausschuss.

Serienfertigung: Um Produkte in gleichbleibender Qualität unter optimaler Nutzung des Materials zu fertigen, bedarf es spezieller Maschinen, besonderer Fertigungsverfahren (Fertigungsstraßen, Fließbandfertigung), einer funktionalen Organisationsstruktur in den Betrieben und eines reibungslosen Materialflusses vom Rohstoff bis zum fertigen Produkt.

Wirtschaftlichkeit: Massenfertigung erfordert Massenkonsum, der wiederum voraussetzt, dass die produzierten Güter zu möglichst niedrigen Preisen zu erwerben sind. Da die Preise für den Endverbraucher jedoch mit den Herstellungskosten zusammenhängen, müssen diese durch Rationalisierung gesenkt werden, z. B. durch Automatisierung oder durch eine steigende Produktionsmenge und damit niedrigere Einkaufskosten für den Produzenten.

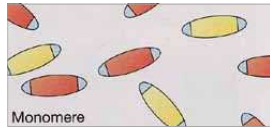
Die Wirtschaft hat mit der Massenproduktion allerdings auch „massenhafte Probleme“ bekommen. Massenproduktion benötigt Massen von Rohstoffen. Durch die damit einhergehende Verteuerung der endlichen Rohstoffe, durch die Erfüllung von immer neuen Umweltschutzauflagen oder eine Herstellung, die dem gesteigerten Umweltbewusstsein der Kunden entspricht, schwindet der Kostenvorteil der Massenware zunehmend. Ein weiterer Nachteil liegt in der Unflexibilität des Produktionsprozesses: Produktlinien können nicht ohne weiteres umgestellt werden, ein flexibles Eingehen auf individuelle Kundenwünsche ist deshalb nicht möglich. Produktionsfehler ziehen enorme Folgekosten nach sich. Aufgrund des enormen Wettbewerbsdrucks werden kleinere Hersteller vom Markt verdrängt und die Großen diktieren dann Konditionen und Preise. Überproduktion, Billigpreise und die Kurzlebigkeit der Produkte fördern Müllberge.



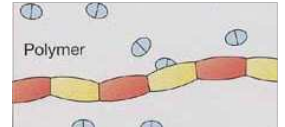
Fasse wesentliche im Text aufgezeigte Vor- und Nachteile der Massenfertigung zusammen.

Einteilung der Kunststoffe nach ihrem Herstellungsverfahren

In Raffinerien wird Erdöl durch Destillation in mehrere Bestandteile getrennt. Die für die Kunststoffherzeugung wichtigste Fraktion ist Rohbenzin (Naphta), das in einem thermischen Spaltprozess (Crack-Prozess) in Ethen, Propen, Buten und andere Kohlenwasserstoffverbindungen „auseinandergebrochen“ wird. Die dabei gewonnenen **Grundbausteine** (Monomere) werden durch verschiedene Syntheseverfahren zu **Makromolekülen** (Polymere) verknüpft, aus denen die Kunststoffe aufgebaut sind.



Monomere, aus denen Makromoleküle aufgebaut werden sollen, müssen mindestens **bifunktionell** sein. Das heißt, an jedem Monomer befinden sich mindestens zwei Stellen, an denen Bindungen geknüpft werden können. Nur dann ist eine Vereinigung zu großen Molekülen möglich.

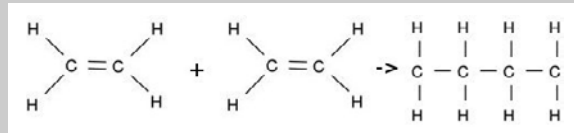


Durch verschiedene **Syntheseverfahren** lassen sich die unterschiedlichsten Makromoleküle herstellen, deren Aufbau (Größe, Gestalt, Anordnung, Bindung) die Eigenschaften der Kunststoffe bestimmt.

Polymerisation

Gleiche Grundbausteine werden meist unter Einfluss von Katalysatoren unter Aufspaltung der Doppelbindung und gleichzeitiger Neubildung einer Einfachbindung zum Nachbarbaustein zu fadenförmigen Makromolekülen verknüpft.

Ausschnitt aus einer Kettenreaktion:



Die Reaktion verläuft stufenlos (Kettenreaktion), es bilden sich keine Reaktionsnebenprodukte. Die dabei entstehenden Kunststoffe bezeichnet man als **Polymerisate**.

Polykondensation

Gleichartige oder artverschiedene Grundbausteine werden zu Makromolekülen verknüpft. Die Reaktion verläuft in Stufen und kann an unterschiedlichen Stellen des Reaktionsablaufs unterbrochen werden. Bei jedem Reaktionsschritt werden einfache Reaktionsnebenprodukte, z. B. Wasser, abgespalten. Um die Reaktion in Gang zu halten, muss das Kondensat (Wasser) ständig entfernt werden. Die dabei entstehenden Kunststoffe bezeichnet man als **Polykondensate**.

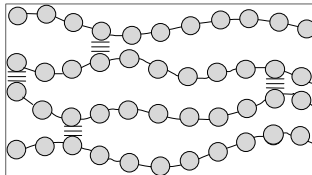
Polyaddition

Verschiedenartige Grundbausteine werden zu Makromolekülen verknüpft. Die Reaktion verläuft wie die Polykondensation in Stufen, allerdings entstehen hierbei keine Reaktionsnebenprodukte. Die dabei entstehenden Kunststoffe bezeichnet man als **Polyaddukte**.

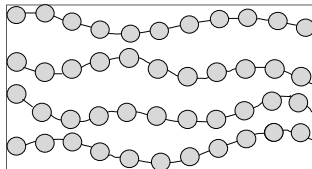
Syntheseprodukt:	Kunststoffarten:	Produktbeispiele:
Polymerisate	Polyethen (Polyethylen, PE) Polypropen (Polypropylen, PP)	Plastiktüten, Eimer Flaschen, Folien
Polykondensate	Polyamide (PA) Polyester (PES)	Angelschnüre, Textilfasern Spachtelmasse, Getränkeflaschen
Polyaddukte	Epoxidharze Polyurethane (PUR)	Klebstoffe, Grundierungen Schaumstoffmatratzen, Schuhsohlen

Einteilung der Kunststoffe nach ihrem thermischen Verhalten

Bei Kunststoffen gibt es keine scharfen Temperaturgrenzen, an denen sich ihre physikalischen Eigenschaften schlagartig 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: Kunststoffe mit unverknüpften Makromolekülketten sind plastisch formbar, solche mit räumlich verknüpften Makromolekülen sind nicht mehr plastisch formbar.



Thermoplast bei Raumtemperatur



Thermoplast bei ca. 130° C

Danach unterscheidet man drei Grundtypen von synthetischen Kunststoffen: **Thermoplaste, Duroplaste und Elastomere.**

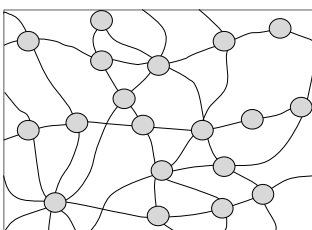
Thermoplaste (thermos = warm) bestehen aus fadenartigen oder nur gering verzweigten, unvernetzten Makromolekülen, die lose nebeneinander liegen und nur durch physikalische Bindungen zusammengehalten werden. Bei höheren Temperaturen werden diese Bindungen schwächer und verschwinden schließlich vollständig.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



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 PE, PP, PS, PVC, Acrylglas (PMMA) u.a. 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.

Tragetaschen aus PE



Räumlich (dreidimensional) eng verknüpfte Makromoleküle

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 Hitzeersetzung (Bräunung, Schwärzung) bei. Der Vorgang ist irreversibel (nicht umkehrbar).

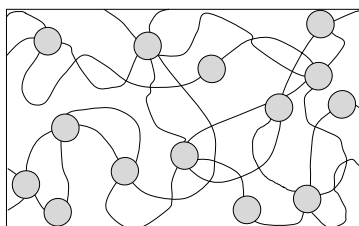


Aufgrund der engen chemischen Vernetzung sind Duroplaste nach ihrer Formgebung auch unter Wärmeeinwirkung nicht mehr verformbar und lassen sich nur noch mechanisch durch spanende Verfahren bearbeiten. Sie können geklebt aber nicht verschweißt werden. Gegenüber Chemikalien sind sie besonders widerstandsfähig.

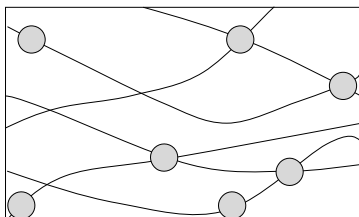
Duroplaste werden aufgrund ihrer Hitzebeständigkeit häufig für Elektroinstallationen verwendet. Einer der meistverbreiteten und ältesten Kunststoffarten dieser Klasse ist Bakelit. In diese Gruppe fallen auch Polyurethanharze für Lacke und Oberflächenbeschichtungen, Polyesterharze für hitzebeständige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

Retro-Telefon aus Bakelit





verknäuelte Molekülketten



gestreckte Molekülketten

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, "verknäueln" sich die Moleküle 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.

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.



Thermoplastische Elastomere (TPE oder auch Elastoplaste)

bestehen meist aus einer „weichen“ Elastomer- und einer „harten“ thermoplastischen Komponente. Bei Raumtemperatur verhalten sie sich wie klassische Elastomere, jedoch beim Erhitzen werden sie verformbar. Ein großer Vorteil ist, dass man sie schweißen kann, um damit wasserfeste Verbindungen zu erhalten.

Zur Gruppe der Elastomere gehören alle Arten von Kautschuk (engl. „Rubber“): NR (Naturkautschuk) für LKW-Reifen und Matratzen ebenso wie Synthesekautschuke, z. B. CR (Chloropren-Kautschuk) als Schaumgummi, SBR (Styrol-Butadien-Kautschuk) für PKW-Reifen oder NBR (Acrylnitril-Butadien-Kautschuk) für Gummihandschuhe und Dichtungen. Auch Silikone für Implantate in der plastischen Chirurgie oder für Dichtmassen zählen dazu.



Radüberschuhe aus NBR

Maßgeschneiderte Werkstoffe

Durch gezielte Maßnahmen können die Eigenschaften der Kunststoffe beeinflusst werden. So werden im Verlauf des Herstellungsprozesses sogenannte **Additive** (Zusatzstoffe) zugesetzt. Sie dienen der genauen Einstellung der Materialeigenschaften auf die Bedürfnisse der jeweiligen Anwendung und der Verbesserung der chemischen, elektrischen und mechanischen Eigenschaften.

Weichmacher

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

Stabilisatoren

erhöhen die Lebensdauer des Kunststoffes und schützen ihn vor schädigenden Einflüssen wie Oxidation, Strahlung oder Hitze.

Farbmittel

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

Füllstoffe

wie Kreide oder Quarz sind Streckmittel, die die Herstellung des Kunststoffes verbilligen und zudem die Oberflächenbeschaffenheit, die Festigkeit und die thermische Belastbarkeit verbessern.

Verstärkungsstoffe

(*reinforcement*) sind Fasern aus Glas, Kohlenstoff, Aramid, Polyester oder auch aus Naturprodukten wie Flachs oder Jute. Sie werden gezielt zur Verbesserung mechanischer und physikalischer Werkstoffeigenschaften wie Zug- und Druckfestigkeit eingesetzt. (Weitere Ausführungen unter „Faserverbundwerkstoffe“ auf Seite 10.)

AUFGABE *Ergänze die Zusammenfassung.*

	Thermoplaste	Duroplaste	Elastomere
Schematische Darstellung der Molekularstruktur			
Molekülbindung	<ul style="list-style-type: none"> ▶ fadenartig oder nur gering verzweigt ▶ unvernetzt 		
Verhalten bei Erwärmung			Verknüpfungen bleiben fest: <ul style="list-style-type: none"> ▶ bei niedrigen Temperaturen hart und spröde ▶ bei Normaltemperatur natürlich elastisch ▶ bei hohen Temperaturen zersetzen sie sich
Eigenschaften bei mechanischer Verformung		<ul style="list-style-type: none"> ▶ hart und spröde ▶ verformen sich nicht ▶ federn und brechen leicht ▶ gut mechanisch zu bearbeiten, z.B. durch Sägen, Feilen oder Raspeln 	
Wichtige Kunststoffarten			<ul style="list-style-type: none"> ▶ Silikon-Kautschuk ▶ NBR Nitrilkautschuk ▶ NR Naturkautschuk
Produktbeispiele	▶	▶	▶
	▶	▶	▶
	▶	▶	▶

Faserverbundwerkstoffe (FVW): HighTech - Materialien der Zukunft

Faserverbundwerkstoffe (Composites) sind ein Überbegriff für Materialpaarungen, die in Kombination miteinander einen optimierten Werkstoff für den jeweiligen Verwendungszweck erzeugen.



Ein Material mit sehr hoher Festigkeit (z. B. Kohlenstofffasern) wird meist in mehreren Lagen als Verstärkung in ein anderes Material mit hoher Zähigkeit eingebettet. Dieses „Grundmaterial“, das den Zusammenhalt des Verbundes gewährleistet, heißt **Matrix**. Sie ist die

formgebende Komponente und besteht meist aus Epoxidharz (Duroplast), zunehmend aber auch aus Thermoplasten, die auch das thermische Umformen von Faserverbundwerkstoffen ermöglichen.

Faser-Kunststoff-Verbunde sind z.B.

- Carbonfaserverstärkter Kunststoff (CFK)
- Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK)
- Aramidfaserverstärkter Kunststoff (AFK)

Vorteile der FVW:

- geringes Gewicht
- freie Formgestaltung
- hohe Festigkeit und Steifigkeit bei gleichzeitig geringer Masse
- Alterungs- und Witterungsbeständigkeit
- hohe Temperaturbeständigkeit
- ebenso zugfest aber leichter als Aluminium oder Stahl

Nachteile der FVW:

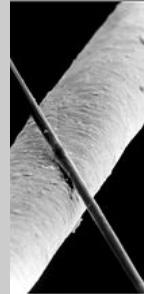
- höherer Materialpreis im Vergleich zu Metall
- hoher Aufwand in der Verarbeitung
- Gesundheitsschädigung durch Kohlefaserstaub
- Serienfertigung noch unausgereift
- Recycling noch im Anfangsstadium

CFK ist nicht neu, seit mehr als 20 Jahren wird bereits damit experimentiert. Da der Werkstoff für den Massenmarkt bislang jedoch zu teuer war, wurde er hauptsächlich in der Luft- und Raumfahrtindustrie und im Motorsport eingesetzt. Die Boeing 787 beispielsweise wird zu 50 % aus Faserverbundmaterialien hergestellt und verbraucht durch die Gewichtseinsparung 20 % weniger Treibstoff als vergleichbar große Flugzeuge.

Zunehmend setzt auch die Automobilindustrie auf diesen extrem leichten und damit Sprit sparenden Werkstoff. Bei Elektroautos bewirkt die Gewichtseinsparung eine Vergrößerung ihrer Reichweite.

Auch in Windkraftanlagen, im Maschinenbau und in der Bauwirtschaft können diese neuen Materialien zunehmend Stahl und Kunststoff ersetzen. Kommerziell bereits im Einsatz ist Beton mit einer Armierung aus Glasfasern anstelle von Stahl. Dieser Baustoff ermöglicht eine wesentlich schlankere Ausbildung der Bauteile mit einer Festigkeit, die weit über der des Baustahls liegt.

Kohlenstofffasern (Kohlefasern, Carbonfasern)



sind industriell hergestellte Fasern aus kohlenstoffhaltigen Ausgangsmaterialien, die durch Pyrolyse 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. Als Endlosfaden auf Spulen gewickelt erfolgt die Weiterverarbeitung auf Web- oder Wirkmaschinen zu Faser-Halbzeugen in Form von Matten, Gelegen, Gestrickten, Geflechten oder Geweben.

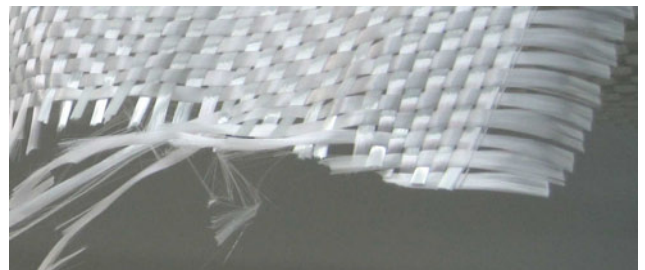
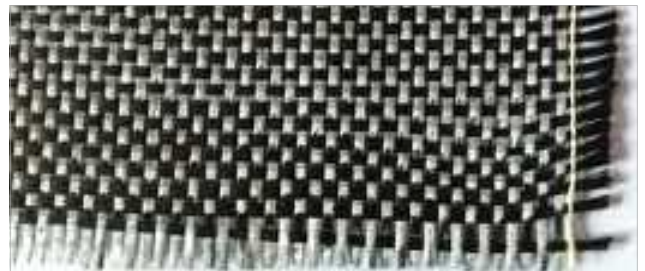


Abb. oben: Kohlenstofffasergewebe
Abb. Mitte: Glasfasergewebe
Abb. unten: Aramidfasergewebe



Finde weitere Anwendungsbereiche mit Beispielen für Faserverbundstoffe.

Trennen von Kunststoffen

Grundsätzlich unterscheidet man beim Trennen zwischen **spanenden** und **spanlosen** Arbeitsverfahren: Zu den spanenden Verfahren zählen Sägen, Bohren, Stanzen. Spanlose Verfahren sind das Schneiden mit Messer oder Metallschere, das Ritzbrechen und das Trennen mit einem Heißdrahtschneider (Thermosäge).

In der mechanischen Fertigung geschieht die spanende Bearbeitung von thermoplastischen Kunststoffen auf CNC-gesteuerten Dreh- und Fräsmaschinen.

CNC-Maschine fräst Buchstaben aus einer Dibond-Platte
(Aluminiumdeckschichten, PE-Kern)



Trennen mit dem Heißdrahtschneider

Heißdrahtschneider (Thermosägen) eignen sich zum präzisen, einfachen und schnellen Schneiden von Styropor, Polystyrol-Hartschäumen (EPS) oder Polyurethan (PUR). Nicht geeignet sind die Sägen zum Trennen von Vollkunststoffen oder duroplastischen Materialien.

Thermosägen schneiden mit einem beheizten Draht (Glühdraht). Der Draht ist normalerweise senkrecht zwischen Arbeitsplatte und Spannbügel eingespannt. Der Bügel ist schwenkbar, so dass man mit schräggestelltem Draht auch relativ leicht Schrägschnitte ausführen kann.

Ein Polystyrolschaumblock wird geschnitten, indem er langsam am Anschlag entlang gegen den Draht geführt wird. Der Draht sollte nicht durchgehend beheizt werden, da er sonst schnell reißt oder aufgeweitete Anschnitte und unscharfe Ecken bei winkligen Schnitten verursacht.

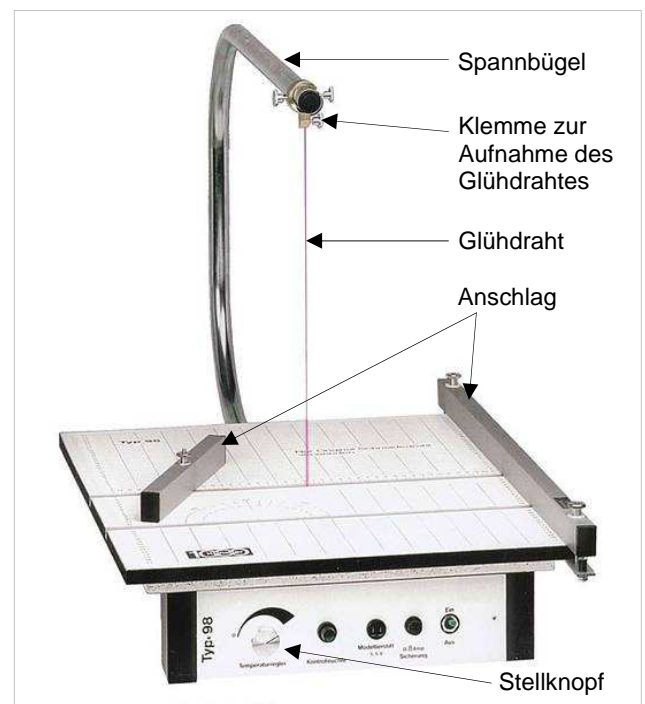
Der über einen Transformator elektrisch direkt beheizte Glühdraht wird in ca. 10 Sekunden auf etwa 600°C aufgeheizt. Der Heiztransformator befindet sich unter der Arbeitsplatte.

Über einen Stellknopf kann die Arbeitstemperatur des Heißdrahtschneiders stufenlos eingestellt werden. Besser geeignet ist dazu jedoch ein Fußschalter, da so beide Hände zum Arbeiten frei sind.

Da die stationären Tischgeräte eine relativ kleine Auflagefläche und eine begrenzte maximale Durchlassbreite haben, empfiehlt es sich, für großformatige Arbeiten einen Freihand-Styroporschneider mit auswechselbaren Klingen (Schneidspitzen) zu verwenden.

Anwendungsbereiche für Heißdrahtschneider:

- ▶ Modellbau und Musterbau
- ▶ Design und Bühnengestaltung
- ▶ Dekoration und Kunst
- ▶ Wärmedämmindustrie



Stationäre Thermosäge mit Anschlag und Winklereinstellung



Freihand-Styroporschneider mit verschiedenen Schneidspitzen

Thermisches Umformen

Halbzeuge aus thermoplastischen Kunststoffen wie PVC, PC, PS, PET, PMMA (Acrylglas) oder Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) können durch äußere Krafteinwirkung im warmen Zustand teilweise oder ganzflächig plastisch verformt werden. Dazu müssen sie über ihre Erweichungstemperatur erhitzt werden. Der Kunststoff wird dabei weich und lederartig, da die Polymermoleküle durch die Erwärmung in der Lage sind, sich unter Belastung zu entknäueln. Bei Entlastung allerdings sind sie bestrebt, wieder in ihre ursprüngliche Lage zurückzukehren, was zur Rückstellung des gesamten Werkstücks führt (Memoryeffekt). Um dem entgegenzuwirken, muss das Werkstück nach der Umformung im belasteten Zustand verbleiben, bis es ausgekühlt ist. Bei erneutem Erwärmen versuchen die Fadenmoleküle, ihre frühere, „bequemere“ Lage wieder einzunehmen. Voraussetzung für eine gute Warmformbarkeit ist eine große Spanne zwischen Erweichungs- und Fließtemperatur, wie sie nur Thermoplaste aufweisen.

Zustandsformen bei steigender Temperatur: fest → elastisch → plastisch → flüssig → zersetzt.

Die **Umformverfahren** werden nach Art der Umformkräfte eingeteilt:

Verfahren		Vorgehensweise
Biegeumformen:	Abkanten, Biegen	per Hand oder Biegevorrichtung Abwinkeln um gerade und gekrümmte Biegeachsen bei annähernd gleichbleibender Wandstärke
Druckumformen:	Prägen, Rändeln, Stauchen	mit Stempel per Hand oder maschinell Umformen mit Druckbeanspruchung bei Materialverdrängung
Zugumformen:	Streckziehen	per Stempel, Druckluft / Vakuum Dehnvorgang Das thermoplastische Material wird dabei fest in einen Rahmen eingespannt und unter Verringerung der Materialstärke in eine Form gezogen. Die Oberfläche des Werkstücks vergrößert sich, dabei wird die Wanddicke geringer.
Zugdruckumformen:	Tiefziehen	per Stempel, Druckluft / Vakuum Durch den federnden Niederhalter am Formteil bleibt die Wandstärke weitgehend konstant, da das Material unter dem federnden Spannrahmen nachgezogen werden kann.

Vor dem Warmumformen:

- ▶ Probedurchgang an einem Teststück durchführen
- ▶ Kanten polieren
- ▶ Schutzfolie entfernen
- ▶ Kunststoff mit warmem Seifenwasser und weichem Schwamm reinigen, trocknen
- ▶ Auf standfeste sichere Arbeitsvorrichtung achten
- ▶ Angemessenen Abstand zwischen Material und Heizquelle einhalten
- ▶ Bei ganzflächiger Erwärmung Schutzhandschuhe anziehen (je nach Heizquelle)
- ▶ Fixierungshilfen bereitlegen

Biegeumformen

Erwärmen

Um eine Platte aus thermoplastischem Kunststoff wie zum Beispiel Acrylglas biegen zu können, muss diese an der Biegezone bis in den elastischen Zustand erwärmt werden. Im erwärmten Bereich wird der Kunststoff weich und lederartig und lässt sich mit den Händen leicht frei oder über eine Schablone biegen.

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. Für extrudiertes Material liegt sie bei 150° C, für gegossenes bei 160° C. Schon bei 170 °C ist der Zeitpunkt verpasst: Es kommt zur Bildung von Bläschen.

Als **Wärmequelle** stehen verschiedenste Hilfsmittel zur Verfügung wie Heizstab, Heißluftgebläse, Heizstrahler, Infrarotlampe, Kochplatte, Bügeleisen oder Backofen.

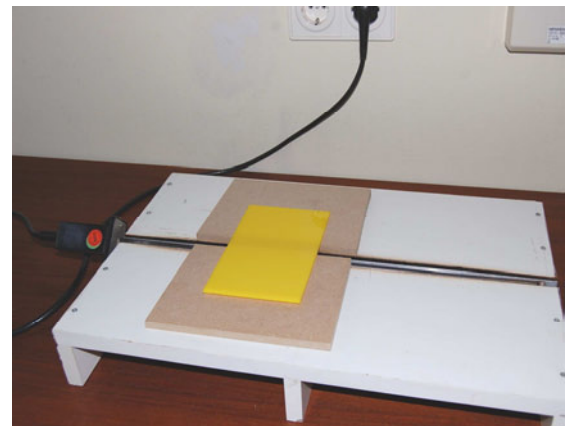
Für ein gleichmäßiges **partielles Erwärmen** eignet sich am besten ein spezieller **Heizstab**, der sicher in einer Aluschiene im Biege- und Abkanttisch liegt. Man kann den Heizstab auch auf einer feuerfesten Unterlage zwischen zwei gleich hohen planen Auflageflächen für die Acrylglasplatte positionieren. Dabei ist stets auf einen ausreichenden Abstand zwischen Heizstab und Acrylglas zu achten. Ab einer Materialstärke von etwa 4 mm empfiehlt es sich, die Platte bei mehrmaligem Wenden beidseitig an der Biegezone zu erwärmen.

Exakte Biegungen lassen sich auch durch Erwärmung mit einem **Heißluftgebläse** erreichen. Dazu sollten die nicht zu verformenden Bereiche mit Metallblechen abgedeckt werden. Durch ständiges Hin- und Herbewegen der Heizquelle wird mit etwas Übung das Material in der Biegezone gleichmäßig erwärmt.

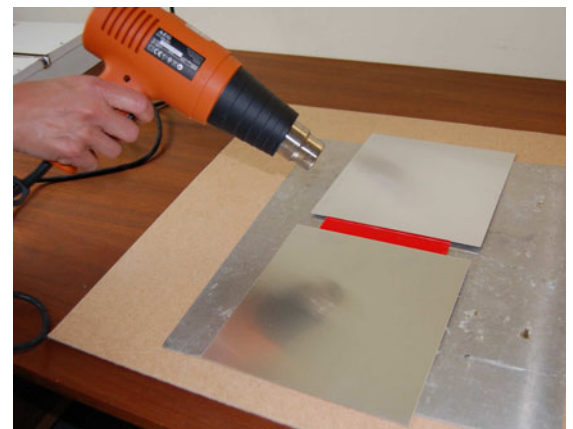
Für ein **ganzfächiges Erwärmen** eignet sich ein normaler **Backofen** als Heizquelle. Die Acrylglasplatte wird dazu mit einer Tuchunterlage auf den Rost gelegt und bei entsprechender Temperatureinstellung erwärmt. Auch auf einer Kochplatte mit aufgelegter Aluminiumplatte (wärmeleitend!) ist ein ganzfächiges Erwärmen möglich.

Die **Dauer der Erwärmung** ist abhängig von der Heizquelle und der Materialstärke. Acrylglas kann nach etwa 1 bis 1,5 Minuten umgeformt werden. Wird zu lange oder zu hoch erwärmt, versprödet das Material. Befindet sich das Kunststoffteil zu nahe an der Heizquelle, so kann das zu Bläschenbildung und Verschmoren bis hin zur Materialersetzung führen. Außer beim Heißluftgerät oder beim Backofen, wo sich die Temperatur einstellen lässt, ist die richtige Temperierung eine Sache der Erfahrung. Deshalb ist es ratsam, vorher an einem Probestück zu üben. Auf jeden Fall muss man den Erwärmungsvorgang ständig beobachten und zwischendurch immer wieder probieren, ob das Material sich schon ohne Widerstand biegen lässt.

Umgeformtes, gegossenes Acrylglas kehrt im Gegensatz zu extrudiertem bei nochmaligem Erwärmen weitgehend in seine Ursprungsform zurück.



Biege- und Abkanttisch mit Heizstab



Partielles Erwärmen mit dem Heißluftgerät



Beschädigte Oberfläche durch Überhitzung

Umformen

Zum Überführen in die gewünschte Form dürfen keine besonders großen Kräfte notwendig sein.

Sobald die richtige Temperatur erreicht ist, wird das Kunststoffteil von Hand oder mittels einer Vorrichtung (Biegehilfe) in Form gebogen. Dies ist in der Regel ein fest eingespannter Rundstab aus Holz, über den die Platte an der erwärmten Zone gebogen wird.

Beim **Abkant**en wird die Platte linienförmig erwärmt und mit einer Biegeschablone oder über eine Kante abgekantet. Damit das Material an der Biegekante nicht zu dünn wird, muss eine ausreichend breite Zone erwärmt werden (etwa das Drei- bis Fünffache der Plattenstärke). Da abgekantete Teile mit kurzer Schenkellänge dazu neigen, sich nach dem Abkühlen zu verziehen, empfiehlt es sich in solchen Fällen, die ganze Platte zu erwärmen.

Einen Mindestbiegeradius gibt es nicht. Als Faustregel gilt jedoch:

Biegeradius (auf der Innenseite) = Materialstärke.

Kleinere Radien führen zu Spannungen und Quetschfalten auf der Innenseite.

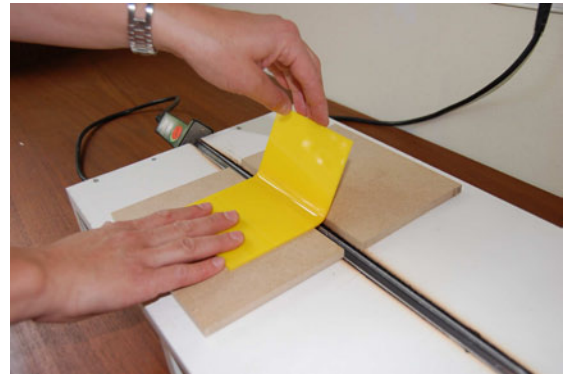
Beim **Biegen** von Acrylglasplatten über Überlegformen wird stets die gesamte Fläche erwärmt. Zum Schutz vor Abdrücken an der Oberfläche sollte man die Biegeschablone mit Stoff überspannen und Halteleisten für die erwärmte Platte bereitstellen.

Für gleichmäßige Rundungen kann man eine im Backofen erwärmte Platte um einen zylindrischen Gegenstand biegen. Dazu eignet sich ein filzummanteltes Metallrohr, eine mit heißem Wasser gefüllte Flasche oder auch ein Teppichkern. Dabei muss zügig gearbeitet werden, da das Material überraschend schnell auskühlt. Zum Schutz vor Verbrennungen an der heißen Platte unbedingt Handschuhe anziehen.

Abkühlen

Um ein Zurückfedern des gebogenen Teils zu verhindern wird das Werkstück in umgeformter Stellung gehalten, bis es unter ca. 60°C abgekühlt ist.

Die Abkühlung unter Formzwang muss langsam und gleichmäßig erfolgen, um örtliche Abkühlspannungen und eine eventuelle Rissbildung zu vermeiden.



Biegen einer linear erhitzten Acrylglasplatte



Biegen einer ganzflächig erwärmten Acrylglasplatte über einen Teppichkern



Abkühlen unter Formzwang

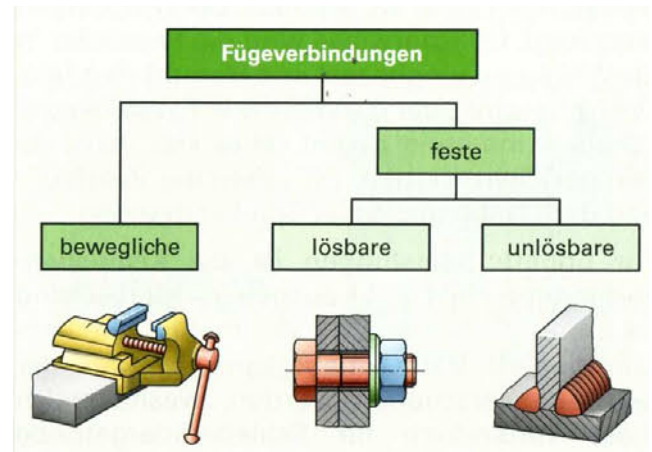
AUFGABE

Nenne mögliche Ursachen für die angegebenen Fehler beim Warmformen.

Bläschenbildung	
Quetschfalten	
Verziehen	
Material an der Biegekante zu dünn	

Fügen durch bewegliche oder lösbare feste Verbindungen

Die einzelnen Bauteile eines Werkstücks werden entweder beweglich oder fest miteinander verbunden. Die festen Verbindungen werden in unlösbar und lösbar unterteilt. Als unlösbar bezeichnet man eine feste Verbindung, die nur durch Zerstörung des Verbindungsmittels getrennt werden kann. Kleben und Schweißen sind die häufigsten unlösbaren Fügeverfahren von Kunststoffen. Durch Nieten können solche Kunststoffteile unlösbar verbunden werden, die sich nicht schweißen und nur schlecht kleben lassen. Schraubverbindungen sind die gebräuchlichsten lösbaren Verbindungen. Bewegliche Verbindungen sind Gelenke, Scharniere, Schnapp- oder Steckverbindungen.



Schnapp- oder Steckverbindungen funktionieren speziell bei elastischen Kunststoffen: Durch die Federspannung halten „Nasen“ in den entsprechenden Hohlräumen des Gegenstücks, sie rasten ein. Diese Verbindungen sind vorteilhaft beim späteren Recycling, da kein Fremdmaterial erforderlich ist. Bei Rohren werden konische Steckverbindungen angewendet, wodurch die Rohre leicht ineinander klemmen. Die Elastizität des Werkstoffs macht auch einfache Verschlüsse möglich: Deckel aus Kunststoff halten nach dem Aufsetzen allein durch den Reibungswiderstand und durch die Materialspannung.



Verschiedene Arten von „Nasen“ an einer Druckerklappe



Vorratsbehälter mit selbsthaftendem Deckel



Schnappverschluss einer CD-Hülle

Kunststoffverschraubungen findet man überwiegend bei Deckelverschlüssen von Flaschen und Behältern. Die Gewindepartien entstehen bereits beim Herstellungsprozess des Produktes.



Schraubverbindungen, die häufig gelöst werden, stellt man mittels der üblichen Metallschrauben und **Gewindeinsätzen (Inserts)** aus Messing, Stahl oder Kunststoff her. Die Gewindebuchsen werden in die konisch bzw. zylindrisch geformte Aufnahmebohrung des Trägerteils eingelegt und mittels Ultraschall eingeschweißt (Abb. oben) oder mechanisch eingeschraubt (Abb. unten) und bieten so eine gute Angriffsfläche für die Schraube.



Direktverschraubungen eignen sich zum Verbinden von zähelastischen Kunststoffen. Verbindungsmittel sind Metallschrauben mit selbstschneidendem Gewinde, die sich selbstständig ihr Gegengewinde in ein vorgefertigtes Kernloch furchen, ohne dass dabei Späne anfallen. Aufgrund der Selbsthemmung sind keine zusätzlichen Muttern oder Scheiben nötig. Das Kernloch muss kleiner sein als der Schraubendurchmesser.



Direktverschraubungen haben eine hohe Anzugsfestigkeit, auf Dauer nimmt die Klemmkraft jedoch ab. Sie sollten möglichst nicht oft wieder gelöst werden.

Organisation des Arbeitsplatzes

Eine wichtige Voraussetzung zur Vermeidung von Gefahren, die **speziell beim thermischen Umformen** sowohl vom Werkstoff selbst als auch von den Werkzeugen und Geräten ausgehen, ist ein übersichtlicher und gut organisierter Arbeitsplatz. Dazu sind vor Beginn der Arbeit folgende Vorkehrungen zu treffen:

- Arbeitsplatz zum Erwärmen in Fensternähe vorsehen (Lüftung!)
- für standfeste und sichere Arbeitsvorrichtungen sorgen
- Platz zum Abkühlen vorbereiten
- Holzklötze o. ä. Hilfsmittel zum Abstützen während des Abkühlens bereitstellen
- Handschuhe bereitlegen

Gesundheitsgefahren beim thermischen Umformen, Gegenmaßnahmen

Dämpfe, die durch die Erwärmung des Werkstoffs entstehen können, sind gesundheitsschädlich.

Verbrennungen am Material kann man sich zuziehen, wenn der Kunststoff ganzflächlich erwärmt wird.

Verbrennungsgefahren birgt auch der unvorsichtige Umgang mit den Heizquellen.

Stromschlag durch defekte Kabel

- Wichtigste Grundregel zur Vermeidung dieser Gefahr ist hier, den Arbeitsraum gut zu durchlüften.
- Temperaturen über 200°C sind unbedingt zu vermeiden, da dies die Zersetzung der Kunststoffe zur Folge hat und dabei gesundheitsschädliche Stoffe frei werden (besonders bei PVC-Halbzeugen).
- Eine Filtermaske schützt zusätzlich die Atemwege.
- Da der Kunststoff dabei sehr heiß wird, darf er nur mit Schutzhandschuhen angefasst werden.
- Nur technisch einwandfreie Geräte verwenden.
- Stets sehr umsichtig handhaben und eine Berührung der heißen Teile mit den Händen vermeiden.
- Beim Heißluftgebläse auf die Richtung des Heißluftstroms achten.
- Das Anschlusskabel der Heizquelle überprüfen und fachgerecht anschließen.
- Die heiße Düse des Heißluftföns oder den Heizstab nicht auf dem Stromkabel ablegen.

Neue Gefahrstoff-Piktogramme. Mit Inkrafttreten der GHS-Verordnung (Globally Harmonised System) im Januar 2009 wurden die bisherigen Gefahrensymbole auf orangem Hintergrund (siehe Arbeitsheft 8) durch rotumrandete Rauten mit schwarzem Symbol auf weißem Grund ersetzt, die bildhaft vor den auftretenden Gefahren bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen warnen.

AUFGABE

Ordne die folgenden Gefahrenbezeichnungen den entsprechenden Symbolen richtig zu.

Entzündlich Sehr giftig/Giftig Oxidierend Ätzend/Reizend Umweltgefährlich Explosiv



Umweltproblematik: Kunststoffe - pro und contra

Ein Plus für die Umwelt?

"Jute statt Plastik" - mit dem Aufkommen der Ökologiebewegung sank der Stern des Kunststoffs in der öffentlichen Wahrnehmung. Dabei wird übersehen, dass es sich hierbei um einen der flexibelsten Werkstoffe handelt, was Formbarkeit, Beständigkeit, Gewicht und Kosten anbelangt. Kunststoffe können spezielle Anforderungen oft besser erfüllen als herkömmliche Werkstoffe wie Stahl, Papier oder Holz, und das zu einem deutlich geringeren Preis und erstaunlicherweise oft auch umweltverträglicher. Das belegen zahlreiche Ökoeffizienz-Analysen. Viele Erlungenschaften 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 internationalen Leitprinzip der Nachhaltigkeit.

Andererseits haben wir uns mit der vielseitigen und massenhaften Verwendung von Kunststoffen aber auch neue Probleme geschaffen. Allein in Europa werden jährlich ca. 25 Millionen Tonnen Kunststoffabfall (2008) produziert, der nur zu 50% verwertet wird. Der restliche Kunststoffmüll wird entweder verbrannt oder landet auf Deponien oder in der Umwelt.

Verschmutzung der Weltmeere

Ein ernstes Problem ist die zunehmende Verschmutzung der Meere durch „Plastikmüll“. Mehr als 6,4 Mio. Tonnen davon gelangen jährlich in die Ozeane. Kunststoffe und deren Zersetzungsprodukte sammeln sich insbesondere in Strömungswirbeln zu riesigen Müllteppichen. Der pazifische Müllstrudel zwischen Kalifornien und Asien übersteigt die Größe Westeuropas. Er ist der größte, aber bei weitem nicht der einzige seiner Art.

Die Plastikteile treiben nicht nur auf und unter der Wasseroberfläche, zu 70 Prozent sinken sie auf den Meeresgrund ab und gefährden die faszinierende Unterwasserwelt. Die Zersetzung durch Salzwasser, Sonne und Reibung dauert bis zu 450 Jahre. Dabei werden giftige Inhaltsstoffe freigesetzt, die in die marine Nahrungskette gelangen, an deren Ende letztlich auch der Mensch steht. Die Überbleibsel unserer zivilisierten Wegwerfgesellschaft kosten jedes Jahr Zehntausenden von Vögeln und Meerestieren das Leben. Sie verwechseln den Müll mit natürlicher Nahrung und verhungern dabei mit vollem Magen oder sterben an inneren Verletzungen. Es gibt Meeresregionen, in denen sich heute sechsmal mehr „Plastik“ als Plankton im Wasser befindet - eine tödliche Gefahr für die Artenvielfalt.

(Quelle: www.NABU.de/Müllkippe Meer)

Ökoeffizienz =

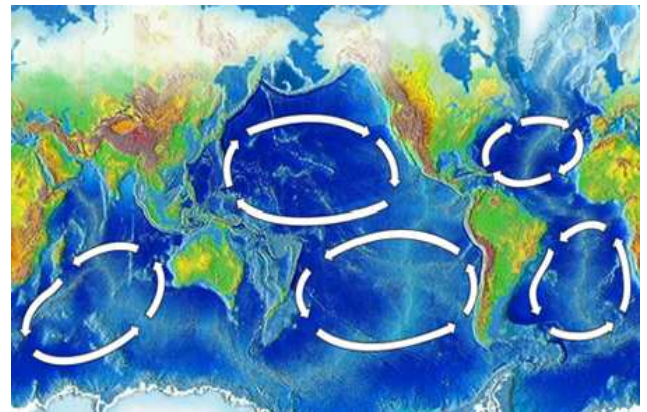
$$\frac{\text{Wirtschaftlicher Wert eines Produktes}}{\text{Einfluss bzw. Auswirkungen auf die Umwelt}}$$

Das Wort "Effizienz" bezieht sich immer auf ein Verhältnis von Nutzen zu Aufwand. Ökologisch effizienter wird ein Produkt, eine Maßnahme oder eine Firma, wenn bei gleicher oder besserer Leistung weniger Ressourcen und Energie verbraucht werden.

Nachhaltigkeit

„Dauerhafte Entwicklung ist Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart befriedigt, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können.“ Dabei sind Umweltgesichtspunkte gleichberechtigt mit sozialen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu berücksichtigen.

Bezogen auf die Produktion von Gütern bedeutet Nachhaltigkeit, dass ein Produkt in seinem Entwicklungs-, Gebrauchs- und Verwertungszyklus die Umwelt geringstmöglich belasten soll.



Ozeanische Wirbel, in denen sich riesige Müllteppiche angesammelt haben.



Etwa ein Viertel des Plastikmülls landet irgendwann an den Stränden.

Rückbesinnung auf nachwachsende Rohstoffe und traditionelle Werkstoffe

Die erdölbasierten Kunststoffe, die seit den fünfziger Jahren den Alltag wirbelsturmartig umgekrempelt haben, haben in Anbetracht des enormen Rohstoffbedarfs keine Zukunft. So arbeitet die Kunststoffindustrie heute mit Hochdruck an Lösungen, um zum einen die endlichen Ressourcen durch nachwachsende Rohstoffe zu ersetzen und zum anderen nachhaltige, materialeffiziente Herstellungsverfahren zu entwickeln.

Auf der Basis von thermoplastischer Stärke, Zellulose oder Polymilchsäure werden neue Biokunststoffe entwickelt. Als Dämmmaterialien spielen zunehmend Naturstoffe wie Holzwolle, Seegras oder Algenfasern, sog. „**Neptunbälle**“, eine Rolle.



Neptunbälle sind verfilzte Seegraskugeln

Ein vielseitiger Naturwerkstoff ist beispielsweise auch das bei einem Projekt in Uganda entwickelte **Rindentuch**. Das deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt erwägt bereits, das Material für schlagfeste und biegeelastische Verbundplatten zu nutzen.



Rindentuch gewinnt man beim Baumschälen

In der Bionik und Nanotechnologie werden Erfindungen der Natur in die Technik umgesetzt, wie z. B. die Selbstreinigung nach dem Lotuseffekt. Glasscheiben, die den Grad ihrer Transparenz verändern können, helfen Energie sparen, Werkstoffe, die Kohlendioxid speichern, pilzbasiertes Verpackungsmaterial, Bakterien abtötende Oberflächen oder selbstheilende Materialien wie Biobeton: Die schier umwerfende Fülle neuer innovativer Werkstoffe ist kaum noch zu überblicken.

Das Bewusstsein für Naturmaterialien im Gestaltungsprozess war lange nicht mehr so ausgeprägt wie in unserer Gegenwart. Beispielhaft ist hier der Bau von Fahrradrahmen aus Bambus oder das auf Basis von Leinöl, Naturharzen, Holz- und Kalkmehl hergestellte Linoleum, das seit einigen Jahren eine Renaissance erlebt. Das gestiegene Gesundheits- und Umweltbewusstsein hat zunehmend auch eine Rückbesinnung auf traditionelle Werkstoffe zur Folge.

AUFGABE

Finde für die dargestellten Produkte aus Kunststoff jeweils einen traditionellen Werkstoff und führe dessen vorteilhafte Eigenschaften an.

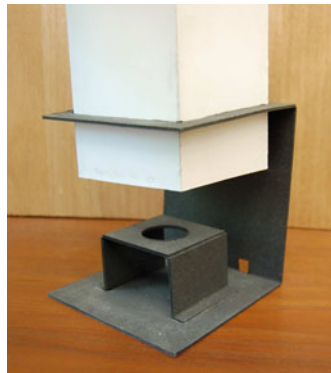
Für die Beurteilung von Werkstücken gelten in allen Materialbereichen die drei übergeordneten Kriterien:

Funktion - Gestaltung - Verarbeitung

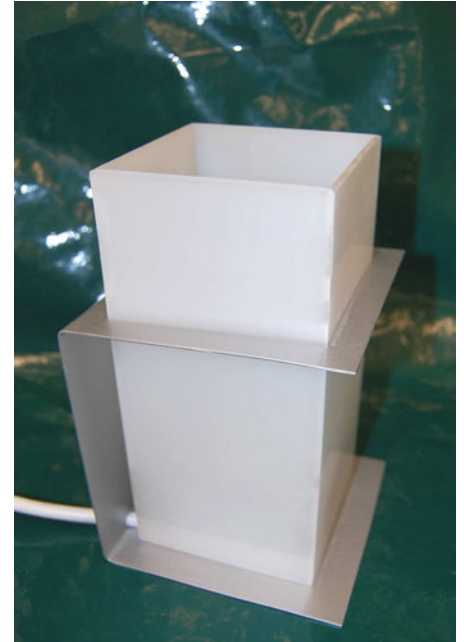
Das kritische Beurteilen von Werkstücken dient nicht nur dem Zweck des Benotens in der Schule, sondern es soll vor allem die Fähigkeit einüben, Produkte hinsichtlich ihrer Qualität einzuschätzen. Hierbei spielt bei selbst gefertigten Gegenständen zudem die persönliche Wertschätzung eine besondere Rolle.

Werkaufgabe: Tischlampe

In einer Materialkombination aus Acrylglas und Aluminiumhalbzeug soll nach eigenen Vorstellungen eine Tischlampe in modernem, materialgerechtem Design angefertigt werden. Im Anschluss an den Entwurf ist zuerst ein maßstabsgetreues Modell aus Karton und Pappe herzustellen, aus dem Aussehen und Funktion ersichtlich werden. Dabei ist eine intelligente Lösung für das Einsetzen bzw. Wechseln des Leuchtmittels zu finden.



Modell aus Pappe und Karton



Tischlampe - Schülerarbeit 10.Klasse

AUFGABE

Führe zu den übergeordneten Kriterien spezielle Beurteilungsaspekte für die Tischlampe an.

Übergeordnete Kriterien	Eigenes Werkstück: Tischlampe
Funktion	
Gestaltung	
Verarbeitung	