

**202-038**

## DGUV Information 202-038



# Kunststoff

## Ein Handbuch für Lehrkräfte

**komm**mit**mensch** ist die bundesweite Kampagne der gesetzlichen Unfallversicherung in Deutschland. Sie will Unternehmen und Bildungseinrichtungen dabei unterstützen eine Präventionskultur zu entwickeln, in der Sicherheit und Gesundheit Grundlage allen Handelns sind. Weitere Informationen unter [www.kommmitmensch.de](http://www.kommmitmensch.de)

---

## Impressum

Herausgegeben von: Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV)  
Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)

Sachgebiet Schulen des Fachbereichs Bildungseinrichtungen der DGUV

Ausgabe: Dezember 2021

Satz und Layout: Atelier Hauer + Dörfler, Berlin

Bildnachweis: Titel: © Robert Daly/KOTO – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com); Abb. 1a–3: © Atelier Hauer+Dörfler GmbH -DGUV; Abb. Seite 10: © olesicheck – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com); Abb. 5, Abb. S. 20, Abb. 8, Abb. 10, Abb. 17, Abb. 18: © UK NRW; Abb. 7, Abb. 11, Abb. 16, Abb. 19, Abb. 20: © Ruf & Spreigl – DGUV; Abb. 9: © BG RCI 7 Jedermann-Verlag GmbH; Abb. 12, 15: © JackF – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com), Abb. 13: © Viesturs Kalvans – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com); Abb. 14: © Photographee.eu – [stock.adobe.com](http://stock.adobe.com)

Copyright: Diese Publikation ist urheberrechtlich geschützt.  
Die Vervielfältigung, auch auszugsweise, ist nur mit ausdrücklicher Genehmigung gestattet.

Versand: Bei Ihrem zuständigen Unfallversicherungsträger oder unter [www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) Webcode: p202038

# Kunststoff

Ein Handbuch für Lehrkräfte

---

## **Änderungen zur letzten Ausgabe Mai 2004:**

Die Überarbeitung dieser DGUV Information umfasste redaktionelle Änderungen sowie die Aktualisierung der Bilder und Grafiken. Darüber hinaus wurde eine neue Struktur der Kapitel (Nummerierung, Streichung und Ergänzung) angelegt. Ebenso wurde die Verknüpfung der fachbezogenen Hinweise mit der „Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) – Empfehlung der Kultusministerkonferenz“ (RiSU Stand: 14.06.2019) erstellt. Neu erarbeitet wurde das Kapitel „Gefährdungsbeurteilung“. Der Anhang wurde darüber hinaus um zahlreiche Literaturquellen und themenspezifische Verweise ergänzt.

---

# Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Vorwort</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Kunststoffarten</b> .....	<b>6</b>
<b>2 Eigenschaften und Sicherheitshinweise</b> .....	<b>7</b>
<b>3 Kriterien der Materialauswahl für ein Werkstück</b> .....	<b>10</b>
<b>4 Lagerung von Kunststoffen</b> .....	<b>12</b>
<b>5 Beseitigung von Resten, Abfällen und Stäuben</b> .....	<b>14</b>
<b>6 Lagerung von Lösemitteln</b> .....	<b>15</b>
<b>7 Gefährdungsbeurteilung</b> .....	<b>20</b>
<b>8 Fertigungsverfahren</b> .....	<b>22</b>
<b>9 Trennen</b> .....	<b>23</b>
9.1 Spanende Bearbeitung von Kunststoffen.....	23
9.2 Spanloses Trennen.....	26
<b>10 Umformen</b> .....	<b>27</b>
<b>11 Urformen</b> .....	<b>30</b>
<b>12 Fügen</b> .....	<b>33</b>
<b>13 Beschichten</b> .....	<b>35</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>37</b>
Literatur/Linkliste – thematisch sortiert.....	37
Anlage 1.....	39
Anlage 2.....	40

# Vorwort

Kunststoffe haben seit geraumer Zeit die Palette der im Unterricht bearbeitbaren Werkstoffe wesentlich erweitert. Die technologischen Verfahren des Umformens und Urformens sind anschaulich und relativ einfach darstellbar. Auch Verfahren des Trennens, Fügens und Beschichtens können an diesen Materialien von Schülerinnen und Schülern praktisch erfahren werden.

Von einem großen Teil der Kunststoffe gehen bei sachgemäßer Anwendung im Werk- bzw. Technikunterricht keine Gefahren aus. Sie lassen sich meist problemlos bearbeiten als die traditionellen Materialien wie Holz und Metall. Um sich mit dem Werkstoff Kunststoff auseinanderzusetzen, ist für ein zu fertigendes Werkstück im Unterricht zunächst eine Materialauswahl zu treffen, denn Kunststoff ist nicht gleich Kunststoff. Daneben sind die speziellen Sicherheitsmaßnahmen für die verwendeten Werkzeuge, Maschinen und Geräte sowie für den ausgewählten Kunststoff zu beachten. Einige Produkte für die Kunststoffverarbeitung sind als „Gefahrstoffe“ nach der Gefahrstoffverordnung eingestuft (z. B. Klebstoffe, Lösemittel und Härter). Grundsätzlich gilt, die Verwendung von Gefahrstoffen möglichst zu vermeiden oder Gefahrstoffe durch Stoffe mit geringerem gesundheitlichen Risiko zu ersetzen. Dies wird allerdings nicht immer gelingen, denn mit der Verarbeitung von Kunststoffen ist oft die Verwendung von Lösemitteln verbunden.

Es ist eine Aufgabe der Schule, den richtigen Umgang mit Kunststoffen zu lehren. Denn Kunststoffe haben nicht nur eine große Bedeutung in der Arbeitswelt, auch im Alltag werden ständig Kunststoffprodukte genutzt. Zudem nutzen manche Schülerinnen und Schüler im Hobbybereich, z. B. im Modellbau, Kunststoffe. Sie sollten wissen, dass das unbekümmerte Wegwerfen von z. B. Kunststoffflaschen oder Verpackungsfolien in die Natur, Auswirkungen auf die Umwelt und den Menschen hat. Auf verschiedenen Wegen gelangen so größere und kleinste Kunststoffteile (Mikroplastik), die von der Tier- und Pflanzenwelt und der Umwelt aufgenommen werden, in die Nahrungskette des Menschen.

Grundlage dieser DGUV Information sind die fachbezogenen Hinweise und Ratschläge der „Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) – Empfehlung der Kultusministerkonferenz“<sup>1</sup> für die Unterrichtsfächer Technik, Arbeitslehre und Chemie. In der vorliegenden DGUV Information werden fertigungs- und verfahrensspezifische Hinweise, sowie Sicherheitshinweise und Informationen zum Werkstoff Kunststoff gegeben. Berücksichtigt werden dabei praktische Erfahrungen von Lehrkräften, Informationen aus anderen DGUV Schriften und dem Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der gesetzlichen Unfallversicherung (DEGINTU), Hinweise aus dem DGUV Schulportal „Lernen und Gesundheit“ sowie Informationen von Fachverbänden und den Kultus- bzw. Schulministerien der Länder.

Die Überarbeitung dieser DGUV Information erfolgte mit Unterstützung von Dipl.-Ing. Uwe Feder (Unfallkasse NRW) auf der Basis der Erstveröffentlichung von Paul Döring und Prof. Dr. Gert Reich (Universität Oldenburg, †).

---

<sup>1</sup> Zahlreiche Bundesländer orientieren sich an der geltenden Empfehlung der Richtlinie. Die einzelnen Länder können die Inhalte der Richtlinie konkretisieren und gegebenenfalls andere Vorgaben für Schulen formulieren. Die länderspezifischen Anforderungen werden auf der Internetplattform [www.sichere-schule.de](http://www.sichere-schule.de) in den einzelnen Fachräumen beschrieben.

# 1 Kunststoffarten

Kunststoffe sind synthetisch hergestellte Werkstoffe, wie z. B. Polyethylen (PE), Polyvinylchlorid (PVC) oder abgewandelte Naturstoffe (z. B. Zellulosederivate). Sie werden in drei Hauptgruppen unterteilt, die Thermoplasten, die Duroplaste und die Elastomere (Tabelle 1). Daneben existieren die thermoplastischen Elastomere oder zahlreiche Sonderkunststoffe.

## Thermoplaste (Thermomere)

Thermoplaste haben unter den Kunststoffen den größten Anteil und sind dadurch gekennzeichnet, dass sie unter Temperatureinwirkung reversibel erweichen und dann plastisch formbar sind. Sie sind zum größten Teil in organischen Lösemitteln löslich. Dieses Verhalten beruht auf der besonderen Anordnung der Molekülketten (lineare Struktur), die amorph oder teilkristallin angeordnet sind (Abb. 1 und 2).

*Beispiele: Polyethylen (PE), Polystyrol (PS), Polymethylmethacrylat (PMMA) auch Plexiglas genannt, Polyvinylchlorid (PVC)*



Abb. 1  
Thermoplaste –  
amorph

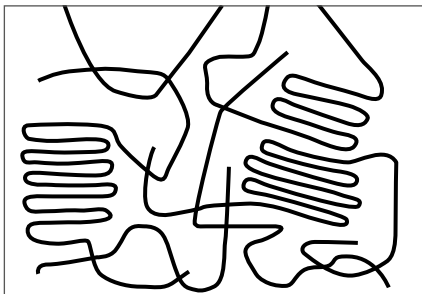


Abb. 2  
Thermoplaste –  
teilkristallin

## Duroplaste (Duromere)

Duroplaste härten sowohl drucklos und kalt als auch unter Druck und Wärmezufuhr aus. Die Molekülketten sind engmaschig vernetzt und lassen sich im Allgemeinen nicht in organischen Lösemitteln lösen. Sie schmelzen auch nicht unter Temperatureinwirkung, sondern zersetzen sich oder verkohlen (Abb. 3).

*Beispiele: Epoxidharz (EP), Polyurethanharz (PU)*

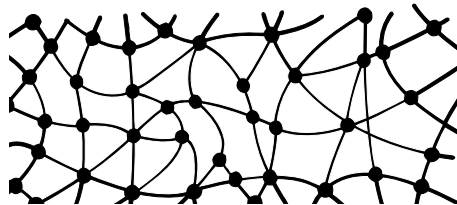


Abb. 3  
Duroplaste

## Elastomere (Elaste)

Die Molekülketten der Elastomere sind grobmaschig miteinander vernetzt, dadurch erklärt sich ihr elastisches Verhalten. Von organischen Lösemitteln werden sie im Allgemeinen nicht aufgelöst, sondern quellen auf (Abb. 4).

*Beispiele: Silikon (SI), Naturkautschuk (NR)*

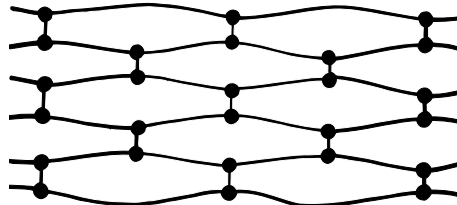


Abb. 4  
Elastomere

## Thermoplastische Elastomere (TPE)

TPE bestehen aus einer gummiartigen Komponente (Elastomer) und einer thermoplastischen Komponente. Bei Raumtemperatur verhalten sie sich wie klassische Elastomere, jedoch beim Erhitzen werden sie thermoplastisch und somit verformbar.

*Beispiele: Thermoplastische Styrol-Butadien-Elastomere (SBS-TE), Ethylen-Polypropylen-Dien/Polypropylen (EPDM/PP)*

## Sonderkunststoffe und Zuschlagsstoffe

Biokunststoffe oder Hightech-Kunststoffe, wie z. B. das hochtemperaturbeständige Polysulfon, werden in dieser DGUV Information nicht thematisiert, da diese für den Technikunterricht an allgemeinbildenden Schulen nicht relevant sind. Kunststoffen können bei der Herstellung und Verarbeitung Zuschlagsstoffe beigemischt werden (z. B. Weichmacher, Stabilisatoren, Farbmittel, Füllstoffe, Verstärkerstoffe). Damit werden die Eigenschaften des Kunststoffes verändert. An dieser Stelle wird daher darauf hingewiesen, dass sich diesbezüglich in der Fachliteratur weitergehend zu informieren sollte, wenn diese Stoffe im Unterricht zum Einsatz kommen.

## 2 Eigenschaften und Sicherheitshinweise

Die Eigenschaften von Kunststoffen sowie Sicherheitshinweise aus der RiSU „Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht – Empfehlung der Kultusministerkonferenz“ sind in Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1** Kunststoffe: Eigenschaften und Sicherheitshinweise nach der RiSU „Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht – Empfehlung der Kultusministerkonferenz“ Teil III . 2.3.3<sup>2</sup>.

Kunststoff	Allgemeine Eigenschaften	Eingetragene Handelsnamen	Anwendungen	Dichte g/cm <sup>3</sup>	E-D-T <sup>3</sup>	Erkennung <sup>4</sup>	Beständig gegen	Verarbeitungshinweise	Sicherheitshinweise
Polyethylen PE	durchscheinend bis undurchsichtig, Oberfläche wachsartig, unzerbrechlich, sehr dehnbar, lebensmittelverträglich, jedoch nicht aromadicht	Hostalen, Vestolen, Lupolen	Folienbeutel, Tragetaschen, elektrische Isolierungen, Kaltwasserrohre, Schutzhelme, Tiefziehteile	LD- PE <sup>5</sup> 0,91 HD- PE 0,96	T Erweichung bei LD-PE: 70 °C  HD-PE: 90 °C	leicht entflammbar, helle, rauchlose Flamme mit blauem Kern, tropft brennend ab, nach Erlöschen Paraffingeruch	Säuren, Laugen, kaltes Wasser, Öl, HD-PE auch gegen Benzin	gut verschweißbar, LD-PE schlecht spanabhebend, HD-PE besser spanabhebend bearbeitbar, Kleben nur nach spezieller Vorbehandlung, Werkstoff neigt zum Kriechen unter Belastung, sehr guter elektrischer Isolator	Vorsicht bei Brennprobe: abtropfendes PE kann schmerzhafte Hautverbrennungen verursachen. Unbeständig gegen aromatische Kohlenwasserstoffe.
Polypropylen PP	durchscheinend, unzerbrechlich, härter und kratzfester als PE, lebensmittelverträglich, jedoch nicht aromadicht	Hostalen, PP, Westolen P, Luparen	Heißwasserrohre, Tiefziehteile, Folien, Netze	0,91	T 100 °C	leicht entflammbar, Paraffingeruch nach Erlöschen	heißes Wasser, Laugen	verschweißbar, Kleben nur nach spezieller Vorbehandlung möglich	unbeständig gegen aromatische Kohlenwasserstoffe, anorganische Säuren.
Polystyrol PS	glasklar: zerbrechlich, scheppernder Klang, hart, lebensmittelverträglich	Vestyron, Styropor, Edistir, Styroflex	Folienbecher, Verpackungen, Wärmeschutzisolierungen	1,05	T 60 °C	leicht entflammbar, leuchtende, stark rußende Flamme, süßlicher Geruch (Styrol)	Säuren, Laugen, Öl	gut mit Lösemittel (Aceton, Methylenchlorid) zu verkleben, spröder Werkstoff, nur für Konstruktionen von minderm Wert verwenden	unbeständig gegen organische Lösemittel, Benzin, Benzol
Acrylnitrilbutadienstyrol ABS	undurchsichtig, schlagfest, zäh, dumpfer Klang, nicht witterungsbeständig	Luran, LuranS, Novodur	Werkzeuggriffe, Tiefziehteile	1,06 bis 1,12	T 60 °C	leicht entflammbar, leuchtende, stark rußende Flamme, süßlicher Geruch (Styrol)	Laugen	gut mit Lösemitteln oder anderen Klebstoffen zu verkleben, zäher, schlagfester Werkstoff	unbeständig gegen organische Lösemittel, Benzin, Benzol

<sup>2</sup> Quelle: <https://www.kmk.org/service/servicebereich-schule/sicherheit-im-unterricht.html>

<sup>3</sup> E = Elastomer/D = Duromer/T = Thermoplast Angabe: beständig bis °C (Schmelzprobe)

<sup>4</sup> Erkennung durch Brennprobe, – Flammenfarbe, – Geruch nach Erlöschen

<sup>5</sup> LD = low density: weich; HD = high density: hart



Fortsetzung Tabelle 1

Kunststoff	Allgemeine Eigenschaften	Eingetragene Handelsnamen	Anwendungen	Dichte g/cm <sup>3</sup>	E-D-T <sup>3</sup>	Erkennung <sup>4</sup>	Beständig gegen	Verarbeitungshinweise	Sicherheitshinweise
Polymethylmethacrylat <b>PMMA</b>	glasklar, spröde, fest, hart, witterungsbeständig, gute optische Eigenschaften	Plexiglas, Degalan, Resarit	Scheiben, optische Linsen, Dekoartikel, Schmuck	1,18		leicht entflammbar, brennt mit knisternder, leuchtender Flamme, fruchtartiger Geruch nach Erlöschen	schwache Säuren, schwache Laugen, Öl	gut mit Spezialstoff (transparente Klebestelle) oder anderen Klebstoffen zu verkleben, gut spanabhebend zu bearbeiten	unbeständig gegen organische Lösemittel, starke Säuren, starke Laugen, Spezialklebstoff und Dämpfe, gesundheitsschädlich, gut lüften, Rauchverbot
Polyvinylchlorid <b>PVC</b>	PVC-hart: kälteschlagempfindlich, kratzfest, PVC-weich: gummielastisch, lebensmittelunverträglich	Miploam, Hostalit	Schläuche, Rohre, Armaturen, Folien, Klebebänder	1,35 bis 1,38	T 55 – 65 °C	entflammbar, PVC-hart erlischt nach Entfernen der Zündflamme, Dämpfe riechen nach Salzsäure	PVC-hart: Säuren, Laugen, Fette, Öle, Weichmacher wird angegriffen	verschweißbar, gut mit verschiedenen Klebstoffen zu verbinden, guter chemikalienbeständiger Kunststoff	größere Mengen nicht verbrennen, starke HCl <sup>6</sup> -Entwicklung unbeständig gegen Methylchlorid, Aceton
Polyamid <b>PA</b>	sehr hart, schlagzäh, abriebfest, gute Gleiteigenschaften, lebensmittelverträglich	Ultramid, Perlon, Nylon	Seile, Gleitlager, Treibriemen, Zahnräder, Werkzeuggriffe	1,02 bis 1,21	T 80 – 110 °C	brennt mit blauer Flamme, Geruch nach verbranntem Horn	heißes Wasser, Öle, Fette, schwache Säuren, schwache Laugen	mit verschiedenen Klebstoffen gut zu verkleben, hervorragender Konstruktionswerkstoff	unbeständig gegen starke Säuren, starke Laugen
Polytetrafluorethylen <b>PTFE</b>	weiche, wachsartige Oberfläche, weiß, schlagzäh hitze- und chemikalienbeständig	Teflon, Hostaflon	Dichtungsmaterialien, chemikalienbeständige Behältnisse	2,2	T 250 °C	entflammbar, erlischt sofort nach Entfernen der Zündflamme, Flamme grün, stechender Geruch nach HF	alle üblichen Chemikalien	nur nach spezieller Vorbehandlung zu verkleben	größere Mengen nicht verbrennen, auch nicht im Freien, starke HF <sup>7</sup> -Entwicklung, unbeständig gegen Natrium, Fluorgas
Silikon <b>SI</b>	temperaturbeständig, elastisch, hydrophob	Baysilon, Wacker SilGel, Silikones	temperaturbeständige Dichtungsmassen, Klebstoffe	1,3	E 180 °C	glimmt in der Zündflamme, weißer Rauch, Rückstand zerklüftet, weißer SiO <sub>2</sub> -Rückstand	Wasser, schwache Laugen	als Einkomponentenpaste, als Klebstoff oder Dichtungsmittel verarbeitet, lässt sich nur mit SI-Klebstoffen verkleben, Korrosionserscheinungen an Metallen möglich	beim Vernetzen spaltet sich Essigsäure ab (typischer Geruch), Kontakt mit Schleimhäuten vermeiden, unbeständig gegen Säuren, Oxidationsmittel

Ergänzender Hinweis zu Fußnote 4: Bei der Brennprobe entstehen Pyrolyseprodukte als sogenannte Reaktionsprodukte, die krebserzeugende Stoffe beinhalten können. Diese entstehen auch bei der sogenannten Beilsteinprobe (siehe RiSU KMK, Teil I – 3.5 „Allgemeine Verwendungsverbote für Lehrerinnen, Lehrer, Schülerinnen, Schüler und sonstige Beschäftigte“, siehe insbesondere RiSU KMK Tabelle 2 „Experimente, bei denen karzinogene und keimzellmutagene Stoffe in geringen Mengen entstehen können“). Daher sind Brennproben nur unter dem Abzug durchzuführen. In der DEGINTU – Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht (<https://degintu.dguv.de/>) ist unter der Versuchs-Nr. 2275 „Eigenschaften von Kunststoffen“ die Versuchsbeschreibung und eine Gefährdungsbeurteilung zu finden. Um die Eigenschaften der verschiedenen Kunststoffe im Unterricht kennenzulernen, können bei diversen Kunststoff herstellenden Unternehmen genormte Probestäbchen-Sammlungen bezogen werden (siehe Anhang „Literatur/Linkliste“ – „Unterrichtsmaterialien und Kunststoffprobensammlung“).

<sup>6</sup> HCl = Chlorwasserstoff (stechender Geruch, toxisch)

<sup>7</sup> HF = Fluorwasserstoff (stechender Geruch, stark toxisch)



Fortsetzung Tabelle 1

Kunststoff	Allgemeine Eigenschaften	Einge-tragene Handels-namen	Anwendungen	Dichte g/cm <sup>3</sup>	E-D-T <sup>3</sup>	Erkennung <sup>4</sup>	Beständig gegen	Verarbeitungs-hinweise	Sicherheits-hinweise
Ungesättigte Polyesterharze <b>UP</b>	mit Verstärkungsmitteln ein Werkstoff mit hoher spezifischer Festigkeit	Palatal, Leguval, Alpolit	Lacke, hochfeste Laminatteile, Pressteile, Klebstoffe	1,2 (ungefüllt)	D 80 – 180 °C	leuchtend gelbe, rußende Flamme: Geruch nach Styrol	Wasser, schwache Säuren	auf gute Lüftung achten, gut zu verkleben, Berührung mit der Haut vermeiden	Härter sind leichtentzündlich, beim Umgang mit Härter immer Schutzbrille tragen, Haut nicht mit Lösemitteln reinigen, Rauchverbot, unbeständig gegen Laugen, Oxidationsmittel
Epoxidharz <b>EP</b>	mit Verstärkungsmitteln hohe Festigkeit	Beckopox, Rütapox, Araldit	Lacke, hochfeste Laminatteile, Pressteile, Klebstoffe	1,2 bis 1,3 (ungefüllt)	D 80 – 180 °C	schwer entflammbar, kleine, rußende Flamme	schwache Laugen, Lösemittel	Berührung mit der Haut vermeiden, hervorragende, hochfeste Klebstoffe	Härter können Allergien auslösen, verunreinigte Haut sofort reinigen, z. B. mit Cupran – nicht mit Lösemitteln, unbeständig gegen Säuren
Phenol-Formaldehydharz <b>PF</b>	wärmeformbeständig, spröde, nicht für Lebensmittel geeignet	Bakelit, Urafen, Resarit	Pressteile, Schichtstoffe	1,4 bis 2,0 (je nach Füllstoff)	D 100 °C und höher	schwer entflammbar, helle, rußende Flamme, Geruch nach Phenol und Ammoniak (muffig, beißend)	Wasser, schwache Säuren, Lösemittel	gut mit anderen Stoffen zu verkleben, nur als Fertigerzeugnisse (Halbzeug) zu verwenden	gut spanabhebend zu verarbeiten, Stäube nicht einatmen, unbeständig gegen Laugen, starke Säuren
Melamin-Formaldehydharz <b>MF</b>	hart, lichtbogenfest, lichtbeständig, lebensmittelverträglich	Resopal, Resamin, Keramin	Dekorpapiere für Schichtstoffe (Overlays), Bindemittel für Holzwerkstoffe	1.5 (Typ 152)	D 80 °C und höher	kaum entflammbar, Flamme hellgelb, Geruch fischartig und nach Formaldehyd	Wasser, Lösemittel	gut zu verkleben, nur als Fertigerzeugnis (Halbzeug) zu verwenden	gut spanabhebend zu verarbeiten, Stäube nicht einatmen, unbeständig gegen starke Säuren, starke Laugen
Polyurethanharz <b>PU</b>	von gummielastisch bis hart, abriebfest, reißfest	Desmodur, Desmophen, Lupranol, Lupramat	Isolierschäume, Elastomere, Gießharze, Dichtungen, Schuhsohlen	< 1,2 (Elastomer)	D/E 80 – 120 °C	schwer entflammbar, Flamme leuchtend gelb, Geruch stechend muffig (Isocyanat)	Meerwasser, Treibstoffe, Öl	möglichst als Einkomponentenmaterial verwenden, bei Zweikomponentenmaterial auf lange Startzeit achten, gut zu verkleben	nicht auf Schleimhäute bringen, härtet sofort aus, unbeständig gegen Dampf und heißes Wasser, Säuren, Laugen, einige Lösemittel, immer Schutzbrille tragen, verunreinigte Haut sofort reinigen (z. B. mit Cupran)


# 3 Kriterien der Materialauswahl für ein Werkstück

Für ein neu zu fertigendes Produkt sind verschiedene Anforderungen festzulegen, wie z. B. die Geometrie und die Temperaturbeständigkeit. Um das geeignetste Material für das Produkt auszuwählen, müssen die Schülerinnen und Schüler sich mit den Eigenschaften der Kunststoffe auseinandersetzen. Diesen Lernprozess können „sogenannte Kunststofferkennungsversuche“ unterstützen. Für die-

sen Zweck bieten sich Kunststoffprobensammlungen an (siehe Anhang „Literatur/Linkliste“ unter „Unterrichtsmaterialien“).

Nachfolgendes Beispiel beschreibt die Anforderungen an einen einfach herzustellenden Buchständer.

Anforderungen	Beispiel: Buchständer
<b>Maße/Geometrie</b> Breite, Höhe, Länge, Durchmesser, Materialdicke, Toleranzen etc.	 Breite 200 x Höhe 290 x Buchdicke bis 40 mm Materialdicke 3 mm, vordere seitliche Abkantung mit 5 mm gerundet, Kanten leicht gefast
<b>Kräfte</b> Statische- oder dynamische Kräfte, Formstabilität etc.	Winkeländerung max. 3° bei einem 1 Kg schweren DIN A4 Katalog/Buch
<b>Farbe/Oberfläche/Veredlung</b> RAL-Farbton, Narbung, Lackierung etc.	Durchsichtig, Flächen und Kanten glatt ohne z. B. Fräsmarken, Sägespuren
<b>Montage</b> Baustellenmontage, Baugruppen, Montage von Baugruppen mittels Verbindungstechniken (Kleben, Schweißen, Schrauben, Clipverbindung etc.)	Keine
<b>Einsatzort, -bedingungen</b> Innen/Außen, Beständigkeiten, Temperaturen, Verschleiß, Reinigung etc.	Innenraum-Einsatz, Sonnenlicht (UV-Schutz und langzeitiger Vergilbungsschutz), schlagzäh und bruchfest beim Herunterfallen, temperaturbeständig mind. 0°C bis 70°C, beständig gegen haushaltsübliche Putzmittel
<b>Fertigung</b> Fertigungsverfahren (Warmformen, spanende Bearbeitung etc.)	Kunststoffplatte biegen Kanten entgraten und ggf. polieren, Radius feilen und polieren

Anforderungen	Beispiel: Buchständer 
<b>Qualität</b> Oberflächen, Maße etc.	Kontrolle der Maße, Auflageflächen eben (kein „Kippeln“), Oberflächen glatt
<b>Sicherheit</b> Gefährdungen vom Produkt/bei der Fertigung (z. B. mechanische oder thermische Gefährdungen, Brand- und Explosionsgefährdungen); Sicherheitsdatenblatt beachten etc.	Schnittverletzungen an Kanten verhindern, Maßnahmen gegen leichte Entflammbarkeit ergreifen (Aufstellort)
<b>Recycling/Umwelt</b> Entsorgung, Wiederverwertung etc.	Der Buchständer soll nur aus einer Kunststoffart hergestellt werden. Kunststoff soll frei von toxischen Substanzen oder Schwermetallen, die eine Gefahr für Umwelt und Gesundheit darstellen sein.
<b>Kosten</b> Materialkosten, Arbeitslohn, Werkzeugkosten etc.	max. 6 Euro Herstellungskosten
<b>Termine</b> Ende der Entwicklung, Meilensteine, Lieferzeiten etc.	6 Unterrichtsstunden
<b>Werkstoff</b> Kunststoff, Metall, Holz, Keramik, Papier etc.	PMMA (Plexiglas)

## 4 Lagerung von Kunststoffen

Die Lagerung von Kunststoffen ist in der Regel problemlos. Lediglich die brennbaren Lösemittel und die Peroxide (Härter für UP-Harze) müssen gesondert unter den weiter unten beschriebenen Bedingungen gelagert werden.

### Plattenware

Es ist zweckmäßig, Platten eng stehend und senkrecht zu lagern, sodass Verbiegungen weitgehend vermieden werden und der Platzbedarf gering ist. Die Platten sind gegen Wegrutschen zu sichern. Oberflächenschutzfolien sollten nicht abgezogen werden (Abb. 5). Für die Lagerung unterschiedlicher Kunststoffe oder Formate sollten Fächer vorgesehen werden. Bei der Einlagerung und Entnahme von scharfkantigen Platten sind Schutzhandschuhe zu tragen.



Abb. 5  
Plexiglas mit Schutzfolie

### Profile

Profile werden auf Regalbrettern liegend gelagert; Rohre sind gegen Wegrollen zu sichern.

### Granulate und Pulver

Diese Materialien werden grundsätzlich in der Originalverpackung belassen, um Verschmutzung zu vermeiden. Bei der Lagerung ist direkte Sonneneinstrahlung zu vermeiden, da bei Kunststoffen die Gefahr der Vergilbung und Alterung (Photooxidation, Versprödung) besteht. An die Lagertemperatur werden keine besonderen Anforderungen gestellt. Eine hohe Luftfeuchtigkeit bei der Lagerung wirkt sich hingegen ungünstig auf die Verarbeitung aus.

### Flüssige Kunststoffe (UP-Harze, Epoxidharze)

Flüssige Ein- oder Zwei-Komponenten (1 K- oder 2 K-) Kunststoffe werden zur Herstellung von z. B. in Sandwichbauweise hergestellten Bootskörpern oder Beachball-Schlägern eingesetzt. 2 K – Kunststoffe werden vor der Fertigung gemischt. Nach dem Trocknen, das in der Regel bei Raumtemperatur an der Luft erfolgt, härten diese aus. Flüssige Kunststoffe können brennbare Flüssigkeiten sein. Der entsprechende Hinweis ist auf der Originalverpackung zu finden. (Einer der Gründe, Kunststoffe und Hilfsmittel nur in Originalverpackungen zu lagern!) Diese Stoffe sind dann wie brennbare Lösemittel zu lagern und unterliegen hinsichtlich der Lagermengen und -bedingungen den in Kapitel „Lagerung von Lösemitteln“ genannten Anforderungen.

In der RiSU<sup>8</sup> (Teil II – 2.6.8) wird auf den Verzicht von Epoxidharzen an allgemeinbildenden Schulen hingewiesen. Bei epoxidharzhaltigen Klebern ist eine Ersatzstoffprüfung zwingend durchzuführen.

### Klebstoffe

Klebstoffe sind in der Originalverpackung dunkel und kühl aufzubewahren. Ihre Lagerfähigkeit ist begrenzt. Die Hinweise des Herstellers sind zu beachten.

### Peroxide – Härter für UP-Harze

Organische Peroxide sind grundsätzlich in Originalgebinden stets getrennt von brennbaren Stoffen und insbesondere von Beschleunigern zu lagern. Bereits abgefüllte Reste dürfen nicht in die Originalgebinde zurückgegossen werden. Verunreinigungen jeder Art sind zu vermeiden, da sonst Explosionsgefahr besteht. Der Lagerraum muss gut gelüftet werden können. Direkte Sonneneinstrahlung ist unbedingt zu verhindern. Bei der Lagerung sind die Angaben des Herstellers unbedingt zu beachten. Wegen langsamer Selbstzersetzung ist die Lagerfähigkeit der Peroxide begrenzt. Entsprechende Hinweise können dem Sicherheitsdatenblatt entnommen werden.

Sind organische Peroxide überlagert, als Reste vorhanden, verunreinigt oder verschüttet, muss man sich im zugehörigen Sicherheitsdatenblatt darüber informieren, wie die Beseitigung erfolgen muss. Die Herstellungs- oder Lieferfirma ist verpflichtet, dazu Angaben zu machen. Bei

<sup>8</sup> Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht – Empfehlung der Kultusministerkonferenz (RiSU)

manchen Peroxiden erhöht sich z. B. beim Eintrocknen die Explosionsgefahr.

#### **Reaktionsbeschleuniger für UP-Harze**

Reaktionsbeschleuniger können mit brennbaren Lösemitteln zusammen gelagert und wie diese behandelt werden.

Die Lagerung vorbeschleunigter Harze ist problemlos, allerdings haben diese nur eine eingeschränkte Haltbarkeitsdauer, die unbedingt beachtet werden muss.

#### **Füllstoffe und Verstärkungsmaterialien**

Diese Stoffe sollten trocken und staubgeschützt aufbewahrt werden, möglichst in der Originalverpackung.

#### **Zusammenfassung der wichtigsten Schutzmaßnahmen**

- Arbeitsstoffe grundsätzlich in Originalbehältern lagern.
- Organische Peroxide und Beschleuniger unbedingt getrennt lagern.
- Haltbarkeitsdatum des Herstellers beachten.
- Für gute Belüftung sorgen, Sonneneinstrahlung vermeiden. Sicherheitsdatenblätter vom Hersteller beschaffen.
- Brennbare Flüssigkeiten unterliegen hinsichtlich der Lagermengen und -bedingungen den Anforderungen, die im Kapitel „Lagerung von Lösemitteln“ aufgeführt sind.

# 5 Beseitigung von Resten, Abfällen und Stäuben

Unverbrauchte flüssige Kunststoffkomponenten zu Kunststoffen reagieren lassen, z. B. Beschleuniger und Härter einrühren. Auf diese Weise lassen sich auch geringe Mengen von Beschleunigerresten und Härterresten beseitigen.

Sind Reste aus der Kunststoffverarbeitung nicht mehr zu verarbeiten, dann geben die Sicherheitsdatenblätter bzw. die Sachkostenträger der Schule über die Abfallbeseitigung Auskunft (RiSU Teil II – 2.6.9).

Auch in der Gefahrstoffdatenbank der „DEGINTU – Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlichen-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung“ sind Informationen zu den Abfällen, z. B. Abfälle, organisch fest oder organisch flüssig, hinterlegt (siehe Literatur/Linkliste).

Kunststoffstäube sind mit einem Industriestaubsauger bzw. Entstauber auf- bzw. abzusaugen, der den Anforderungen mindestens der Staubklasse M erfüllt. Die Anforderungen an die Absaugung von Kunststoffstäuben und -spänen sind in der DGUV Information 209-084 „Industriestaubsauger und Entstauber“ in der Tabelle 3 beschrieben. Werden auch Glasfaserkunststoffe oder Holzstäube im Unterricht abgesaugt, sollten Geräte der Staubklasse H gewählt werden.

# 6 Lagerung von Lösemitteln

Von nahezu allen Lösemitteln gehen besondere Gefahren aus (siehe Tabelle 5). Sie können Haut- und Schleimhautreizungen verursachen, beim Einatmen narkotisieren und toxisch wirken. Meist können sie große Mengen Fett lösen und so die fetthaltige Hautschicht bei Kontakt zerstören. Sie erleichtern damit anderen hautreizenden Stoffen das Eindringen in die Haut und können so zu Hautveränderungen beitragen.

Lösemittel sind meist bei niedriger Temperatur mit niedriger Zündenergie zu entflammen. Bei ungenügender Belüftung können explosionsfähige Luft-Lösemittel-Gemische entstehen.

Deswegen sind extrem entzündbare und leicht entzündbare Flüssigkeiten nur in für den Unterricht erforderlichen kleinen handelsüblichen Mengen zu beschaffen. Es bestehen zudem jahrgangsbezogene Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler mit entzündbaren Flüssigkeiten. Tätigkeiten mit explosiven Stoffen und Gemischen dürfen im Rahmen von Schülerexperimenten nicht ausgeführt werden. Jahrgangsbezogene Beschränkungen sind in der RiSU (Teil I – 3.6.2) festgelegt (Tabelle 2 u. 3).

**Tabelle 2** Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler bis einschl. Jahrgangsstufe 4 (Tabellenauszug in Anlehnung an die RiSU Teil I – 3.6.2 – Tabelle 3a)

Gefahrenkategorie	Gefahrenpiktogramm		Signalwort		H-Code	Gefahrenhinweis	Schülerversuch erlaubt Jgst. 1–4
beliebig		und	beliebig	und	beliebig		nein
beliebig		und	beliebig	und	beliebig		Grundsätzlich nein; Ausnahme: siehe Hinweise unter 1.

Hinweise:

1. Ausnahme: Tätigkeiten mit Klebern, Gelen oder Pasten, welche leicht entzündbare Stoffe enthalten, sind erlaubt. Darüber hinaus sind Tätigkeiten mit Spraydosen und der Einsatz von Gasfeuerzeugen unter Aufsicht einer Lehrkraft erlaubt.

**Tabelle 3** Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler ab Jahrgangsstufe 5 (Tabellenauszug in Anlehnung an die RiSU Teil I – 3.6.2 – Tabelle 3b)

Gefahrenkategorie	Gefahrenpiktogramm		Signalwort		H-Code	Gefahrenhinweis	Schülerversuch erlaubt	
							Jgst. 5–9	Jgst 10–13
Inst. Expl. Expl. 1.1 – Expl. 1.4		und	Gefahr oder Achtung		beliebig		nein	nein
Entz. Fl. 1		und	Gefahr	und	H224	Flüssigkeit und Dampf extrem entzündbar.	nein	ja



Eine Hilfestellung für die Aufbewahrung und Lagerung der Arbeits- bzw. Gefahrstoffe gibt Tabelle 4, als Auszug aus der RiSU (Teil III – 2.4.5 „Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit chemischen Arbeitsstoffen“).

**Tabelle 4** Auszug aus der “Handlungshilfe zur Gefährdungsbeurteilung bei Tätigkeiten mit chemischen Arbeitsstoffen“ der RiSU (Teil III – 2.4.5)

Nr.	Gefährdungsbeurteilungen – Sicherheitsmaßnahmen	Fundstelle	ja	nein	Bemerkungen
...	...	...	...	...	...
<b>7. Aufbewahrung und Lagerung der Arbeits-/Gefahrstoffe</b>					
7.1	Werden Arbeits-/Gefahrstoffe ausschließlich in festgelegten und gekennzeichneten Bereichen (z. B. in Schränken oder in Sammlungsräumen) gelagert?	I – 3.12.2			
7.2	Werden Arbeits-/Gefahrstoffe in Originalbehältern/Originalverpackungen gelagert?	I – 3.12.3			
7.3	Werden Arbeits-/Gefahrstoffe übersichtlich gelagert?	I – 3.12			
7.4	Werden Arbeits-/Gefahrstoffe nicht in Behältern gelagert, die zu Verwechslungen mit Lebensmitteln führen können?	I-3.12.3			
7.5	Werden Arbeits-/Gefahrstoffe niemals in Pausen-, Sanitär-, Sanitäts- oder Klassenräumen aufbewahrt?	I – 3.12.2			
7.6	Werden die akut toxischen, Kat. 1 und 2, karzinogenen, keimzellmutagenen und reproduktionstoxischen Stoffe unter Verschluss aufbewahrt?	I – 3.12.3			
7.7	Wird der Giftschrankschlüssel nur an Befugte ausgegeben?	I – 3.12.3			
7.8	Werden Stoffe, die gefährliche Gase, Dämpfe, Nebel oder Rauch abgeben können, in entlüfteten Schränken aufbewahrt?	I – 3.12.3			
7.9	Werden ätzende Gefahrstoffe nicht über Augenhöhe aufbewahrt?	I – 3.12			
...	...	...	...	...	...

Zu Einrichtungen zur Aufbewahrung und Lagerung entzündbarer Flüssigkeiten sind in der RiSU im Teil III – 1.2 weitere Informationen zu finden. Auf der Internetplattform [www.sichere-schule.de](http://www.sichere-schule.de) der DGUV werden im virtuellen Chemieraum die Lagerungsbedingungen von Lösemitteln beschrieben und visuell gut dargestellt.



**Sichere Schule**





[www.sichere-schule.de/chemie](http://www.sichere-schule.de/chemie)

**Tabelle 5** Übersicht über Lösemittelgemische (Tabelle in Anlehnung an die RiSU Teil III – 2.3.4)<sup>9</sup>









Lösemittel	Zusammensetzung	Pik.	H-Sätze	Sdt. °C	Flamm. °C	mischbar mit	Bemerkungen	Anwendungsbeispiele
Alkalische Abbeizmittel (Ablauger)	Natron-/ Kalilauge Natriumcarbonat, – Silicate Trina- triumphosphat		Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (H314)	Paste		Wasser	Schutzbrille, Schutzhandschule aus Nitrilgummi reizende Ablauger, z. B. auf Calcium- hydroxid-Basis verwenden reizt Haut und Schleimhäute	auf verseifbare Beschichtungsstoffe, wie Ölfarben, Alkydharz-Lacken
Lösemittelhaltige Abbeizmittel (Abbeizfluide) CKW- und methanolfrei	Glykolether Ester (z. B. n-Butylacetat) Alkohole Testbenzin	 	Flüssigkeit und Dampf entzündbar (H226) Verursacht Hautreizungen (H315), Verursacht schwere Augenreizung (H319) Kann die Atemwege reizen. (H335)	> 100	> 21	Organischen Lösemitteln	Schutzhandschule aus Nitrilgummi gut lüften enthält hautresorptive Stoffe keine Produkte mit Dichlormethan oder Methanol verwenden	Universelle Abtragung von Altbeschichtungen hervorragende Lösungscharakteristik und gute Penetrationsfähigkeit
Petroleumbenzin, Petrolether, hochsiedend	Gemisch aus aliphatischen Kohlenwasserstoffen überwiegend Gemisch Pentan und Hexan	 	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (H225) Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Einatmen (H302+H332)	40 – 80	< 21	Organischen Lösemitteln	gut lüften Schutzhandschule aus Nitrilgummi keinen Petrolether mit Siedebereich 30 – 50 °C einsetzen farblose, wasserunlösliche, stark lichtbrechende Flüssigkeit; benzinartiger Geruch narkotische Wirkung; Leber- und Nierenschäden möglich	fleckentfernend entfettend Lösemittel für Gummi-klebstoffe
Benzin (Waschbenzin)	Gemisch verschiedener Kohlenwasserstoffe			ca. 80	< 21			
Testbenzin	Gemisch höhersiedender aliphatischer und aromatischer Kohlenwasserstoffe C9 – C12-Erdölfraktion	 	Flüssigkeit und Dampf entzündbar (H226) Gesundheitsschädlich bei Verschlucken oder Einatmen (H302+H332)	ca. 135	21 – 55			

<sup>9</sup> In der DEGINTU Gefahrstoffdatenbank ist der aktuellste Stand der GefahrstoffEinstufungen zu finden  
<https://degintu.dguv.de/chemicals>

Fortsetzung Tabelle 5

Lösemittel	Zusammensetzung	Pik.	H-Sätze	Sdt. °C	Flammp. °C	mischbar mit	Bemerkungen	Anwendungsbeispiele
Nitrolackverdünung	Gemisch aus aromatischen Kohlenwasserstoffen (z. B. Toluol/Xylol-Isomere) Alkoholen (z. B. Butanol) Ethern (z. B. n-Butylacetat) Ketonen (z. B. Aceton)	 	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (H225) Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder Einatmen (H312+H332)	> 55	< 21	Organischen Lösemitteln	gut lüften Schutzhandschuhe aus Butylkautschuk (als Spritzschutz) enthält hautresorptive Stoffe narkotische Wirkung Ersatzstoff: z. B. entaromatisierte Universalverdünner	Verdünnung von Nitrocellulose und Kunstharzlacken
Pinselreini- ger wasser- unlöslich	Gemisch aus aromatischen Kohlenwasserstoffen (z. B. Trimethylbenzole, Propylbenzol) und nichtionischen Tensiden (Fettalkoholethoxylat)	 	Flüssigkeit und Dampf entzündbar (H226) Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen (H302+H312+H332) Verursacht Hautreizungen (H315), Verursacht schwere Augenreizung (H319), Kann die Atemwege reizen (H335)	164	21 – 55	Organischen Lösemitteln	Schutzhandschuhe aus Nitrilgummi Ersatzstoffprüfung, z. B. Pinselreiniger auf wässriger Basis	Pinselreinigung bei wasserunlöslichen Farben und Lacken

Fortsetzung Tabelle 5

Lösemittel	Zusammensetzung	Pik.	H-Sätze	Sdt. °C	Flammp. °C	mischbar mit	Bemerkungen	Anwendungsbeispiele
Terpentinöl	Gemisch aus Terpenen wie $\alpha$ -Pinen Limonen 3-Caren Camphen	   	Flüssigkeit und Dampf entzündbar(H226) Gesundheitsschädlich bei Verschlucken, Hautkontakt oder Einatmen (H302+H312+H332) Verursacht Hautreizungen (H315), Verursacht schwere Augenreizung (H319), Kann die Atemwege reizen (H335) Kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317) Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung (H411)	150 – 177	21 – 55	Organischen Lösemitteln	gut lüften Schutzhandschule aus Nitrilgummi, da hautresorptiv, sensibilisierend Ersatzstoffprüfung: Terpentinersatz gelbliche, wasserunlösliche Flüssigkeit; typischer Geruch	Verdünnungsmittel für Farben, Lacke, Klebstoffe
Terpentinersatz(Testbenzin)	Gemisch höhersiedender aliphatischer und aromatischer Kohlenwasserstoffe C9 – C12-Erdölfraktion	 	Flüssigkeit und Dampf entzündbar(H226) Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt oder Einatmen (H312+H332)	130 – 220	21 – 55	Organischen Lösemitteln	gut lüften Schutzhandschule aus Nitrilgummi möglichst aromatenarme Produkte einsetzen	Ersatzstoff für Terpentin, Verdünnungsmittel für Farben, Lacke Reinigungsmittel von Spritzgeräte, Oberflächenreinigungsmittel
Universalverdünner	Je nach Produkt Gemisch aus Aromaten (z. B. Xylol-Isomere) Estern (z. B. Butylacetat) Alkoholen Ketonen (z. B. Aceton)	 	Flüssigkeit und Dampf leicht entzündbar (H225) Gesundheitsschädlich bei Einatmen (H332)	55 – 145	< 21	Organischen Lösemitteln	gut lüften Schutzhandschule aus Nitrilgummi möglichst aromatenarme Produkte einsetzen farblos bis gelblich Geruch wie Terpentin	Verdünnungsmittel für Farben, Lacke Reinigungsmittel von Spritzgeräten Oberflächenreinigungsmittel

# 7 Gefährdungsbeurteilung

Auf Grundlage des Arbeitsschutzgesetzes ist bei allen Tätigkeiten mit möglicher Gefährdung die Durchführung einer Gefährdungsbeurteilung erforderlich. Dazu gehört neben der Beurteilung z. B. der mechanischen und thermischen Gefährdungen an Maschinen und Geräten bei der Kunststoffverarbeitung auch die Gefährdungen, die sich bei Tätigkeiten mit Gefahrstoffen ergeben. Für letzteres ist die RiSU Teil I – 3.2.2 zu beachten. Die RiSU, Teil II – 2.6. behandelt das Thema Kunststoffe. Beachten Sie, dass Menschen unterschiedliche Fähigkeiten und Kompetenzen











aufweisen. Beispielhaft sind sensorische und motorische Fähigkeiten (Sehen, Hören, Tasten etc.) oder die Sprachkenntnisse „Deutsch als Zweitsprache (DAZ)“, die bei Tätigkeiten zu erhöhten Risiken und Gefahren führen können<sup>10</sup>. Die Gefährdungsbeurteilung hat dazu ebenso Angaben zu machen.

Bei der Gefährdungsbeurteilung ist nach den folgenden sieben Schritten<sup>11</sup> vorzugehen:

---

<sup>10</sup> Bei der Gefährdungsbeurteilung sind die Belange von Schülerinnen und Schülern mit z. B. körperlichen Einschränkungen, die im Rahmen von gemeinsamem Lernen (Inklusion) unterrichtet werden zu berücksichtigen bzw. zu beurteilen (siehe Anlage 1 „*Methodik und Handlungshilfe für eine inkludierte Gefährdungsbeurteilung*“ und Literatur/Linkliste).

<sup>11</sup> Das methodische Vorgehen bei der Gefährdungsbeurteilung und die Risikoeinschätzung sowie eine exemplarische Gefährdungsbeurteilung finden Sie in der Unfallkassen Nord Broschüre „Technikunterricht – mit Sicherheit / Rechtsgrundlagen zur Prävention“ (siehe Anhang).

<p><b>Aufgabenstellung definieren</b></p>	<p>Beispiel: Biegen einer Plexiglasplatte mit einem Heißluftgebläse</p> 																																																																																											
<p>1. Gefährdungen ermitteln</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hautverbrennungen beim Berühren des Heißluftstrahles, der Düse des Heißluftgebläses oder der heißen Plexiglasplatte</li> <li>bei Überhitzung kann sich der Kunststoff zersetzen (Gesundheitsschädliche Pyrolyseprodukte entstehen)</li> <li>Schnittverletzungen an scharfen Kanten der Kunststoffplatte</li> <li>Ausrutschen bei evtl. glattem Fußboden</li> </ul>																																																																																											
<p>2. Gefährdungen bewerten (Handlungsbedarf ermitteln, Risiko einschätzen)*</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Matrix zur Risikoabschätzung</li> </ul> <table border="1" data-bbox="509 629 1463 931"> <thead> <tr> <th colspan="2" rowspan="2">Schadensschwere</th> <th colspan="2">Keine gesundheitlichen Folgen</th> <th colspan="2">Bagatellfolgen (Schulbesuch kann fortgesetzt werden)</th> <th colspan="2">Mäßig schwere Folgen (Schulbesuch kann nicht fortgesetzt werden, ohne Dauerschaden)</th> <th colspan="2">Schwere Folgen (irreparable Dauerschäden möglich)</th> <th colspan="2">Tödliche Folgen</th> </tr> <tr> <th colspan="2">I</th> <th colspan="2">II</th> <th colspan="2">III</th> <th colspan="2">IV</th> <th colspan="2">V</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>praktisch unmöglich</td> <td>A</td> <td>extrem gering</td> <td>1</td> <td>extrem gering</td> <td>1</td> <td>sehr gering</td> <td>2</td> <td>eher gering</td> <td>3</td> <td>mittel</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>vorstellbar</td> <td>B</td> <td>extrem gering</td> <td>1</td> <td>sehr gering</td> <td>2</td> <td>eher gering</td> <td>3</td> <td>mittel</td> <td>4</td> <td>hoch</td> <td>5</td> </tr> <tr> <td>durchaus möglich</td> <td>C</td> <td>sehr gering</td> <td>2</td> <td>eher gering</td> <td>3</td> <td>mittel</td> <td>4</td> <td>hoch</td> <td>5</td> <td>sehr hoch</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>zu erwarten</td> <td>D</td> <td>sehr gering</td> <td>2</td> <td>mittel</td> <td>4</td> <td>hoch</td> <td>5</td> <td>sehr hoch</td> <td>6</td> <td>extrem hoch</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>fast gewiss</td> <td>E</td> <td>sehr gering</td> <td>2</td> <td>mittel</td> <td>4</td> <td>sehr hoch</td> <td>6</td> <td>extrem hoch</td> <td>7</td> <td>extrem hoch</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table> <p>„Ampel-Modell“ für eine erste Grobbewertung des Risikos</p> <table border="1" data-bbox="509 994 1463 1155"> <tbody> <tr> <td></td> <td><b>Gefahr</b> (Risikowerte 5 bis 7)</td> <td>Das festgestellte Risiko ist nicht tolerierbar; es besteht erhebliche Gefahr. Folglich müssen <b>dringend</b> geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos ergriffen werden.</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Grenzrisiko</b> (Risikowerte 3 bis 4)</td> <td>Das Risiko ist unerwünscht hoch und liegt im Bereich des Grenzrisikos. Es sind Maßnahmen zur Unfallverhütung und zur Verbesserung der Sicherheit notwendig.</td> </tr> <tr> <td></td> <td><b>Sicherheit</b> (Risikowerte 1 bis 2)</td> <td>Das Risiko liegt unterhalb des Grenzrisikos. Neben gewissenhafter Aufsichtsführung und der Einhaltung üblicher Sicherheitsstandards sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.</td> </tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> <li>Hautverbrennungen: Es besteht ein Grenzrisiko (gelb)</li> <li>Pyrolyseprodukte einatmen: Einordnung „Sicherheit“ (grün) bei einer korrekten Gebläsetemperatureinstellung</li> </ul>	Schadensschwere		Keine gesundheitlichen Folgen		Bagatellfolgen (Schulbesuch kann fortgesetzt werden)		Mäßig schwere Folgen (Schulbesuch kann nicht fortgesetzt werden, ohne Dauerschaden)		Schwere Folgen (irreparable Dauerschäden möglich)		Tödliche Folgen		I		II		III		IV		V		praktisch unmöglich	A	extrem gering	1	extrem gering	1	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4	vorstellbar	B	extrem gering	1	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4	hoch	5	durchaus möglich	C	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4	hoch	5	sehr hoch	6	zu erwarten	D	sehr gering	2	mittel	4	hoch	5	sehr hoch	6	extrem hoch	7	fast gewiss	E	sehr gering	2	mittel	4	sehr hoch	6	extrem hoch	7	extrem hoch	7		<b>Gefahr</b> (Risikowerte 5 bis 7)	Das festgestellte Risiko ist nicht tolerierbar; es besteht erhebliche Gefahr. Folglich müssen <b>dringend</b> geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos ergriffen werden.		<b>Grenzrisiko</b> (Risikowerte 3 bis 4)	Das Risiko ist unerwünscht hoch und liegt im Bereich des Grenzrisikos. Es sind Maßnahmen zur Unfallverhütung und zur Verbesserung der Sicherheit notwendig.		<b>Sicherheit</b> (Risikowerte 1 bis 2)	Das Risiko liegt unterhalb des Grenzrisikos. Neben gewissenhafter Aufsichtsführung und der Einhaltung üblicher Sicherheitsstandards sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
Schadensschwere				Keine gesundheitlichen Folgen		Bagatellfolgen (Schulbesuch kann fortgesetzt werden)		Mäßig schwere Folgen (Schulbesuch kann nicht fortgesetzt werden, ohne Dauerschaden)		Schwere Folgen (irreparable Dauerschäden möglich)		Tödliche Folgen																																																																																
		I		II		III		IV		V																																																																																		
praktisch unmöglich	A	extrem gering	1	extrem gering	1	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4																																																																																	
vorstellbar	B	extrem gering	1	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4	hoch	5																																																																																	
durchaus möglich	C	sehr gering	2	eher gering	3	mittel	4	hoch	5	sehr hoch	6																																																																																	
zu erwarten	D	sehr gering	2	mittel	4	hoch	5	sehr hoch	6	extrem hoch	7																																																																																	
fast gewiss	E	sehr gering	2	mittel	4	sehr hoch	6	extrem hoch	7	extrem hoch	7																																																																																	
	<b>Gefahr</b> (Risikowerte 5 bis 7)	Das festgestellte Risiko ist nicht tolerierbar; es besteht erhebliche Gefahr. Folglich müssen <b>dringend</b> geeignete Maßnahmen zur Reduzierung des Risikos ergriffen werden.																																																																																										
	<b>Grenzrisiko</b> (Risikowerte 3 bis 4)	Das Risiko ist unerwünscht hoch und liegt im Bereich des Grenzrisikos. Es sind Maßnahmen zur Unfallverhütung und zur Verbesserung der Sicherheit notwendig.																																																																																										
	<b>Sicherheit</b> (Risikowerte 1 bis 2)	Das Risiko liegt unterhalb des Grenzrisikos. Neben gewissenhafter Aufsichtsführung und der Einhaltung üblicher Sicherheitsstandards sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.																																																																																										
<p>3. Maßnahmen festlegen nach der STOP Rangfolge substituieren technisch organisatorisch personenbezogen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hautverbrennungen: Ggf. Biegeverfahren umstellen (Erwärmen über Heizdraht oder Infrarotstrahler)</li> <li>Schutzhandschuhe tragen</li> <li>Temperaturbegrenzung der Wärmequelle unter der „Zersetzungstemperatur“ einstellen</li> </ul>																																																																																											
<p>4. Maßnahmen umsetzen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Schriftliche Dokumentation mittels einer Check- und Maßnahmenliste, Beschreibung der Verantwortlichkeiten, Termin</li> </ul>																																																																																											
<p>5. Wirksamkeit kontrollieren</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Maßnahmen sowie deren Wirksamkeit sind zu überprüfen. Die Überprüfung ist durch Festlegung von Terminen und Verantwortlichkeiten in der Maßnahmenliste zu sichern</li> </ul>																																																																																											
<p>6. Die Gefährdungsbeurteilung muss dokumentiert werden.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Musterbeispiele der Dokumentation sind in der Literatur/Linkliste zu finden.**</li> </ul>																																																																																											
<p>7. Verfahren wiederholen</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Fortschreibung ist immer dann notwendig, wenn neue Gefährdungen auftreten.</li> <li>Konkrete Anhaltspunkte dafür können sein: <ul style="list-style-type: none"> <li>veränderte Kenntnis und Erfahrungsstand von Nutzergruppen</li> <li>Schulunfälle, Beinaheunfälle</li> <li>Umstellung von Fertigungsverfahren</li> </ul> </li> </ul>																																																																																											

\* Bei der Einschätzung des Risikos spielen die Eintrittswahrscheinlichkeit und die mögliche Schadensschwere eine wesentliche Rolle. Mithilfe der Risikomatrix kann der notwendige Handlungsbedarf bei der Unterrichtsvorbereitung abgeleitet werden.

\*\* Handlungshilfen zu Gefährdungsbeurteilungen bieten die Unfallkassen, die Berufsgenossenschaften und ggf. die „Arbeitsmedizinischen und sicherheitstechnischen Dienste“ der Bildungsministerien der Bundesländer an. In NRW ist eine Handlungshilfe „Gemeinsames Lernen im Chemieunterricht – Unterstützungsmaterialien für den Experimentalunterricht“ mit Inhalten zu Kunststoffen veröffentlicht (siehe Literatur/Linkliste). In der DEGIN TU sind in der Versuchsdatenbank unter der Versuchskategorie wählen "Kunststoffe" Gefährdungsbeurteilungen zu finden. Weitere Handlungshilfen siehe Literatur/Linkliste – Überschrift „Gefährdungsbeurteilung“.

# 8 Fertigungsverfahren

## Trennen

Mit Trennen werden in der Fertigungstechnik die Fertigungsverfahren bezeichnet, bei denen vom Werkstück etwas abgetrennt wird. Neben einem Reststück entstehen dabei meistens Späne und Stäube.

## Urformen

Das Urformen ist ein Fertigungsverfahren, bei dem aus einem formlosen Stoff, z. B. Kunststoffgranulat, ein Bauteil bzw. Werkstück hergestellt wird.

## Umformen

Das Umformen ist ein Fertigungsverfahren, bei dem eine plastische Formänderung eines bestehenden Werkstücks oder Halbzeugs (z. B. Rohre, Platten) vorgenommen wird.

## Fügen

Beim Fügen werden zwei oder mehr Bauteile, die Füge-teile, miteinander verbunden.

## Beschichten

Beschichten ist das Fertigen durch Aufbringen einer fest haftenden Schicht.

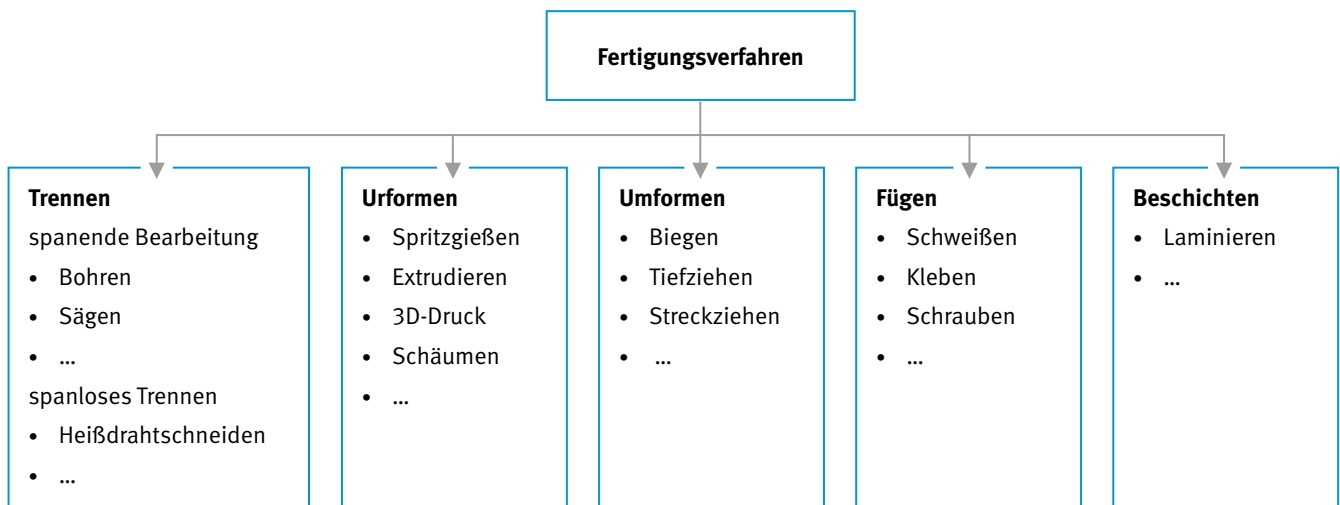


Abb. 6 Fertigungsverfahren bei Kunststoffen



# 9 Trennen

## 9.1 Spanende Bearbeitung von Kunststoffen

Viele Kunststoffe lassen sich sägen, drehen, bohren, fräsen, feilen, schneiden, hobeln und gewindeschneiden. Ihre Bearbeitung ähnelt der von Metallen. Die notwendigen Werkzeuge sind in fast allen Schulwerkstätten zu finden. Bei allen zerspanenden Verfahren muss berücksichtigt werden, dass die Wärmeleitfähigkeit der Kunststoffe nur einen Bruchteil der von Metallen beträgt. Man muss daher mit

- relativ geringer Schnittgeschwindigkeit,
- großem Vorschub und
- großen Spanquerschnitten arbeiten.

Im Werk- bzw. Technikunterricht wird überwiegend mit Plexiglas (PMMA) 3 bis 5 mm und Polystyrol (PS) gearbeitet. PMMA gibt es in den Ausführungen XT (extrudiert) oder GS (gegossen). Aufgrund der unterschiedlichen Herstellungsverfahren haben beide Kunststoffe völlig unterschiedliche Werkstoffeigenschaften. GS-Material ist oberflächenberuhigt und lässt sich daher besonders gut bohren, sägen, schleifen, polieren. Da XT-Material nach dem Extrudieren abgeschreckt wird, hat es Oberflächenspannungen und lässt sich nicht so gut bearbeiten (siehe Literaturverzeichnis/Linkliste – Überschrift „Kunststofffertigungstechniken – Praxisvideos“).

### Anreißen und brechen

Kunststoffe können mit dem Bleistift oder, je nach weiterer Bearbeitung, mit der Reißnadel angerissen werden. Dünnes Plattenmaterial aus PS und modifizierten PS (z. B. ABS) und PMMA (bis 3 mm Dicke und 40 cm Länge der Brechkante) kann nach dem Anreißen umgeknickt und abgebrochen werden. Am besten die Rohplatte mit Zwingen am Werkttisch (Frottee-Handtuch unterlegen, damit keine Abdrücke entstehen!) fixieren und die Schnittlinie anzeichnen oder sofort mit einem Glasschneider min. 1 mm tief anritzen. Die Platte mit der Sollbruchstelle nach oben über die Tischkante legen und brechen (Abb. 7). Dabei kann mit einer Holzleiste gearbeitet werden, die den Druck gleichmäßig über die gesamte Länge des Ritzes verteilt. Beim Brechen können Stücke absplittern – daher Schutzbrille mit Seitenschutz aufsetzen und Schutzhandschuhe tragen (Abb. 8). Um die Verletzungsgefahr zu vermindern, muss der entstehende Grat entfernt werden, wozu sich eine Zieh Klinge oder spezielle Kunststoffentgrater besonders eignen (Abb. 9). PMMA mit mehr als 3 mm Dicke sollte gesägt werden (siehe Hinweise beim Kapitel „Sägen“).

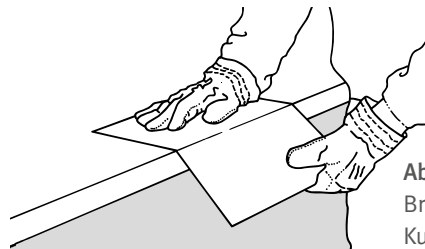


Abb. 7  
Brechen einer  
Kunststoffplatte



Abb. 8  
Schutzbrille mit  
Seitenschutz



Abb. 9  
Entgratungsmesser  
mit Drehklinge

### Raspeln und feilen

Die Bearbeitung der thermoplastischen Kunststoffe ist problemlos mit in der Schule üblichen Metall- oder Holzfeilen möglich. Auch nicht zu grobe Raspeln und Surformfeilen können eingesetzt werden. Feilen sollten den Hieb 3 entsprechen. Beim Einspannen der Werkstücke sollte auf die Verwendung weicher Zwischenlagen (Filz, Pappe) geachtet werden, da die Materialoberfläche sonst leidet. Zudem ist ein Einspannen nahe der Spannbacken notwendig, um Vibrationen und damit ein Brechen/Umbiegen der Kunststoffe zu verhindern.

### Bohren

Da Plexiglas ein schlechter Wärmeleiter ist, darf nur mit geringer Drehzahl und geringem Vorschub gebohrt werden. Wichtig ist, dass nicht in Hohlräume gebohrt werden darf, da das Material sonst splintern kann. Es lässt sich

mit Universalbohrern, besser aber mit Kunststoffbohrern bohren (Abb. 10). Letztere haben eine langgezogene Spannute. Hier kann sich auf langem Weg der Span abkühlen und verklebt nicht mit dem Bohrer; hinzu kommt der Anschliff an der Bohrerspitze mit  $60^\circ$ – $90^\circ$ .



Abb. 10  
Kunststoffbohrer

Es können Kunststoffe mit handelsüblich angeschliffenen HSS-Bohrern oder mit Bohrern aus normalem Werkzeugstahl (CV-Stahl) bearbeitet werden.

Das Ankörnen der Bohrungsmittelpunkte ist nur bei schlagzähem Kunststoff möglich, da sprödes Material platzen kann. Bei spröden Kunststoffen kann man mit einer Reißnadel den Bohrungsmittelpunkt per Hand ankörnen.

Bezüglich Drehzahl und Vorschubgeschwindigkeit lässt sich folgende Faustregel aufstellen: Es wird mit 50 % der für Buntmetall üblichen Drehzahl oder langsamer gebohrt, um eine Überhitzung des Werkstücks zu vermeiden. Der Bohrer soll öfter aus dem Bohrloch angehoben werden, um den Spanabfluss zu verbessern.

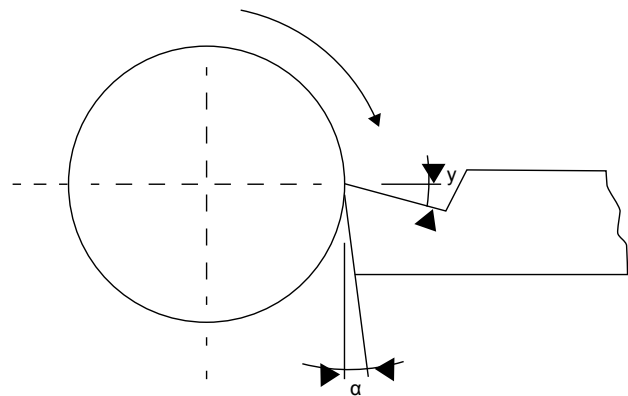
Wird mit höheren Bohrgeschwindigkeiten gearbeitet, ist das Material mit Wasser zu kühlen; dies gilt auch bei Platten über 5 mm Dicke oder großen Bohrl Lochdurchmessern. Für das Bohren sollten Tisch- oder Ständer-Bohrmaschinen verwendet werden, die Bohrungen sind anschließend anzusenken. Auch beim Einsatz von Lochsägen für große Bohrungen sollte mit Kühlung gearbeitet werden.

### Fräsen

Beim Fräsen von thermoplastischen Kunststoffen sollten Werkzeuge mit wenigen Schneiden verwendet werden. Damit die Wärme ausreichend mit den Spänen abgeführt werden kann, wird mit großem Vorschub, großer Schnitttiefe und geringer Schnittgeschwindigkeit gearbeitet, so dass große Späne entstehen.

### Drehen

Ähnlich wie bei Metallen sollte das Werkstück vor dem Einspannen auf eine annähernd zylindrische Form gebracht werden. Der Spanwinkel des Drehstahls sollte  $0$ – $4^\circ$  betragen, der Freiwinkel  $5$ – $10^\circ$ . Zur Wärmeabfuhr werden große Spanquerschnitte mit hohem Vorschub und großer Schnitttiefe erzeugt (siehe Abb. 11).



Freiwinkel  $\alpha = \text{ca. } 5\text{--}10^\circ$   
Spanwinkel  $\gamma = \text{ca. } 0\text{--}4^\circ$

Abb. 11 Skizze eines Spanwinkels/Freiwinkels am Drehstahl

### Sägen

Zum Sägen von Thermoplasten eignen sich alle in der Holzbearbeitung üblichen Maschinen oder Handsägen. Die dabei während des Arbeitsvorgangs entstehende Reibungswärme kann jedoch leicht zur Überhitzung der Schnittstellen führen. Vielzahnige Sägeblätter sind daher für die Bearbeitung besser geeignet. Beste Ergebnisse werden auf der Kreissäge jedoch mit hartmetallbestückten, fein gezahnten Sägeblättern bei hoher Schnittgeschwindigkeit erzielt. Zu beachten ist jedoch, dass Kreissägen nur von fachkundigen Lehrkräften genutzt werden dürfen! Für die Schülerinnen und Schüler können Handwerkzeuge wie Laubsägen, geschärfte Feinsägen oder elektrische Dekupiersägen im Unterricht eingesetzt werden (Abb. 12). In der Anlage 2 finden Sie die Tabelle Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler.

Beim Sägen von PMMA sollte die Schutzfolie nicht entfernt werden, um die Oberfläche zu schützen. Um das Ausreißen am Sägeschnitt zu vermeiden, kann von unten auf die Platte ein Tesafilmstreifen geklebt werden, der beim Sägen mit durchgeschnitten wird.

Plexiglas bis 3 mm lässt sich hervorragend mit der Laubsäge bearbeiten. Wichtig ist ein relativ feines Sägeblatt (Größe 3). Aufgrund der geringen Wärmeleitung sollte man gleichmäßig, mit geringem Vorschub sägen, um ein Verkleben des Sägeblattes zu vermeiden.



Abb. 12 Arbeiten an der Dekupiersäge

### Schleifen

Das Schleifen thermoplastischer Kunststoffe kommt in der Regel nur dann in Frage, wenn Bearbeitungsspuren, die auf fehlerhafte Arbeitsgänge zurückzuführen sind, beseitigt werden müssen. Es kann von Hand und mit Band-, Rotations- oder Schwingschleifer gearbeitet werden. Geschliffen wird mit immer feiner werdender Körnung. Der letzte Schliff wird mit der Körnung 600 und nass ausgeführt. Eine Überhitzung des Werkstücks ist zu vermeiden, da sonst unbefriedigende Arbeitsergebnisse an den Schnitträndern entstehen – außerdem können gesundheitsschädliche Zersetzungsprodukte entstehen.

### Polieren

Besonders gute Oberflächen erhält man durch Polieren. Auch hier ist eine Überhitzung des Kunststoffs zu vermeiden: Der Anpressdruck beim Arbeiten sollte daher möglichst gering sein.

Die Kanten und Flächen von Werkstücken können mit einer Polier- oder Schwabbelscheibe geglättet werden. Das Poliermittel, Wachs, Polierpaste oder lösemittelfreie Autopolitur wird vorher mit einem weichen Tuch aufgetragen (Abb. 13).



Abb. 13 Polieren einer Oberfläche

Bei der Arbeit mit einer stationären Poliermaschine (Schleifbock) ist darauf zu achten, diese fest auf einen Tisch zu installieren und das Zuleitungskabel fachgerecht zu verlegen, so dass es nicht in die rotierenden Scheiben gelangen kann. Die Maschine ist zudem so im Werkraum aufstellen, dass evtl. losgelassene Teile keine Menschen treffen.

### Festspannen

Um ein Rotieren kleiner Werkstücke zu verhindern, sollte man sich eine Bohrhilfe bauen, die mit dem Werkstück unter dem Bohrer hin- und hergeschoben werden kann. Das Brett unter dem Werkstück kann ausgetauscht werden und liegt etwas tiefer als der Rand der Bohrhilfe auf. Dadurch wird ein zusätzlich mögliches Rotieren des Werkstücks verhindert. Das Werkstück wird mit einer Kleinstschraubzwinge gehalten. Um ein Verkratzen zu vermeiden, sollte Pappe zwischengelegt werden. Zu achten ist darauf, dass sich kein Hohlraum unter der Bohrung befindet. Dadurch werden Durchbiegungen verhindert oder ein Herausbrechen von Teilen vermieden.



Abb. 14  
Sägearbeiten mit  
Feinstaubfilter-  
maske

### Spanende Bearbeitung von Duroplasten

Diese Werkstoffe bestehen überwiegend aus Kunstharzen als Bindemittel und Füllstoffen bzw. Verstärkungsmaterialien, die u.a. mineralische Bestandteile oder Glas- bzw. Kohlefasern enthalten.

Duroplaste können mit den üblichen Verfahren mechanisch bearbeitet werden, das Schneiden von Gewinden ist jedoch schwierig (Abhilfe: Einbetten von Muttern, sogenannte Inserts).

Die Spanabfuhr der spröde-brüchigen Duroplaste bereitet keine Probleme, sodass auch feinzahnige Werkzeuge zum Einsatz kommen können. Durch die Füllstoffe werden die Standzeiten der Werkzeuge jedoch außerordentlich verkürzt, so dass man in der industriellen Fertigung diamantbestückte Werkzeuge verwendet. Die Anschaffung solcher Spezialwerkzeuge kommt für die Schule in der Regel nicht in Frage, da diese sehr teuer sind. Für Arbeiten an der Kreissäge sind hartmetallbestückte Sägeblätter ausreichend.

Füllstoffe oder Pigmente, die bei der mechanischen Bearbeitung von Duroplaste frei werden, können durch die dabei entstehenden Stäube die Gesundheit gefährden. Dies gilt insbesondere für mineralische Füllstoffe mit quarzhaltigen Anteilen (silikogener Staub). Deshalb soll bei größeren Vorhaben die Bearbeitung möglichst nass erfolgen. Falls das nicht möglich ist, muss eine wirksame Absaugung der Stäube erfolgen und Feinstaubfiltermasken (Schutzstufe FFP2) im Unterricht verwendet werden (Abb. 14). Die Sicherheitsdatenblätter der Kunststoff-Herstellungsunternehmen sind zu beachten. Arbeitsräume müssen gut gelüftet werden, offene Flammen und Zündquellen sowie das Rauchen ist verboten. Für die Bearbeitung von CFK Materialien finden Sie im Anhang „Literatur/Linkliste“ unter Gefährdungsbeurteilung die DGUV Information FB HM-074 „Bearbeitung von CFK Materialien“.



Abb. 15 Arbeiten am Heißdrahtschneider

## 9.2 Spanloses Trennen

### Trennen mit dem Heißdrahtschneider

Mit dem Heißdrahtschneider (Thermosägen) kann schnell und genau aufgeschäumtes Polystyrol (EPS) geschnitten werden.

Beachten Sie die Bedienungsanleitungen des Herstellers. Der beheizte Draht, der bis 600 °C betrieben werden kann, ist normalerweise senkrecht zwischen Arbeitsplatte und Spannbügel eingespannt (siehe Abb. 15). Es gibt jedoch auch schwenkbare Bügel, so dass Schrägschnitte möglich sind. Manche Herstellungsunternehmen bieten verstellbare Abdeckungen des Heizdrahtes an, um die Schnitthöhe auf die Kunststoffdicke des Werkstücks zu begrenzen.

Das Freiformschneiden oder gerade Schnitte mittels eines Anschlags sind mit einem Freihand-Styroporschneider möglich. Um Hautverbrennungen zu verhindern dürfen auch hier nicht die heißen „Schneidaufsätze“ angefasst werden.

Nach der RiSU, Teil II – 2.6.2 ist das Schmelzschnitten mit dem Heißdrahtschneider an gut belüfteten Arbeitsplatz durchzuführen, da Verbrennungs- bzw. Pyrolyseprodukte der geschnittenen Werkstoffe gesundheitsschädlich sein können.

Die Tätigkeitsbeschränkungen der RiSU für Schülerinnen und Schüler an Maschinen und Geräten sind zu beachten (siehe in dieser Schrift „Anlage 2“, Gerät: Styropor-Heißdraht-Schneider).

# 10 Umformen

## Warmformen

Als Ausgangsprodukt für das Warmformen dient eine als Halbzeug vorliegende Tafel, Profilstange oder Folie aus thermoplastischem Kunststoff.

## Prinzip des Warmformens

Warmformen ist ein Umformen thermoplastischer Halbzeuge durch Druck oder Unterdruck bei der erforderlichen Umformungstemperatur. Bei diesem Prozess macht man sich die typischen Eigenschaften der Thermoplaste zunutze, die bei Erwärmung ihren hartelastischen Zustand verlieren und in einen Zustand übergehen, in dem sie verformbar sind (Abb. 16). Der Umformungsprozess läuft in folgenden Phasen ab:

- Erwärmung bis zum thermoplastischen Zustand
- Überführung in die gewünschte Form
- Abkühlen unter Aufrechterhaltung der Form
- aus der Form entnehmen (Entformen)

Voraussetzung für eine gute Warmformbarkeit des Halbzeugs ist eine große Spanne zwischen Erweichungs- und Fließtemperatur (Grenzen des plastischen Bereichs). Bei steigender Temperatur nehmen Thermoplaste folgende Zustandsformen an: spröde, fest, elastisch, plastisch und zersetzt.

Neben PS haben z. B. ABS und PE diese guten Eigenschaften für das Warmformen.

In der Praxis sind Temperaturen von über 200 °C in jedem Fall zu vermeiden, da dies die Depolymerisierung (Zersetzung) der Kunststoffe zur Folge hat. Durch die Überhitzung werden gesundheitsschädliche Stoffe frei, insbesondere bei PVC-Halbzeugen. Schon bei Temperaturen oberhalb von 170 °C findet eine Chlorwasserstoffabspaltung (HCl) statt. Im Zersetzungsprozess kann das krebserregende Vinylchlorid (VC) frei werden. Besser geeignet ist deshalb PE und PS, deren Verwendung auch für den Lebensmittel-sektor zugelassen ist.

## Biegen

Bei der Biegeumformung handelt es sich um Abkanten, Biegen und Bördeln, um gerade oder gekrümmte Biegeachsen. Die Materialstärke bleibt annähernd gleich.

Thermoplaste lassen sich mit dem Heißluftgebläse, insbesondere bei großflächigen Erwärmungsbereichen und Freiformbiegen (Achtung: Heißluftgebläse erreichen bis zu 550 °C – Verbrennungsgefahr; RiSU, Teil II – 1.5.5 beachten), Infrarotstrahler oder bei begrenzten Erwärmungsbereichen wie z. B. 90° Winkel mit dem Heizdraht erwärmen und umformen. Dabei kann eine Trennung zwischen dem harten und elastischen Bereich durch Abdecken des nicht zu verformenden Kunststoffes mit Holz- oder Metallblechen erzielt werden.

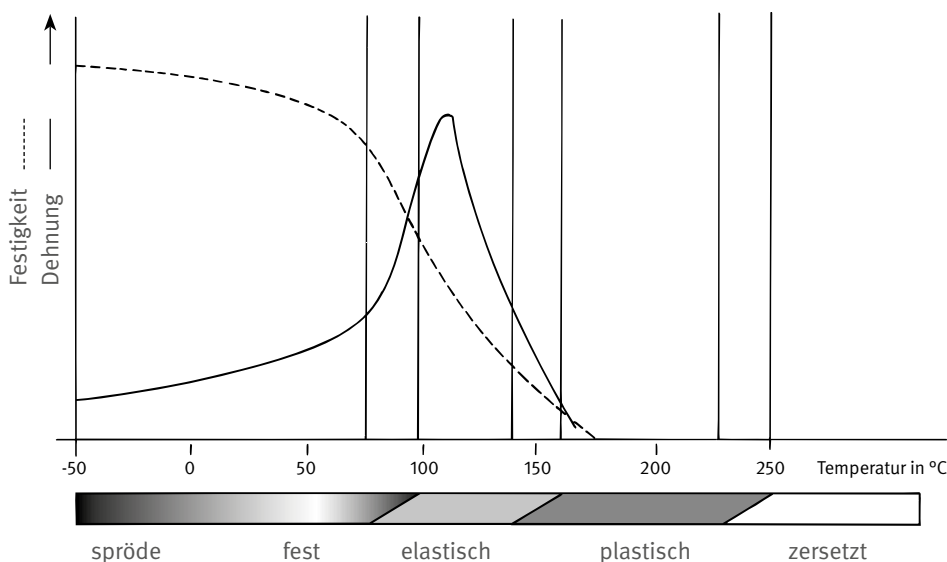


Abb. 16

Formänderungsverhalten von Polystyrol (PS)



Heißluftgebläse dürfen nicht in der Nähe entzündbarer Flüssigkeiten oder Dämpfe bzw. in der Nähe brennbarer Gegenstände betrieben werden (Abb. 17). Die Geräte verfügen zum Ab- und Aufstellen oftmals über aufklappbare Bügel, die jedoch keinen sicheren Stand gewährleisten. Bewährt haben sich zur Ablage stattdessen fest am Arbeitsplatz montierte Halterungen wie beispielsweise waagrecht angebrachte Stativringe.

Biegen mittels eines Heizdrahts ist genauer als mit einem Heißluftgebläse vor allem bei großen Biegelängen, da die gesamte Biegekante gleichmäßig erwärmt (Abb. 18). Die thermoplastischen Kunststoffplatte erwärmt man entlang der vorgesehenen Biegekante. Anschließend kann die Platte an der erhitzten Kante an einer Tischkante gebogen werden. Für genaue Biegewinkel eignen sich Schablone. Mittels Heizdraht lassen sich Kunststoffstärken bis ca. 6 mm gut biegen.



Abb. 17 Biegen mittels Heißluftgebläse

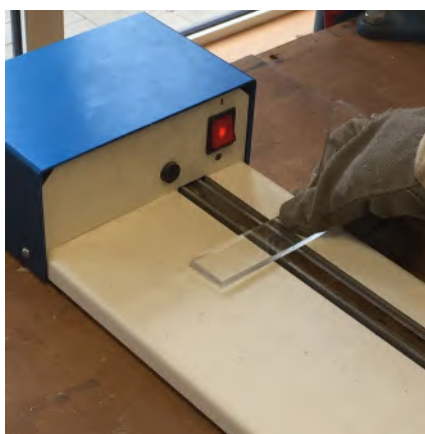


Abb. 18 Biegen mittels Heizdraht

Bei Plexiglas muss die Schutzfolie vorher entfernt werden. Eventuell eingezeichnete Biegelinien sollten nur an der Werkstückkante eingezeichnet werden, da bei Erwärmung die Farbe des Folienstiftes in das Material diffundieren kann. Bei zu starker Erwärmung kommt es zur Zersetzung (Bläschenbildung) des Materials. Bei 90° Biegungen ist darauf zu achten, das ca. 1° bis 2° überbogen werden muss. Durch den Memoryeffekt (Rückstellkraft) stellt sich das Material bei der Entnahme aus der Biegehilfe um die beschriebene Gradzahl zurück.

Bei der Verformung durch partielle Erwärmung ist zu beachten:

- Überhitzung des Kunststoffes vermeiden (Zersetzungsgefahr!)
- Schutzhandschuhe tragen!

### Tiefziehen

Thermoplastische Kunststoffe können in vielfältiger Weise durch Druck oder Zug im thermoelastischen Zustand umgeformt werden. Der Begriff „Tiefziehen“ wird landläufig für diese Verfahren verwendet, was jedoch nicht korrekt ist, da beim Tiefziehen Kunststoff aus einem federnden Spannrahmen in ein Formteil gedrückt wird (Abb. 19 und 20).

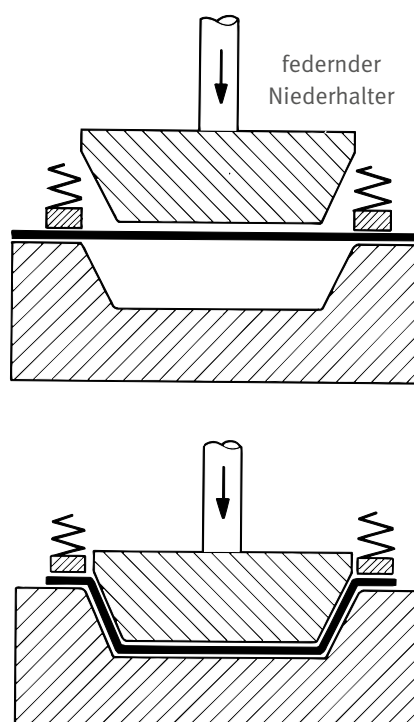


Abb. 19 Tiefziehen mit federndem Niederhalter

Beim Tiefziehen bleibt die Wandstärke weitgehend konstant, da das Material unter dem federnden Spannrahmen nachgezogen werden kann.



Abb. 20  
Tiefziehmaschine

### Streckziehen

Beim Streckziehen handelt es sich um einen Dehnvorgang, da das thermoplastische Material fest in einen Rahmen gespannt und unter Verringerung der Materialstärke in eine Form gezogen wird. Das kann durch einen Stempel,

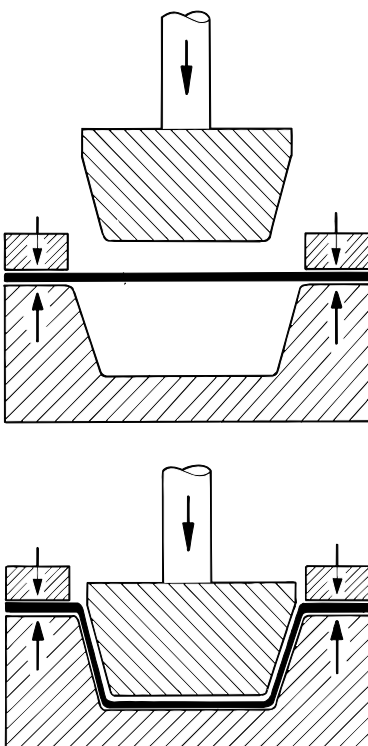


Abb. 21  
Streckziehen mit festem  
Niederhalter

durch Unterdruck, durch Überdruck, mit oder ohne Matrix oder durch verschiedene Kombinationen dieser Verfahren erfolgen (Abb. 20 und 21).

### Streckziehen nach dem Vakuum-Prinzip

Eine Folie aus thermoplastischem Kunststoff wird durch einen festen Niederhalter auf das Gehäuse gepresst gehalten. Durch einen Flächenheizstrahler wird die Folie bis in den plastischen Bereich erwärmt – erfahrungsgemäß erkennt man den plastischen Bereich an der glänzenden und welligen Oberfläche der Folie. Der über die ganze Fläche möglichst gleichmäßig erwärmte Kunststoff wird nun durch Absaugen der Luft aus dem Tiefziehgehäuse durch die Druckdifferenz zum atmosphärischen Außendruck an die Formwände gedrückt, sodass die Konturen der Form genau wiedergegeben werden. Nach dem Abkühlen behält die so umgeformte Kunststoffolie ihre Form bei.

Die Größe des Formkastens richtet sich sinnvollerweise nach dem Format der Folien oder Platten, die oft in DIN A4 geliefert werden. Als Kunststoffmaterial kann z. B. PS (0,5-2 mm stark) verwendet werden. Das Gehäuse wird aus Spanplatten luftdicht verleimt. Gehäuseoberkante wie auch Rahmen müssen glatt sein. Deshalb bietet sich eine melaminharz-beschichtete Spanplatte für die Herstellung eines Formkastens an. Für das Absaugen der Luft kommen Staubsauger und Vakuumpumpen (z. B. aus der Physiksammlung) in Frage. Um ein konturenscharfes Abformen zu ermöglichen, ist es notwendig, das Abformmodell auf einer Lochplatte zu befestigen, die besonders an den Umrissen der Form perforiert ist. Bei ganz kleinen Formkästen lassen sich Fahrradluftpumpen einsetzen, bei denen der Kolben umgedreht und ein Fahrradventil in die Schlauchverbindung zum Gehäuse als Rückschlagsicherung eingesetzt wird.

Das Abformmodell lässt sich aus den folgenden Materialien herstellen: Holz, Balsaholz, Ton (lederhart oder gebrannt), härtende Modelliermasse, Gips, Metall oder duroplastischem Kunststoff. Als technische Anforderung muss beachtet werden, dass

- das thermoplastische Material nur eine begrenzte Materialdehnung beim Streckziehen vorgibt,
- die Form einfache, runde, nicht scharfkantige Konturen hat (möglichst konischlaufend),
- die Form so ausgelegt sein muss, dass Hinterschneidungen vermieden werden.



# 11 Urformen

## Extrudieren

Beim Extrudieren wird der geschmolzene Kunststoff durch Düsen gepresst. Mit ringförmigen Düsen entstehen Rohre oder Profile. Fertigprodukte entstehen zudem, wie z. B. bei der Herstellung von einem Elektrokabel, wenn durch die Mitte der Düse kontinuierlich ein Draht zugeführt wird. Fensterprofile mit unterschiedlichen Hohlräumen lassen sich in einem einzigen Arbeitsgang herstellen. Aus schlitzförmigen Düsen werden Platten extrudiert (Abb. 22).

## Spritzgießen

Beim Spritzgießen werden vielfältige Kunststoffformteile hergestellt, die in allen Branchen und Lebensbereiche Anwendungen haben. Die Spritzgießmaschine besteht aus einer Spritzeinheit (Extruder mit hin- und her beweglicher Schnecke), die die Kunststoffschmelze durch die Vorwärtsbewegung der Schnecke in das Werkzeug (Form) spritzt, und einer Schließeinheit. Letztere öffnet und schließt das Werkzeug, in dessen Hohlraum der plastische Kunststoff eingespritzt wird. Während die Schnecke zurückfährt, öffnet sich das Werkzeug und das Formteil wird entnommen (Abb. 23).

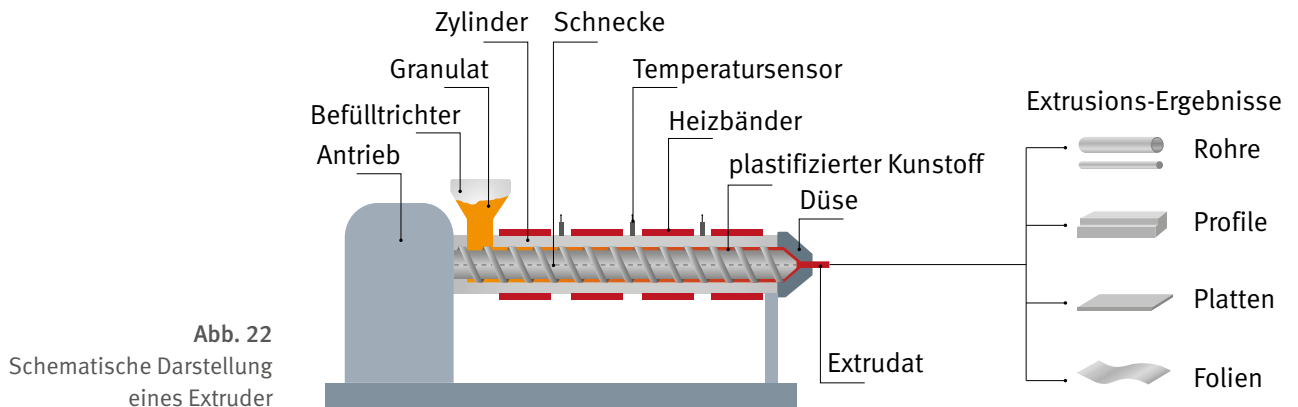


Abb. 22  
Schematische Darstellung  
eines Extruders

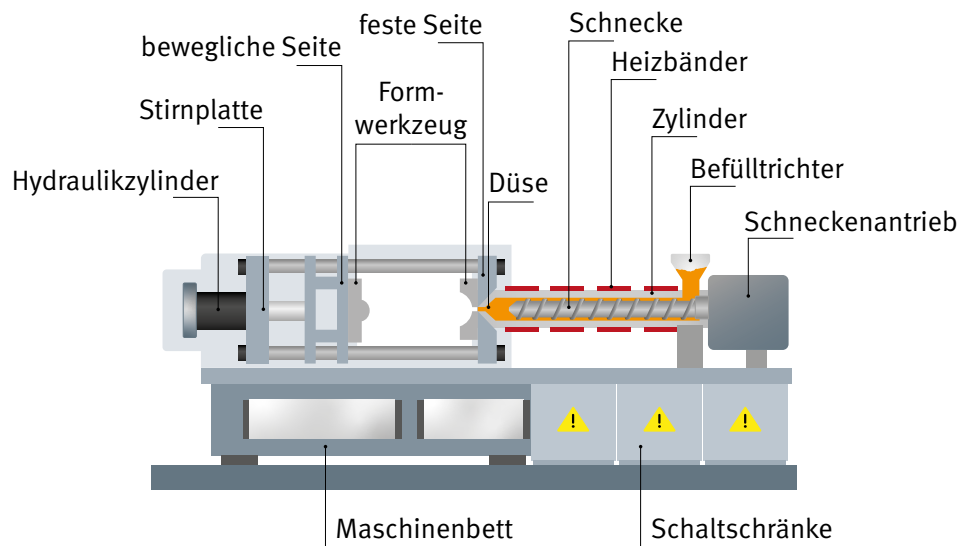


Abb. 23  
Schematische Darstellung  
einer Spritzgießmaschine

### 3D-Druck

Es gibt verschiedene Verfahren und Werkstoffe, die beim 3D-Druck zum Einsatz kommen, um Werkstücke zu formen. Allen Verfahren ist gleich, dass die entstehenden Werkstücke Schicht für Schicht aufgebaut werden. Dies geschieht z. B. mit dem Lasersinterverfahren oder einer beheizten Düse in denen Kunststoffe, wie z. B. PLA\*, ABS, Polyamid (PA) oder Polycarbonat (PC) geschmolzen werden, und so das Werkstück entstehen lassen. Die Grundlage für das Werkstück bildet eine 3D-CAD Konstruktion, welche in den Drucker per Schnittstelle oder Datenträger übermittelt werden muss.

Aufgrund der Vielzahl verfügbarer Geräte und Bausätze sollen nur 3D-Drucker namhafter Hersteller und vertrauenswürdiger Händler verwendet werden (Abb. 24). Der Drucker muss eine CE-Kennzeichnung haben und mit einer deutschen Betriebsanleitung ausgestattet sein. Deshalb sind neben möglichen Gefahrstoffemissionen durch das Aufschmelzen der verwendeten Materialien und thermischen Gefährdungen beim Betrieb der Geräte auch Aspekte der elektrischen Sicherheit relevant. Wegen der zum Teil verfahrensbedingt langen Druckzeiten werden 3D-Drucker häufig nicht unter ständiger Aufsicht betrieben. Trotzdem muss der Brandschutz gewährleistet sein. Die RiSU, Teil I – 4.7 „3D-Druck“ beschreibt Maßnahmen, die beim Einsatz handelsüblicher Tischgeräte zum 3D-Druck durchzuführen sind:



Abb. 24 Nutzung von 3D-Druckern in Schulen

- Die Bedienungsanleitung des Herstellungsunternehmens ist zu beachten.
- Es ist auf ausreichende Belüftung des Arbeitsraums zu achten.
- 3D-Drucker sind (möglichst) in einem separaten Raum aufstellen.
- Das eingesetzte Ausgangsmaterial (zum Beispiel Filamente [= Kunststofffäden]) soll nur von vertrauenswürdigen Lieferanten bezogen werden.
- Bei der Verarbeitung im 3D-Drucker muss die jeweils zulässige maximale Erhitzungstemperatur der eingesetzten Werkstoffe beachtet werden.
- 3D-Drucker erzeugen im Betrieb hohe Temperaturen und verfügen über heiße, bewegliche Komponenten, die zu Verletzungen führen können. Bei nicht vollständig geschlossenen Geräten darf während des Betriebes nicht in den Herstellungsraum gegriffen werden.
- Nach dem Betrieb muss einige Minuten lang gewartet werden, bis sich das Werkstück abgekühlt hat.

Weitere Hinweise gibt die DGUV Information 202-103 „3D-Tischdrucker in Schulen“.



### Brandschutz

Werden 3D-Drucker nicht unter ständiger Aufsicht betrieben und wird im Rahmen der Gefährdungsbeurteilung eine erhöhte Brandgefährdung festgestellt, muss eine Brandmeldeanlage im Raum installiert werden (vergleiche Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR A2.2 Kapitel 6, Tabelle 4, Ziffer 2). Der Drucker sollte zudem auf einer feuerfesten Unterlage stehen. Des Weiteren sollten keine brennbaren Gegenstände, wie beispielsweise Notizzettel oder Vorhänge, in unmittelbarer Nähe sein. Dies gilt besonders, wenn der Drucker unbeaufsichtigt (z. B. über Nacht) in Betrieb ist. Bei der Auswahl der Werkstoffe sind nur gering entflammbare Materialien auszuwählen (z. B. PLA-Filament<sup>12</sup>). Fehlermeldungen des Druckers (z. B. Temperatursensoren der Düse oder Heizplatte) sollen aktiviert bleiben. Es ist zudem erforderlich,

<sup>12</sup> PLA steht für Polylactid Acid (umgangssprachlich: Polymilchsäuren). Aus ihnen wird Kunststoff gefertigt, der aus nachwachsenden und natürlichen Rohstoffen gewonnen wird (z. B. Maisstärke) – Biokunststoff. PLA ist biologisch abbaubar und hat eine Hitzebeständigkeit von bis zu 40 Grad Celsius.

geeignete Feuerlöscheinrichtungen bereitzustellen. Sie sind so zu platzieren, dass sie schnell zum Einsatz gebracht werden können. Für die Erhöhung der Haftung des zu erstellenden Kunststoffteiles der Materialien im Druckbett werden u. a. Kleber, und Haarspray verwendet, um ein Verrutschen zu verhindern. Zu beachten ist dabei, dass entzündbare Haftvermittler (z. B. Haarspray) nur bei erkaltetem Druck aufgesprüht oder aufgebracht werden dürfen oder die Trägerplatte (Glasplatte) muss entnommen werden. Der Drucker ist auf einer feuerfesten Unterlage aufzustellen. Zudem dürfen keine leicht entzündbaren Materialien (z. B. Klebstoff, Kunststoffe, Ethanol oder Papier) in der Nähe des Druckers aufbewahrt werden.

#### Verschäumen von PU-Harzen

Polyurethanharze können zusammen mit Treibmitteln Schäume bilden. Die Schäume können je nach Harztyp und Beimengungen elastisch oder hart, geschlossen oder offenporig sein. Industriell werden solche Schäume oft unter Druck in geschlossene Formen gespritzt (Integralschaum) oder z. B. zu Isolierungszwecken (Schalldämmung, Kälteisolierung, Verpackung) verwendet.

Im Unterricht können Schäume in offenen Formen zu Zwecken der Demonstration handverschäumt werden. Hier lässt sich die Ausdehnung des Kunststoffs, die das 60-fache des Ausgangsmaterials erreichen kann, eindrucksvoll beobachten. In der Literatur/Linkliste „Unterrichtsmaterialien“ sind dazu unter dem Link „BG RCI – Demo-Experimente“ Videos aufgeführt.

PU Schaum ist im gehärteten Zustand gut schneidbar. Dazu sollte ein Sicherheitsmesser verwendet werden (Abb. 25).

Die RiSU, Teil II – 2.6.5 gibt zu Polyurethankunststoffen folgende Hinweise:

- Vorrangig Montageschaum aus Druckgaskartuschen verwenden.
- Polyurethanschäume, die mehr als 1% Methylendiisocyanat enthalten, können vermutlich Krebs verursachen (H351). Im Handel gibt es Produkte, die weniger als 1% davon enthalten. Sie sind häufig mit dem Hinweis „0% Isocyanat“ deklariert. Diese sind zu bevorzugen.
- Gefahr von allergischen Reaktionen beachten, Hautkontakt vermeiden.
- Bei Arbeiten mit PU-Harzen Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen.
- Die Verarbeitung soll in gut gelüfteten Räumen stattfinden.
- Essen, Trinken und offene Flammen und Zündquellen sowie das Rauchen ist im Arbeitsraum nicht erlaubt.

Die Gefahrstoffverordnung fordert vor Tätigkeiten mit Gefahrstoffen eine Prüfung, ob Stoffe bzw. Gemische mit einer geringeren Gefährdung verfügbar sind und eingesetzt werden können. Ist der Ersatz eines Stoffes oder eines Gemisches technisch möglich und führt dieser Ersatz zu einer insgesamt geringeren Gefährdung, muss die Substitution vorgenommen werden. So sind z. B. PU10 PU-Systeme (Abb. 26), die lösemittelfrei sind, günstiger zu bewerten als PU60 PU-Systeme, die gesundheitsschädlich und sensibilisierend sind.



Abb. 26 PU Schaum

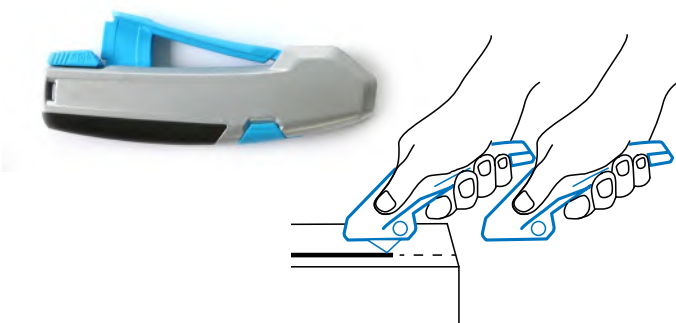


Abb. 25 Sicherheitsmesser

# 12 Fügen

## Schrauben

Zum Fügen von Kunststoffteilen eignen sich Direktverschraubungen. Die Teile sollten aus zähelastischen Kunststoffen bestehen um die Bruch- und Ausreißgefahr von spröden Kunststoffen zu verhindern. Verbindungsmittel sind Metallschrauben mit selbstschneidendem Gewinde, die sich selbstständig ihr Gegengewinde in ein vorgefertigtes Kernloch „schneiden“, ohne dass dabei Späne anfallen. Aufgrund der Selbsthemmung sind keine zusätzlichen Muttern oder Scheiben nötig. Das Kernloch muss kleiner sein als der Schraubendurchmesser.

**Bohrung** = Gewindedurchmesser  $\times$  0,8 mm

Direktverschraubungen haben eine hohe Anzugsfestigkeit, auf Dauer nimmt die Klemmkraft jedoch ab. Sie sollten möglichst nicht oft wieder gelöst werden. Häufiger zu lösende Schraubverbindungen werden mit Schraube und Mutter bzw. Schraube und sogenannten Gewindeeinsätzen (Inserts) hergestellt.

## Schweißen

Thermoplastische Kunststoffe sind schweißbar. Geschweißt wird entweder mit Heißluftgeräten oder mit elektrisch beheizten Geräten (z. B. einen Folienschweißgerät für Tiefgefrierprodukten oder Heizelemente). Je nach Kunststoff sind Schweißtemperaturen bis ca. 200 °C möglich, da das Material an der Schweißstelle plastisch werden muss.

Beim Schweißen von Kunststoffen muss auf eine gute Raumlüftung geachtet werden. Das Tragen von Schutzhandschuhen ist erforderlich. Es wird dringend davon abgeraten, Schweißnähte mit einem LötKolben anzulegen, da ein Teil des Kunststoffs sich zwangsläufig durch Temperaturüberschreitung zersetzt und so gesundheitsschädliche Stoffe frei werden. Außerdem lassen sich mit einem LötKolben nur ungenügende Arbeitsergebnisse erzielen.

## Warmgasschweißen

Die Verbindungsflächen werden mit einem Heißluftgebläse erhitzt. Für Heißluftgebläse gibt es entsprechende Vorsätze (Schweißdüse oder -schuh). Die zu verschweißenden Teile sollten aus dem gleichen Kunststoff bestehen (Abb. 27).

Ebenso ist bei der Verwendung eines Schweißdrahtes auf die Gleichheit der Werkstoffe zu achten. Die stoffschlüssige Verbindung ist nicht mehr lösbar.

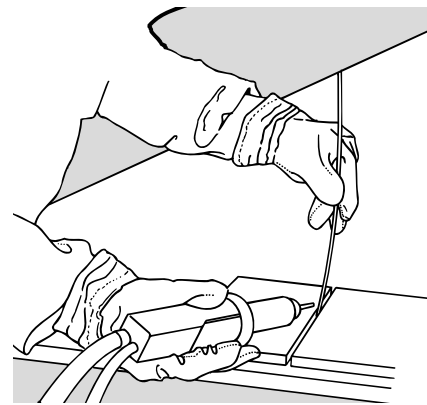


Abb. 27  
Heißluftschweißen

## Heizelementschweißen

Beim Heizelementschweißen werden die zu verbindenden Teile an den Schweißflächen direkt oder indirekt erwärmt und unter Druck zusammengefügt (Abb. 28). Dabei treten Deformationen und Materialschwund auf. Dies ist bei der Einhaltung von Werkstückmaßen zu beachten!

Bei Wärmegeräten (z. B. Heißluftgebläse, elektrisch beheizten Heizelementen) ist darauf zu achten, dass diese nach dem Gebrauch auf wärmebeständige Unterlagen oder in einen geeigneten Ständer abgelegt werden.

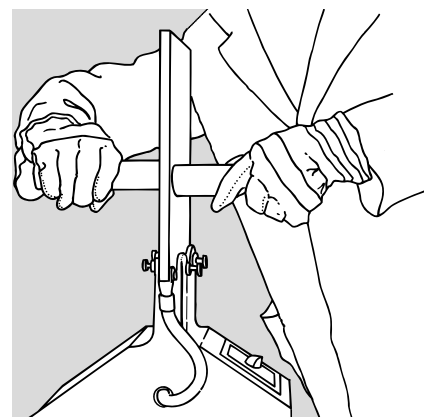


Abb. 28  
Heizelementschweißen

### Kleben

Beim Kleben werden unterschiedliche oder gleiche Kunststoffe bzw. Kunststoffe mit anderen Materialien mit Hilfe eines Klebstoffs verbunden. Hierzu eignen sich z. B. Schmelz- oder Kontaktkleber.

Bei der Verklebung gleicher Kunststoffe besteht oft die Möglichkeit, die Thermoplaste von einem artspezifischen Lösemittel anzulösen. An der Klebestelle kommt es zu einer Verknüpfung der molekularen Struktur (Kaltschweißen).

Wenn an Verklebungen keine allzu hohen Ansprüche gestellt werden, können diese auch mit einer Klebepistole ausgeführt werden (siehe Abb. 29). Hierbei wird oftmals ein modifiziertes Polyamid als Klebemittel verwendet.



Abb. 29  
Heißklebepistole

Die Verklebung von Thermoplasten erfolgt durch Anschmelzen und Adhäsion – bei den anderen Kunststoffen durch reine Adhäsion. Fluor-Polymere (z. B. Teflon) können allerdings damit nicht verklebt werden.

### Sicherheitshinweise zu Klebstoffen

- Sicherheitshinweise und Herstellerhinweise zu Klebstoffen sind zu beachten.
- Bei großflächiger Anwendung von Klebstoffen für ausreichende Lüftung sorgen.
- In der Jahrgangsstufe 1 bis 4 sind ausnahmsweise Tätigkeiten mit Klebern, Gelen oder Pasten, welche leicht entzündbare Stoffe enthalten, erlaubt (siehe RiSU, Teil I – 3.6.2).
- Auf sicheren Umgang mit Schmelzklebstoffen hinweisen: Verletzungen durch Schmelzklebstoffe sind schmerzhaft und verursachen schlecht heilende, schwere Verbrennungen. Bei der Verarbeitungstemperatur von mehr als 180 °C haftet der Klebstoff sofort auf der Haut und lässt sich nicht abwischen. Zur Schmerzlinderung können kleinflächige Verbrennungen sofort ca. 2 Minuten mit Wasser abgekühlt werden. Größere verbrannte Körperoberflächen dürfen hingegen nicht gekühlt werden. (Siehe RiSU, Teil III – 2.2.1 „Verhalten bei Unfällen im Unterricht“. Hier werden Hinweise zur Behandlung von Verletzungen gegeben, z. B. bei Verätzungen, Verletzungen am Auge, Verbrennungen, Verbrühungen)
- Bei Arbeiten mit Cyanacrylatklebstoffen (Sekundenkleber) sind Augen- und Hautkontakt zu vermeiden (siehe RiSU, Teil II – 7.4).
- Auf Epoxidharze ist aufgrund der sensibilisierenden Wirkung und des Epichlorhydrinanteils im Unterricht zu verzichten. Bei epoxidharzhaltigen Klebern ist eine Ersatzstoffprüfung zwingend durchzuführen (siehe RiSU, Teil II – 2.6.8 Epoxidharze“).



# 13 Beschichten

## Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)

Faserverbundwerkstoffe sind Verbundwerkstoffe, bei denen man sich die speziellen Eigenschaften von Faserstrukturen zu Nutze macht. Dazu gehören auch die glasfaserverstärkten Kunststoffe. Sie bestehen aus Fasern und der Kunststoff-Matrix. Neben Glasfasern kommen auch Kohlenstofffasern (umgangssprachlich Carbonfasern), Keramik- und Naturfasern zum Einsatz. Die Matrix umschließt die Fasern, fixiert diese an der gewünschten Position und schützt sie vor Umwelteinflüssen. Üblicherweise werden duroplastische Kunststoffe als Matrix verwendet, wie z. B. ungesättigte Polyesterharze.

In der Schule wird die Matrix PVAC (PolyVinylAcetatleim oder einfach: Weißleim) am häufigsten verwendet. PVAC ist ein formaldehydfreier Dispersionsleim. Faserverbundwerkstoffe werden genutzt, weil die positiven Eigenschaften von beiden Materialien kombiniert werden können. Zum Beispiel die hohe Festigkeit der Fasern und die chemische Beständigkeit eines Kunststoffes. Wegen dieser und weiterer Vorteile kommt der Werkstoff in vielen Bereichen wie z. B. Luft- und Raumfahrt, Bootsbau und Automobilbau zur Anwendung.

## Das Handlaminierverfahren

Zu den gängigsten Herstellungsverfahren von Faserverbundbauteilen gehört das Hand- oder Nasslaminieren. Die Halbzeuge, wie zum Beispiel Rovings, Matten oder Gewebe, werden in eine Form oder auf einer Fläche abgelegt und mit Hilfe eines Pinsels oder einer Rolle mit Harz getränkt und angedrückt. Es kommen dabei fast ausschließlich duroplastische Kunststoffe als Matrixwerkstoffe zur Anwendung. Diese liegen anfangs in flüssiger Form



Abb. 30 Handlaminieren

vor und ermöglichen auf Grund ihrer geringen Viskosität eine sehr gute Benetzung der Fasern. Faserablage und Benetzung der Fasern mit der flüssigen Matrix erfolgen hier gleichzeitig mit dem Formgebungsverfahren. Es entsteht ein schichtweise aufgebautes Faserverbundbauteil, ein Laminat. Nach anschließender Aushärtung der Matrix können die Bauteile entformt und nachbearbeitet werden. Im Handlaminierverfahren können Bauteile in beinahe beliebiger Größe hergestellt werden (siehe Abb. 30 u. 31).



Abb. 31 Handlaminierverfahren

Bei Ungesättigten Polyesterharzen (UP) als Matrixgrundlage von glasfaserverstärkten Kunststoffen ist folgendes zu beachten:

- Sicherheits- bzw. Herstellerhinweise beachten
- Großflächig im Freien oder in gut gelüfteten Räumen verarbeiten
- In das Harz erst Beschleuniger (Schwermetallsalze, Amine) sorgfältig einrühren, dann Härter (Peroxide) zugeben. Härter und Beschleuniger niemals direkt miteinander vermischen (Explosionsgefahr). Vorbeschleunigte Harze bzw. Cobaltnaphthenat als Beschleuniger und MEKP-Härter (Methylethylketonperoxid) bevorzugen.
- Schutzbrille und Schutzhandschuhe tragen (vgl. RiSU, Teil II – 2.6.7)

Auf Epoxidharze sollte aufgrund der sensibilisierenden Wirkung und des Epichlorhydrinanteils im Unterricht verzichtet werden. Alle entstehenden Stäube bei Säge- oder Schleifarbeiten sind grundsätzlich immer mit einem Entstauber mit Feinstaubfilter (Staubklasse M oder H) aufzusaugen. Dies gilt nicht nur für Glasfaserstaub, sondern auch für Kunststoffstaub!

### **Die mechanische Nachbehandlung**

Gelegentlich überstehende GFK-Reste aus der Form können in „lederhartem Zustand“ bei Bedarf z. B. mit einem scharfen Sicherheitsmesser abgetrennt werden. Übrige GFK-Reste können mit der Band- oder Stichsäge entfernt. Bei der Bearbeitung mit schnell laufenden Sägen ist wegen der Staubgefahr das Tragen einer Feinstaubfiltermaske (Schutzstufe FFP1 oder 2) erforderlich. Die Sicherheitsdatenblätter der Kunststoff-Herstellungsunternehmen geben zu der erforderlichen Feinstaubfiltermaske Auskunft. Vom Einsatz von Winkelschleifern oder Trennscheiben wird wegen der starken Entwicklung gesundheitsschädlicher Stäube abgeraten.



# Anhang

## Literatur/Linkliste – thematisch sortiert

### Vorschriften und Regelwerk der DGUV

- DGUV Regel 102-601 „Branche Schule“  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p102601
- DGUV Information 202-103 „3D – Tischdrucker in Schulen“  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p202103
- DGUV Information 209-084 „Industriestaubsauger und Entstauber“  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p209084
- DGUV Information 209-044 „Holzstaub“  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p209044

### Schulrecht

- Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) – Empfehlung der Kultusministerkonferenz KMK  
<https://www.kmk.org/service/servicebereich-schule/sicherheit-im-unterricht.html>
- Bitte beachten Sie die aktuellen Erlasse Ihres Bundeslandes. Die länderspezifischen aktuellen Erlasse zur Umsetzung der „Richtlinien zur Sicherheit im Unterricht“ – RiSU sind über den Bundesländer-Button unter <https://degintu.dguv.de/> abrufbar.

### Erste Hilfe

- DGUV Fachbereich Erste Hilfe  
<http://www.dguv.de/fb-ersthilfe/index.jsp>
- Vorschriften und Regeln des Fachbereich Erste Hilfe  
<https://www.dguv.de/fb-ersthilfe/vorschriften-und-regeln/index.jsp>

### Gefährdungsbeurteilung

- Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung (DEGINTU)  
<https://degintu.dguv.de/login>
- Unfallkasse Nord und IQSH „Technikunterricht – mit Sicherheit – Rechtsgrundlagen der Prävention“  
[https://www.uk-nord.de/fileadmin/user\\_upload/pdf/publikationen/Sicherheit\\_im\\_Technikunterricht\\_web.pdf](https://www.uk-nord.de/fileadmin/user_upload/pdf/publikationen/Sicherheit_im_Technikunterricht_web.pdf)

- BGHM – Hinweise zur Gefährdungsbeurteilung in der Kunststoffbearbeitung  
<https://www.bghm.de/arbeitsschuetzer/gefahrdungsbeurteilungen/holz-kunststoff-modellbau>
- BG RCI – Baukasten Gefährdungsbeurteilung für die Kunststoffindustrie  
<https://www.bgrci.de/fachwissen-portal/themenspektrum/gefahrdungsbeurteilung/>
- Landschaftsverband Rheinland – Methodik und Handlungshilfe für eine inkludierte Gefährdungsbeurteilung  
[http://www.lvr.de/de/nav\\_main/metanavigation\\_5/nav\\_meta/service/publikationen\\_4/detailseite\\_publikationen\\_813.jsp](http://www.lvr.de/de/nav_main/metanavigation_5/nav_meta/service/publikationen_4/detailseite_publikationen_813.jsp)
- DGUV Information FB HM-074- Bearbeitung von CFK Materialien  
[https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl\\_deutsch/074\\_cfk\\_materialien.pdf](https://www.dguv.de/medien/fb-holzundmetall/publikationen-dokumente/infoblaetter/infobl_deutsch/074_cfk_materialien.pdf)

### Gefahrstoffinformationssystem für den naturwissenschaftlich-technischen Unterricht der Gesetzlichen Unfallversicherung (DEGINTU)

<https://degintu.dguv.de/login>

### Hautschutzportal der BG ETEM

<https://hautschutz.bgetem.de/>

### Kunststoff-Fertigungstechniken – Praxisvideos Sächsischer Bildungsserver

<https://cms.sachsen.schule/werken-gs/klasse-4/lb-42/praxisvideos/>

### 3 D-Druck

- DGUV Information 202-103 „3D – Tischdrucker in Schulen“  
[www.dguv.de/publikationen](http://www.dguv.de/publikationen) › Webcode: p202103
- Handreichung 3D-Druck in der Schule – QUA-LiS NRW, Schulministerium NRW  
<https://www.schulentwicklung.nrw.de/cms/faecher/faecheruebergreifend/3d-druck-in-der-schule.html>
- Fachinformation „3 D-Drucker“ des Institut für Arbeitsschutz (IFA) der DGUV  
<https://www.dguv.de/ifa/fachinfos/arbeiten-4.0/neue-technologien-stoffe/3d-drucker/index.jsp>

### Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit Gefährlichen Stoffen“

- DGUV Information 213-098 Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“  
<https://publikationen.dguv.de/regelwerk/dguv-informationen/3060/stoffliste-zur-dguv-regel-113-018-unterricht-in-schulen-mit-gefaehrlichen-stoffen>

### Unterweisungen

Hintergrundinformationen der BG RCI für Sicherheitskurzgespräche „SKG 027: Mechanisches Bearbeiten von Kunststoffen“

[https://downloadcenter.bgrci.de/resource/downloadcenter/downloads/SKG\\_027\\_Anwendungshinweise.pdf](https://downloadcenter.bgrci.de/resource/downloadcenter/downloads/SKG_027_Anwendungshinweise.pdf)

### Unfallgeschehen aus der Praxis

- BG RCI – Schnitt- und Stichverletzungen der Hände – Schutzmaßnahmen  
[https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL\\_Praevention/kurz\\_und\\_buendig/KB\\_014\\_Schnitt\\_und\\_Stichverletzungen\\_der\\_H%C3%A4nde\\_-\\_Schutzma%C3%9Fnahmen.pdf](https://www.bgrci.de/fileadmin/BGRCI/Downloads/DL_Praevention/kurz_und_buendig/KB_014_Schnitt_und_Stichverletzungen_der_H%C3%A4nde_-_Schutzma%C3%9Fnahmen.pdf)
- Heißluftpistolen – Brandgefährlich  
[https://www.philosophie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/user\\_upload/Heissluftpistolen.pdf](https://www.philosophie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/user_upload/Heissluftpistolen.pdf)

### Unterrichtsmaterialien und Kunststoffprobensammlung

- Kunststoff und Schule – Unser Angebot für Lehrkräfte  
Inhalt: „Schulbuch Kunststoffe – Werkstoffe unserer Zeit“ und „Probensammlung“  
<https://www.plasticseurope.org/de/resources/kunststoff-schule>
- Unterrichtsmaterialien für die 7. – 13. Klasse  
<https://www.basf.com/global/de/who-we-are/organization/locations/europe/german-sites/ludwigshafen/gesellschaftliches-engagement/woran-wir-arbeiten/education/angebote-7-13/unterrichtsmaterialien.html>
- Kunststoff – Jahrgangsstufe 10, Arbeitsheft für das Fach Werken an Realschulen in Bayern  
[https://www.isb.bayern.de/download/14038/arbeitsheft\\_werken\\_10\\_kunststoff.pdf](https://www.isb.bayern.de/download/14038/arbeitsheft_werken_10_kunststoff.pdf)

- Norddeutsches Kunststoff-Zentrum  
<https://www.sazev.de/skk/norkun-norddeutsches-kunststoffnetzwerk-2/>
- Süddeutsches Kunststoff Zentrum  
<https://www.skz.de/de/index.html>
- Schülerlabor  
<https://www.skz.de/de/weiterbildung/skz-lab/111.Das-Schuelerlabor.html>
- DGUV „Lernen und Gesundheit das Schulportal der DGUV“  
<https://www.dguv-lug.de/>
- Unfallkasse NRW – Broschüre “Meine DAZ-Klasse – so funktioniert sie / Eine Handlungshilfe für Lehrkräfte“  
<https://www.unfallkasse-nrw.de/service/medien/mediensuche.html>
- BG RCI – Demo-Experimente / Videoclips visualisieren Risiken beim Umgang mit Gefahrstoffen  
<https://www.bgrci.de/fachwissen-portal/themenspektrum/gefahrstoffe/demo-experimente/>
- Schriftenreihe Prävention in NRW (PIN 75), Gemeinsames Lernen im Chemieunterricht“ (Hrsg. Unfallkasse NRW i.V.m. Ministerium für Schule und Bildung des Landes Nordrhein-Westfalen)  
<https://www.unfallkasse-nrw.de/service/medien/schriftenreihe-praevention-in-nrw.html>

### Werkstücke

- Sächsischer Bildungsserver – Fachinformationen Werken  
<https://cms.sachsen.schule/werken-gs/klasse-4/lb-42/werkstuecke/>
- FASERVERBUNDWERKSTOFFE  
Lehrerhandbuch  
Kapitel 7. Beispiele für den Werkunterricht  
<https://www.uni-augsburg.de/de/forschung/einrichtungen/institute/amu/bildung/unterrichtsmaterialien/>

# Anlage 1

Beispiele erhöhter Risiken und Gefahren bei verschiedenen Fähigkeitseinschränkungen:  
hier sensorische und motorische Fähigkeiten (nach DIN-Fachbericht 131, 2003).  
Quelle: „Methodik und Handlungshilfe für eine inkludierte Gefährdungsbeurteilung“  
(Hrsg. LVR Integrationsamt)

Art der Fähigkeit	Risiken und Gefahren bei Einschränkungen
Sehen	Für Menschen mit Einschränkungen der Sehfähigkeit besteht ein erhöhtes Risiko beispielsweise durch Spitzen, scharfe Kanten und Ecken an zu handhabenden Produkten, besonders wenn der Nutzer zur Erkennung der Merkmale auf den Tastsinn angewiesen ist, Veränderungen im Höhenniveau von Flächen sowie Hindernisse oder Vorsprünge, die zur Gefährdung durch Ausgleiten, Stolpern, Zusammenstoßen und Stürzen führen oder Verletzungen bewirken können, ätzende Substanzen, wenn sie nicht mit einem allgemein anerkannten fühlbaren Warnsignal gekennzeichnet sind, optische Warnsignale, die ausschließlich auf Farbanzeigen oder auf Farbanzeigen mit schwachem Kontrast zwischen Text und Hintergrund beruhen.
Hören	Für Menschen mit einem Hörverlust besteht ein erhöhtes Risiko, wenn gesprochene Ansagen und Warnungen für sie nicht laut oder verständlich genug sind, oder wenn die Frequenzen zu hoch sind, um diese erfassen zu können.
Tasten	Menschen mit überempfindlichem Tastsinn werden durch Reize verletzt, die bei anderen nur Unbehagen verursachen können – zum Beispiel durch Spitzen, scharfe Kanten und Ecken, sowie sehr heiße oder kalte Flächen. Diese Reize führen mit großer Wahrscheinlichkeit auch bei Menschen mit eingeschränktem Tastsinn zu Verletzungen, weil sie die Reizquellen zu lange berühren könnten.
Schmecken/ Riechen	Aufgrund der Beeinträchtigung des Geschmacks- oder Geruchssinns werden die Abwehrmöglichkeiten des Körpers gegen toxische Substanzen stärker gefordert. Zum Beispiel können Menschen unfähig sein, das Verderben von Lebensmitteln festzustellen oder durch Gefahren wie Rauch gewarnt zu werden.
Gleichgewichtssinn	Eine Störung des Gleichgewichtssinns kann zu einer erhöhten Furcht vor Stürzen führen. Bei der Nutzung von Rollstühlen, von motorbetriebenen Rollstühlen und Gehhilfen kann der Gleichgewichtssinn eingeschränkt sein, Verletzungen können die Unabhängigkeit dieser Menschen stark beeinträchtigen.
Geschicklichkeit	Menschen mit eingeschränkter Geschicklichkeit können sich selbst gefährden, zum Beispiel durch unbeabsichtigte Betätigung von Stellteilen oder die Unmöglichkeit, eine Hand schnell von einer Gefahrenquelle wie einer Flamme zurück zu ziehen.
Handhabung	Für Menschen mit reduzierter Handhabungsfähigkeit besteht das Risiko von Verletzungen durch unbeabsichtigtes Verschieben eines Gegenstandes während seiner Nutzung. Gefahren durch nicht bestimmungsgemäße Handlungen und deren Folgen sind durch die Produktgestaltung auf ein Mindestmaß herab zu setzen.
Beweglichkeit	Für Menschen mit Bewegungseinschränkungen bestehen besondere Risiken bei der Notfalleвакуierung aus Fahrzeugen oder Gebäuden.

## Anlage 2

Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht – Empfehlung der Kultusministerkonferenz

**Tabelle 4** Tätigkeitsbeschränkungen für Schülerinnen und Schüler an Maschinen und Geräten**Tätigkeitsbeschränkungen für Schüler an Maschinen und Geräten gemäß der Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht (RiSU) nach Jahrgangsstufen**

Maschinen- und Geräteeinsatz im Unterricht	Jahrgangsstufen		
	5/6	7/8	ab 9
Abkantvorrichtung	A	TS	S
Bandschleifmaschine (elektrisch) – nur mit Staubabsaugung –	–	TS	S
Bohrschrauber	A	TS	S
Dekupiersäge (elektrisch)	A	S	S
Emailbrennofen	A	A	A
Handbohrmaschine (elektrisch)	A	TS	S
Hart- und Weichlötgerät mit offener Flamme	–	A	A
Hebelblechschere (mechanisch)	–	A	TS
Heißklebepistole	A	TS	S
Heißluftgerät mit Gebläse	A	A	TS
Heizstrahler	A	A	TS
Kompressor	A	TS	S
Koordinatentisch	A	TS	S
LötKolben (elektrisch)	TS	S	S
Papier- und Materialschneidegerät	A	A	TS
Schweißgerät (Lichtbogenhandschweißen, Schutzgasschweißen)*	–	–	A
Schwingschleifmaschine (elektrisch) – nur mit Staubabsaugung –	TS	S	S
Stichsäge	A	TS	TS
Styropor-Heißdraht-Schneider	TS	S	S
Tellerschleifmaschine (elektrisch) – nur mit Staubabsaugung –	A	TS	S
Tiefziehgerät	A	TS	S
Tisch- und Ständerbohrmaschine (elektrisch)	A	TS	S
Universal-Mechaniker-Drehmaschine bzw. Drechselmaschine	–	–	A
Werkzeugschärf- und Abziehmaschine (elektrisch)	–	–	A
Winkelschleifer	–	–	A

–	Einsatz nicht vorgesehen	
A	unter Aufsicht	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet an der Maschine oder mit dem Gerät, die Lehrerin oder der Lehrer steht daneben und beaufsichtigt den Vorgang.
TS	teilselbstständig	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet selbstständig an der Maschine oder mit dem Gerät, befindet sich jedoch im Blickfeld der Lehrerin oder des Lehrers.
S	selbstständig	Die Schülerin oder der Schüler arbeitet selbstständig an der Maschine oder mit dem Gerät, die Lehrerin oder der Lehrer beaufsichtigt im Rahmen seiner Dienstpflicht.

**Die Tabelle ersetzt nicht die Auseinandersetzung mit der individuellen Ausgangslage.**

**Anhand der Gefährdungsbeurteilung, dem Entwicklungsstand der Schülerin bzw. des Schülers und der Bewertung der Gesamtsituation kann die Lehrkraft im Einzelfall von den Vorgaben abweichen.**

\* Jugendliche ab 15 Jahren dürfen mit Schweißgeräten umgehen, wenn dies zur Erreichung des Lernziels erforderlich und die Lehrerin oder der Lehrer anwesend ist.







**Deutsche Gesetzliche  
Unfallversicherung e.V. (DGUV)**

Glinkastraße 40  
10117 Berlin  
Telefon: 030 13001-0 (Zentrale)  
E-Mail: [info@dguv.de](mailto:info@dguv.de)  
Internet: [www.dguv.de](http://www.dguv.de)