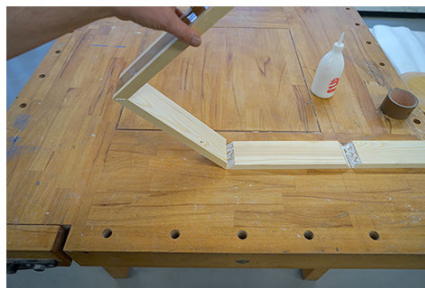
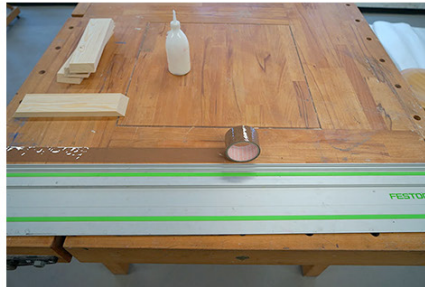


# Bau einer vereinfachten Vorrichtung für das thermische Tiefziehen

Die Vorrichtung besteht aus zwei Teilen: einem kastenförmigen Grundkörper und ein Rahmen.

Die Grundfläche der Vorrichtung richtet sich nach der Standardgröße von handelsüblichen Polystyrol-Folien. Durch verlustfreies Schneiden der Folien kann ein Format von 250 x 250 mm erreicht werden.



## Grundkörper:

Den Grundkörper der Tiefziehevorrichtung bildet eine allseitig geschlossene Kiste mit einer Kantenlänge von 33 x 33cm und einer Höhe von 10 cm. Diese kann aus beliebigem Holz oder Holzwerkstoffen hergestellt werden. Das Beispiel zeigt einen Rahmen aus Fichtenholz, der oben und unten mit Pappelsperholz abgedeckt ist. Die vier Fichtenbretter (Querschnitt ca. 80 x 20 mm) wurden an den Enden unter 45° abgeschnitten und mit Holzleim zu einem quadratischen Rahmen verleimt.

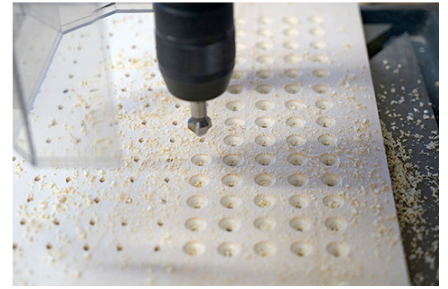
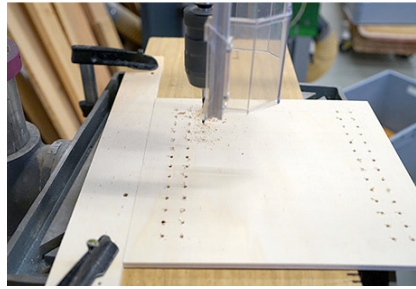
Der Boden kann auf diesen Rahmen geleimt oder geschraubt werden.



### Deckel:

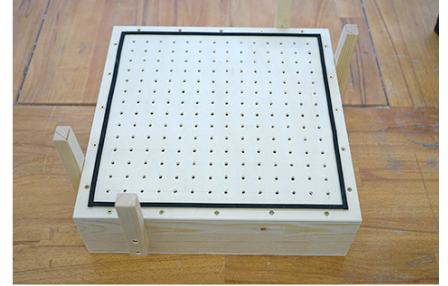
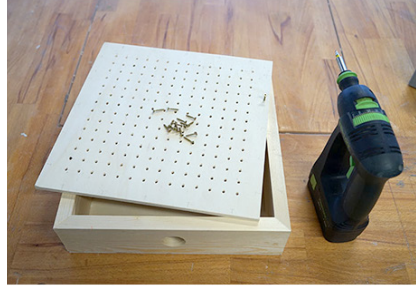
Zur Herstellung des Deckels empfehle ich ein stabiles Sperrholz. Dieses wird bis auf einen umlaufenden 30 mm breiten Rand in einem Raster von 20 x 20 mm mit einem 4 mm Bohrer durchbohrt.

Um den Strömungswiderstand der Luft in den Löchern zu reduzieren, wurde auf der Unterseite des Deckels mit einem Senker der Durchmesser der Bohrungen erweitert. Der Deckel wird anschließend auf den Rahmen geschraubt.



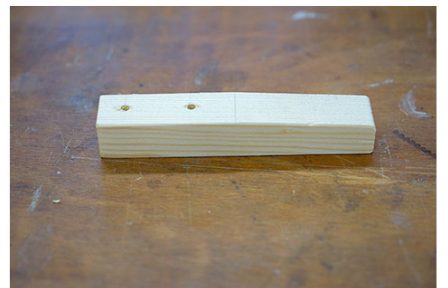
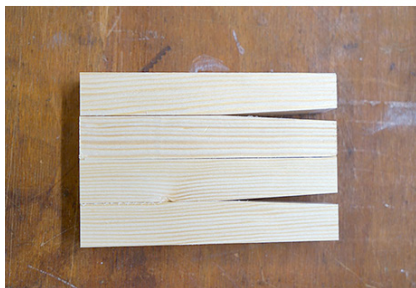
### Abdichtung:

Außerhalb der äußeren Bohrungen wird nun eine schmale Dichtung aus Moosgummi auf den Deckel geklebt. Ein Querschnitt des möglichst weichen Gummis von 2 x 5 mm ist ausreichend.



### Absenkvorrichtung:

Um den Schülern das präzise Absenken des Klemmrahmens zu erleichtern, sind konisch geformte Hölzer an den Seiten der Vorrichtung angebracht.



### Staubsaugeröffnung:

Ein einfacher Haushaltsstaubsauger ist geeignet, um im Innern der Kiste den nötigen Unterdruck zu erzeugen. Der Durchmesser der Bohrung, die durch eine Seite der Kiste gebohrt wird, richtet sich nach dem Durchmesser des Steckkonus Ihres Saugers. Eine Öffnung von 35 mm ist für viele Werkstattsauger geeignet.



### Klemmrahmen:

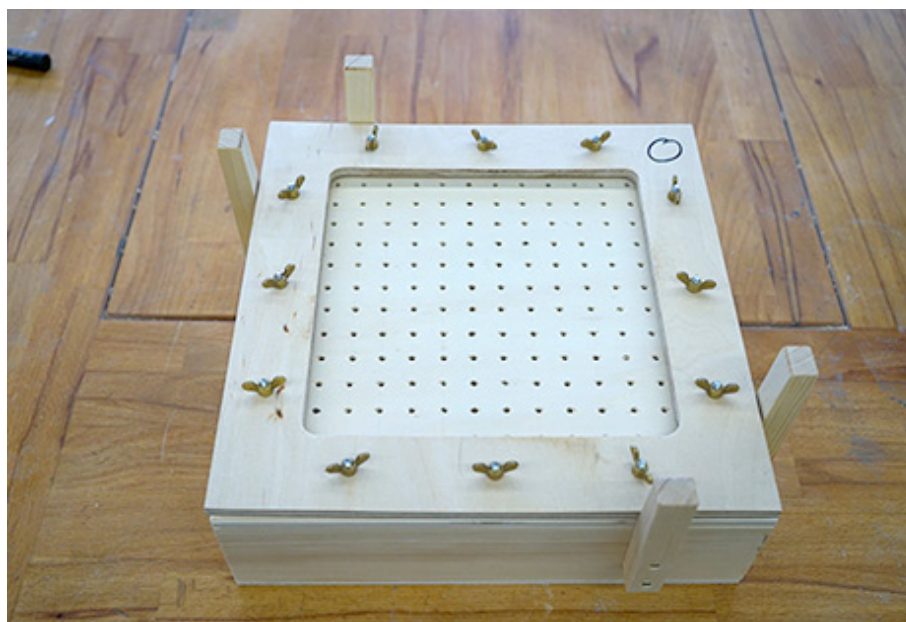
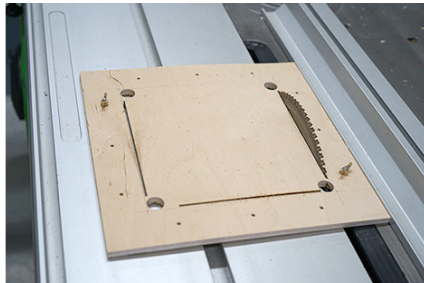
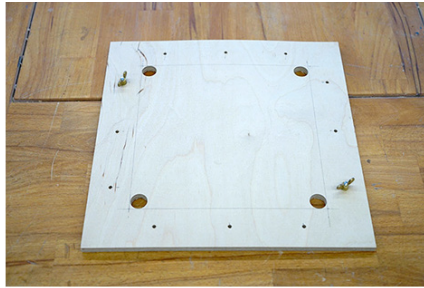
Der Klemmrahmen kann aus einem festen Sperrholz gefertigt werden. Ich empfehle Flugzeugsperrholz in 4 - 5 mm Stärke. Die Kantenlänge sollte der des Grundkörpers entsprechen. Die Breite des Rahmens sollte so gewählt werden, dass der Ausschnitt um 2 cm kleiner wird als die Kunststofffolien. Es ergibt sich somit eine umlaufende Überlappung von 1 cm. In dem vorliegenden Beispiel ist das ein liches Maß von 23 x 23 cm und eine Rahmenbreite von 5 cm.

Die beiden Rahmenteile werden mit M5 Senkkopfschrauben und Flügelmuttern aufeinander geschraubt. Dazu wird mittig in den Rahmen in gleichmäßigen Abständen Bohrungen mit 5,5 mm Durchmesser gebohrt und von der Unterseite so mit einem Senker nachgebohrt, dass der Kopf der Senkkopfschraube mit der Unterseite des Rahmens bündig abschließt.

Anschließend kann, um ein Herausfallen der Schrauben zu verhindern, die Unterseite des Rahmens inklusive Schrauben mit Klebeband beklebt werden.

Die beiden Rahmenteile können deckungsgleich hergestellt werden, indem diese mit doppelseitigem Klebeband oder kleinen Schrauben aufeinander moniert und gemeinsam bearbeitet werden.

*Jens Velling-Schürmann  
(Lehrstuhl für Kunstpädagogik,  
FAU Erlangen Nürnberg)*



### Geeignetes Material

Grundsätzlich lassen sich alle Folien die aus termoplastischen Kunststoffen bestehen verarbeiten. Leicht zu beschaffen und gut zu verarbeiten sind Folien aus Polystyrol. Diese Folien werden für den Modellbau verwendet und können im entsprechenden Versandhandel bestellt werden. Die Stärke der Folie richtet sich nach dem Einsatzzweck. Folien mit 0,5 mm eignen sich für Experimente. Solide Werkstück sollten eine Materialstärke von 1-2 mm aufweisen. Beachten Sie, dass durch das Tiefziehen das Material gestreckt wird. Ein Blick auf die üblichen Verkaufsportale im Internet lohnt sich. Dort werden gelegentlich Folien aus PET, PP oder PE mit leichten Verunreinigungen in verschiedenen Farben angeboten.

### Vorbereitung

Die Form wird mittig auf die Oberfläche der Tiefziehvorrichtung gelegt. Damit sich die erwärmte Folie bis in den Winkel zwischen Lochplatte und Form legen kann, ist es hilfreich durch das Unterlegen von Pappstreifen einen Millimeter Distanz zwischen den beiden zu schaffen.

### Der Vorgang

Die Folie mit den Maßen 25 x 25cm wird luftdicht zwischen die beiden Teile des Rahmens gespannt. Mit einem Heißluftgebläse oder ein Tischgrill lässt sich die Folie im Rahmen gut erwärmen. Die Dauer der Hitze einwirkung ist von vielen Faktoren abhängig und lässt sich am besten durch Versuche ermitteln. Hierbei können eine Stoppuhr und ein Infrarotthermometer gute Dienste leisten. In der Anwärmphase verhalten sich die Kunststoffe unterschiedlich. Zum Beispiel werden PS und PP mit zunehmender Erwärmung weicher. PET hingegen verfestigt sich ab ca. 150°C wieder. Obwohl es detaillierte Datenblätter zu den Folien gibt, rate ich auch hier zu einer empirischen Vorgehensweise.

Nach dem Erwärmen der Folie wird der Rahmen senkrecht über der Form abgesenkt und auf die Gummidichtung der Vorrichtung gedrückt. Bei dünnen Folien erfolgt die Abkühlung rasch. Bereits nach 10 bis 20 Sekunden kann der Sauger ausgeschaltet und die Folie aus dem Rahmen entnommen werden.

# Verpackungsdesign als Produktimage: Getränkebecherdeckel

*Die Ergebnisse des thermischen Tiefziehens aus industriellen Produktionsverfahren kennen Schülerinnen und Schüler als Alltagsgegenstände. Doch selten sind sie sich dessen bewusst, dass scheinbar banale Dinge wie ein Getränkebecherdeckel auch Produkte eines komplexen Marketingprozesses sein können, der an vorhandene Erfahrungen anknüpft und mehr beabsichtigt, als nur einen Inhalt zu schützen. Deshalb soll im Folgenden einmal versucht werden, den Entwurfsprozess im Verpackungsdesign unter Rückgriff auf ein Produktimage nachzuvollziehen. Die Herstellung des Zielobjektes macht die Schülerinnen und Schüler schließlich mit dem Fertigungsverfahren „Tiefziehen“ bekannt und ermöglicht eine authentische Überprüfung der Überlegungen.*



## thematische Eingrenzung

Ob im Fastfoodrestaurant oder vom schuleigenen Getränkeautomaten - Pappbecher mit Kunststoffdeckel sind den Schülerinnen und Schülern ein vertrauter Wegwerfgegenstand, der selten viel Beachtung erfährt. Dabei handelt es sich hierbei um ein Verpackungsstück, mit dem sie in direkten Kontakt treten und ihn auch noch mit der so intimen Stelle Mund berühren. Der Deckel trennt den Konsumenten vom eigentlichen Produkt und ist gleichzeitig Schutz und Spender – ein offenes und kommunikatives Spannungsfeld.

Diese Begegnung soll Ausgang der Auseinandersetzung sein. Es wird konkret nach einem, den Bereich Mund und Nase umfassenden, mimischen Ausdruck gesucht, der zur Berührung auffordert und dabei ein Gefühl vermittelt. Hierfür muss über das Verlangen an sich nachgedacht werden, dass der Inhalt, also das eigentliche Produkt, erfüllen bzw. zu befriedigen versprechen soll, also die Grundgedanken von Werbestrategien. Um Freiräume zu geben wird auf eine bestimmte Kundenvorgabe im Auftrag verzichtet.

Das Anfertigen einer Patrizie für die serielle Fertigung ist weiterführend Ausgang für die Auseinandersetzung mit den produktionstechnischen Besonderheiten des Tiefziehens.

## Sequenzverlauf

### Lernhandeln aktivieren: Sensibilisierung für Mimik

Um das Lernhandeln zu aktivieren, wird als Einstieg ein mimisches Ratespiel inszeniert: Kleine Lebensmittelkostproben mit verschiedenen Geschmacksrichtungen (süß, sauer, salzig, scharf, ...) sind vorzubereiten, eine Dokumentenkamera mit Beamerübertragung die Mundpartie von Vormachenden fokussieren. Freiwillige Schülerinnen und Schüler nehmen dort abwechselnd Platz und kosten. Ihre mimische Reaktion auf die Geschmäcker kann via Beamer von allen gesehen und die auslösende Geschmacksrichtung erraten werden. Hierdurch sollen die Schülerinnen und Schüler sich der Möglichkeiten eines Gesichtsausdruckes bewusster werden und einzelne Bewegungen und Muskelgruppen genauer wahrnehmen.

(Alternative: Es ist ebenfalls denkbar, dies mit Hilfe von Handykameras in Einzelgruppen vorzubereiten und die Bilder als Ratematerial zu verwenden.)

### Lernhandeln entwickeln: Erarbeitung (1) der Gestaltung

Anschließend werden den Freiwilligen statt Kostproben Wortkarten mit immer schwierigeren Begriffen wie Gefühlen (Wut, Freude, ...), Slogans aus der Werbung („So schmeckt der Sommer“) oder vermutlich bekannte Anlässe (Kuchenessen in Omas Garten, ...) gegeben, die ebenfalls mimisch zu übersetzen sind. Gerät das Spiel ins Stocken, ist der neutralgische Punkt erreicht. Ein Lebens-

gefühl oder Abstraktes umzusetzen, ist schwierig. In einem Unterrichtsgespräch können die Gründe erörtert und evtl. Vorschläge ausprobiert werden.

Schließlich erfolgt die Bekanntgabe des Zielprodukts dieser Unterrichtssequenz: Eine Getränkefirma sucht nach einer Markenstrategie und möchte über die Verpackung ein Verlangen nach dem Produkt erzeugen, das Gefühle beim Kunden auslöst und ihn zum Kauf bewegt.

Die Zielangabe der Sequenz wird durch bestehende Werbestrategien verdeutlicht, indem Anzeigen bekannter Marken nach dem AIDA-Prinzip analysiert werden (z. B. Coca Cola, Charles Wilps Fotokampagne für AfriCola, ...). Eine Irritation kann durch das „Schweppes-Gesicht“ erzeugt werden. Das Geschmackserlebnis kann also weit gefasst werden.

Es folgt der erste Arbeitsauftrag, der gestalterisches Experimentieren anregt. Als Material sollten den Schülerinnen und Schülern Spiegel, Papier und evtl. Kameras zur Verfügung gestellt werden.

### Lernhandeln ordnen:

#### Arbeitsauftrag 1

1. „Taste the feeling“ - Entscheide dich für ein (Geschmacks-)Erlebnis und beschreibe dies kurz.

2. Finde eine geeignete Mimik. Teste Gesichtsausdrücke und dokumentiere deine Versuche und Überlegungen in Schrift und Bild (Fotos, Zeichnungen).



## Zwischenbeurteilung Entwurf

Nach diesen ersten Skizzen, die sicher mit einigen Verwerfungen einhergehen, sollte eine Zwischenbesprechung angesetzt werden, um die Umsetzbarkeit zu überprüfen und hilfreiche Hinweise zu sammeln. Diese kann zunächst in der Gruppe und anschließend in individuellen Einzelgesprächen stattfinden. Um die Kreativität nicht einzuschränken, sollten produktionstechnische Anforderungen erst nach den ersten gestalterischen Entwürfen und Experimenten erarbeitet werden.

### Lernhandeln entwickeln:

#### Erarbeitung (2) der spezifischen funktionalen und produktionstechnischen Anforderungen

Anschließend wird ein gedanklicher Leitfaden für die Entwicklung der Patrize gegeben.

Bei den Anforderungen an die Deckelmatrize stehen funktionale Probleme, auch auf den Herstellungsprozess bezogen, im Vordergrund, die in der Objektanalyse eines Standardbechers geklärt werden können. Hierfür beschreiben die Schülerinnen und Schüler in einer erklärenden Zeichnung, was sie sehen, vermessen die zwei Einzelteile und halten funktionale Anforderungen fest. Entscheidende Beobachtungen betreffen den möglichen Gesichtsausschnitt, der durch die Deckelgröße festgelegt ist, den Randbereich, die Vakuumbildung an kleinen Ausformungen und den Trinkschlitz. Folgende Hinweise können herausgearbeitet werden: Der abzubildende Ausschnitt umfasst Nase, Mund und evtl. Kinn. Als Sockel oder neue Ausgangsform wird ein 1 cm hoher Becherrand mit plastischer Masse gefüllt, der die Grundplatte bildet. Beim Tiefziehen ist somit sicher gestellt, dass der Deckelrand sich über die Wulst der Becheröffnung stülpt und „einrastet“. Für eine bessere Handhabung sind an diesem Rand strukturelle Erhöhungen angebracht, die den Deckel leichter greifbar machen und ein Abrutschen verhindern. Die Stelle des Trinkschlitzes muss an einer erhobenen, randnahen und damit geeigneten Ausgussstelle liegen.

Produktionstechnisch können folgende weitere Hinweise gegeben werden: Um die Manschette des Deckels

sauber abzuschließen, sollte die Patrize auf einem kleinen Sockel (1-2 mm) platziert werden, damit sich die Folie auch wirklich bis zum Fußende anlegt und keine Falten wirft. Das formgenaue Anschmiegen erreicht man evtl. an anderen Stellen nur, wenn nach dem Modellieren einige Durchbrüche in Form von Löchern geschaffen werden, durch die die Luft abgesaugt werden kann. Generell sollten aber Hinterschneidungen vermieden werden, damit die Form wieder aus der Folie entnommen werden kann.

Um beim weiteren Vorgehen funktionale Fehlschläge zu vermeiden, werden die Anforderungen schriftlich gesichert und Rohlinge bzw. Schablonen für den Unterbau gesondert gefertigt oder zur Verfügung gestellt. Eine Überarbeitung der Studie erfolgt in der zweiten Praxisphase.

### Lernprodukt erstellen:

Darauf basierend werden die Entwürfe in plastischen Modellen umgesetzt und hinsichtlich des Ausdrucks weiter entwickelt bzw. optimiert.

### Erstellen der Patrize:

#### Arbeitsauftrag 2

##### (1. praktische Arbeitsphase)

1. Übersetze eine ausgewählte mimische Studie in eine Halbplastik. Beachte die Größenvorgabe der Grundform und die Proportionen des menschlichen Gesichts.

2. Arbeite die Randmanschette sauber aus, um die spätere Funktion zu gewährleisten. Achte auf den Durchmesser, eine leichte Taillierung sowie eine gut greifbare Oberflächentextur.

3. Platziere den Trinkschlitz an einer geeigneten Position.

4. Denke über die Positionen evtl. notwendiger Sauglöcher nach. Dies kann bei Hinterschneidungen notwendig sein. Setze so wenig wie möglich, aber so viele wie nötig um. Du kannst auch später noch ergänzen.

## Materialentscheidung Patrize

Als Material für die Patrize sollte eine Grundmasse gewählt werden, die unplastisch aushärtet und somit dem Druck im Vakuum standhält sowie nicht an Volumen verliert, um eine unkomplizierte Passung zum Becher zu ermöglichen. Als plastische Masse kommt „Clay“ (Industrie-Plastilin) aus dem Modellbau in Frage, das ein Modellieren mit vorhandenem Werkzeug zulässt. Durch Druck sind Mimikfalten und Spannungen der Gesichtsmuskeln mit den Fingern bearbeitbar. Es ist auch ein subtraktives Arbeiten denkbar: Clay kann nach dem Abkühlen geschnitzt und fein geglättet werden.

Außerdem könnte ein Grundkörper aus Modellgips angefertigt werden, der mit Hilfe von Messern und Feilen in Form gebracht wird. Durch die Zugabe von Leim (Kaseinleim) oder das Tränken in verdünntem Leim kann die Oberfläche nachträglich gehärtet werden, sodass ein häufiges Abformen ohne Bruchgefahr gewährleistet ist.

Als Alternative für dieses Vorgehen kann auch von Anfang an ein druckunempfindliches Material wie Balsaholz gewählt werden, das ohne großen Kraftaufwand spanend zu bearbeiten ist, aber auch dem Druck des Tiefziehens standhält.

## Materialentscheidung Tiefziehfolie

Kaffeebecherdeckel sind meist aus weiß durchgefärbter Polystyrolfolie (PS 06) mit 0,3mm bis 1 mm Dicke hergestellt. Da es in dieser Unterrichtseinheit um serielle Fertigung eines den Schülerinnen und Schülern aus ihrer Lebenswelt bekannten Alltagsgegenstand geht, erscheint eine authentische Materialwahl sinnvoll. Hierbei können auch theoretische Inhalte behandelt werden, wie die Polymerisation, Materialeigenschaften über die Begründung der Eigenschaft sowie eine vom Recyclingcode ausgehende Recherche zur ökologischen Problematik.

## Abformen der Patrizie (2. praktische Arbeitsphase)

Die Funktion des Tiefziehkastens wird den Schülerinnen und Schülern in einem Lehrgang (4-Schritt-Methode, vgl. Workshop und Hinweise Tiefziehen) vermittelt: Nach der Lehrerdemonstration an einem beliebigen Stück führt ein Freiwilliger die Arbeitsschritte am eigenen Werkstück kommentiert aus, sodass der Vorgang sicher nachvollzogen werden kann. Dies identifiziert auch auftretende Abformungsprobleme und ermöglicht es, konkret an den Schülerarbeiten Lösungen zu besprechen, die zu einer Überarbeitung der Patrizien führen sollten (s.o.).

Die Anfertigung der eigenen Abdrücke erfolgt selbstständig, wobei die Lehrkraft für differenzierte Hilfestellung bereitsteht. Es ist empfehlenswert, mehrere Patrizien gleichzeitig auf der Grundplatte zu platzieren, um Material zu sparen und die Wartezeit des Folienerwärmens gering zu halten.

### **Hinweise zum Tiefziehen:**

*Die eingespannte Folie muss gleichmäßig erwärmt werden. Dafür wird sie im Ofen die ganze Zeit sehr sorgsam beobachtet, denn nur so erkennt man die richtige Materialtemperatur: Erst wird sie sich wellen, dann allmählich wieder glätten und schließlich leicht durchhängen. Genau dann muss es schnell gehen! Staubsauger an, Ofen auf, Rahmen raus, und von oben zügig, geradlinig und zielstrebig auf die Tiefziehbox-Dichtung ablegen. Dann macht es „Plopp“, und das Teil ist fertig. Dünnere Folien kühlen bereits in zirka zwei bis zehn Sekunden derart ab, dass man den Staubsauger ausschalten kann. Der Rahmen kann anschließend entfernt werden.*

Ergebnisse des Tiefziehens  
mit Polystyrolfolie (0,5 mm Stärke)

## Lernhandeln und -produkt evaluieren: Zuschnitt und Funktionstest

Nach dem Entformen des Urmodells wird das Bauteil entlang der endgültigen Beschnittkontur mit einer Schere ausgeschnitten und der Trinkschlitz (Lochzange) geöffnet. Ab dem Erreichen der Raumtemperatur kann der Deckel auf einen Pappbecher aufgesetzt werden, um die Funktion zu testen. Sollte es nicht klappen, werden die Patrizien überarbeitet und ein weiterer Tiefziehdurchgang gestartet.

## Präsentation und Ausblick

Im Schulhaus können die mimischen Studien als Block an der Wand gezeigt werden. Durch das reizvolle Spiel mit Licht und Schatten an den monochromen, vielleicht sogar reinweißen Ergebnissen, wird der Fokus auf die Gestaltung gelegt.

Alternativ kann aber auch in Schaukästen die Funktionalität an Bechern gezeigt werden. Hier bietet es sich an, auch diese Pappformen passend auszugestalten oder sie sogar mit einem entwickelten Produktnamen, Merchandising-Bildern oder Skizzen zu arrangieren.

Es ist durchaus denkbar, ein weiteres gefasstes Projekt mit Kreieren eines eigenen Geschmacks anzulegen oder sogar das Erarbeitete in ein umfassendes Merchandisingkonzept mit Logo, Plakatgestaltung ect. weiterzuführen.

## Mögliche Beurteilungskriterien:

### **Verarbeitung:**

- Werden die Einzelheiten der Patrizie wiedergegeben?
- Gibt es keine störenden Falten?
- Konnte die Folie problemlos gelöst werden (Hinterschneidungen)?
- Ist der Randbereich sowie der Trinkschlitz sauber beschnitten?

### **Funktion:**

- Passt der Deckel als den Becher?
- „Rastet“ der Deckel ein?
- Ist der Trinkschlitz an einer erhabenen Stelle?

### **Gestaltung:**

- Stimmen die Proportionen mit einem menschlichen Gesicht überein?
- Ist eine deutliche Mimik erkennbar?
- Kann ein Gefühl aus der Mimik abgeleitet werden?

Meike Wagner  
(StRin i. BV. an der Staatliche  
Realschule Herzogenaurach,  
FAU Erlangen Nürnberg)



# Hinweise zu Tiefziehfolien

**Polystyrolfolie** (PS 06) mit 0,5mm bis 1 mm Dicke hat ab der Glasübergangstemperatur von ca. 100°C eine Dehnungsgrenze von 40-50% und härtet beim Abkühlen (bereits durch das Vakuumsaugen) wieder steif aus. Die optimale Temperatur kann den Datenblättern entnommen oder auch empirisch ausgetestet werden, eine geringe Reißdehnung und gute Anschließbarkeit ist bei etwa 150°C erreicht. Mit einem Infrarotthermometer kann optional gemessen werden. Dieses Material bietet einen geringen Formwiderstand und ermöglicht es den Schülerinnen und Schülern, ihre Patrizen mit vielen Details zu versehen.

Alternativ kann auch eine 1 bis 2 mm dünne **Acrylscheibe** (Polymethylmethacrylat, PMMA) verwendet werden, die jedoch spröder aushärtet und mit zunehmender Dicke besser getempert werden sollte, um Spannungsrisse zu vermeiden. Eine geringe Reißdehnung ist bei gegossenem Acrylglas (GS) bei 160-175°C erreicht, das Tempern geschieht bei 80 °C. Extrudiertes Acrylglas (XT) hat einen geringeren Formungswiderstand und ist zwischen 150 und 160°C optimal thermoplastisch, eine ausreichende Formstabilität ist bei 70 °C erreicht. Für das Tempern von dickerem Material gilt folgende Faustregel: Die Heizdauer in Stunden errechnet sich aus der Materialstärke in mm durch drei – mindestens jedoch zwei Stunden. Danach müssen die Werkstücke im geschlossenen Ofen etwa auf Raumtemperatur abkühlen, ehe Sie sie weiterverarbeiten können. Gerade bei dickeren Folien sollte man sich genau mit den Verarbeitungsbedingungen beschäftigen, allerdings ist dieses Material bruchfester, was bei einer Präsentationen der Ergebnisse im Schulhaus vorteilhaft ist.

**PVC-Folien** sind ebenfalls relativ unkompliziert, die Abformungsgenauigkeit jedoch geringer und der Preis höher als für Polystyrol und Acrylglasfolie.

**Polycarbonat** kann als Ausgangsmaterial für bruch sichere Werkstücke verwendet werden. Bedenkt man, dass auch in der Raumfahrt oder dem Flugzeugbau die Scheiben aus zum Teil verhältnismäßig dünnem Polycarbonat hergestellt werden, werden die Einsatzmöglichkeiten deutlich (Schutzbrille). Allerdings hat das auch seinen Preis und die Verarbeitung bietet einen relativ hohen Formwiderstand, weshalb die Gestaltung der Patrize stark eingeschränkt ist.

Bei **PET-Folien** ist zu beachten, dass diese sich durch ihre kristalline Struktur mit zunehmender Temperatur wieder verfestigen (Typ a, B, C, ...), was eine sehr genaue Erhitzung erfordert und im Unterricht schwieriger umzusetzen und so auch mit größerer Frustrationstoleranz verbunden ist.