

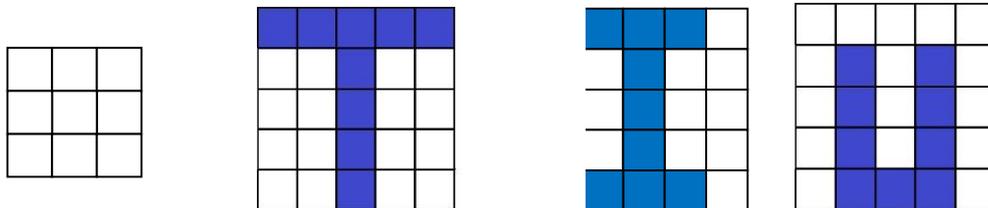
## Das technische Experiment als Basis für Optimierungs- und Gestaltungsprozesse am Beispiel von Profilen für Tragkonstruktionen

Für ein Bauvorhaben (Tragkonstruktionen wie Brücke, Turm, Mast, Schwebebahn etc.) sind geeignete Profile zu entwickeln. Damit bei Belastungstests eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse sichergestellt ist, werden die Länge und der Querschnitt – und damit das Materialvolumen - vorgegeben.

Bei der Konstruktion der Profilform wird die Fläche des Profils z.B. über 9 Quadrate mit der Größe 5 x 5 mm definiert (225mm<sup>2</sup>) und die Länge der Profile mit 200mm festgelegt.

Anzahl der Quadrate:

Beispiele:



Zunächst sollen möglichst viele Profilformen (auf Papier!) entworfen werden, aus denen die nach Einschätzung der Schüler geeignetsten für Testreihen ausgewählt werden. Weitere Vorgaben (Höhe, Breite oder Montageaspekte) können die Auswahl einschränken.

Die Profile werden aus extrudiertem Polystyrolschaum gefertigt. Das Eigengewicht der Profile bei den o.g. Abmessungen liegt je nach Dichte des verwendeten Schaums (ca. 30 bis 45 kg/m<sup>3</sup>) zwischen 1,5 und 2 Gramm! Die Materialart und das geringe Gewicht lassen die Schüler schon grundsätzlich an der Tragfähigkeit zweifeln.

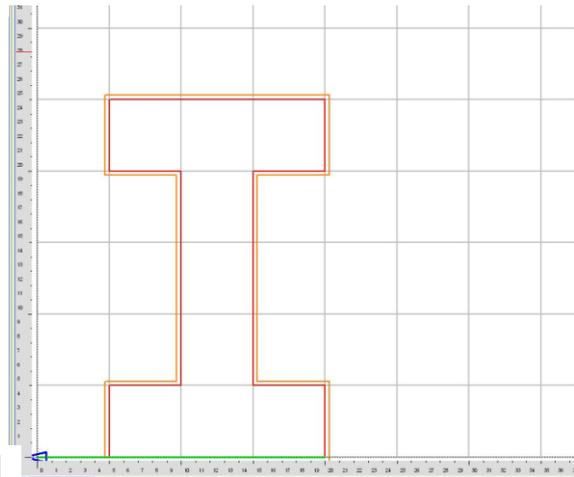


*Bedienelemente der FiloCUT3*

Die ausgewählten Profilformen können direkt mit der Schneidemaschine FiloCUT3 per Handsteuerung gefertigt werden. Dazu werden Verfahrenswegstrecken an der Maschine in x- und y-Richtung auf 5mm eingestellt und anschließend anhand der auf Papier vorliegenden Skizze per Richtungstasten

gefertigt. (Für diese Methode ist kein Computer erforderlich)

Bei Einbeziehung eines Computers lassen sich die Profile mit dem Programm FiloCAM mit Raster- und Fangeinstellung 5mm sehr schnell zeichnen. Damit die Profile mit der FiloCUT3-Maschine tatsächlich maßgetreu geschnitten werden, kann dazu auch das Bahnkorrekturverfahren eingesetzt werden. Das präzise Schneiden eines Profils mit der Maschine dauert weniger als eine Minute.



*Profilbeispiele mit Auflageblöcken*

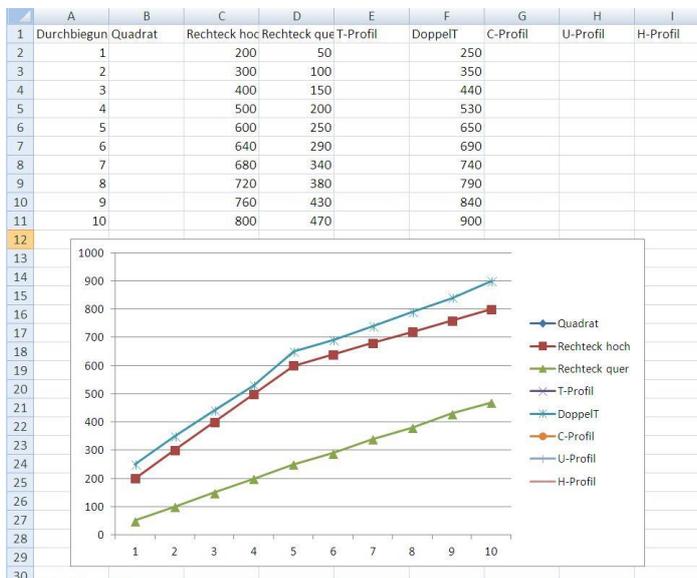
sondern nur als Auflagehilfe.

Da einige Profile aufgrund ihrer Form keine stabile Auflage haben, sollten „Auflageblöcke“ eine bessere Vergleichbarkeit ermöglichen. Diese enthalten die passgenaue Negativform der Profile, dienen aber hier nicht zum festen Einspannen der Profile,

Für die Testreihen können sehr unterschiedliche, ausstattungsabhängige Vorgehensweisen gewählt werden. In jedem Fall sollte das Prüfverfahren die Durchbiegung in mm und den zugeordneten Kraftaufwand Newton erfassen. Ein Druck-/Zug-Prüfgerät zur Ermittlung der Kräfte in Verbindung mit einer Meßuhr zur Anzeige der Durchbiegung ermöglicht die einfachste und präziseste Form der Meßwerterfassung. Notfalls kann auch der Umweg über variable Zuggewichte für die Ermittlung der Kräfte und ein Maßstab zum Ablesen der Durchbiegung genutzt werden.



Natürlich sind auch Prüfungen von fest eingespannten Profilen und Messungen von Stauchung und Streckung zur Erklärung des Materialverhaltens möglich.



Die Dokumentation kann einerseits herkömmlich in Tabellenform auf Papier erfolgen oder aber in Tabellenkalkulationsprogrammen wie Excel die Tabelleneintragen direkt grafisch dargestellt werden. In der abgebildeten Tabelle mit automatisch generierter grafischer Darstellung ist aus den 3 eingetragenen Profilauswertungen erkennbar, dass die unterschiedliche formabhängige Tragfähigkeit deutlich erkennbar wird.

Dass die „optimalen“ Profile dabei das 500-fache Ihres Eigengewichts tragen können erstaunt alle Beobachter. (Das Doppel-T-Profil trägt z.B. 1 kg!)

Da das Herstellungs- und Testverfahren mit geeigneten Mitteln sehr schnell erfolgen kann, können sich an die ersten Erkenntnisse zur Tragfähigkeit Optimierungs- und Gestaltungsversuche anschließen, um z.B. wettbewerbsmäßig ein Profil mit möglichst hoher Tragfähigkeit zu entwickeln oder über Änderung von Proportionen und Rundungen z.B. das Design zu optimieren. Insbesondere diese technischen Gestaltungsmöglichkeiten machen den besonderen pädagogischen Wert der dargestellten Vorgehensweise aus. Schüler erkunden in Experimenten nicht nur technischen Standard, sondern können eigene Lösungen entwickeln und überprüfen.

Erweiterungsmöglichkeiten:

Gießformen für Profile mit FiloCUT herstellen und mit Gips oder Feinbeton mit oder ohne Faserzusätze gießen und testen.

Anmerkung:

Versuche mit käuflichen Profilen (z.B. aus Aluminium) erfordern Prüfapparaturen nach Industriestandard, die in allgemeinbildenden Schulen nicht vorhanden sind und bieten zudem keine technischen Gestaltungsmöglichkeiten. Die weit verbreitete Arbeit mit Papierprofilen (Brückenwettbewerbe) sind als interessante Bastelarbeiten einzustufen, die aber keine fundierten Erkenntnisse zur Tragfähigkeit zulassen, da sie im Wesentlichen vom Geschick der Erbauer, dem verwendeten Papier und Klebstoff abhängig sind. Eine aussagefähige Messreihe kann damit jedenfalls nicht erstellt werden.

## Von der Handarbeit zur vernetzten Produktion

Die folgende Projektskizze zeigt auf, in welchen Etappen und Einzelschritten Schülerinnen und Schüler den grundlegenden Wandel der Produktionstechniken handelnd (nicht nur handlungsorientiert) erfahren können. Die hiermit verbundenen Lernziele sind in fast allen Lehrplänen (Technik, AL, AWT, etc.) auffindbar und so bedeutsam, dass sich eine weitergehende Ableitung erübrigt.

Das Grundgerüst bilden vier Etappen:

1. **Handwerkliche Fertigung**
2. **Mehrfachfertigung**
3. **CNC Steuerung**
4. **CUT/CAM,**

die sich jeweils in drei Phasen gliedern:

- **ermitteln der Arbeitsweise und Arbeitsabläufe.**
- **planen und erproben der Arbeitsschritte.**
- **qualitative und quantitative Auswertungen.**

Als Einstieg eignet sich eine Rückblende auf historische Produktionsweisen mit Abbildungen, Beschreibungen etc., die ein Analysieren und Bewerten der Arbeitsverfahren ermöglichen. Daran lässt sich über das Sammeln, Auflisten und Zuordnen von Tätigkeiten die erste Etappe anschließen:

### 1. Handwerkliche Fertigung

Die Gliederung der Tätigkeiten in die Schritte:

- o entwerfen, planen und skizzieren bzw. zeichnen
- o übertragen von Maßen (Anrisslinien oder auch Umrissen) auf das Material
- o bearbeiten des Materials

bildet auch die Grundlage für die anschließenden Schülerarbeiten.

Als Ausgangsmaterial steht expandiertes Polystyrol (z.B. Styropor) oder extrudierter Polystyrolschaum zur Verfügung. Den Schülern sind diese Materialien i.d.R. als Dämmstoffe bereits bekannt. Die leichte „Verletzbarkeit“ des Materials ist nicht nur als Nachteil zu sehen, sondern führt i.d.R. zu sorgfältigem Umgang! Die Kenntnis der wesentlichen Materialeigenschaften und Herstellungs- und Bearbeitungsverfahren sind eine Voraussetzung für die folgenden Arbeiten.

Hier noch ein paar kurze Hinweise zum Material:

**Expandiertes Polystyrol (EPS)** ist für Versuche und einfache Modelle gut geeignet und zudem die preisgünstigste Lösung. Die Schneideigenschaften sind weniger zufriedenstellend. Es ist zwar eine hohe Schnittgeschwindigkeit erzielbar, die aber aufgrund der unregelmäßigen und groben Binnenstruktur nicht zu gleichmäßigen Schneidkanten führt.

**Extrudiertes Polystyrol (XPS)** Hartschaum-Dämmplatten (20 bis 120 mm Dicke) eignen sich aufgrund ihrer Feinporigkeit und hohen Dichte ( bis  $45 \text{ kg/m}^3$  ), sehr gut zur Herstellung präziser Modelle (auch 3D). Die Schneideigenschaften sind trotz flammhemmender Mittel als gut zu bezeichnen. Voraussetzung für Schnittbreiten von 0,2mm sind allerdings optimale Einstellungen.

**Extrudiertes Polystyrol** „Dämmtapeten“ (3 bis 8mm Dicke) eignen sich aufgrund der **relativ** hohen Bruchfestigkeit besonders gut für Steck- und Flugmodelle. Die Schneideigenschaften sind allerdings etwas eingeschränkt, da selbst bei optimalen Einstellungen keine Schnittbreite unter 0,5 mm erzielbar ist.

Natürlich müssen die folgenden Arbeitsaufträge aufgrund der Vorkenntnisse und Leistungsfähigkeit der Lerngruppe ausgewählt, vorgegeben oder erarbeitet werden. Z.B. Buchstaben, Ziffern, Logos, Würfelpuzzle, Bausteine, Steckmodelle etc. Vorüberlegungen zu Gestaltungsmöglichkeiten Materialstärke, zeichnerischen Darstellungsmöglichkeiten und Abmessungen sollten nicht zu kurz kommen.

Bei Buchstaben und Ziffern sind einerseits Absprachen zur Größe und Strichstärke erforderlich, andererseits bietet sich die Möglichkeit einer Aufteilung in der Lerngruppe nach Leistungsfähigkeit. Analog den o.g. Schritten der handwerklichen Fertigung zeichnen die Schüler die gewählten Gegenstände mit Bemaßung und übertragen die Umriss auf das Material, wobei auf Material- und arbeitssparende Anordnung geachtet werden muss. Das Ausschneiden der Konturen mit der „Heißdrahtlaubsäge“ ist schnell erledigt. (evtl. Zeitnehmer mit Stoppuhr einsetzen.)



**„Heißdrahtlaubsäge“ in Aktion**

Es folgt die Dokumentation der Arbeitsschritte und des Zeitumfangs.

Bei der Auswertung der handwerklichen Fertigung werden die Arbeitsergebnisse und Arbeitsverfahrens überprüft (Kriterien z.B.: Maßhaltigkeit, saubere Schnitte, Arbeitsaufwand, Zeit) und die Ergebnisse festgehalten: z.B.: Maße sind nicht eingehalten und Schnitte nicht sauber. Trotz exakter Zeichnungsübertragung - verbunden mit entsprechend langer Arbeitszeit - sind die Ergebnisse unbefriedigend.

Es ergibt sich wie selbstverständlich die Frage nach den Ursachen: Selbst bei exakter Übertragung der Zeichnung ist das gleichmäßige Nachfahren der Linien von Hand nicht möglich. Hartschaum schmilzt ungleichmäßig. Insbesondere Richtungswechsel sind sehr schwierig. Auch geringere Schnittgeschwindigkeit durch reduzierten Heizstrom bringt nur geringe Verbesserungen.

Optimierungsvorschläge werden gesammelt: "Von Hand vielleicht nach sehr viel Übung zu verbessern, aber wahrscheinlich niemals perfekt herstellbar." "Mit Materialzugabe ausschneiden, um nachschleifen zu können." "Mit scharfem Messer ausschneiden." „Auf einem Tisch an Kanten entlang führen.“ „Buchstabenschablonen, die auf dem Hartschaum befestigt werden, um als Führung für den Schneiddraht zu dienen.“

Gemeinsam wird die durchschnittliche Dauer der einzelnen Arbeitsschritte ermittelt und in der Tabelle festgehalten:

Herstellungsverfahren	Arbeitsschritte	Herstellungsdauer für 1 Werkstück
Handwerkliche Fertigung	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen auf Material 3. Schneiden von Hand	5 Min 4 Min 3 Min ----- <b>12 Min</b>

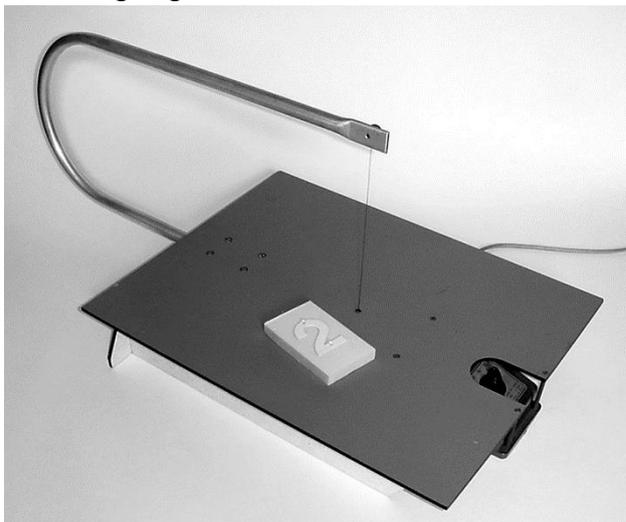
(Diese und alle weiteren Tabellen enthalten die gerundeten Ergebnisse einer Lerngruppe aus einem 8. Jahrgang. Abweichungen bei anderen Lerngruppen waren nach den bisherigen Erfahrungen immer in den für die Auswertung wichtigen Differenzen nutzbar.)

## 2. Mehrfachfertigung mit Schablonen

Die Vorschläge der Schüler werden zum Anlass genommen, eine Ablaufplanung für die Fertigung mit Schablonen zu erstellen:

- o entwerfen, planen, skizzieren bzw. zeichnen (wie bisher)
- o übertragen der Zeichnung auf das Schablonenmaterial.
- o herstellen der Schablone. (Ausschneiden)
- o befestigen der Schablone auf dem Material. (mit Nadeln)
- o ausschneiden der Formen mit Hitzedrahttisch.

Die Fertigung mit Hilfe von Schablonen wird in der vorstehenden Reihenfolge (ohne den ersten Arbeitsschritt) praktisch erprobt.



Bei der Auswertung des Herstellungsverfahrens mit Schablonen wird die Qualität der Arbeitsergebnisse überprüft. Wenn die Schablone exakt gearbeitet ist, sind die Ergebnisse bei langsamem und gleichmäßigem Vorschub wesentlich besser.

Es wird wiederum die durchschnittliche Dauer der einzelnen Arbeitsschritte ermittelt. Zeitunterschiede bei unterschiedlichen Werkstücken bieten den Anlass auch die Umrisslängen und die Schnittgeschwindigkeit zu berechnen. Überlegungen zur Mehrfachfertigung führen zur Ergänzung der Tabellen um die Berechnung der Fertigungsdauer für 100 Werkstücke.

Herstellungsverfahren	Arbeitsschritte	Fertigungsdauer für 1 Werkstück	Fertigungsdauer für 100 Werkstücke
Handwerkliche Fertigung	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen auf Material 3. Schneiden von Hand	5 Min	(1x) 5 Min
		4 Min	(100x) 400 Min
		3 Min	(100x) 300 Min
		-----	-----
		<b>12 Min</b>	<b>705 Min</b>
Industrielle Serienfertigung	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen auf Pappe 3. Herstellen der Schablone 4. Schneiden mit Schablone	5 Min	(1x) 5 Min
		4 Min	(1x) 4 Min
		4 Min	(1x) 4 Min
		2 Min	(100x) 200 Min
		-----	-----
<b>15 Min</b>	<b>213 Min</b>		

Gegenüber der 1. Fertigungsphase ist eine Mehrfachfertigung wesentlich schneller zu bewerkstelligen, da die Übertragung, Zeichnung auf das Material, nur einmal für die Schablone anfällt. Mit der Herstellung der Schablone ist ein neuer Arbeitsschritt hinzugekommen. Die Schablonen können nur für die vorher festgelegten Maße benutzt werden. Veränderungen der Schablone sind kaum möglich.

### **Die Schablone kann als fester Speicher der Werkstückform definiert werden.**

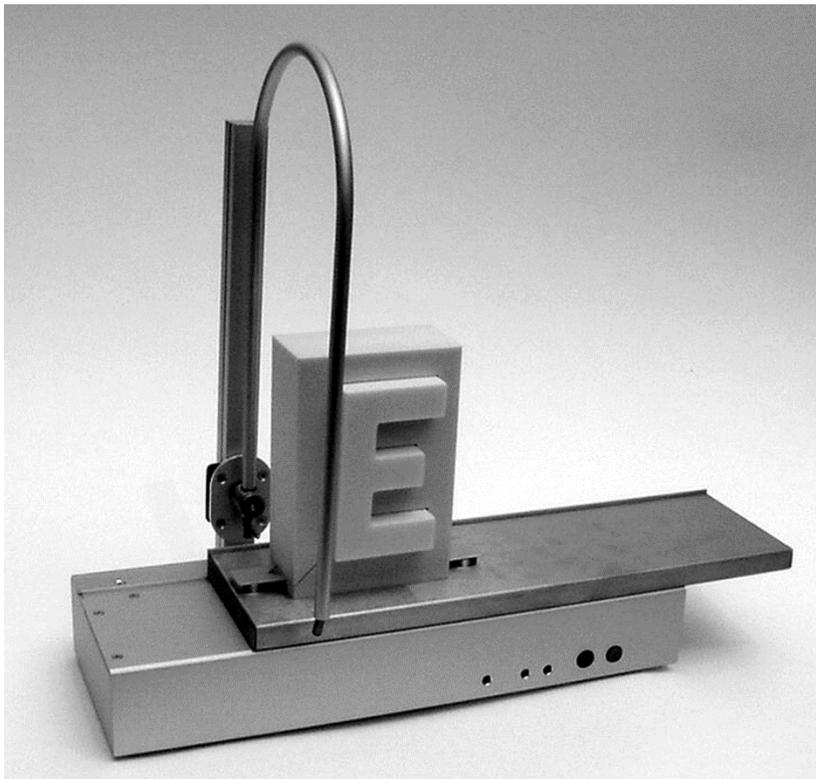
Nach Optimierungsvorschlägen, wie mehrere Materialsichten gleichzeitig zu schneiden, machen verschiedene Transferbeispiele die Parallelen zur industriellen Serienfertigung deutlich: z.B. Textilbahnenzuschnitt, Blechstanzen, Formpressen (Kostenaufwand nur bei sehr hohen Stückzahlen rentabel.) Arbeitsweisen von Kopierfräsen, -drehbänken, -drechselbänken etc. und Spritzgussformen.

Gegenüber der handwerklichen Fertigung haben sich umfangreiche Veränderungen der Tätigkeitsbereiche und Anforderungen ergeben. Eine Betriebserkundung unter technik- und berufskundlichem Aspekt ist einem Film oder Video vorzuziehen und bietet auch möglicherweise einen Übergang zur folgenden CNC-Fertigung.

### **3. CNC Steuerung**

Die Erarbeitung der Schritte zur computergesteuerten Fertigung mit CNC – Maschinen geht von der Fragestellung aus, wie numerisch gesteuerte Fräsen oder Drehbänke arbeiten. Die daraufhin erstellte Liste der Arbeitsschritte ist umfangreicher als in den vorhergehenden Etappen:

- **entwerfen, planen, skizzieren**
- **zeichnen herkömmlich**
- **Ausgangsmaterial und Werkzeug festlegen**
- **Steuerungsablauf erstellen**
- **Steuerungsdaten eingeben**
- **Programmablauf überprüfen (simulieren)**
- **Maschineneinstellungen überprüfen**
- **Material und Werkzeug einrichten**
- **Fertigungsablauf überwachen**

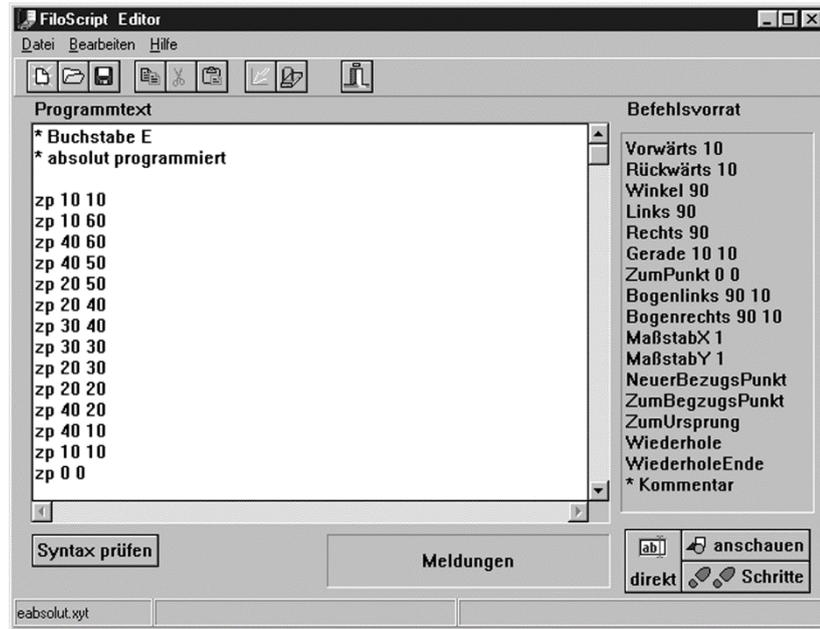


Die Vorstellung der Schneidemaschine FiloCUT als CNC-Maschine, die das gewählte Material bearbeiten kann, beschränkt sich auf die grundlegenden Bewegungs- und Positionierungsmöglichkeiten für Werkzeug (Draht) und Material. Wichtig ist dabei die Erkenntnis, dass jeder Punkt im Arbeitsbereich der Maschine wie in einem Koordinatensystem eindeutig bestimmbar sein muss.

Die Seitenzeichnungen des Gegenstandes werden - z.B. mit Hilfe der Schablonen - in ein Koordinatensystem übertragen. Bei mehreren Teilen wird die Lage durch Experimentelles Anordnen der Schablonen materialsparend optimiert.

Die Schnittfolge wird möglichst wegsparend im Uhrzeigersinn (damit das Material möglichst lange eingespannt bleibt) festgelegt und die Koordinatenwerte in dieser Reihenfolge aufgelistet. (Tipp: Zeichnen nach Zahlen)

Mit Eingabe der Koordinatenwerte im Programm FiloScript wird eine Steuerungsdatei erstellt (je nach Vorbereitung absolut (ZP) oder relativ (GE) und der Programmablauf am Bildschirm überprüft und ggf. korrigiert.



Nach Überprüfung der Einstellungen und Anpassungen von Computer(-Programm) und Schneidemaschine (Maßstab, Geschwindigkeit usw.) kann das Material auf dem Arbeitstisch positioniert und die Fertigung gestartet werden.

Die Faszination dieser ersten automatischen Fertigung eines selbst programmierten Gegenstandes erfordert üblicherweise eine Erinnerung an die Protokollierung der Herstellungszeit.

Die **Auswertung der „CNC-Fertigung“** weist in jedem Fall einen Qualitätssprung auf. Bei korrekter Anpassung erreichen die ausgeschnittenen Werkstücke eine Präzision, die keinesfalls von Hand - auch mit Schablonen - nicht erzielbar ist.

Herstellungsverfahren	Arbeitsschritte	Fertigungsdauer für 1 Werkstück	Fertigungsdauer für 100 Werkstücke
Computer unterstützte Fertigung (CNC)	1. Entwurf und Zeichnung	5 Min	(1x) 5 Min
	2. Übertragen in Koordinatensystem	5 Min	(1x) 5 Min
	3. Eingabe in Computer	5 Min	(1x) 5 Min
	4. Computergesteuertes Schneiden	1 Min	(100x) 100 Min
		----- <b>16 Min</b>	----- <b>115 Min</b>

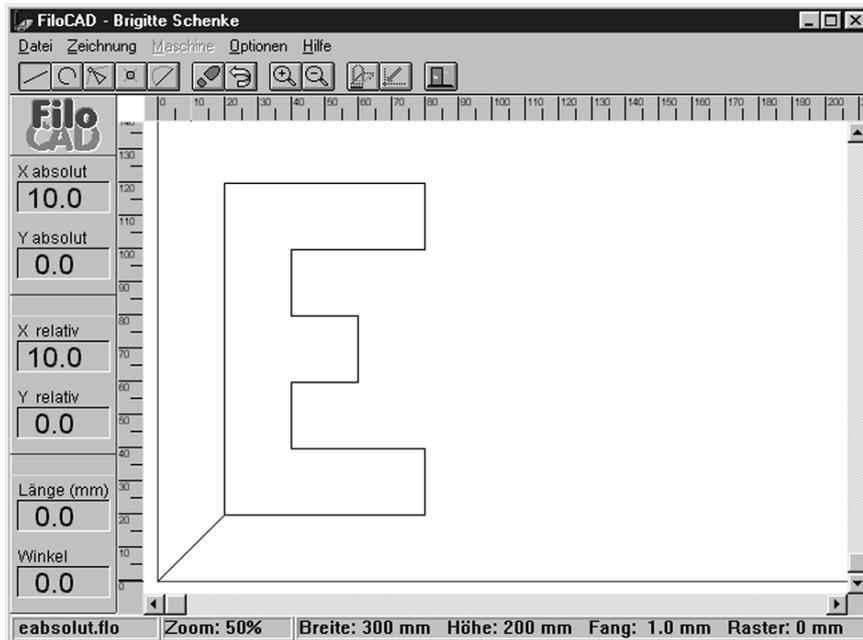
Die Mehrfachfertigung ist nochmals schneller und zudem materialsparender geworden. Gegenüber der Fertigung mit Schablonen ist also eine weitere Produktivitätssteigerung erreicht worden. Die eingegebenen Werte lassen sich korrigieren und Werkstücke leicht verändern.

**Im Steuerungsprogramm ist die Werkstückform flexibel gespeichert, d.h. sie ist leicht veränderbar.**

## 4. CAD/CAM

Bei der **CAD/CAM Fertigung** ist die Zahl der Arbeitsschritte wieder geringer:

- o entwerfen, planen, skizzieren
- o zeichnen am Bildschirm mit Eingabe der Materialdaten (Steuerprogramm wird automatisch erstellt)
- o Programmablauf überprüfen (simulieren) und an Maschine ausgeben.



Im Programm FiloCAM können die bisher von den Schülern als „CNC-Steuerungsdatei“ entwickelten Werkstücke importiert werden und dann auch als Zeichnung weiter bearbeitet werden.

Wenn keine neuen Werkstücke gezeichnet werden sollen, bietet sich mit diesem Verfahren die Optimierung der bisherigen Werkstückformen am Bildschirm an.

Nach dem Einrichten des Materials wird die Fertigung „auf Knopfdruck“ gestartet und überwacht. Die Auswertung der CUT/CAM Fertigung ergibt bezüglich der Qualität keine weitere Verbesserung. Entscheidend ist der Unterschied in den Tätigkeitsbereichen und Qualifikationsanforderungen durch den Wegfall der CNC-Programmierung. Die Dauer der Arbeitsschritte wird wieder in der Tabelle festgehalten:

Herstellungsverfahren	Arbeitsschritte	Fertigungsdauer für 1 Werkstück	Fertigungsdauer für 100 Werkstücke
Computer unterstützte Fertigung (CUT/CAM)	1. Zeichnung im Computer 2. Computergesteuertes Schneiden	5 Min	(1x) 5 Min
		1 Min	(100x) 100 Min
		----- <b>6 Min</b>	----- <b>105 Min</b>

Diese Auswertung ergibt sowohl für die Einzelfertigung als auch für die Mehrfachfertigung den geringsten Zeitaufwand.

## 5. Vernetzte Produktion

Die rasante Entwicklung der Kommunikationstechnologien hat im Produktionsbereich Wirkungen, die im Unterricht kaum vermittelt werden können. Ausgehend von der jeweiligen Ausstattungssituation sollte auch der Informationsaustausch praktiziert und reflektiert werden:

Bei **Einzelplatzrechnern** werden Dateien an den „Entwicklungsstationen“ auf Disketten kopiert und zu den „Produktionsstationen“ gebracht.

- a) Teilung des Betriebes in Entwicklungs- und Produktionsabteilungen herkömmlicher Art.
- b) Kunden liefern bereits „produktionsfertige Daten“ ihrer Aufträge ( z.B. seit langem üblich bei Platinenherstellung)

Bei *Interner Vernetzung* können die Dateien über das Netz von den „Entwicklungsstationen“ direkt an die „Produktionsstationen“ zur Ausführung weitergeleitet oder allen Stationen zur Weiterentwicklung, bzw. Überarbeitung zur Verfügung gestellt werden. (Arbeitsteilige Entwicklungsarbeiten werden erleichtert und beschleunigt)

Die *Externe Vernetzung* bietet die Möglichkeit zur Verbindung von CUT/CAM-Projekten verschiedener Schulen. Hierzu bietet sich insbesondere das Programm FiloCAM aufgrund der Konvertierungsmöglichkeiten und der Ansteuerung verschiedener Schneidemaschinen an. Weltweiter Online-Austausch von Informationen und damit auch Produktionsdaten ermöglicht die direkte Zusammenarbeit von Entwicklungsgruppen in den „Industrieländern“ mit den Produktionsbereichen in den „Märkten“.

## 6. Zusammengefasste Auswertung

Die **Weiterentwicklung der Produktionsverfahren** ist verbunden mit

- Aufteilung der Arbeit in verschiedene (neue) Arbeitsschritte (von Handfertigung zur Mehrfachfertigung mit Schablonen)
- Grundlegende Änderung der Arbeitsinhalte (von der Mehrfachfertigung mit Schablonen zur CNC-Fertigung)
- Zusammenführung von Arbeitsteilung (von der CNC-Fertigung zu CAD/CAM)
- Qualitätszuwachs der Produkte

Ihren eigenen **Produktivitätszuwachs** mit Hilfe der neuen Technologien können die Schüler anhand der Zeitdokumentation in der folgenden tabellarischen Übersicht erkennen. Damit unmittelbar verbunden ist die Erkenntnis über den Rationalisierungseffekt und die quantitativen Veränderungen im Arbeitsmarkt (Produktionsbereich).

Herstellungsverfahren	Arbeitsschritte	Fertigungsdauer für 1 Werkstück	Fertigungsdauer für 100 Werkstücke
Handwerkliche Fertigung	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen auf Material 3. Schneiden von Hand	5 Min 4 Min 3 Min ----- <b>12 Min</b>	(1x) 5 Min (100x) 400 Min (100x) 300 Min ----- <b>705 Min</b>
Industrielle Serienfertigung	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen auf Pappe 3. Herstellen der Schablone 4. Schneiden mit Schablone	5 Min 4 Min 4 Min 2 Min ----- <b>15 Min</b>	(1x) 5 Min (1x) 4 Min (1x) 4 Min (100x) 200 Min ----- <b>213 Min</b>
Computer unterstützte Fertigung (CNC)	1. Entwurf und Zeichnung 2. Übertragen in Koordinatensystem 3. Eingabe in Computer 4. Computergesteuertes Schneiden	5 Min 5 Min 5 Min 1 Min ----- <b>16 Min</b>	(1x) 5 Min (1x) 5 Min (1x) 5 Min (100x) 100 Min ----- <b>115 Min</b>
Computer unterstützte Fertigung (CUT/CAM)	1. Entwurf / Zeichnung im Computer 2. Computergesteuertes Schneiden	5 Min  1 Min ----- <b>6 Min</b>	(1x) 5 Min  (100x) 100 Min ----- <b>105 Min</b>

Die Auflistung der verschiedenen Tätigkeitsbereiche, gekoppelt mit Berufsbereichen macht einerseits den Wegfall ganzer Berufsgruppen, erhebliche Qualifikationsveränderungen in anderen Berufsgruppen sowie die Entstehung neuer Berufe deutlich. (Video: "Fabrik ohne Menschen")

Die **Produktorientierung** erlaubt darüber hinaus auch Erweiterungs- und Auswertungsmöglichkeiten in Richtung betriebswirtschaftlicher Aspekte: Investitionsaspekt, Kalkulation, Vertrieb etc.

Der weltweite Austausch von Dateien z.B. über das Internet macht die neue Flexibilität der Produktion und die Konsequenzen für den Faktor Arbeit deutlich.

Der Wechsel zwischen Spaß (an der Arbeit) und Nachdenklichkeit (bezüglich der Perspektiven) in einem für Schüler überschaubarem Zeitraum (10 bis 12 Wochen á 2 Stunden) zeigt auch die zeitökonomischen Vorteile der Arbeit mit EPS und XPS, die in den Schulen noch viel zu wenig praktiziert wird. Deshalb noch einige weitere Anregungen:

## 7. Erweiterungsmöglichkeiten

**Technische Experimente:**

- Unterschiedliche **Profile** können mit gleichbleibender Qualität hergestellt, verändert und in Belastungsversuchen verglichen werden.
- Unterschiedliche **Tragflächenquerschnitte** sind schnell hergestellt und können im Windkanal auf Strömungsverhalten untersucht werden.

### Technisches Zeichnen:

- Aus Theorie wird Praxis: Seitenansichten werden in wenigen Minuten zu einem realen Gegenstand. (z.B. einfache Bauwerke)

### Weitere Anregungen:

#### Technische Steck(bare)-Systeme entwickeln, Wohnlandschafts- Modelle, Verpackung, Modellguss, Kühl- und Warmhalte- Behältnisse.

Die **Programme** FiloCAM und FiloScript bieten vielfältige Möglichkeiten der Anpassung an die unterrichtlichen Anforderungen.

Eine Sammlung von Steuerprogrammen kann als Bibliothek genutzt werden, aus der jedes vorhandene Werkstück aufgerufen und verändert werden kann. Darüber hinaus können Steuerprogramme als Teilprogramme beliebig zusammengeführt werden. (Anwendungsbeispiel: Buchstabenbibliothek)

Steuerprogramme können auch mit Tabellenkalkulationen errechnet werden.

Bilddateien (BMP) können bei FiloCAM eingeladen und nachgezeichnet werden. (Tipp: vorher schwarz in grün oder grau umwandeln, damit die „Nachzeichnung“ immer sichtbar bleibt.)

Die mittlerweile auch im professionellen Bereich eingesetzte **Schneidemaschine** FiloCUT ist eine kompakte, schnelle und präzise Produktionsmaschine, die durch einfache Bedienung und vielfältige Schneidemöglichkeiten technische Kreativität herausfordert.

Durch Schwenken der Vertikaleinheit (y-Achse) können ohne Veränderung des Steuerprogramms geometrische Figuren transponiert werden. (Anwendungsbeispiel: aus Standardschrift wird Kursivschrift.)

Durch Voreinstellung der Schnittachse (Z-Achse) in beliebige Winkel gegenüber x- und y-Achse lassen sich vielfältige räumliche Effekte erzielen.

Mit einem Drehtischzusatz lassen sich leichter Schnitte an 3-D-Teilen in vorgewählten Winkeln realisieren.

Mit einem Kegelschnittzusatz (mehr für den professionellen Bereich) lassen sich nicht nur Kegelschnitte sondern auch gleichmäßig verjüngende Profile beliebiger Art erstellen.