

# **Galvanoformen von Kupferbauteilen auf Basis von 3D - gedruckten Modellen**

19.03.2026

**Verfasser:**

Louis Bauer (21 Jahre alt)

Azubi zum Technischen Produktdesigner, Fachrichtung MAK

**Klasse:** 12TPD

**Lehrkraft & Ansprechpartner:**

StD Andreas Herger

**Schule:**

Städtische Berufsschule 1 (der Bebo-Wager-Schulen)

Haunstetter Str. 66, 86161 Augsburg

## **Inhaltsverzeichnis**

<b>1 Einleitung</b> .....	3
1.1 Leitfrage.....	3
1.2 Motivation & Zielsetzung .....	3
<b>2 Versuchs-Aufbau</b> .....	4
2.1 Formmodelle .....	4
2.2 Leitfähige Beschichtung.....	4
2.3 Badchemie & Elektrochemischer Prozess.....	4
2.4 Entfernen der Kunststoffform .....	5
2.5 Mögliche Metalle & Legierungen .....	6
2.6 Allgemeine Hinweise .....	6
2.7 Sicherheit & Umwelt .....	7
<b>3 Visuelle Veranschaulichung</b> .....	7
<b>4 Praktisches Experiment</b> .....	8
<b>5 Fazit</b> .....	11
<b>6 Verwendete Hilfsmittel</b> .....	11

## 1 Einleitung

### 1.1 Leitfrage

Können selbstentworfene Metallteile komplexerer Form im privaten/kleinen Maßstab durch verhältnismäßig einfache Verfahren hergestellt werden?

### 1.2 Motivation & Zielsetzung

In dieser wissenschaftlichen Arbeit befasse ich mich im erweiterten Sinne mit dem Thema des Galvanoformens.

Dabei wird elementares, solides Kupfer elektrochemisch als Schicht(-en) auf ein leitfähiges Modell aufgebracht.

Festes Kupfer wird in einer wässrigen, leitfähigen Lösung (meistens: Kupfersulfat + Säure) elektrochemisch in Ionen aufgelöst. Diese Ionen lagern sich als elementares Kupfer auf einer leitenden Oberfläche an. Diese Oberflächen werden als 3D-gedruckte Modelle durch das FDM-Druckverfahren aus Kunststoffen hergestellt. Vor dem Galvanisieren müssen die gewünschten Flächen noch durch z.B. Graphitleitlack elektrisch leitend gemacht werden.

Die Schichtqualität und die benötigte Zeit lassen sich durch verschiedene Parameter im Versuch einstellen. Realistische Bauteile sind hier Kupferteile bis 5mm Stärke oder beschichtete Kunststoff Bauteile.

Es sind auch Bauteile aus anderen Elementen mit anderen Eigenschaften wie Kupfer möglich, siehe: 2.5 Mögliche Metalle & Legierungen.

Die Idee hierzu ist mir im Unterricht (Fach: Planung und Konstruktion) bei Herr Herger gekommen. Dort haben wir Bauteile im CAD modelliert und mit den 3D-Druckern der BS1 gedruckt. Ich habe mir Gedanken gemacht, wie man damit, relativ einfach, metallische Bauteile herstellen kann. Nach kurzer Recherche bin ich auf das Verfahren der Galvanik und später des Galvanoformens gestoßen, welches ich weiterverfolgt habe. Die Idee habe ich nach erfolgreichen Tests in der Schule vorgestellt, was positiv aufgefasst wurde und ich nun auch hier präsentiere.

## 2 Versuchs-Aufbau

### 2.1 Formmodelle

Die Modelle die als Urform dienen müssen erst in einem CAD-System (hier: Autodesk Inventor) ausgelegt und erstellt werden. Im Vorfeld muss überlegt werden, wie das fertige Teil aussieht und wie stark die Wände sein sollen. Anhand dieser Überlegung kann das Modell als Negativ-Form erstellt werden, welches anschließend als neutrales Datenformat (hier: .stp) in einen Slicer (hier: Bambu Studio) geladen wird. Im Slicer werden die ersten Einstellungen gemacht, zur Schichthöhe des Drucks, der Oberflächenqualität und des Materials. Über den Slicer wird der 3D-Drucker angesteuert, der das Modell entsprechend druckt.

Es muss für den späteren Prozess die Größe der zu beschichtende Oberfläche  $A$  (z.B. in  $mm^2$ ) berechnet werden. Das kann direkt im CAD gemacht werden, indem man die Fläche mit dem Werkzeug „Messen“ anklickt, so wird automatisch die Fläche in  $mm^2$  berechnet und ausgegeben.

### 2.2 Leitfähige Beschichtung

Wenn der Druck abgeschlossen ist, kann das Bauteil aus dem 3D-Drucker entnommen werden. Um eine metallische Beschichtung zu ermöglichen, muss die gewünschte Fläche elektrisch leitfähig gemacht werden. Dafür verwende ich Grafit Spray, welches für eine optimale Leitfähigkeit in mehreren Schichten aufgetragen wird.

Durch Kapillar-Kräfte und das Sprühverfahren verteilt sich das Grafit auch auf Flächen, die nicht beschichtet werden sollten. Diese Flächen werden nachbearbeitet, bis kein Grafitlack mehr sichtbar ist.

So können selektiv Flächen gewählt werden, welche eine metallische Beschichtung erhalten sollen.

### 2.3 Badchemie & Elektrochemischer Prozess

In einer wässrigen Lösung aus Kupfersulfat ( $CuSO_{4(aq)}$ ), verdünnter Säure und Glanzmittel (z.B. Spülmittel oder Fructose) befinden sich eine Kupferanode ( $Cu_{(s)}$ ) und das leitfähige Bauteil als Kathode.

Die Kupferanode wird an den + Pol am Netzteil angeschlossen, das Bauteil als Kathode am – Pol.

Am Ende des Schrittes „2.1 Formmodelle“ wurde bereits die benötigte Oberfläche  $A$  mithilfe des CAD berechnet, dieser Wert wird jetzt benötigt um die benötigte Stromstärke  $I$  zu berechnen. Dafür wird eine Stromdichte  $\vec{j}$  nach Qualitätsanforderung gewählt, je kleiner, desto besser die Qualität aber desto länger die benötigte Beschichtungs-Zeit. Als Standardwert kann eine Stromdichte von  $30\text{mA}/\text{mm}^2$  gewählt werden, das ist ein guter Kompromiss aus Zeit und Qualität.

Um die benötigte Stromstärke zu erhalten, wird die Stromdichte mit der Fläche multipliziert:

$$I = \vec{j} \cdot A$$

$$I = 30\text{mA}/\text{mm}^2 \cdot 50\text{mm}^2$$

$$I = 1,5\text{A}$$

Die benötigte Spannung ist abhängig von Anoden- und Kathodenabstand, der Bad-Temperatur und der genauen Badzusammensetzung.

Diese Spannung und Stromstärke werden an einem Labornetzteil eingestellt, anschließend wird der Strom auf die Anode und Kathode gegeben.

Im Prozess passiert folgendes:

An der positiven Kupferanode werden den festen Kupferatomen ( $\text{Cu}_{(s)}$ ) jeweils zwei Elektronen entzogen (sie werden oxidiert), dadurch gehen sie als positiv geladenes Kupferion in die Lösung ( $\rightarrow\text{Cu}^{2+}_{(aq)}$ ) über. Diese Ionen werden zur negativen Kathode gezogen und erhalten dort wieder zwei Elektronen, wodurch das Kupferion zum Kupferatom reduziert wird ( $\rightarrow\text{Cu}_{(s)}$ ). So wird der Kunststoffkörper Atom für Atom beschichtet. Durch den Ionentransport ist der Stromkreis geschlossen.

#### 2.4 Entfernen der Kunststoffform

Wenn die Metallschicht ausreichend stark ist, kann der Kunststoffkörper entfernt werden. Entweder wird er mechanisch zerkleinert oder thermisch bzw. chemisch aufgelöst, so wird nur der Kunststoff aufgelöst und die Metallstruktur bleibt erhalten. Das Lösungsmittel kann wiederaufbereitet und für das nächste Bauteil verwendet werden.

## 2.5 Mögliche Metalle & Legierungen

Mögliche (häufig für Galvanik verwendete) Metalle:

- Gold (Au) +1,42
- Silber (Ag) +0,80
- Kupfer (Cu) +0,34
- Zinn (Sn) -0,14
- Nickel (Ni) -0,25
- Eisen (Fe) -0,44
- Chrom (Cr) -0,71
- Zink (Zn) -0,76

Legierungen sind ebenfalls möglich, wichtig sind hier die Elektrochemischen Spannungen der einzelnen Elemente, diese dürfen nicht „zu weit“ auseinander liegen, ansonsten wird das edlere Metall bevorzugt abgeschieden.

## 2.6 Allgemeine Hinweise

Der Kunststoffkörper sollte keine Hohlräume haben, da er sonst auf der Lösung schwimmen würde, entweder müssen offene Räume oder völlig gefüllte Räume vorgesehen werden.

Die Layerhöhe beim 3D-Druck sollte möglichst fein gewählt werden, da das spätere Modell die Form 1:1 übernimmt. Bei großen Rillen würden später auch große Rillen sichtbar sein, was Optik und mögliche Funktion beschränkt.

Um die Abscheidung gleichmäßig zu halten, sollte die Lösung immer in Bewegung sein. Dafür kann ein Magnetrührer oder eine Pumpe verwendet werden, wichtig ist, dass es eine möglichst lineare Strömung von der Anode zur Kathode gibt.

Scharfe Kanten sollten möglichst vermieden werden, hier lagert sich das Metall nicht gleichmäßig wie auf Flächen und Rundungen ab.

Es sind Schichten bis 5mm gut realisierbar, die Geschwindigkeit und Qualität lassen sich über die Parameter am Netzteil einstellen. Mit steigender Geschwindigkeit sinkt die Qualität des Bauteils.

## 2.7 Sicherheit & Umwelt

Die Sicherheit für Mensch und Umwelt hat immer Priorität!

Die Lösung enthält Kupfersulfat mit verdünnter Säure, es sind im Umgang immer Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille zu tragen.

Bei Augen- oder Hautkontakt muss die betroffene Stelle sofort mit Wasser abgespült werden.

Die Verwendung muss unter guter Belüftung oder einem Luftabzug erfolgen.

Die Lösung ist stark färbend, Kontakt mit Hausrat und Kleidung sollte also vermieden werden.

Kupferionen sind schädlich für Mikroorganismen, Lösungen müssen also gesammelt und als Chemie-Abfall entsorgt werden. Mögliche Abgabestellen für die Lösungen sind Kommunale Sammelstellen wie z.B. auf Wertstoffhöfen oder die Mobile Schadstoffsammlung.

Die Lösung darf keinen Falls im Abfluss entsorgt werden.

Die Lösung darf nicht in metallischen Behältern aufbewahrt werden, diese werden korrosiv angegriffen, es müssen fachgerechte Kunststoff-Behälter gewählt werden.

## 3 Visuelle Veranschaulichung

Um den Ablauf verständlich darzustellen habe ich selbstständig eine ausführliche 3D-Animation mit der Animationssoftware Blender erstellt. Alle visuellen Inhalte sind selbst modelliert, texturiert, animiert und geschnitten. Die Stimme ist KI-generiert.



[https://www.bs1-augsburg.de/files/mopics/Galvanoformen\\_Animation.mp4](https://www.bs1-augsburg.de/files/mopics/Galvanoformen_Animation.mp4)

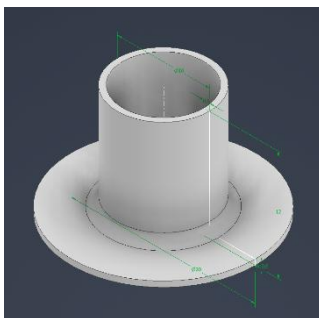
## 4 Praktisches Experiment

Dieses Verfahren habe ich in kleinem Maßstab bereits getestet, dabei habe ich eine einfache Kupferhülse hergestellt:

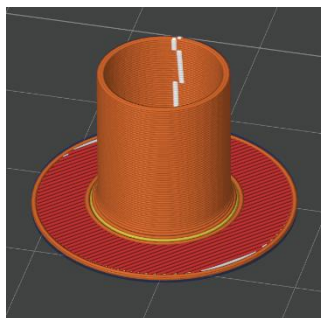


*Fertige  
Kupferhülse*

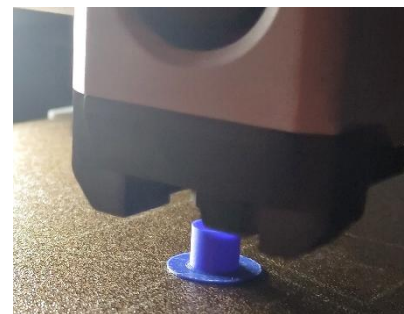
Die Kupfersulfatlösung habe ich bei einem Chemie-Händler fertig gemischt gekauft, das Urmodell habe ich im CAD gezeichnet, in den Slicer übertragen und aus PLA gedruckt. Anschließend habe ich drei Graphitschichten aufgetragen und es mit einer Kupferanode in die Lösung gegeben. Die Stromstärke habe ich wie oben beschrieben berechnet und mit einer empfohlenen Spannung von 1,5V am Netzteil eingestellt.



*Hülse im CAD*



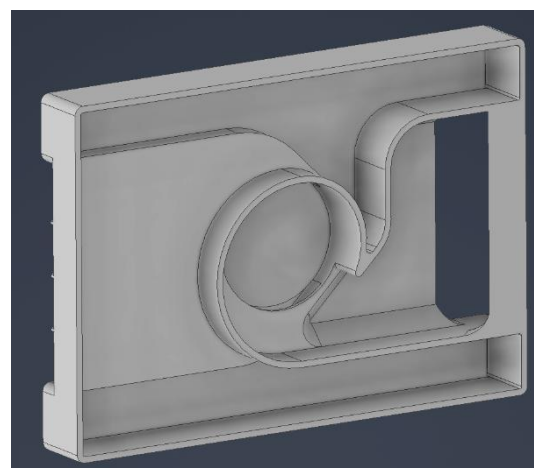
*Hülse im Slicer*



*Hülse wird aus PLA  
gedruckt*

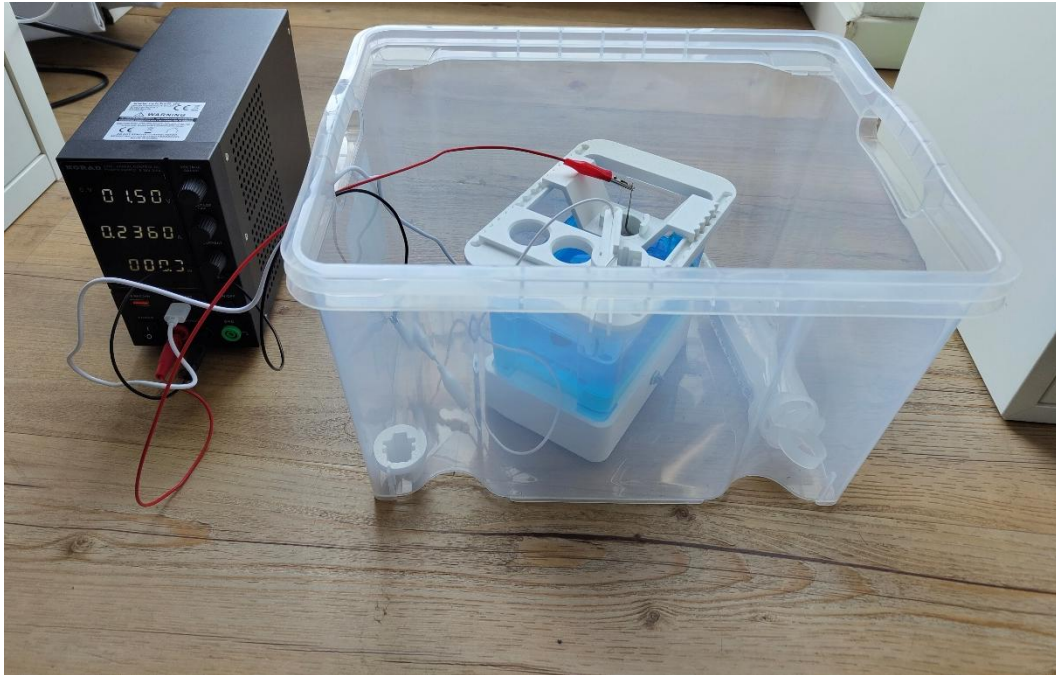
Nach ca. drei Stunden habe ich das Bauteil aus der Lösung entnommen, die entstandene Schicht war ungefähr 0,2mm stark. Daraufhin habe ich den Kunststoff vorsichtig mechanisch entfernt und das reine Kupferteil erneut für weitere sieben Stunden unter Strom in die Lösung gegeben. Anschließend war die Schicht ca. 1mm stark, was für dieses Experiment mehr als ausreichend war.

Für meinen Aufbau habe ich eine kleine Kunststoffbox aus PP auf einen optimierten Magnetrührer gestellt, in welche ich die Lösung gefüllt habe. Um eine gerichtete Strömung zu erhalten habe ich eine Pumpenplatte entwickelt und aus chemisch stabilem PETG 3D-gedruckt, welche den Vortex des Magnetrührers in eine lineare Strömung umwandelt.



*Pumpenplatte, Unterseite*

Als Sicherheitsausrüstung habe ich Schutzhandschuhe und eine Schutzbrille verwendet und den Versuch am weit geöffneten Fenster durchgeführt. Der gesamte Aufbau war in einer weiteren großen PP Box, um mögliches Aus- bzw. Überlaufen und Spritzer aufzufangen.

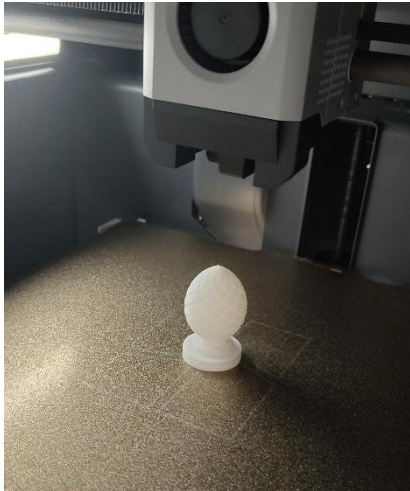


*Gesamter Aufbau*

Aus Platz-, Kosten- und Sicherheitsgründen habe ich nur eine Kupferlösung verwendet.

Als nächsten Test wollte ich die Zirbelnuss als Kupferteil galvaniformen. Das Formmodell habe ich aus PVB (ein Ethanol-löslicher Kunststoff) gedruckt und anschließend fünf Mal mit Grafit-spray beschichtet. Beim Grafit-beschichten ist schon aufgefallen das die Kanten nicht sauber abgebildet werden.

Trotzdem wollte ich testen, wie der weitere Verlauf ist, also habe ich das Modell unter Strom in die Lösung gegeben.



*Zirbelnuss wird aus PVB gedruckt*



*Zirbelnuss wird mit Grafit beschichtet, Kanten sind nicht sauber*



*Ergebnis: Erster Galvanik-Test*

Nach ca. 6 Stunden habe ich den Versuch aus Zeitgründen beendet, das Modell entnommen und abgetrocknet. Dabei ist aufgefallen, dass es noch nicht vollständig beschichtet und die Kupferschicht an den Kanten nicht stabil war.

Daraus kann ich folgende Schlüsse ziehen:

- Kanten am Modell sollten immer mit großzügigen Rundungen versehen werden.  
→ bessere Kanten
- PVB sollte im direkten Vergleich zu PLA getestet werden, um das Grund-Material als Fehlerquelle auszuschließen.  
→ bessere Grafit-Haftung
- Das Modell sollte, wenn es größer ist, an mehreren Stellen mit dem Stromkreis verbunden werden.  
→ schnellere Beschichtung

Aus zeitlichen und platzbedingten Gründen habe ich diese Versuche nicht weiterverfolgt.

Nach den Experimenten habe ich die Lösung in einem fachgerechten Kunststoff-Behälter gelagert.

## 5 Fazit

Mit der Methode des Galvanoformens sind kleine Bauteile hoher Präzision aus verschiedenen Metallen möglich. In speziellen Nischen werden ähnliche Verfahren verwendet, z.B. sind einige Triebwerk-Brennkammern der NASA aus Galvanischem Nickel. Im privaten Bereich sind damit Metallbauteile realisierbar, für die man sonst teure und große Maschinen wie SLS-Drucker oder herkömmliche CNC-Fräsen braucht. Insofern ist die von mir entworfene Methode für technische Bauteile in Verbindung mit 3D-Druck, meines Wissens, einzigartig. Das Verfahren des Galvanoformens ist kommerziell nicht weit verbreitet/bekannt, bietet aber dennoch eine, im Vergleich, sehr kostengünstige und weiter ausbaufähige Möglichkeit eigene Metallbauteile herzustellen.

Auch als reine Kunststoffbeschichtung ist es ein interessantes Verfahren, einerseits zur Optik, andererseits auch für besser Oberflächeneigenschaften wie (Luft-)Reibung oder mechanische Stabilität.

Das macht das Thema für mich sehr interessant und es freut mich das es begrenzt auch (mit Vorsicht, guter Planung und ausreichend Platz) im privaten Rahmen möglich ist.

## 6 Verwendete Hilfsmittel

Software:

- CAD: Autodesk Inventor Professional 2024
- Slicer: Bambu Studio
- Animation (etc.): Blender 4.5 LTS
- KI-Stimme: elevenlabs.io → Felix Serenitas

Hardware:

- 3D-Drucker: Bambu Lab P1S
- Netzteil: KORAD U202
- Magnetrührer

Material:

- PLA (Polylactid)
- PETG (Polyethylenterephthalat-Glycol)
- PVB (Polyvinylbutyral)
- Grafit spray
- Kupfersulfatlösung
- Kupfer