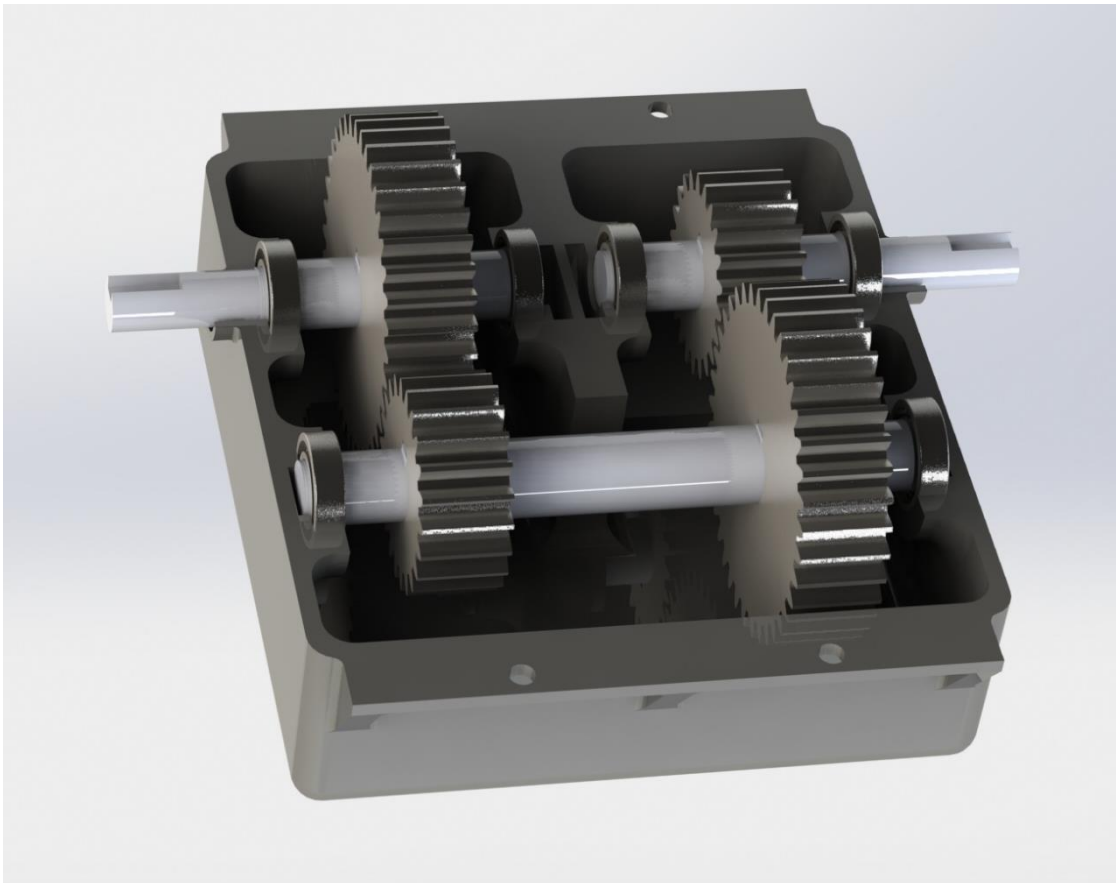


**TEKO**

# Entwicklung und Herstellung eines Getriebes

Diplomarbeit: Techniker HF Maschinenbau



Andreas Müller (Z-TMA-20-T-a)  
10-25-2023

# Inhaltsverzeichnis

Management Summary:.....	3
Einleitung:.....	4
Ausgangslage:.....	5
Aufgabenstellung:.....	6
Vorstudie:.....	7
Terminplan Soll:.....	8
Mögliche Risiken:.....	8
Grobkonzept:.....	10
Skizzen:.....	10
Herstellungsauswahl:.....	12
FDM Druck:.....	12
Materialien:.....	17
Alltags Filamente:.....	18
Spezielle Filamente:.....	21
Layout:.....	25
Druckfehler:.....	27
„Slicing“ Programm:.....	35
Einstellungen:.....	36
Berechnungen:.....	38
Bekannte Werte:.....	43
Übersetzungen (Zahnräder):.....	44
Wellenberechnungen:.....	46
Welle 3:.....	47
Welle 2:.....	51
Welle 1:.....	54
Passfederberechnung:.....	58
Lagerberechnungen:.....	59
Berechnungsanalyse:.....	60
Zahnrad berechnungen:.....	61
Solid Works (CAD):.....	63
Welle 1 und 3:.....	63
Welle 2:.....	64
Zahnrad z1 und z3:.....	65

Zahnrad z2 und z4:.....	66
Getriebe Gehäuse:.....	67
Getriebe Unten: .....	67
Getriebe Oben: .....	68
Getriebe zusammgebaut: .....	70
Schutzkappe: .....	74
Ist Zeitplanlan:.....	76
Kosten:.....	78
Produkt Bewertung: .....	80
Welle 1 und 3:.....	81
Welle 2: .....	82
Zahnrad 1 und 3:.....	82
Zahnrad 2 und 4:.....	84
Das Gehäuse: .....	85
Gehäuse zusammgebaut: .....	87
Erreichte Ziele: .....	88
Kurbelzahl Reduktion: .....	88
Material Auswahl: .....	88
Größe vom Getriebe: .....	88
Funktionierendes Getriebe:.....	88
Reflektion:.....	89
Schlusswort: .....	90
Literaturverzeichnis:.....	91
Anhänge:.....	93
Wörter Reduktionsanfrage:.....	93
Betreuungs Protokoll (Bemerkung) : .....	94
Lebenslauf .....	101
Qualifikationsprofil .....	102
Zeichnungen:.....	104
Selbstständigkeitserklärung: .....	109

## Management Summary:

Zweck dieser Arbeit ist die Entwicklung eines effizienten Mechanismus zur Reduzierung der Ausfahrzeit von Markisen in privaten Haushalten. Die herkömmliche manuelle Methode, die bis zu 70 Umdrehungen erfordert, ist zeitaufwendig und oft mühsam für die Benutzer. Daher konzentriert sich dieses Projekt auf den Entwurf, die Berechnung und die Herstellung eines kompakten Getriebes mittels 3D-Drucktechnologie, das die Anzahl der notwendigen Umdrehungen signifikant reduziert.

Der primäre Ansatz besteht darin, ein spezialisiertes Getriebe zu konstruieren, das die Ausfahrzeit durch Senkung der erforderlichen Umdrehungen von 70 auf unter 30 verkürzt. Dabei ist es entscheidend, dass das Getriebe ein Volumen nicht größer als das eines Fußballs aufweist, um die Einsetzbarkeit und Ästhetik des Systems zu gewährleisten. Die Verwendung von 3D-Drucktechnologie spielt eine zentrale Rolle im Entwicklungsprozess, da sie eine schnelle Prototypenherstellung, Kosteneffizienz und die Möglichkeit zur Anpassung an spezifische Anforderungen bietet.

Die Ziele des Projekts wurden erfolgreich erreicht, indem jede Phase – von der Konzeption über die Berechnung bis hin zur Konstruktion und Herstellung – sorgfältig geplant und umgesetzt wurde. Besondere Aufmerksamkeit galt der Auswahl vorteilhafter Materialien für die Bauteile des Getriebes, um sowohl die Funktionalität als auch die Langlebigkeit des Endprodukts zu gewährleisten.

Durch präzise Berechnungen, innovative Konstruktionsansätze und die effektive Nutzung von 3D-Drucktechnologie ist es gelungen, ein Getriebe zu entwickeln, das die Kriterien für Leistung, Größe und Benutzerfreundlichkeit erfüllt. Das Endprodukt demonstriert nicht nur die Machbarkeit des Konzepts, sondern auch dessen praktische Anwendbarkeit in einem realen Szenario.

Diese Arbeit trägt somit wesentlich zur Optimierung von Heimautomatisierungslösungen bei und zeigt das Potenzial für weitere Innovationen in diesem Bereich auf. Sie dient auch als Referenz für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsprojekte, indem sie fundierte Erkenntnisse und einen bewährten Ansatz für die Integration von modernen Fertigungstechniken in praktische Anwendungen bietet.

## Einleitung:

Die Optimierung des Bedienkomforts in privaten Haushalten ist ein kontinuierliches Bestreben, das maßgeschneiderte Lösungen und Innovationen erfordert. Insbesondere die Mechanismen von Sonnenschutzsystemen, wie beispielsweise Markisen, bieten Potenzial für Verbesserungen, da konventionelle Ausfahrmethoden oft manuell und ineffizient sind. Diese Diplomarbeit konzentriert sich auf die Entwicklung eines individualisierten Kunststoffgetriebes unter Verwendung von 3D-Drucktechnologien, mit dem Ziel, die Effizienz und Benutzerfreundlichkeit des Ausfahrens von Markisen zu steigern.

Die Anwendung des 3D-Drucks in diesem Projekt ist eine strategische Entscheidung, die durch Vorteile wie schnelleres Prototyping, Kosteneffizienz und Anpassungsfähigkeit des Verfahrens begründet ist. Das zu entwickelnde Getriebe besteht aus speziell ausgewählten Kunststoffmaterialien, die eine optimale Balance zwischen Leichtigkeit und struktureller Integrität gewährleisten. Diese Arbeit dokumentiert den gesamten Prozess der Entwicklung, Berechnung und Herstellung des Produkts.

Ziel ist es, die Machbarkeit und Wirksamkeit moderner Fertigungsansätze bei der Lösung alltäglicher Probleme aufzuzeigen. Diese Diplomarbeit dient somit nicht nur als Beispiel für die Anwendung innovativer Techniken zur Steigerung des häuslichen Komforts, sondern auch als wertvolle Referenz für zukünftige Projekte in diesem Bereich.

## Ausgangslage:

Eine Markise im privaten Garten benötigt 70 Umdrehungen, bis sie vollständig ausgefahren ist. Je nach Bediener kann dieser Vorgang bis zu einer Minute dauern. Daher soll ein Getriebe entwickelt werden, um die Ausfahrzeit zu verkürzen.



Die Markise wird mit einer Stange und einem Hebel durch Kurbeln, in Bewegung gesetzt.



## Aufgabenstellung:

Um die lange Ausfahrzeiten zu überschreiten, soll ein Getriebe entwickelt und schlussendlich hergestellt werden. Diese Arbeit beinhaltet nicht den Einbau des Getriebes, sondern nur die Herstellung.

### Ziele:

- Die Drehzahlen zum Ausfahren sollen von 70 auf mindestens 30 reduziert werden.
- Das Getriebe darf nicht größer sein als das Volumen eines Fußballs ( $5790 \text{ cm}^3$ )
- Es sollen vorteilhafte Materialien zugeteilt werden.
- Die Berechnungen müssen korrekt sein (soweit es basierend auf den Angaben des Materialherstellers möglich ist)

## Vorstudie:

### **Vorstudie:**

- Ziele definieren
  - Max Grösse des Getriebes definieren
  - Grobe Überstzung vordefinieren
  
- Sich über die Herstellung Informieren
  - Materialien Auswahl
  - Schwierigkeitsgrad und mögliche Probleme
  
- Verfügbarkeit von CAD-Software
  - Solid Works abonieren

## Terminplan Soll:

Der Soll-Plan ist so konzipiert, dass der Start (Nummer 1) der 21. August ist und das Ende (Nummer 59) auf den 20. Oktober fällt.

Das Projekt wurde in drei Teile gegliedert: Berechnungen, Konstruktion und schließlich die Herstellung des Getriebes. Sicherheitshalber wurde jedem Bereich ein ähnlicher Zeitraum zugewiesen, um Spielraum zu haben.

## Mögliche Risiken:

- **Herstellung per 3D-Druck:**  
Bei der Herstellung kann vermutlich am meisten schief laufen. Druckfehler können auftreten oder die Präzision der Maschine kann Probleme verursachen..
- **Berechnung:**  
Es fehlen einige Angaben vom Filamenthersteller, wodurch die Berechnung einige Schwierigkeiten aufweisen könnte.

# Getriebe Entwicklung

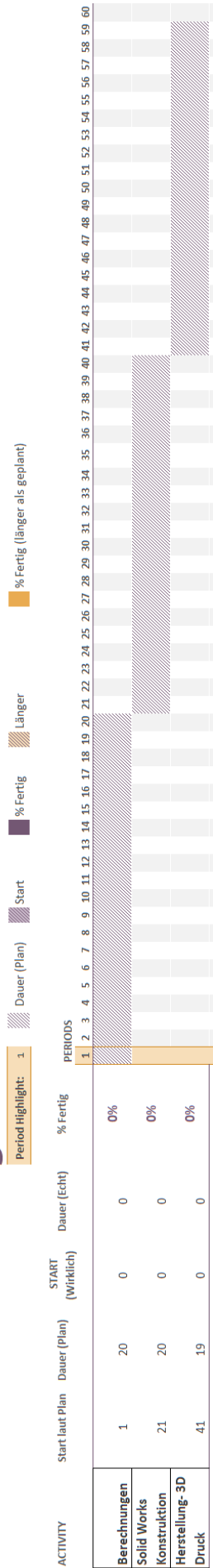


TABELLE 1: SOLL PLANUNG

## Grobkonzept:

Auf Grundlage der in der Vorstudie gesammelten Informationen kann eine grobe Darstellung des Getriebes in Form einer Skizze angefertigt werden.

## Skizzen:

Ein Zweistufiges Stirnradgetriebe hat für diese Applikation am meisten Sinn ergeben, da ein Zweistufiges Getriebe sehr vielseitig ist.

Vorteile für diese Anwendung:

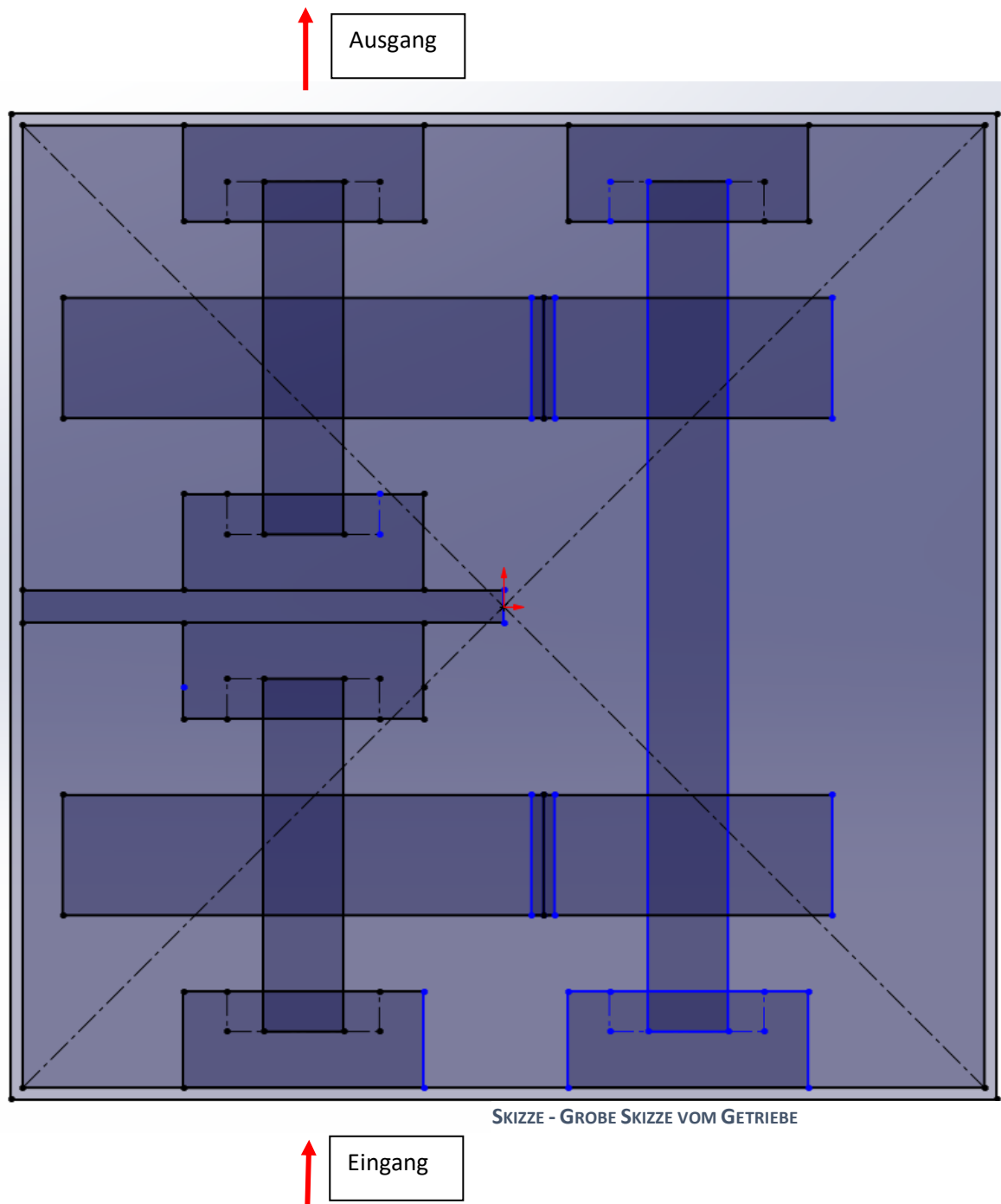
- Übersetzungsverhältnis:

Ein zweistufiges Stirnradgetriebe ermöglicht die Kombination von zwei verschiedenen Übersetzungsverhältnissen. Dies ermöglicht es, die Geschwindigkeit und das Drehmoment effektiv zu steuern und an die Anforderungen der Anwendung anzupassen

- Kompaktheit:

Im Vergleich zu einstufigen Getrieben mit dem gleichen Übersetzungsverhältnis können zweistufige Getriebe kompakter sein. Sie benötigen weniger Raum in der horizontalen Richtung, was in beengten Umgebungen von Vorteil ist

Hier ist eine grobe Skizze des Getriebes, von oben betrachtet. Die Maße sind abhängig davon, wie groß beziehungsweise welche Übersetzung die Zahnräder haben werden.



## Herstellungsauswahl:

Die traditionelle Herstellung eines solchen Getriebes würde erhebliche Kosten verursachen und einen erheblichen Zeitaufwand bedeuten, da konventionelle Fertigungsmethoden oft mit einem umfangreichen, manchmal komplizierten Herstellungsprozess und höheren Materialkosten verbunden sind.

Angeichts dieser Faktoren stellt der 3D-Druck eine optimale Lösung dar, besonders wenn es um ein relativ simples Getriebe geht, das keiner hohen Beanspruchung ausgesetzt ist. Diese Technologie ermöglicht nicht nur eine kosteneffizientere Produktion, sondern bietet auch die Flexibilität, Anpassungen im Design rasch umzusetzen, was wiederum die Entwicklungszeit signifikant verkürzt.

## FDM Druck:

“Fused Deposition Modeling” (FDM) ist eine 3D-Drucktechnologie, bei der ein dreidimensionales Objekt schichtweise aufgebaut wird, indem geschmolzenes Material durch eine Düse extrudiert und auf eine Bauplattform aufgetragen wird. Hier ist eine kurze Erklärung des Prozesses:

### 1. Materialvorbereitung:

Der 3D-Drucker verwendet in der Regel thermoplastische Filamente, die auf Spulen aufgewickelt sind. Diese Filamente werden in den Drucker eingesetzt.



ABBILDUNG 1: EINE ROLLE FILAMENT AUS KOHLENVERSTÄRKTEM NYLON

## 2. Extrusion:

Das Filament wird durch eine erhitzte Düse geschoben, wo es schmilzt und flüssig wird. Die Düse bewegt sich über die Bauplattform und trägt das geschmolzene Material in dünnen Schichten auf.

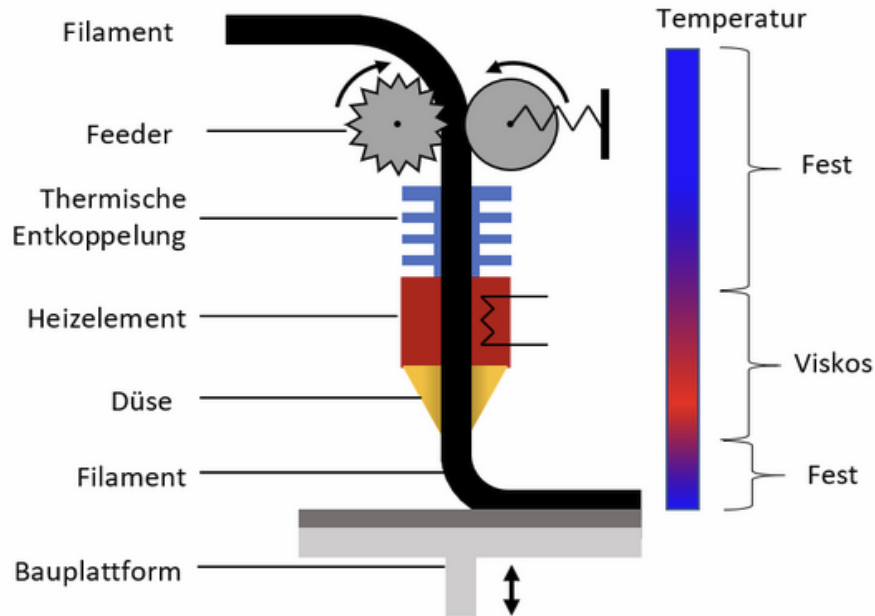


ABBILDUNG 2: FUNKTION DER DÜSE

## 3. Schichtweiser Aufbau:

Das Objekt wird Schicht für Schicht aufgebaut, wobei jede Schicht fest wird, sobald das geschmolzene Material abgekühlt ist. Dieser schichtweise Aufbau ermöglicht die Erstellung komplexer geometrischer Formen.

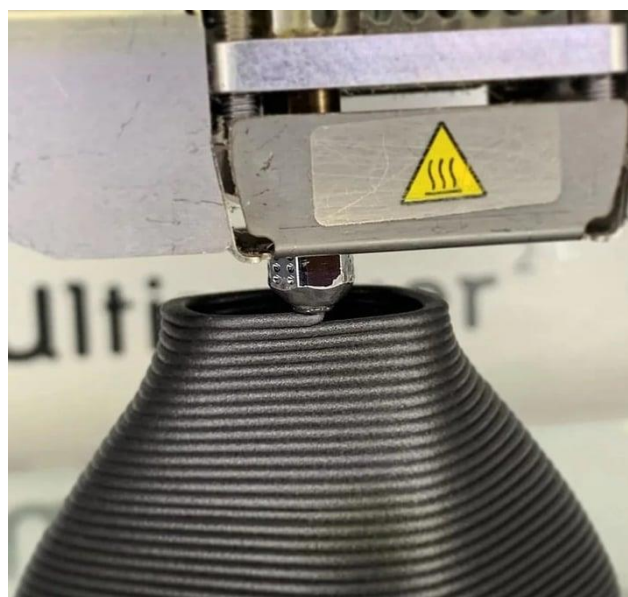
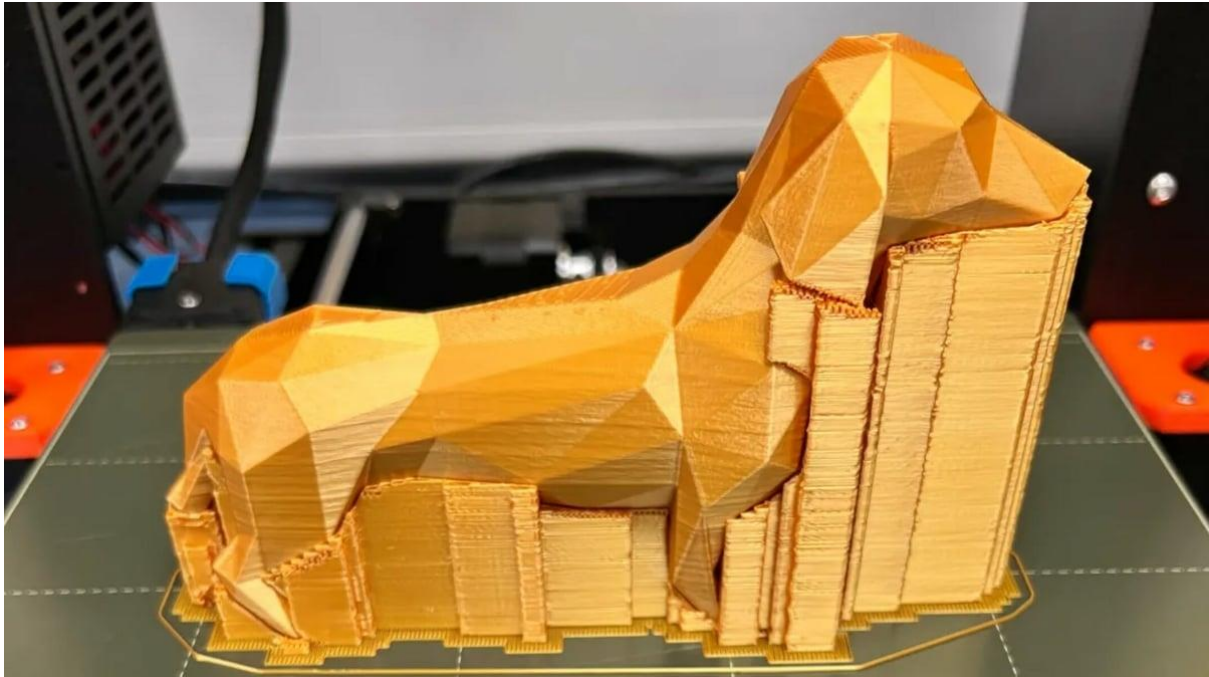


ABBILDUNG 3: NAHAUFNAHME DER EINZELNEN SCHICHTEN, DIE BEIM DRUCKEN AUFGEBAUT WERDEN

4. Stützstrukturen:  
Bei Bedarf werden Stützstrukturen gedruckt, um überhängende Teile zu stabilisieren, bis sie aushärten können.



**ABBILDUNG 4: EIN FDM DRUCK MIT STÜTZSTRUKTUREN AN STEILEN WINKEL ODER AN ÜBERHÄNGE, UM EINEN SAUBEREN DRUCK ZU VERSICHERN**

5. Aushärtung und Abkühlung:  
Nachdem das Objekt vollständig gedruckt ist, wird es in der Regel abgekühlt und aushärten gelassen.



**ABBILDUNG 5: FERTIG GEDRUCKTER MÜLLEIMER, DEN MAN SELBER GEDRUCKT HAT, WELCHER AM ABKÜHLEN IST**

Der FDM-3D-Druck ist weit verbreitet und beliebt aufgrund seiner Benutzerfreundlichkeit und der Möglichkeit, eine Vielzahl von Materialien zu verwenden. Er wird in verschiedenen Bereichen eingesetzt, vom Prototypenbau und der Produktentwicklung bis hin zur Herstellung von maßgeschneiderten Teilen und Modellen.

## Materialien:

Alle folgenden aufgelisteten Materialien sind aus Thermoplasten. Thermoplaste sind Kunststoffe, die bei Erwärmung verflüssigt und bei Abkühlung wieder erstarrt werden können, ohne ihre chemische Struktur wesentlich zu verändern.

Diese Wiederholbarkeit des Schmelz- und Erstarrungsprozesses unterscheidet sie von Duroplasten und Elastomeren.

Bekanntere Beispiele sind **PLA**, **ABS**, **PETG**, **Nylon** und **TPU**. Aufgrund ihrer Verarbeitungsfähigkeit sind sie besonders beliebt in Spritzgussverfahren, Extrusion und 3D-Druck. Ihre mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften können durch Additive, Füllstoffe oder die Verarbeitungsbedingungen variiert werden.

Die Schmelzpunkte liegen etwa zwischen 105 °C und 350 °C. Somit sind diese Thermoplaste ein perfekter Werkstoff für Hobby-3D-Drucker, da es auf dem Markt recht günstige Drucker gibt, die bis zu 300 °C drucken können.

Drucker, die 300 °C oder mehr erreichen, fallen bereits in die Kategorie der industriellen Herstellung und sind somit preislich für den alltäglichen Hobby-Drucker weniger interessant.

Ein Hobby-3D-Drucker verlangt keine speziellen Eigenschaften vom Material, wenn es um das fertige Produkt geht. Er möchte lediglich ein Filament, das stabil ist und sich leicht drucken lässt. Besser gesagt, legen Hobby-Drucker eher Wert auf das Äußere.

Die Materialien könnten somit in zwei Gruppen eingeteilt werden, Alltags Filamente und Spezielle Filamente.

\*Es gibt zwar noch weitere Filamente, die hier nicht aufgelistet werden, doch handelt es sich um die am weitesten verbreiteten Filamente.

## Alltags Filamente:

In dieser Gruppe geht es hauptsächlich um das Aussehen eines fertig gedruckten Teils, und nicht darum, wie zugfest oder stabil ein 3D-Druck ist. Somit sind die folgenden Filamente kostengünstiger und in vielen Farben erhältlich.

### PLA:

PLA (Polylactide) ist ein biologisch abbaubarer Kunststoff, der aus erneuerbaren Rohstoffen wie Maisstärke oder Zuckerrohr hergestellt wird und deswegen unter 3D Drucker sehr beliebt ist.

- **Vorteil:** Umweltfreundlich, einfach zum Drucken, Ideal für Detaillierte Drucke
- **Nachteil:** weniger hitzebeständig und eine geringere strukturelle Festigkeit als einige andere Filamentarten



ABBILDUNG 6: EIN "BENCHY" AUS PLA MIT VERSCHIEDENEN FARBEN

**PET G:**

Im Vergleich zu PLA ist PetG (Polyethylenterephthalatglykol) widerstandsfähiger gegenüber höheren Temperaturen und Chemikalien und bietet eine ausgezeichnete Schlagfestigkeit. Es hat die Fähigkeit, klare Drucke zu erzeugen und ist bekannt für seine gute Schichtadhäsion und Zähigkeit, was es zu einer guten Wahl für funktionale Prototypen und mechanische Teile macht.

- **Vorteil:** gute Balance zwischen Festigkeit und Benutzerfreundlichkeit, beständig gegenüber Wasser und vielen Chemikalien
- **Nachteile:** weniger hitzebeständig und eine geringere strukturelle Festigkeit als einige andere Filamentarten



ABBILDUNG 7: EIN "BENCHY" AUS PET G

**ABS:**

ABS (Acrylnitril-Butadien-Styrol) ist ein erdölbasierter Kunststoff, der oft in der Herstellung von 3D-Druckobjekten verwendet wird. Es ist bekannt für seine hohe Festigkeit, Steifigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber hohen Temperaturen.

- **Vorteile:** hohe Festigkeit und Temperaturbeständigkeit, langlebige und funktionale Teile
- **Nachteile:** anfällig für Verzug beim Drucken, während des Druckprozesses entstehen unangenehme Dämpfe



ABBILDUNG 8: EIN "BENCHY" AUS ABS. DIE QUALITÄT NIMMT EIN WENIG AB, KANN ABER MIT EINSTELLUNGEN VERBESSERT WERDEN.

## Spezielle Filamente:

### ASA:

ASA (Acrylester-Styrol-Acrylnitril) ist ein thermoplastisches Filament, das für seine hohe Wetter- und UV-Beständigkeit bekannt ist. Es ist ein beliebtes Material für Außenanwendungen und behält seine mechanischen Eigenschaften auch unter langanhaltender Sonneneinstrahlung bei.

- **Vorteil:** hohe Wetter- und UV-Beständigkeit, ähnliche Festigkeit wie ABS
- **Nachteil:** ein wenig Benutznerfreundlicher als ABS aber trotzdem schwierig zum Drucken, eher für Funktionale Teile



ABBILDUNG 9: EIN "BENCHY" AUS ASA. ZWEI VERSCHIEDENE DRUCK VERSUCHE MIT VERSCHIEDENEN EINSTELLUNGEN.

**TPU:**

TPU (Thermoplastisches Polyurethan) ist ein flexibles, haltbares Filament, das in 3D-Druckern verwendet wird, um weiche, biegsame Objekte zu erstellen. Es gibt das Filament in verschiedene Härten.

- **Vorteil:** flexible, vibrationsaufnahme
- **Nachteile:** Druckfreundlichkeit



ABBILDUNG 10: EIN "BENCHY" AUS TPU. DER DRUCK, FLEXIBEL UND QUALITÄT ERSTAUNLICH GUT

**Nylon:**

Nylon (Polyamid) ist ein robustes, verschleißfestes und chemisch beständiges Filament für den 3D-Druck, das für die Herstellung von starken, langlebigen Teilen geeignet ist.

- **Vorteil:** hohe Festigkeit, Verschleißfestigkeit und chemische Beständigkeit
- **Nachteil:** sehr hygroskopisch (saugt Feuchtigkeit auf) welches das Drucken sehr schwierig machen kann  
(Die meistverwendete Nylon Filamente sind PA6 und PA12. PA12 ist sehr ähnlich von den Eigenschaften her und saugt weniger Feuchtigkeit auf)



**ABBILDUNG 11: EIN "BENCHY" AUS NYLON. WIE MAN SEHEN KANN MIT DEN RICHTIGEN EINSTELLUNGEN, KANN ALSO GUTE QUALITÄT ERREICHT WERDEN**

**Carbon-Nylon:**

Carbon-Nylon, eine Kombination aus Nylon-Filament und Carbonfasern, bietet erhöhte Festigkeit, Steifigkeit und Leichtigkeit, ideal für hochbelastbare Teile.

- **Vorteile:** Festigkeit und Haltbarkeit von Nylon mit der erhöhten Steifigkeit und Leichtigkeit von Carbonfasern kombiniert
- **Nachteile:** eher für Funktionelle Teile, Das Filament wirkt sehr abrasiv und eine normale Düse ist somit nicht dafür geeignet



ABBILDUNG 12: EIN "BENCHY" AUS CARBON-NYLON MIT DER TYPISCHEN MATTEN OBERFLÄCHE

## Layout:

Beim 3D-Druck bezeichnet das Layout die Anordnung und Ausrichtung eines Objekts auf der Druckplattform.

### **Druckqualität:**

Die Ausrichtung eines Objekts kann die Oberflächenqualität beeinflussen. Die gegen die Druckplatte gerichtete Seite kann beispielsweise glatter sein als andere, die frei im Raum gedruckt werden.

### **Stabilität während des Drucks:**

Ein stabiles Layout kann dazu beitragen, das Risiko von Druckabbrüchen oder Verschiebungen während des Druckvorgangs zu verringern.

### **Stützstrukturen:**

Die Ausrichtung des Objekts kann die Menge und die Position der benötigten Stützstrukturen beeinflussen. Diese Strukturen können Materialverbrauch und Nachbearbeitungszeit erhöhen.

### **Druckdauer:**

Die Höhe des Objekts und seine Ausrichtung können die Druckgeschwindigkeit und somit die gesamte Druckdauer beeinflussen.

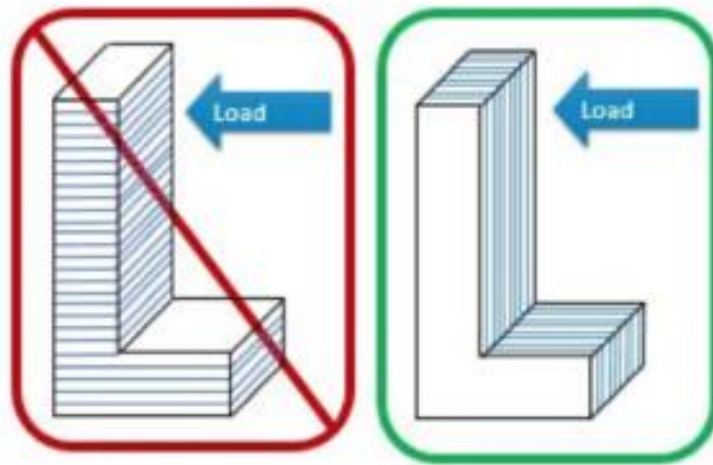
### **Materialverbrauch:**

Eine effiziente Anordnung und Ausrichtung kann dazu beitragen, den Materialverbrauch zu minimieren.

**Mechanische Eigenschaften:**

Die Druckrichtung kann die mechanischen Eigenschaften des gedruckten Teils beeinflussen, da die Schichtadhäsion in der Regel schwächer ist als die intrinsische Festigkeit des Materials in der Schicht.

Ein gut durchdachtes Layout kann also Zeit und Material sparen, die Druckqualität verbessern und die mechanischen Eigenschaften des gedruckten Teils optimieren.



**ABBILDUNG 13: HIER IST ZU SEHEN WIE EIN LAYOUT EINEN UNTERSCHIED MACHEN KANN**

## Druckfehler:

Druckfehler sind Produktionsfehler, die während dem Drucken, aus irgendeinem Grund ein Ausschuss Produzieren. Je nach Fillament können immer neue Probleme auftreten, also muss man jedes Fillament einzeln justieren.

Es ist wichtig, diese Probleme zu beheben, um qualitativ hochwertige 3D-Drucke zu erhalten.

### „Under-Extrusion“:

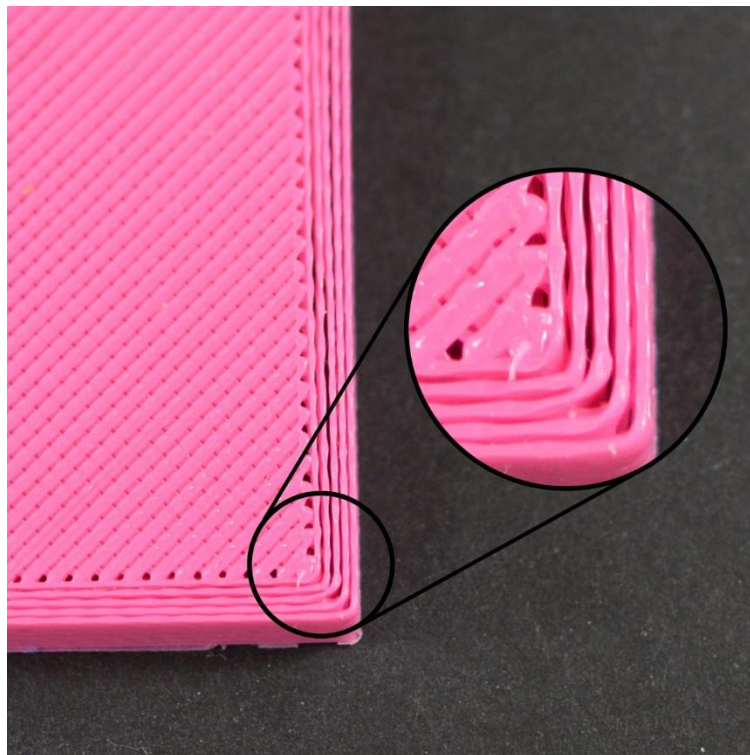


ABBILDUNG 14: „UNDER-EXTRUSION“

Under-Extrusion beim 3D-Drucken tritt auf, wenn der 3D-Drucker nicht genügend Material aus der Druckdüse herausdrückt, um eine solide Schicht oder ein solides Objekt zu erzeugen. Dies kann dazu führen, dass das gedruckte Teil unvollständig ist, Löcher oder Schwachstellen aufweist und möglicherweise nicht die gewünschten Abmessungen oder Eigenschaften hat.

Under-Extrusion kann durch verschiedene Faktoren verursacht werden, darunter Verstopfungen in der Düse, falsch eingestellte Druckparameter oder unzureichende Materialzufuhr.

„Over- Extrusion“:

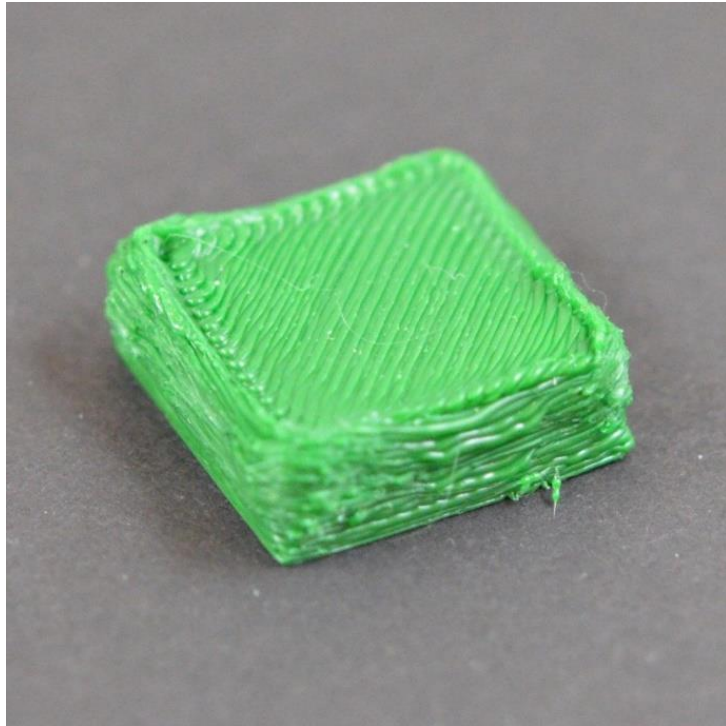


ABBILDUNG 15: "OVER-EXTRUSION"

Over-Extrusion beim 3D-Drucken tritt auf, wenn zu viel Druckmaterial aus der Düse gedrückt wird. Dies kann dazu führen, dass das gedruckte Objekt überfüllt ist, ungenaue Abmessungen aufweist und möglicherweise unsauber aussieht.

„Stringing“ oder „Oozing“:

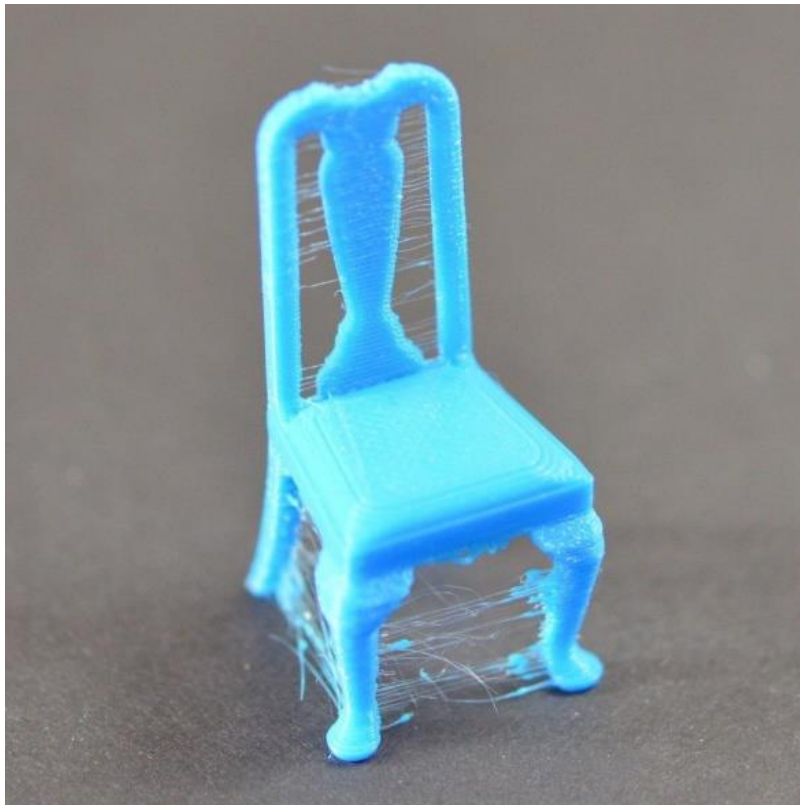


ABBILDUNG 16: "STRINGING"

Stringing oder Oozing beim 3D-Drucken tritt auf, wenn dünnflüssiges Material (wie geschmolzenes Filament) zwischen Druckkopf und verschiedene Punkte des gedruckten Objekts fließt und dünne "Fäden" oder "Tropfen" hinterlässt. Dies kann unerwünschte Verbindungen zwischen Teilen des Drucks verursachen und die Druckqualität beeinträchtigen. Stringing tritt oft aufgrund falscher Einstellungen wie zu hoher Drucktemperatur oder unzureichender Retraktion auf.

„Layer Shifting“:

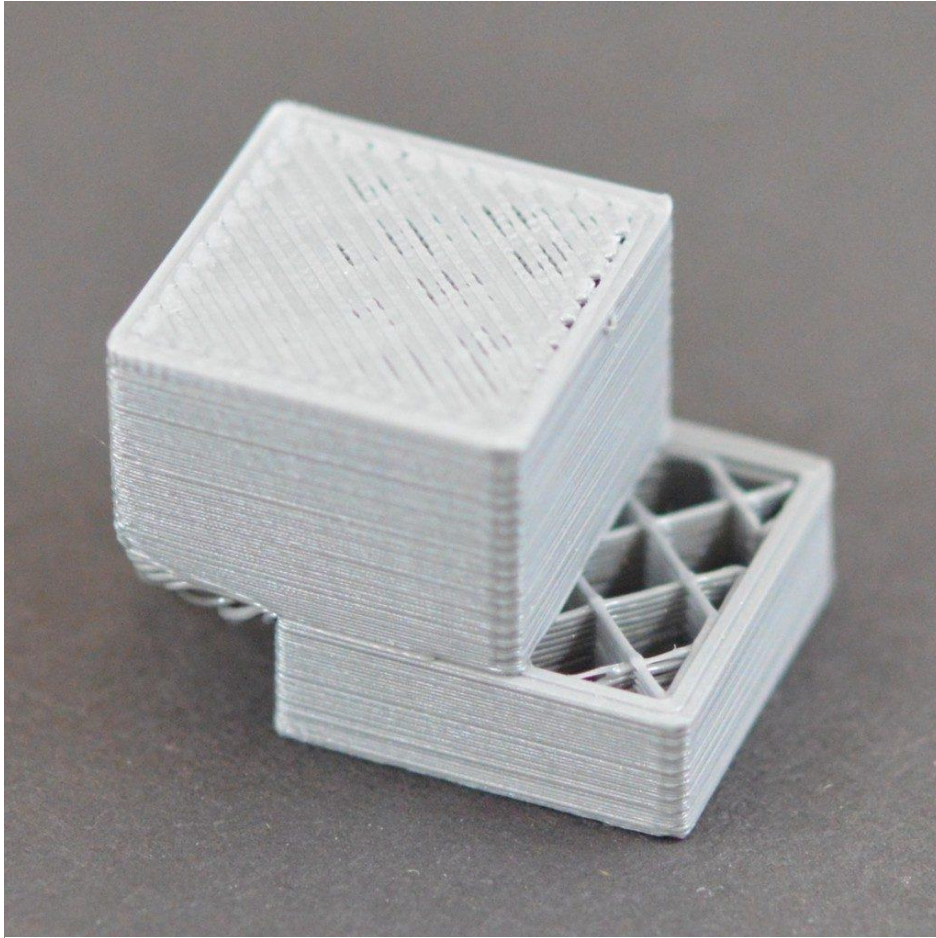


ABBILDUNG 17: „LAYER SHIFTING“

Layershifting beim 3D-Drucken tritt auf, wenn der Druckkopf während des Druckvorgangs unabsichtlich seine Position auf der Druckebene ändert. Dies führt dazu, dass Schichten im gedruckten Objekt nicht richtig ausgerichtet sind, was zu Verzerrungen und Qualitätsproblemen führt. Layershifting kann durch mechanische Probleme, wie schlecht geschmierte oder lose Bauteile im Drucker, verursacht werden.

Es kann auch vorkommen, dass in der Programmiersprache was schief lief beim sogenannten „slicing“.

„Warping“:

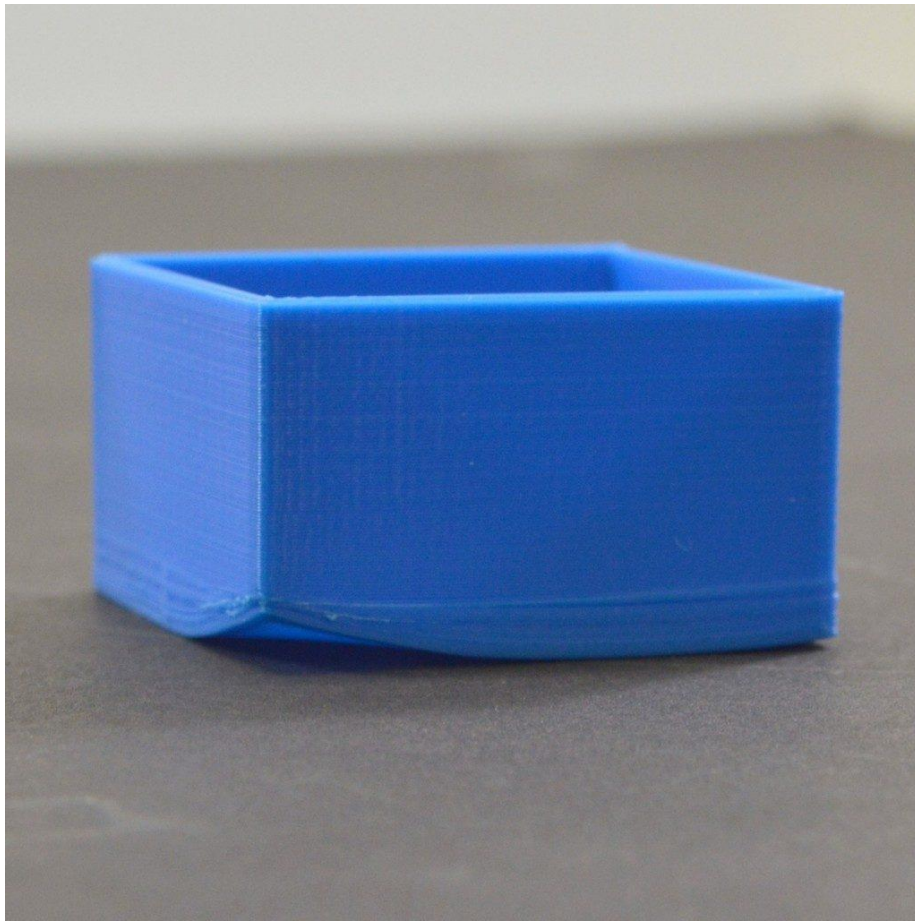


ABBILDUNG 18: "WARPING"

Warping beim 3D-Drucken ist das Verziehen oder Biegen der gedruckten Teile, insbesondere an den Ecken oder Rändern. Es tritt aufgrund von Temperaturunterschieden und Schrumpfung des Druckmaterials auf der Bauplatte auf. Dies kann die Maßgenauigkeit und Qualität des Drucks beeinträchtigen.

Lücken zwischen den Füllungen und Außenlinien:

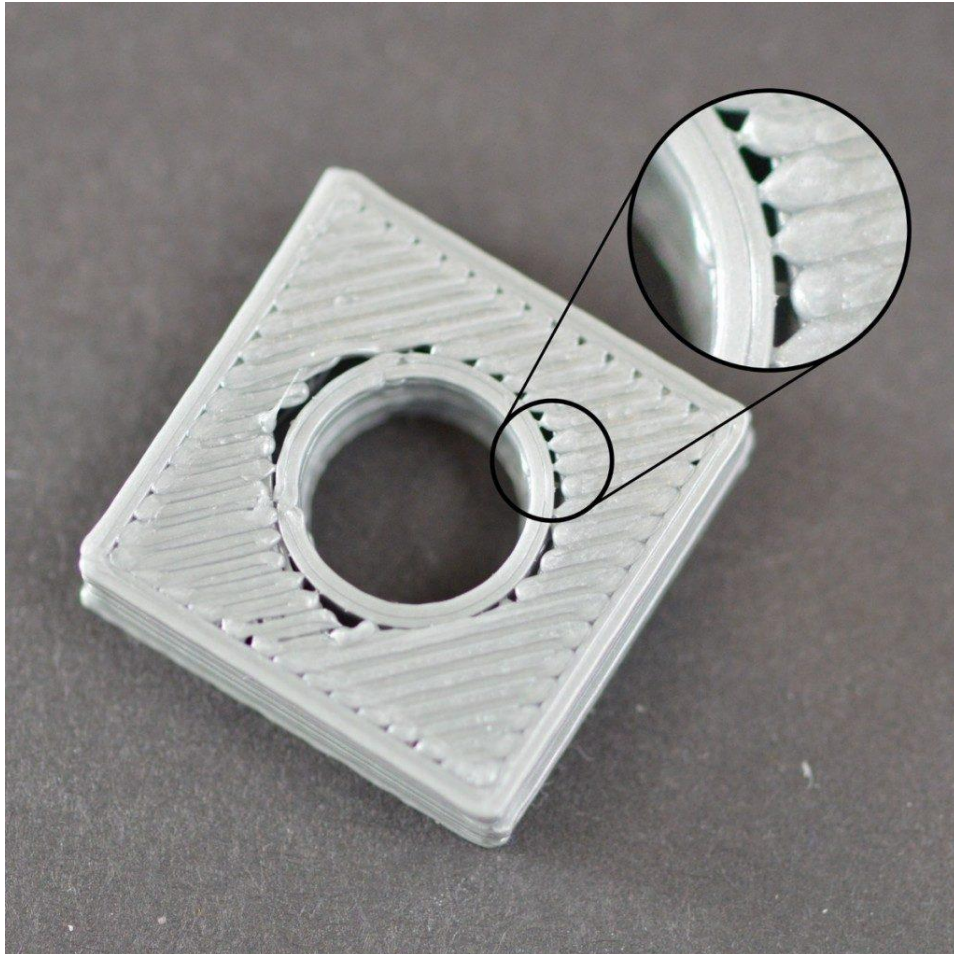


ABBILDUNG 19: FLÄCHEN NICHT VOLLSTÄNDIG GESCHLOSSEN

Lücken zwischen den Füllungen und Außenlinien ist einigermaßen selbsterklärend. Dies tritt auf, wenn nicht genügend Umrissüberlappung vorhanden ist oder der Drucker zu schnell fährt.

**Feuchtigkeit:**

Die Feuchtigkeit ist in dem Sinn kein sogenannter Druckfehler, kann aber zu Fehlern führen. Nylon, oder Polyamid zum Beispiel besitzt eine hohe Affinität für Wasser aufgrund seiner molekularen Struktur, die Wasserstoffbindungen mit Wassermolekülen ermöglicht. Wenn Nylon-Filament Feuchtigkeit aufnimmt, kann es während des Druckvorgangs zu einer Dampfbildung im erhitzten Extruder kommen. Dieser Dampf kann zu unerwünschten Blasen, Poren oder Inkonsistenzen im gedruckten Objekt führen.

Zusätzlich kann die Feuchtigkeit die mechanischen Eigenschaften des Materials verändern und zu einer reduzierten Schichtbindung führen. Daher ist es empfehlenswert, Nylon-Filament trocken zu lagern und vor dem Drucken zu trocknen, um optimale Druckergebnisse zu erzielen.



**ABBILDUNG 20: HIER IST DEUTLICH ZU SEHEN, WIE NICHT NUR DIE OPTISCHE, SONDERN AUCH DIE STRUKTURELLE QUALITÄT NACHLÄSST, WENN DAS FILAMENT NICHT KORREKT GETROCKNET WIRD.**

**Trockner:**

Ein Filament-Trockner ist ein Gerät, das dazu verwendet wird, 3D-Druckfilamente zu trocknen, bevor sie im Drucker verwendet werden.

Ein Filament-Trockner funktioniert in der Regel durch Erhitzen des Filaments auf eine bestimmte Temperatur, die hoch genug ist, um das Wasser zu verdampfen, aber niedrig genug, um das Filament nicht zu schmelzen oder zu beschädigen. Dabei wird das Filament entweder auf der Spule gelassen oder durch das Gerät geführt, während es getrocknet wird. Einige Trockner verfügen auch über Vakuum- oder Entfeuchtungsfunktionen, um die Trocknungseffizienz zu erhöhen.



**ABBILDUNG 21: FILAMENTTROCKNER MIT DER GANZEN SPUHLE DRINN**

## „Slicing“ Programm:

Ein Slicing-Programm ist eine Software, die CAD 3D-Modelle in schichtenweise Anweisungen für 3D-Drucker umwandelt. Es zerlegt das Modell in dünne horizontale "Scheiben" oder Schichten, die der Drucker nacheinander aufbaut.

Benutzer können in solchen Programmen verschiedene Druckparameter, wie Schichtdicke, Füllrate und Druckgeschwindigkeit, einstellen. Nach dem Slicing generiert die Software eine G-Code-Datei, welche der 3D-Drucker versteht und abarbeitet. Das Slicing-Programm ist somit eine unverzichtbare Schnittstelle zwischen dem 3D-Design und dem physischen Druckobjekt.

### Beispiel Slicing Programm:

In diesem Beispiel wurde ein „Benchy“ in das Programm „CURA“ geladen. Nachdem alle Parameter eingestellt sind, kann das Programm die Daten verarbeiten. Anschließend kann man nach wenigen Sekunden auf "Start" drücken.

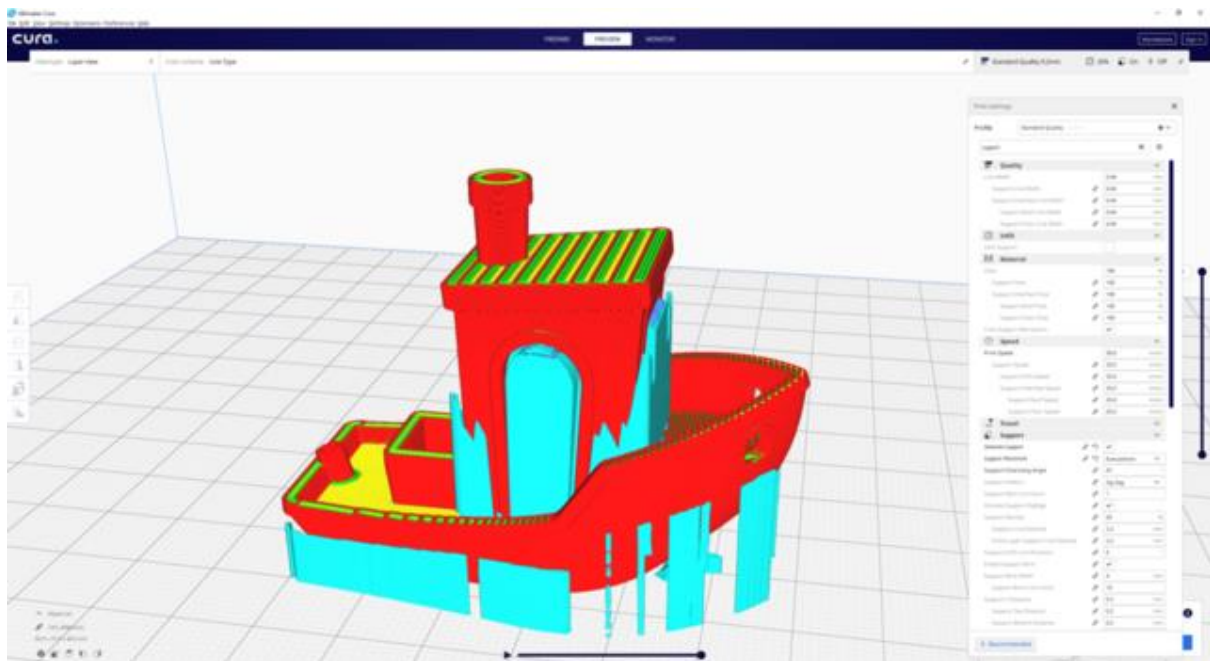


ABBILDUNG 22: EIN "BENCHY" IM SLICING PROGRAMM "CURA"

## Einstellungen:

In einem Slicing-Programm für den 3D-Druck können Benutzer eine Vielzahl von Einstellungen anpassen, um den Druckprozess und das Ergebnis zu optimieren:

### Schichtdicke:

Bestimmt die Höhe jeder gedruckten Schicht und beeinflusst die Auflösung und Druckdauer.

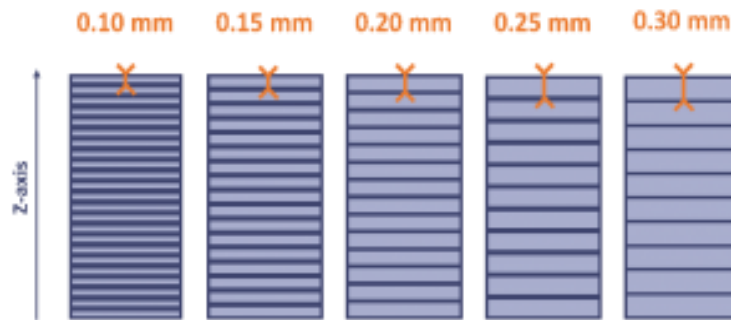


ABBILDUNG 23: SCHICHTDICKE

### Füllrate und -muster:

Hier kann man einstellen, wie dicht das Innere des Objekts gefüllt wird (z.B. 20% Füllung) und in welchem Muster (z.B. Wabenmuster).

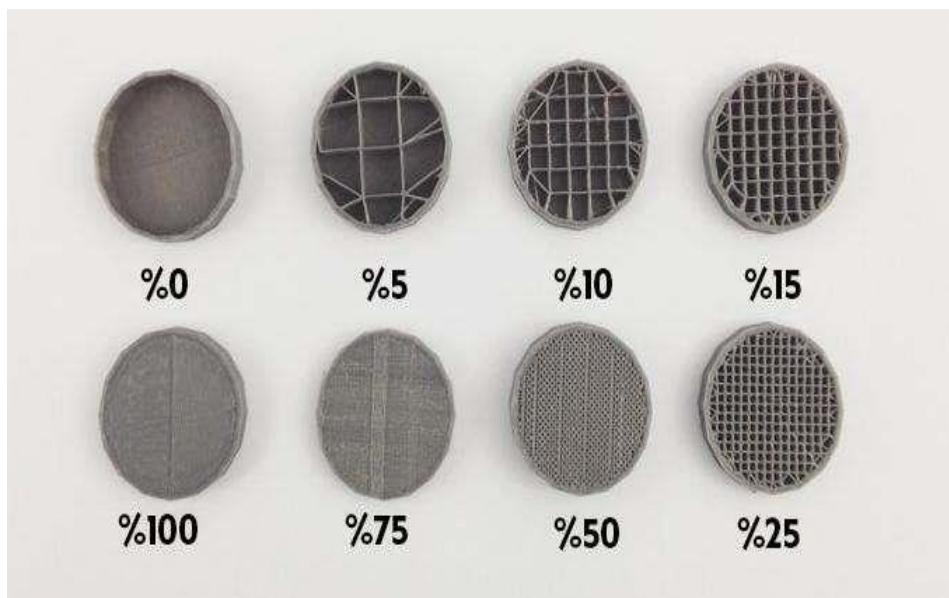


ABBILDUNG 24: FÜLLRATE UND MUSTER SIND ENTSCHEIDEND, WENN ES UM DIE STABILITÄT EINES DRUCKS GEHT

**Druckgeschwindigkeit:**

Bestimmt, wie schnell der Extruder sich bewegt, und kann Qualität und Druckzeit beeinflussen. Hier sind mit einem Einsteiger-Drucker etwa 50mm/s zu erwarten. Die Geschwindigkeiten können aber mit anderen Bauteilen verbessert werden.

**Drucktemperatur und Heizbett-Temperatur:**

Bestimmt die Temperaturen des Extruders und des Druckbetts, um das Material korrekt zu schmelzen und Haftung sicherzustellen. Die Temperaturen sind je nach Material sehr unterschiedlich und wenn nicht gut ausgewählt, kann das zu einem Fehldruck führen.

**Retraktion:**

Um das "Oozing" oder "Stringing" des geschmolzenen Materials zu verhindern, kann man einstellen, wie weit und wie schnell das Filament zurückgezogen wird, wenn der Extruder sich bewegt.

Zusätzlich gibt es viele weitere spezifische Einstellungen wie Druckauflösung, Brückenbildung, Stützstrukturen, Geschwindigkeiten für verschiedene Druckabschnitte und vieles mehr.

## Berechnungen:

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$A_a, A_{ae}$ bzw. $A_{ai}$	$\mu\text{m}$	Achsabstandsabmaß, oberes bzw. unteres
$A_{sne}, A_{sni}$ bzw. $A_{ste}, A_{sti}$	$\mu\text{m}$	oberes, unteres Abmaß der Zahndicke im Normalschnitt bzw. im Stirnschnitt
$a$ bzw. $a_d$	mm	Achsabstand bzw. Null-Achsabstand
$b; b_1, b_2$	mm	Zahnbreite; des treibenden bzw. des getriebenen Rades
$C$		Wälzpunkt
$c$	mm	Kopfspiel
$D$	mm	Radnabendurchmesser
$d; d_1, d_2$	mm	Teilkreisdurchmesser; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$d_a; d_{a1}, d_{a2}$	mm	Kopfkreisdurchmesser; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$d_b; d_{b1}, d_{b2}$	mm	Grundkreisdurchmesser; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$d_f; d_{f1}, d_{f2}$	mm	Fußkreisdurchmesser; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$d_{sh}$	mm	Wellendurchmesser des Ritzels
$d_{sp}$	mm	Durchmesser, an dem der Zahn spitz wird
$d_w; d_{w1}, d_{w2}$	mm	Wälzkreisdurchmesser, des treibenden bzw. getriebenen Rades
$d_y$	mm	Y-Kreisdurchmesser (beliebiger Durchmesser)
$E$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Elastizitätsmodul
$e, e_b, e_y, e_w$	mm	Lückenweite auf Teilzylinder, Grundlückenweite, am Y-Zylinder (beliebiger Durchmesser), am Wälzkreis
$F_a; F_{a1}, F_{a2}$	N	Axialkraft; des treibenden bzw. des getriebenen Rades
$F_{bn}; F_{bn1}, F_{bn2}$	N	Zahnnormalkraft; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$F_m = F_t \cdot K_A \cdot K_v$	N	maßgebende mittlere Umfangskraft am Teilkreis (für $K_{H\beta}$ )
$F_r; F_{r1}, F_{r2}$	N	Radialkraft; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$F_t; F_{t1}, F_{t2}$	N	Tangentialkraft; des treibenden bzw. getriebenen Rades
$F_{\beta x}$ bzw. $F_{\beta y}$	$\mu\text{m}$	wirksame Flankenlinienabweichung vor bzw. nach dem Einlaufen
$f_{H\beta}$	$\mu\text{m}$	Flankenlinien-Winkelabweichung
$f_{ma}$	$\mu\text{m}$	Flankenlinien-Herstellungsabweichung

ABBILDUNG 25: FORMELZEICHENLISTE AUS BUCH ROLOFF/ MATEK MASCHINENELEMENTE FORMELSAMMLUNG 16. AUFLAGE

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$f_{sh}$	$\mu\text{m}$	Flankenlinienabweichung infolge Wellen- und Ritzelverformung
$G$	$\text{N}/\text{mm}^2$	Gleitmodul
$g_\alpha$	$\text{mm}$	Länge der (gesamten) Eingriffsstrecke
$h, h_p, h_0, h_1, h_2$	$\text{mm}$	Zahnhöhe, des Bezugsprofils, des Werkzeugprofils, des Ritzels, des Rades
$h_a, h_{aP}, h_{a0}$	$\text{mm}$	Kopfhöhe, des Bezugsprofils, des Werkzeugprofils
$h_f, h_{fP}, h_{f0}$	$\text{mm}$	Fußhöhe, des Bezugsprofils, des Werkzeugprofils
$h_w, h_{wP}$	$\text{mm}$	gemeinsame Zahnhöhe, am Bezugsprofil
$i$	1	Übersetzung
$\text{inv}$	1	Evolventenfunktion (sprich „involut“)
$j_a, j_{ae}$ bzw. $j_{ai}$	$\mu\text{m}$	Spieländerung durch Achsabstandstoleranz, für $A_{ae}$ bzw. für $A_{ai}$
$j_n, j_r$	$\mu\text{m}$	Normalflankenspiel, Radialspiel
$j_t, j_{t \max}$ bzw. $j_{t \min}$	$\mu\text{m}$	theoretisches Drehflankenspiel im Stirnschnitt, größtes bzw. kleinstes
$K_A$	1	Anwendungsfaktor (Betriebsfaktor)
$K_v$	1	Dynamikfaktor
$K_{F\alpha}, K_{H\alpha}$	1	Stirnfaktoren für Zahnfußbeanspruchung, für Flankenpressung
$K_{F\beta}, K_{H\beta}$	1	Breitenfaktoren für Zahnfußbeanspruchung, für Flankenpressung
$K'$	1	Faktor zur Berechnung von $f_{sh}$ (Ritzellage zu den Lagern)
$K_1 \dots K_3$	1	Faktor für die Berechnung von $K_v$ (abhängig von der Verzahnungsqualität)
$K_4$	$\text{m}/\text{s}$	Faktor für die Berechnung von $K_v$
$k, k^*$	$\text{mm}, 1$	Messzähnezahl, Kopfhöhenänderung, Kopfhöhenfaktor
$l$	$\text{mm}$	Lagerstützweite
$m \triangleq m_n, m_t$	$\text{mm}$	Modul $\triangleq$ Normalmodul, Stirnmodul
$N$	$\text{min}^{-1}$	Bezugsdrehzahl
$N_L$	1	Anzahl der Lastwechsel
$n_{1,2} (n_a, n_b)$	$\text{min}^{-1}$	Drehzahl des Ritzels, Rades (ersten Ritzels, letzten Rades im Getriebe)
$P, P_a$ bzw. $P_b$	$\text{kW}$	zu übertragende (Nenn-)Leistung, An- bzw. Abtriebsleistung

ABBILDUNG 26: FORMELZEICHENLISTE AUS BUCH ROLOFF/ MATEK MASCHINENELEMENTE FORMELSAMMLUNG 16. AUFLAGE

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$p$	mm	Teilung auf dem Teilzylinder (Teilkreisteilung)
$p_b \triangleq p_e$	mm	Teilung auf dem Grundzylinder (Grundkreisteilung) $\triangleq$ Eingriffsteilung
$p_{bt} \triangleq p_{et}$	mm	Grundkreisteilung $\triangleq$ Stirneingriffsteilung
$p_{bn} \triangleq p_{en}$	mm	Grundzylinder Normalteilung $\triangleq$ Normaleingriffsteilung
$p_n, p_t$	mm	Normalteilung, Stirnteilung
$p_w$	mm	Teilung am Wälzzylinder
$q_H$	1	Faktor abhängig von DIN-Qualität zur Berechnung von $f_{H\beta}$
$R_a, R_z$	$\mu\text{m}$	arithmetischer Mittenrauwert, gemittelte Rautiefe
$R_s$	$\mu\text{m}$	Zahndickenschwankung
$S_F, S_{F \min}$	1	Zahnbruchsicherheit, Mindestsicherheitsfaktor für Fußbeanspruchung
$S_H, S_{H \min}$	1	Grübchensicherheit, Mindestsicherheitsfaktor für Flankenpressung
$s$	1	Zahndicke, Abstand bei Berechnung von $f_s$
$s_a, s_b, s_y$	mm	Zahndicke auf dem Kopfzylinder, Grundzylinder, Y-Zylinder mit $d_y$
$s_n, s_t$	mm	Normalzahndicke, Stirnzahndicke auf dem Teilkreis
$s_R$	mm	Dicke des Zahnkranzes unter dem Zahnfuß
$s_w$	mm	Zahndicke am Wälzzylinder
$T_{1,2}$ bzw. $T_{a,b}$	Nm, Nmm	Nenn-Drehmoment des Ritzels, Rades bzw. An-, Abtriebsmoment
$T_{sn}$	$\mu\text{m}$	Zahndickentoleranz im Normalschnitt
$u = z_{\text{gro\ss}}/z_{\text{klein}}$	1	Zähnezahlverhältnis des Radpaares
$V$	mm	Profilverschiebung
$v$	m/s	Umfangsgeschwindigkeit am Teilkreis
$x, x_{1,2}, x_m$	1	Profilverschiebungsfaktor, des Ritzels, Rades, Mittelwert der Summe
$Y_{Fa}$	1	Formfaktor für Kraftangriff am Zahnkopf
$Y_{NT}$	1	Lebensdauerfaktor für $\sigma_{Flim}$ des Prüfrades
$Y_{R \text{ rel T}}$	1	relativer Oberflächenfaktor des Prüfrades
$Y_{Sa}$	1	Spannungskorrekturfaktor für Kraftangriff am Zahnkopf

ABBILDUNG 27: FORMELZEICHENLISTE AUS BUCH ROLOFF/ MATEK MASCHINENELEMENTE FORMELSAMMLUNG 16. AUFLAGE

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$Y_{ST} = 2$	1	Spannungskorrekturfaktor des Prüfrades
$Y_X$	1	Größenfaktor für Fußbeanspruchung
$Y_\beta$	1	Schrägenfaktor für Fußbeanspruchung
$Y_{\delta \text{ rel T}}$	1	relative Stützziffer bezogen auf das Prüfrad
$Y_\varepsilon$	1	Überdeckungsfaktor für Fußbeanspruchung
$y$	mm	Teilkreisabstandsfaktor
$y_\beta$	$\mu\text{m}$	Einlaufbetrag
$Z_B$	1	(Ritzel-)Einzeleingriffsfaktor bei $z_1 < 20$ für Flankenpressung
$Z_E$	$\sqrt{\text{N}/\text{mm}^2}$	Elastizitätsfaktor (Flankenpressung)
$Z_H$	1	Zonenfaktor (Flankenpressung)
$Z_L$	1	Schmierstofffaktor (Flankenpressung)
$Z_{NT}$	1	Lebensdauerfaktor (Flankenpressung) des Prüfrades
$Z_R$	1	Rauigkeitsfaktor (Flankenpressung)
$Z_v$	1	Geschwindigkeitsfaktor (Flankenpressung)
$Z_W$	1	Werkstoffpaarungsfaktor (Flankenpressung)
$Z_X$	1	Größenfaktor (Flankenpressung)
$Z_\beta$	1	Schrägenfaktor (Flankenpressung)
$Z_\varepsilon$	1	Überdeckungsfaktor (Flankenpressung)
$z, z_{1,2}, z_n$	1	Zähnezahl, des Ritzels, Rades, Ersatzzähnezahl der Schrägverzahnung
$z_g, z'_g, z_{gt}, z_{gn}$	1	theoretische, praktische Grenzzähnezahl, im Stirnschnitt, im Normalschnitt
$z_m$	1	mittlere Zähnezahl
$\alpha \hat{=} \alpha_p = 20^\circ$	$^\circ$	Eingriffswinkel am Teilzylinder $\hat{=}$ Profilwinkel des Bezugsprofils
$\alpha_a, \alpha_{an}$	$^\circ$	Profilwinkel am Kopfzylinder, im Normalschnitt
$\alpha_{sp}$	$^\circ$	Profilwinkel bei $s_a = 0$ (Spitzgrenze)
$\alpha_t, \alpha_n \hat{=} \alpha_p$	$^\circ$	Stirn-, Normaleingriffswinkel am Teilzylinder
$\alpha_w, \alpha_{wt}$	$^\circ$	Betriebseingriffswinkel im Stirnschnitt, Stirneingriffswinkel am Wälzzylinder
$\alpha_y, \alpha_{yt}$	$^\circ$	Profilwinkel am Y-Zylinder (mit $d_y$ ), Stirnprofilwinkel
$\beta, \beta_y$	1	Schrägungswinkel am Teilkreis $d$ , am Durchmesser $d_y$

ABBILDUNG 28: FORMELZEICHENLISTE AUS BUCH ROLOFF/ MATEK MASCHINENELEMENTE FORMELSAMMLUNG 16. AUFLAGE

Formelzeichen	Einheit	Benennung
$\beta_b, \beta_w$	1	Grundschrägungswinkel am Grundkreis $d_b$ , Schrägungswinkel am Wälzkreis $d_w$
$\varepsilon_\alpha, \varepsilon_{\alpha n}$	1	Profilüberdeckung, für die Ersatz-Geradverzahnung
$\varepsilon_\beta, \varepsilon_\gamma$	1	Sprungüberdeckung, Gesamtüberdeckung
$Q_f, Q_P$	1	Zahnfußrundungsradius, des Bezugsprofils
$\sigma_{F0}, \sigma_F$	N/mm <sup>2</sup>	örtliche Zahnfußspannung, Zahnfußspannung
$\sigma_{FG}$	N/mm <sup>2</sup>	Zahnfußgrenzfestigkeit
$\sigma_{F \text{ lim}}$	N/mm <sup>2</sup>	Zahnfuß-Biegenennendauerfestigkeit (Biege-Dauerschwell- festigkeit des Prüfrades)
$\sigma_{FP}$	N/mm <sup>2</sup>	zulässige Zahnfußspannung
$\sigma_{H0}, \sigma_H$	N/mm <sup>2</sup>	Nominelle Flankenpressung; Flankenpressung am Wälzkreis
$\sigma_{HG}$	N/mm <sup>2</sup>	Zahnflankengrenzfestigkeit (Grübchengrenzfestigkeit)
$\sigma_{H \text{ lim}}$	N/mm <sup>2</sup>	Dauerfestigkeit für Flankenpressung
$\sigma_{HP}$	N/mm <sup>2</sup>	zulässige Flankenpressung
$\psi_d$ bzw. $\psi_m$	1	Durchmesser- bzw. Modul-Breitenverhältnis
$\omega_{1,2}$ bzw. $\omega_{a,b}$	s <sup>-1</sup>	Winkelgeschwindigkeit des Ritzels, Rades bzw. des Antriebs-, Abtriebrades

ABBILDUNG 29: FORMELZEICHENLISTE AUS BUCH ROLOFF/ MATEK MASCHINENELEMENTE FORMELSAMMLUNG 16. AUFLAGE

Um die Übersetzung und die Größe des Getriebes zu optimieren, wurden einige Parameter für das Getriebe im Voraus festgelegt.

## Bekannte Werte:

### Kraft und Drehmoment:

***Zunächst muss gesagt werden, dass es ohne spezielle Messmittel nicht einfach war und daher die Ergebnisse nicht vollständig präzise sein könnten.***

Die benötigte Kraft, um die Markise in Bewegung zu setzen, beträgt beim Ausfahren 4.905 N und beim Einfahren 9,81 N. Daher wird die Kraft des Einfahrens berücksichtigt, weil dieser höher ist. Mit dem Hebel der Markise von 13 cm:

$$9,81 \text{ N} * 0.13 \text{ m} = 1,28 \text{ Nm.}$$

Man erhält 1,28 Nm. Um sicherzugehen, wird das benötigte Drehmoment auf 1,5 Nm aufgerundet. Somit:

$$\text{Drehmoment (Ausgang)} = \underline{1.5 \text{ Nm}}$$

### Drehzahlen:

Wir gehen von einer Aus Fahrzeit von 1 Minute aus und das komplette Ausfahren braucht 70 Umdrehung. Daher:

$$\text{Drehzahl (ohne Getriebe)} = \underline{70 \text{ min}^{-1}}$$

### Zahnrad Kopfkreisdurchmesser da:

Wegen der groben Skizze wurden die Zahnradgrößen schon ungefähr bestimmt.

$$\text{da}_{1,3} = \underline{60 \text{ mm}}$$

$$\text{da}_{2,4} = \underline{36 \text{ mm}}$$

### Modul:

Für kleinere Anwendungen, wie Spielzeuge oder Haushaltsgeräte, können Module im Bereich von 0,5 bis 2,5 mm typisch sein. Somit wurde ein Modul von 1.5 gewählt.

$$\underline{m = 1.5 \text{ mm}}$$

## Übersetzungen (Zahnräder):

Auch hier müssen Drehzahlen Korrekt gewählt werden. Es soll die Ausfahrdauer bis mindestens auf 30 Umdrehungen reduziert werden. Das heißt, ein Übersetzungsverhältnis von mindestens 0.429.

Ausgang/Eingang = Übersetzungsverhältnis  
 $30/70 = 0.428571$

Mit folgender Formel kann das Verhältnis genauer bestimmt werden.

$$d_a = m * (z+2)$$

Mit einem Vorgewähltem Modul von 1.5mm kann man jetzt die Formel einsetzen, um die Zähnezah der Zahnräder herauszufinden.

$$d_{a1,3} = m * (z+2)$$

$$60\text{mm} = 1.5\text{mm} * (z+2)$$

$$\underline{z_{1,3} = 38}$$

$$d_{a2,4} = m * (z+2)$$

$$36\text{mm} = 1.5\text{mm} * (z+2)$$

$$\underline{z_{2,4} = 22}$$

### Gesamtübersetzung:

$$i_{\text{Gesamt}} = z_2/z_1 * z_4/z_3$$

$$i_{\text{Gesamt}} = 22/38 * 22/38$$

$$i_{\text{Gesamt}} = 0.33518$$

### Ausfahrumdrehungen:

$$70 * 0.33518 = 23.4626 (\approx 23.5)$$

Somit ist das Ziel erreicht worden, mit einer Ausfahrumdrehzahl von unter 30 Umdrehungen.

### Drehzahlübersetzung:

$$i_{\text{Gesamt}} = n_{\text{Eingang}}/n_{\text{Ausgang}}$$

$$n_{\text{Ausgang}} = n_{\text{Eingang}}/i_{\text{Gesamt}}$$

$$n_{\text{Ausgang}} = 70 \text{ min}^{-1}/0.33518$$

$$n_{\text{Ausgang}} = \underline{208.843 \text{ min}^{-1}} \quad (\underline{208.85 \text{ min}^{-1}})$$

**Drehzahlen pro Welle:**

$$n_1 = 70 \text{ min}^{-1}$$

$$n_2 = 70 \text{ min}^{-1} * 38/22 = 120.909 \text{ min}^{-1}$$

$$n_3 = 120.909 \text{ min}^{-1} * 38/22 = 208.843 \text{ min}^{-1}$$

**Drehmoment (Direkt an Markise):**

$$T_{\text{Eingang}} = T_{\text{Ausgang}} / i_{\text{Gesamt}}$$

$$T_{\text{Eingang}} = 1.5 \text{ Nm} / 0.33518$$

$$T_{\text{Eingang}} = \underline{4.47521 \text{ Nm}} \text{ (4.5 Nm)}$$

Schlussendlich bedeutet dies, dass um das schnellere Einfahren zu gewährleisten, beim Getriebeeingang fast dreimal so viel Rotationskraft eingesetzt werden muss.

## Wellenberechnungen:

**Wellenmaterial:** PAHT CT (Kohlenfaser verstärktes Nylon)

**Zugfestigkeit:** 173,37 MPa  
**Dichte:** 1,4 g/cm<sup>3</sup>  
**Dehnung bis zum Bruch:** 8,93%  
**Biegefestigkeit:** 171,64 MPa  
**Biegemodul/E-Modul:** 5612,41 MPa  
**IZOD-Schlagzähigkeit:** 12,74 kJ/m<sup>2</sup>

### Fehlende Angaben:

Es fehlen ein paar Werte vom Hersteller, also musste ein wenig angepasst werden.

### Scherspannung:

Kunststoffe haben eine zulässige Scherspannung oft im Bereich von 0,2 bis 0,5 der Zugfestigkeit  
 Stähle oft im Bereich von (0.5 bis 0.6). Da das Material gedruckt wird, soll sicherheitshalber die 0,2 gewählt werden.

$$\tau_{\text{SCHN}} = 173.37 \text{ N/mm}^2 * 0.2$$

$$\tau_{\text{SCHN}} = \underline{34.674 \text{ N/mm}^2}$$

### Schermodul G:

Dank der Angabe des Poisson-Verhältnisses  $\nu = 0,35$  kann man das Schermodul G mit der angegebenen Formel berechnen:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Unter der Annahme, dass der Biegemodul von 5612,41 MPa dem Elastizitätsmodul E entspricht:

$$G = \frac{5612,41 \text{ MPa}}{2(1+0,35)}$$

$$G \approx \frac{5612,41 \text{ MPa}}{2,7}$$

$$G \approx 2078,67 \text{ MPa}$$

Das Schermodul G für das gegebene Material beträgt also ungefähr 2078.67 MPa.

## Welle 3:

### Überschlägige Ermittlung des Durchmessers:

$$P = M \cdot n / 9550$$

$$P = (1.5 \text{ Nm} \cdot 208.843 \text{ min}^{-1}) / 9550$$

$$P = 0.032803 \text{ kW (32.8W)}$$

$$T_{\text{eq}} = 9550 \cdot (K_A \cdot P) / n$$

$$T_{\text{eq}} = 9550 \cdot (1 \cdot 0.032803 \text{ kW}) / 208.843 \text{ min}^{-1}$$

$$T_{\text{eq}} = 1.50002 \text{ Nmm}$$

$$d' \approx 2.7 \cdot \sqrt[3]{\frac{1.50002 \text{ Nmm}}{34.674 \text{ Nmm}^2}}$$

$$d' \approx 0.947825 \text{ mm (1mm)}$$

### Auflagekräfte bestimmen:

$$\text{Teilkreis } d_{1,3} = z \cdot m = 38 \cdot 1.5 = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Teilkreis } d_{2,4} = z \cdot m = 22 \cdot 1.5 = 33 \text{ mm}$$

$$F_{T3(z4)} = 2 \cdot T_{\text{eq}} / d$$

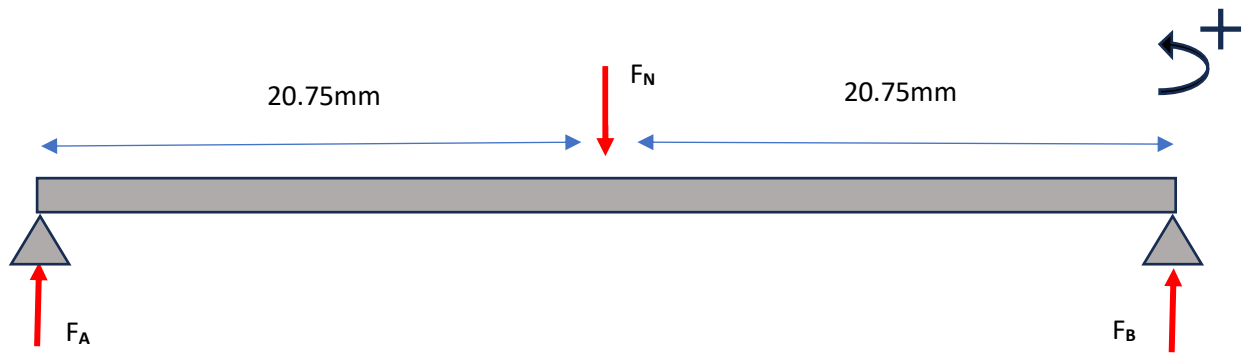
$$F_{T3(z4)} = 2 \cdot 1.50002 \text{ Nmm} / 33 \text{ mm}$$

$$F_{T3(z4)} = 0.09091 \text{ N}$$

$$\cos \alpha = F_T / F_N$$

$$F_N = F_T / \cos(20)$$

$$F_N = 0.096744 \text{ N}$$

**Auflagekraft bestimmen:**

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum M_A = 0 = -F_N * 20.75\text{mm} + F_B * 41.5\text{mm}$$

$$F_B = F_N * 20.75\text{mm} / 41.5\text{mm}$$

$$F_B = 0.096744 \text{ N} * 20.75\text{mm} / 41.5\text{mm}$$

$$\underline{F_B = 0.048372 \text{ N}}$$

$$F_A = F_N * 20.75\text{mm} / 41.5\text{mm}$$

$$F_A = 0.096744 \text{ N} * 20.75\text{mm} / 41.5\text{mm}$$

$$\underline{F_A = 0.048372 \text{ N}}$$

**Vergleichsmoment:**

$$M_{\text{Max}} = 0.096744 \text{ N} * 20.75\text{mm}$$

$$\underline{M_{\text{Max}} = 2.00744 \text{ Nmm}}$$

$$M_{\text{eq}} = M_{\text{Max}} * K_A$$

$$M_{\text{eq}} = 2.00744 \text{ Nmm} * 1$$

$$\underline{M_{\text{eq}} = 2.00744 \text{ Nmm}}$$

$$M_v = \sqrt{M_{\text{eq}}^2 + 0.75 * (\alpha_0 * T_{\text{eq}})^2}$$

$$M_v = \sqrt{2.00744^2 + 0.75 * (0.7 * 1.50002)^2}$$

$$\underline{M_v = 2.2038 \text{ Nmm}}$$

**Überschlägige Ermittlung des Durchmessers für eine Vollwelle:**

$$d' \approx 3.4 * \sqrt[3]{\frac{M_v}{\sigma_b}}$$

$$\underline{d' \approx 0.796135 \text{ mm (0.8mm)}}$$

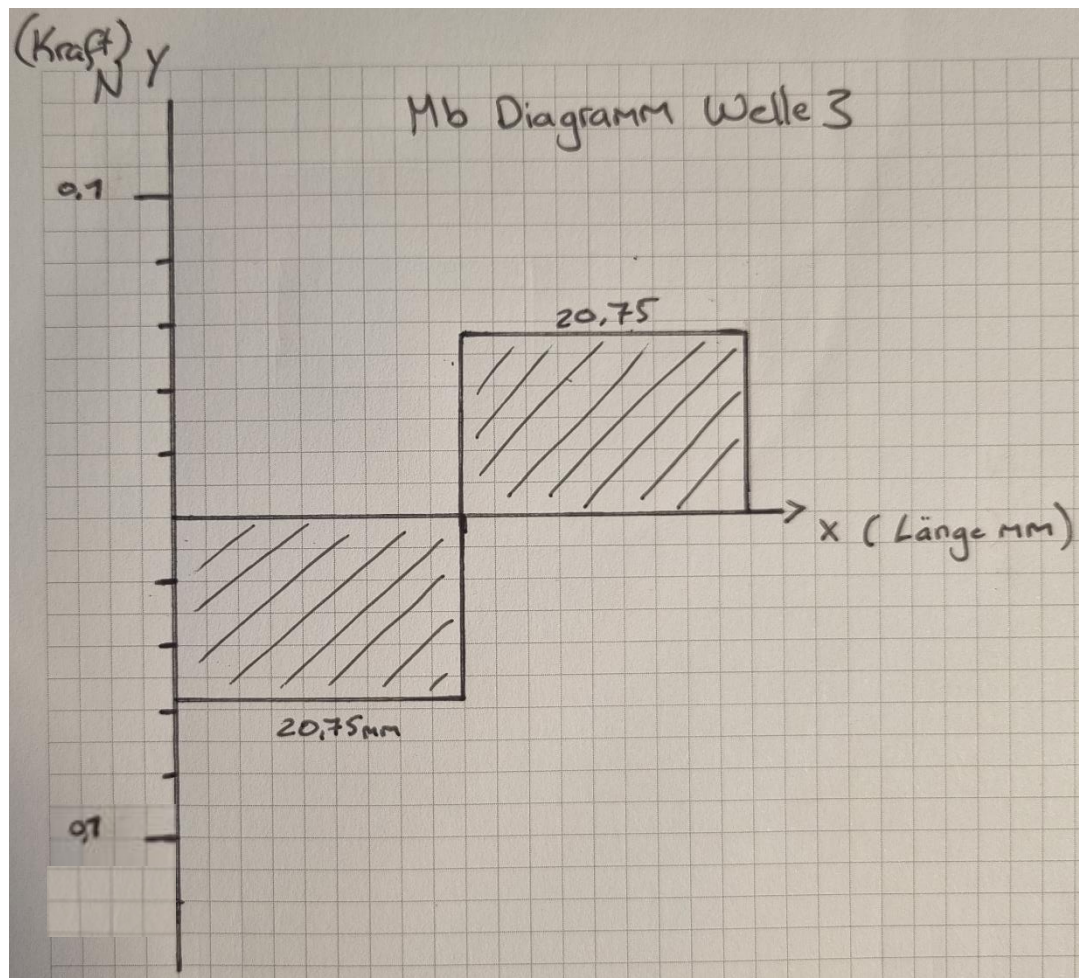


ABBILDUNG 30: Mb-DIAGRAMM WELLE 3

**Maximale Durchbiegung:**

$$I_b = (\pi \div 64) * d^4$$

$$I_b = 1017.88 \text{ mm}^4$$

$$f_m = F * a^2 * b^2 / 3 * E * I * l$$

$$f_m = 0.000025 \text{ mm}$$

**Neigungswinkel:**

$$\tan \alpha = F * a * b * (l+b) / 6 * E * I * l$$

$$\tan \alpha = 0.000002^\circ$$

**Verdrehwinkel:**

$$T_{\text{Nenn}} = P / 2 * \pi * n$$

$$T_{\text{Nenn}} = 0.032803 / 2 * \pi * 208.843$$

$$\underline{T_{\text{Nenn}} = 0.000025 \text{ Nm}}$$

$$I_t = (\pi \div 32) * d^4$$

$$\underline{I_t = 2035.75 \text{ mm}^4}$$

$$\varphi^\circ = (180^\circ / \pi) * (T * l / G * I_t)$$

$$\underline{\varphi^\circ = 0.000014^\circ}$$

## Welle 2:

**Überschlägige Ermittlung des Durchmessers:**

$$T_{eq} = 9550 * (K_A * P) / n$$

$$T_{eq} = 9550 * (1 * 0.032803 \text{ kW}) / 120.909 \text{ min}^{-1}$$

$$\underline{T_{eq} = 2.59095 \text{ Nmm}}$$

$$d' \approx 2.7 * \sqrt[3]{\frac{2.59095 \text{ Nmm}}{34.674 \text{ Nmm}^2}}$$

$$\underline{d' \approx 1.13723 \text{ mm (1.2mm)}}$$

**Auflagekräfte bestimmen:**

$$\text{Teilkreis } d_{1,3} = z * m = 38 * 1.5 = 57 \text{ mm}$$

$$\text{Teilkreis } d_{2,4} = z * m = 22 * 1.5 = 33 \text{ mm}$$

$$F_{T2(z3)} = 2 * T_{eq} / d$$

$$F_{T2(z3)} = 2 * \underline{2.59095 \text{ Nmm}} / 57 \text{ mm}$$

$$\underline{F_{T2(z3)} = 0.090911 \text{ N}}$$

$$\cos \alpha = F_T / F_N$$

$$F_{N2(z3)} = F_T / \cos(20)$$

$$\underline{F_{N2(z3)} = 0.096745 \text{ N}}$$

$$F_{T2(z2)} = 2 * T_{eq} / d$$

$$F_{T2(z2)} = 2 * \underline{2.59095 \text{ Nmm}} / 33 \text{ mm}$$

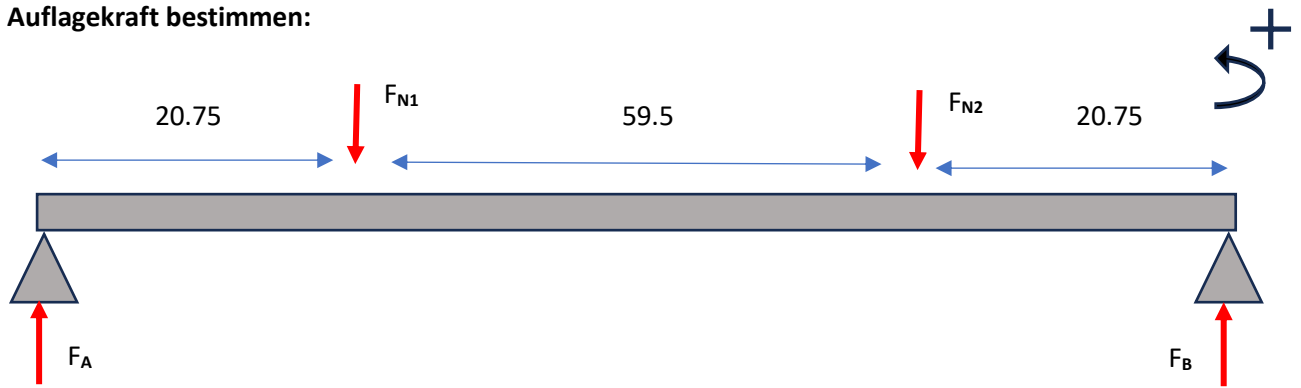
$$\underline{F_{T2(z2)} = 0.157027 \text{ N}}$$

$$\cos \alpha = F_T / F_N$$

$$F_{N1(z2)} = F_T / \cos(20)$$

$$\underline{F_{N1(z2)} = 0.167105 \text{ N}}$$

**Auflagekraft bestimmen:**



$$\sum F_x = 0$$

$$\sum M_A = 0 = -FN1 * 20.75\text{mm} - FN2 * 80.25\text{mm} + FB * 101\text{mm}$$

$$\sum M_B = 0 = +FN1 * 80.25\text{mm} + FN2 * 20.75\text{mm} - FA * 101\text{mm}$$

$$F_B = 0.1112 \text{ N}$$

$$F_A = 0.15265 \text{ N}$$

**Vergleichsmoment:**

$$M_{\text{Max}} = 0.167105 \text{ N} * 20.75\text{mm}$$

$$\underline{M_{\text{Max}} = 3.46743 \text{ Nmm}}$$

$$M_{\text{eq}} = M_{\text{Max}} * K_A$$

$$M_{\text{eq}} = 3.46743 \text{ Nmm} * 1$$

$$\underline{M_{\text{eq}} = 3.46743 \text{ Nmm}}$$

$$M_v = \sqrt{M_{\text{eq}}^2 + 0.75 * (\alpha_0 * T_{\text{eq}})^2}$$

$$M_v = \sqrt{3.46743^2 + 0.75 * (0.7 * 2.59095)^2}$$

$$\underline{M_v = 3.80659 \text{ Nmm}}$$

**Überschlägige Ermittlung des Durchmessers für eine Vollwelle:**

$$d' \approx 3.4 * \sqrt[3]{\frac{M_v}{\sigma_b}}$$

$$\underline{d' \approx 0.955252 \text{ mm (1mm)}}$$

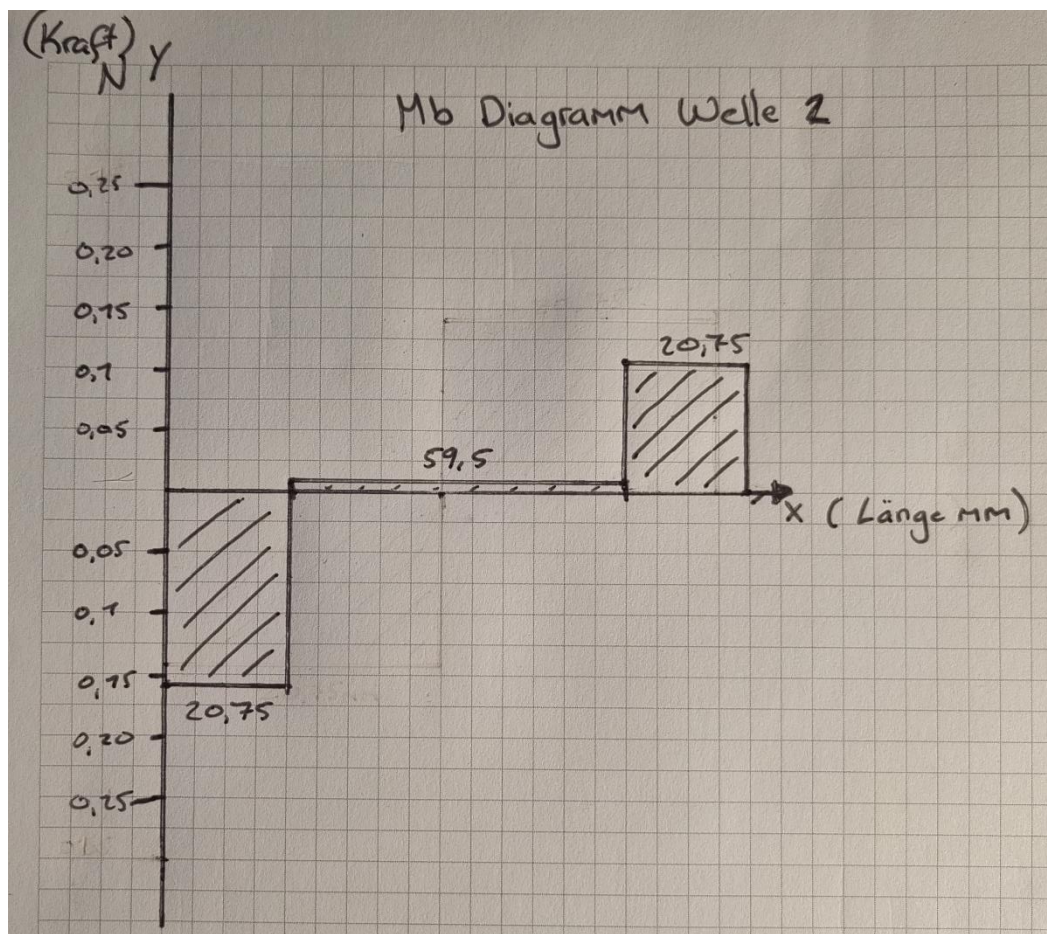


ABBILDUNG 31: Mb-DIAGRAMM WELLE 2

**Welle 1:****Überschlägige Ermittlung des Durchmessers:**

$$T_{eq} = 9550 * (K_A * P) / n$$

$$T_{eq} = 9550 * (1 * 0.032803kW) / 70 \text{ min}^{-1}$$

$$\underline{T_{eq} = 4.47527 \text{ Nmm}}$$

$$d' \approx 2.7 * \sqrt[3]{\frac{4.47527 \text{ Nmm}}{34.674 \text{ Nmm}^2}}$$

$$\underline{d' \approx 1.36449 \text{ mm (1.4mm)}}$$

**Auflagekräfte bestimmen:**

$$\text{Teilkreis } d_{1,3} = z * m = 38 * 1.5 = 57\text{mm}$$

$$\text{Teilkreis } d_{2,4} = z * m = 22 * 1.5 = 33\text{mm}$$

$$F_{T1(z1)} = 2 * T_{eq} / d$$

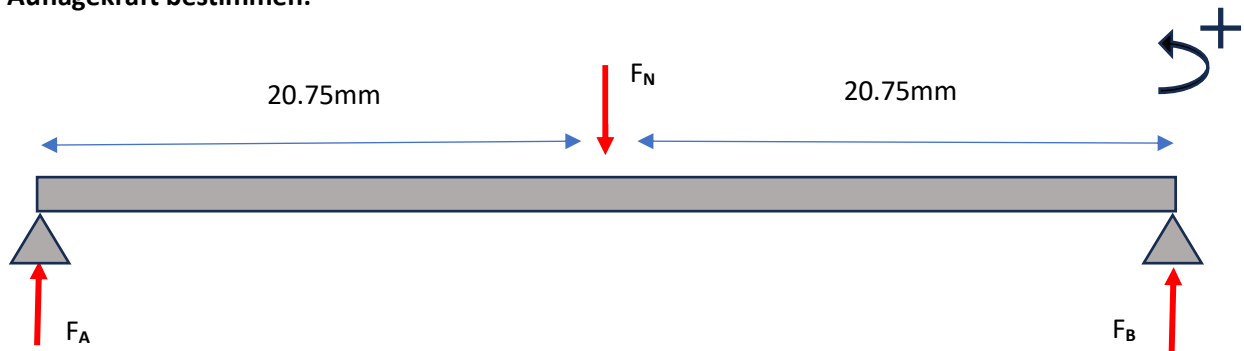
$$F_{T1(z1)} = 2 * 4.47527 \text{ Nmm} / 57\text{mm}$$

$$F_{T1(z1)} = 0.157027 \text{ N}$$

$$\cos \alpha = F_T / F_N$$

$$F_N = F_T / \cos(20)$$

$$\underline{F_N = 0.167105 \text{ N}}$$

**Auflagekraft bestimmen:**

$$\in Fx = 0$$

$$\in MA = 0 = -FN * 20.75mm + FB * 41.5mm$$

$$F_B = FN * 20.75mm / 41.5mm$$

$$F_B = 0.167105 \text{ N} * 20.75mm / 41.5mm$$

$$F_B = 0.083553 \text{ N}$$

$$F_A = FN * 20.75mm / 41.5mm$$

$$F_A = 0.167105 \text{ N} * 20.75mm / 41.5mm$$

$$F_A = 0.083553 \text{ N}$$

**Vergleichsmoment:**

$$M_{Max} = 0.083553 \text{ N} * 20.75mm$$

$$M_{Max} = 1.73372 \text{ Nmm}$$

$$M_{eq} = M_{Max} * K_A$$

$$M_{eq} = 1.73372 \text{ Nmm} * 1$$

$$M_{eq} = 1.73372 \text{ Nmm}$$

$$M_V = \sqrt{Meq^2 + 0.75 * (\alpha_0 * Teq)^2}$$

$$M_V = \sqrt{1.73372^2 + 0.75 * (0.7 * 4.47527)^2}$$

$$M_V = 3.21964 \text{ Nmm}$$

**Überschlägige Ermittlung des Durchmessers für eine Vollwelle:**

$$d' \approx 3.4 * \sqrt[3]{\frac{MV}{\sigma_b}}$$

$$d' \approx 0.90339 \text{ mm (1mm)}$$

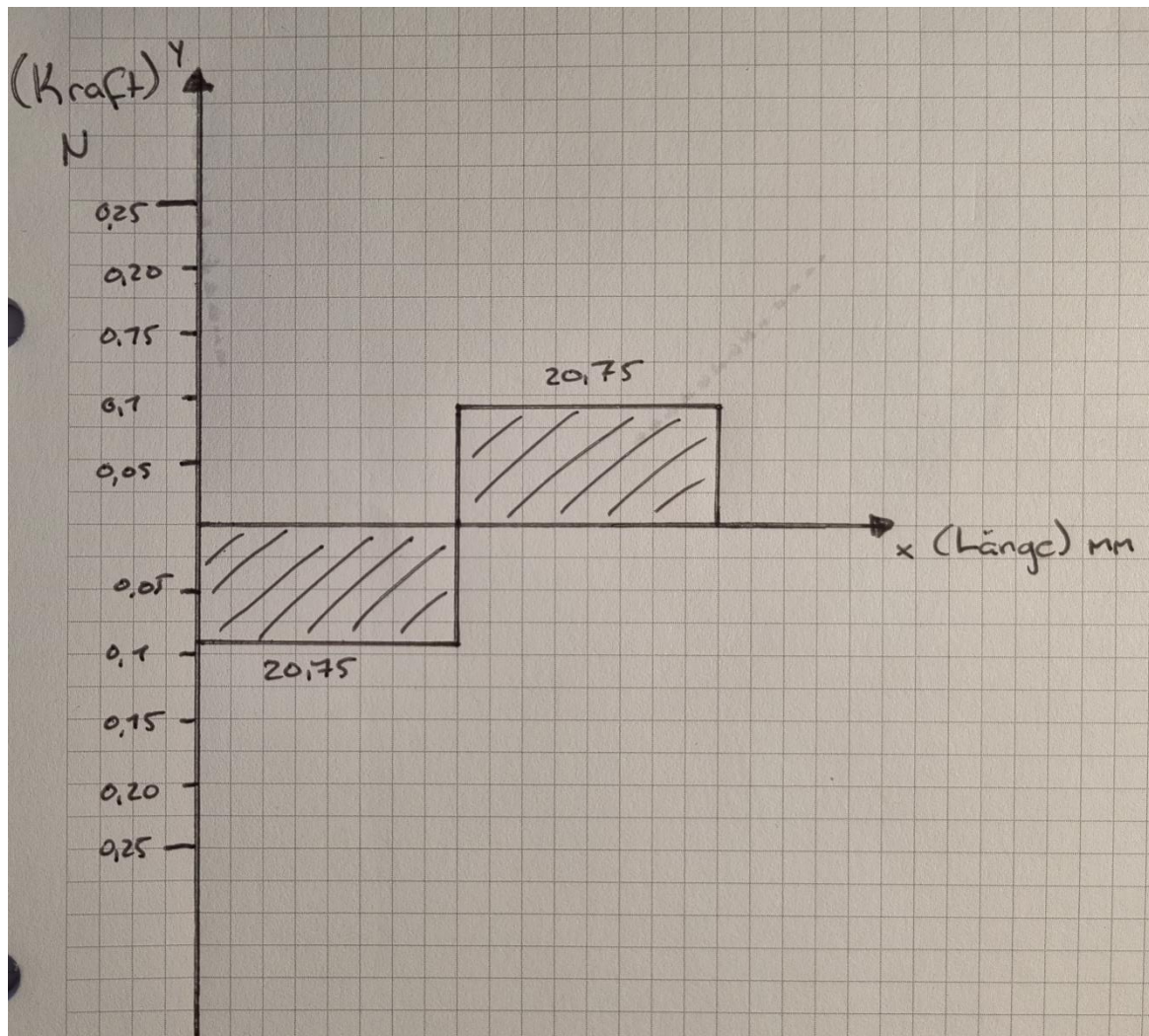


ABBILDUNG 32: Mb-DIAGRAMM WELLE 1

### Maximale Durchbiegung:

$$I_b = (\pi \div 64) * d^4$$

$$I_b = 1017,88 \text{ mm}^4$$

$$f_m = F * a^2 * b^2 / 3 * E * I * l$$

$$f_m = 0,000044 \text{ mm}$$

### Neigungswinkel:

$$\tan \alpha = F * a * b * (l+b) / 6 * E * I * l$$

$$\tan \alpha = 0,000003^\circ$$

**Verdrehwinkel:**

$$T_{\text{Nenn}} = P / 2 * \pi * n$$

$$T_{\text{Nenn}} = 0.032803 / 2 * \pi * 70$$

$$\underline{T_{\text{Nenn}} = 0.000075 \text{ Nm}}$$

$$I_t = (\pi \div 32) * d^4$$

$$\underline{I_t = 2035.75 \text{ mm}^4}$$

$$\varphi^\circ = (180^\circ / \pi) * (T * l / G * I_t)$$

$$\underline{\varphi^\circ = 0.000042^\circ}$$

## Passfederberechnung:

Wegen fehlenden Daten mussten manche Werte abgeschätzt werden. Da die Kräfte so gering sind, sollte dieses nicht zu Problemen führen.

Die Streckgrenze  $R_{eH}$  des Stahls E295 beträgt etwa 62,75% seiner Zugfestigkeit  $R_{mH}$ . Beim Stahl E335 liegt dieses Verhältnis bei 58,7%. Daher können wir annehmen, dass die Streckgrenze bei PAHT CF ungefähr 60% der Zugfestigkeit beträgt.

Leider bleibt uns keine andere Möglichkeit als solche Schätzungen vorzunehmen, da der Hersteller nicht reagiert.

Somit:

$$R_{eH} \approx R_{mH} * 0.6$$

$$R_{eH} \approx 104.02 \text{ N/mm}^2$$

$$h_{tr} = h - t_1$$

$$h_{tr} = 4\text{mm} - 2.5\text{mm}$$

$$h_{tr} = 1.5\text{mm}$$

$$T_{Nenn} = 9550 * (0.032803\text{kW} / 208.843 \text{ min}^{-1})$$

$$T_{Nenn} = 1.50002 \text{ Nmm}$$

$$R_e = K_t * R_{eH}$$

$$R_e = 1.007 * 104.02 \text{ N/mm}^2$$

$$R_e = 104.75 \text{ N/mm}^2$$

$$P_{zul} = R_e / SF$$

$$P_{zul} = 104.75 \text{ N/mm}^2 / 1.3$$

$$P_{zul} = 80.57 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{tr} = 2 * T_{eq} / d * h_{tr} * n * \varphi * \rho_{zul}$$

$$l_{tr} = 2 * 1.50002\text{Nmm} / 10\text{mm} * 1.5\text{mm} * 1 * 1 * 80.57 \text{ N/mm}^2$$

$$l_{tr} = 0.0025 \text{ mm}$$

$$l = l_{tr} + b$$

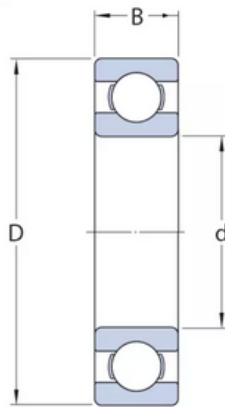
$$l = 0.0025\text{mm} + 4\text{mm}$$

$$l = 4.0025\text{mm}$$

Daher ist die Berechnung der Passfeder fast überflüssig, wodurch man die Länge der Passfeder nach Belieben wählen kann.

## Lagerberechnungen:

Das Getriebe-Projekt wird nicht unterstützt, daher müssen Lager ausgewählt werden, die bezahlbar sind und gleichzeitig groß genug, um sie einbauen zu können. Um das Ganze kosteneffizient zu gestalten, werden für alle Wellen die gleichen Lager verwendet.



Typ		61800
d	mm	10
D	mm	19
B	mm	5
Tragzahl dyn.	kN	1.38
Tragzahl stat.	kN	0.585
Grenzdrehzahl	min <sup>-1</sup>	48'000

ABBILDUNG 33: KUGELLAGER INFORMATION DER GEWÄHLTEN LAGER

### Richtwerte Universalgetriebe: (4000 – 14000h )

Es wurden die größten Kräfte und die höchsten Drehzahlen des Getriebes eingesetzt. Dazu wurde eine maximale Laufzeit von 14 000 Stunden berücksichtigt, um sicherzustellen, dass die Lager richtig ausgewählt wurden.

Das Ergebnis spricht für sich: Die Lager werden kaum belastet.

$$C_{\text{erf}} \geq P \cdot \sqrt[3]{\frac{60 \cdot n \cdot L_{10h}}{10^6}}$$

$L_{10h}$	$C_{\text{erf}}$	$P$	$n$
h	kN	kN	min <sup>-1</sup>

ABBILDUNG 34: FORMEL DER ERFORDERLICHE DYNAMISCHE TRAGZAHL

$$C_{\text{erf}} \geq 0.000935 \text{ kN}$$

$$C_{\text{erf}} \geq 0.935 \text{ N}$$

## Berechnungsanalyse:

Obwohl die wirkenden Kräfte so gering sind, dass man die Berechnungen vermutlich hätte vernachlässigen können, sind Wellenberechnungen ein integraler Bestandteil der Getriebeentwicklung.

Aufgrund der Auswahl der Lager muss die Welle um ein Vielfaches größer sein als das, was die minimalen Ergebnisse vorschreiben. Trotz dieser geringen Belastungen werden solche Berechnungen durchgeführt, um sicherzustellen, dass keine Bauteile versagen.

Genau hier zeigt der 3D-Druck seine Stärken, insbesondere bei Bauteilen, die geringen Kräften standhalten müssen, aber gleichzeitig komplexe Geometrien aufweisen. Dies gilt sowohl für Rapid Prototyping als auch für die endgültige Fertigung, bei der der 3D-Druck die Möglichkeit bietet, kosteneffizient Prototypen zu erstellen und iterative Tests durchzuführen, was die Entwicklung erheblich beschleunigt und gleichzeitig die strukturelle Integrität gewährleistet.

## Zahnrad berechnungen:

### Gegeben:

$$m = 1.5$$

$$d_{a1,3} = 60$$

$$d_{a2,4} = 36$$

### Zähnezahl:

$$d_{a1,3} = m \cdot (z+2)$$

$$60 \text{ mm} = 1.5 \text{ mm} \cdot (z+2)$$

$$\underline{z_{1,3} = 38}$$

$$d_{a2,4} = m \cdot (z+2)$$

$$36 \text{ mm} = 1.5 \text{ mm} \cdot (z+2)$$

$$\underline{z_{2,4} = 22}$$

### Teilkreisdurchmesser:

$$d_{1,3} = z \cdot m = 38 \cdot 1.5 = \underline{57 \text{ mm}}$$

$$d_{2,4} = z \cdot m = 22 \cdot 1.5 = \underline{33 \text{ mm}}$$

### Null-Achsabstand:

Die Resultate gelten für beide Radpaare.

$$a_d = m/2 \cdot (z_1 + z_2)$$

$$a_d = 1.5/2 \cdot (38 + 22)$$

$$\underline{a_d = 45 \text{ mm}}$$

### Grundkreisdurchmesser:

$$d_b = z \cdot m \cdot \cos \alpha$$

$$d_{b1,3} = 38 \cdot 1.5 \cdot \cos(20) = 53.5625 \text{ mm}$$

$$d_{b2,4} = 22 \cdot 1.5 \cdot \cos(20) = 31.01 \text{ mm}$$

**Profilüberdeckung:**

Die Resultate gelten für beide Radpaare.

Profilüberdeckung

$$\varepsilon_{\alpha} = \frac{g_{\alpha}}{p_e} = \frac{0,5 \cdot \left( \sqrt{d_{a1}^2 - d_{b1}^2} + \frac{z_2}{|z_2|} \cdot \sqrt{d_{a2}^2 - d_{b2}^2} \right) - a_d \cdot \sin \alpha}{\pi \cdot m \cdot \cos \alpha}$$

ABBILDUNG 35: FORMEL ZU PROFILÜBERDECKUNG (ROLOFF/MATEK)

$$\varepsilon_{\alpha} = 1.64213$$

**Zahnradbreite:**

Bei Kunststoffzahnradpaaren wird empfohlen, dass die Zahnbreite mindestens 6 bis 8 Mal dem Modul entsprechen sollte.

$$\text{Zahnradbreite} = 6 \cdot 1.5\text{mm} = 9$$

$$\text{Zahnradbreite} = 8 \cdot 1.5\text{mm} = 12$$

$$\underline{\text{Zahnradbreite} = 15 \text{ mm}}$$

Aus Sicherheitsgründen wird eine Dimension von 15 mm gewählt, da das Breitenverhältnis in der industriellen Zahnradproduktion vorgeschrieben wird. Beim 3D-Druck könnten sich allerdings andere Anforderungen ergeben, was einen gewissen Spielraum zulässt.

Die dabei auftretenden Kräfte sind jedoch letztendlich so gering, dass sie keine Bedenken aufwerfen.

## Solid Works (CAD):

### Welle 1 und 3:

Die Welle verfügt über zwei Lagerstellen mit einem Anschlag. Alle Verbindungen wurden so konzipiert, dass sie überall eine Presspassung aufweisen.

Die Passfeder wurde ins Material eingezeichnet, um die bestmögliche Festigkeit zu gewährleisten.

An den Wellen 1 und 3 wurde die Welle verlängert, um am Eingang und Ausgang Verbindungen mit Antrieben zu ermöglichen.



**ABBILDUNG 36: WELLE 1 UND 3**

## Welle 2:

Bei der zweiten Welle wurde das gleiche Prinzip angewandt, indem alle Verbindungen als Pressverbindungen ausgeführt und die Passfedern in das Bauteil integriert wurden.

Die zweite Welle dient ausschließlich der Kraftübertragung und ist daher im Gehäuse verborgen.

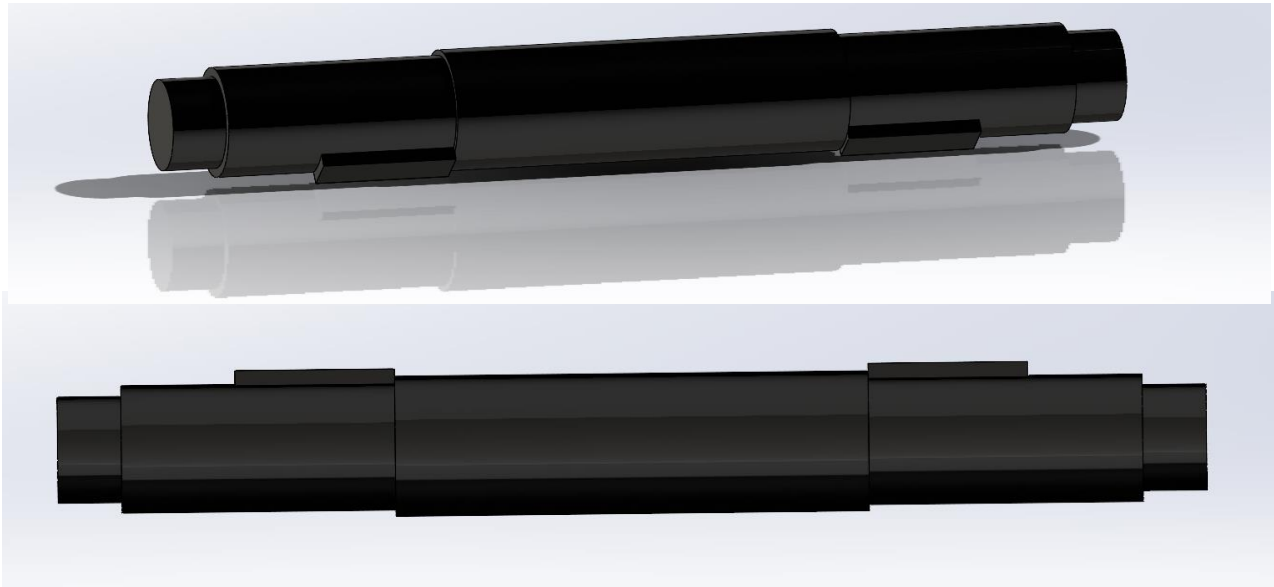


ABBILDUNG 37: WELLE 2

## Zahnrad z1 und z3:

In diesem Getriebe wurden z1 und z3 identisch konzipiert und sind daher gleich. Auch hier ist eine leichte Pressverbindung vorgesehen.

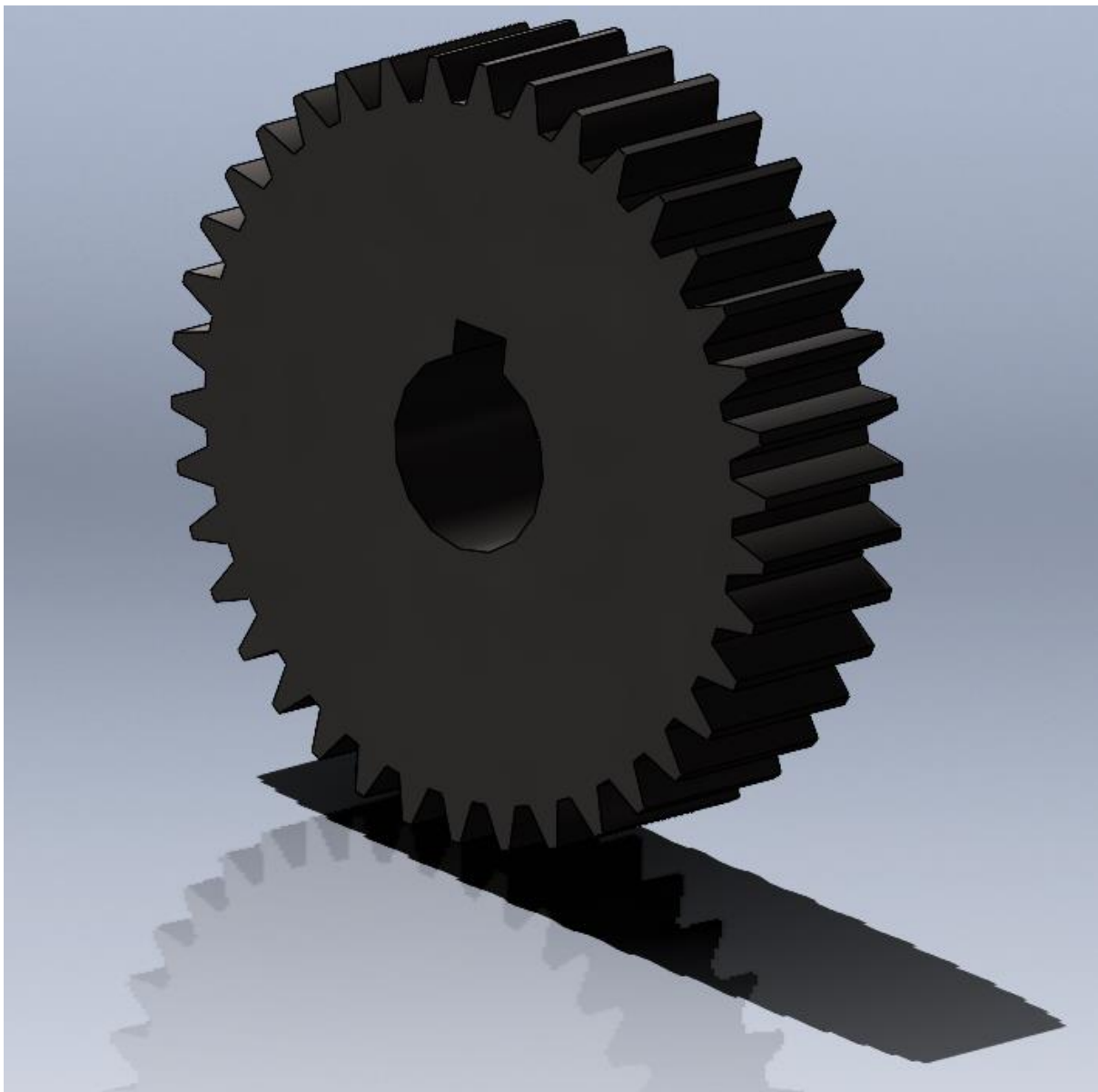


ABBILDUNG 38: ZAHNRAD 1 UND 3

## Zahnrad $z_2$ und $z_4$ :

Die Zahnräder  $z_2$  und  $z_4$  müssen in diesem Fall ebenfalls identisch sein, da die Zahnräder  $z_1$  und  $z_3$  gleich sind.

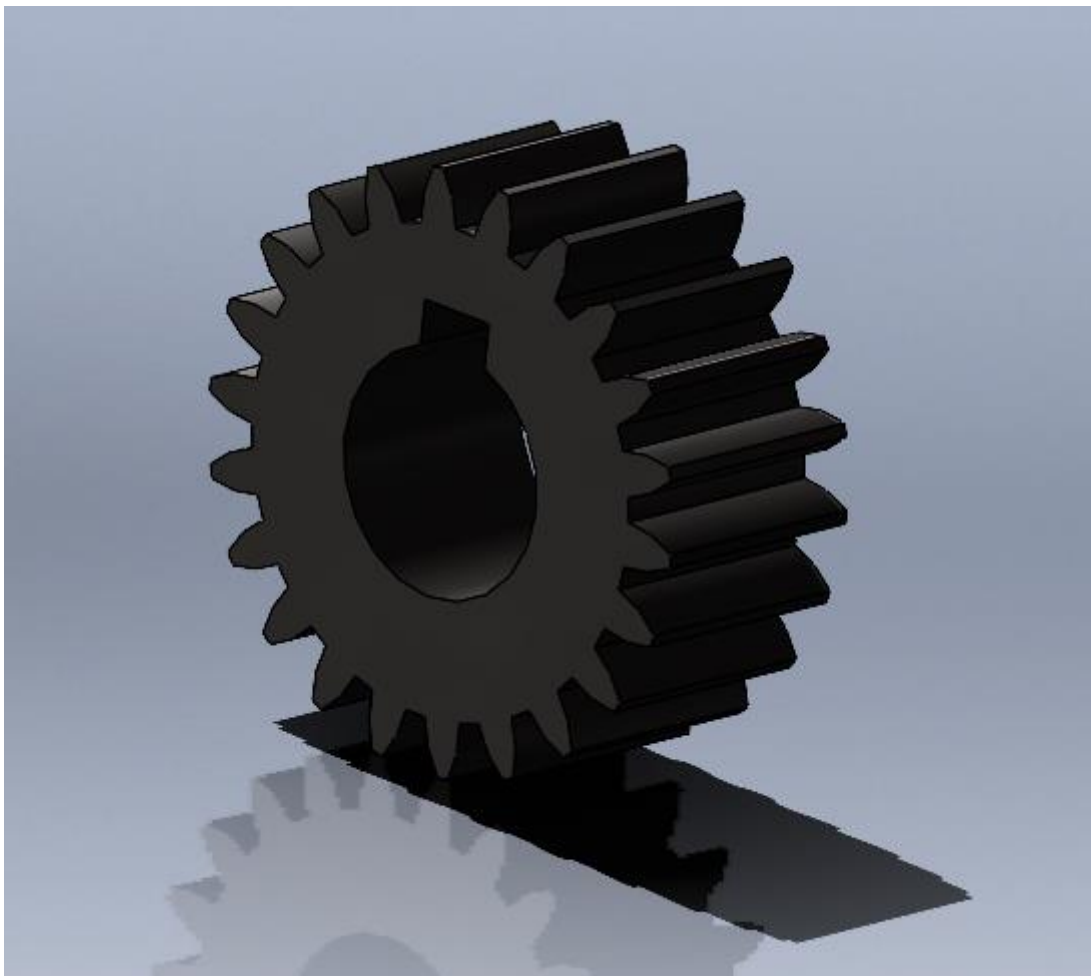


ABBILDUNG 39: ZAHNRAD 2 UND 4

## Getriebe Gehäuse:

### Getriebe Unten:

Um ein solches 3D-Modell zu ermöglichen, muss das Gehäuse komplett halbiert werden. Daraus ergeben sich ein Gehäuseboden und ein Gehäusedeckel.

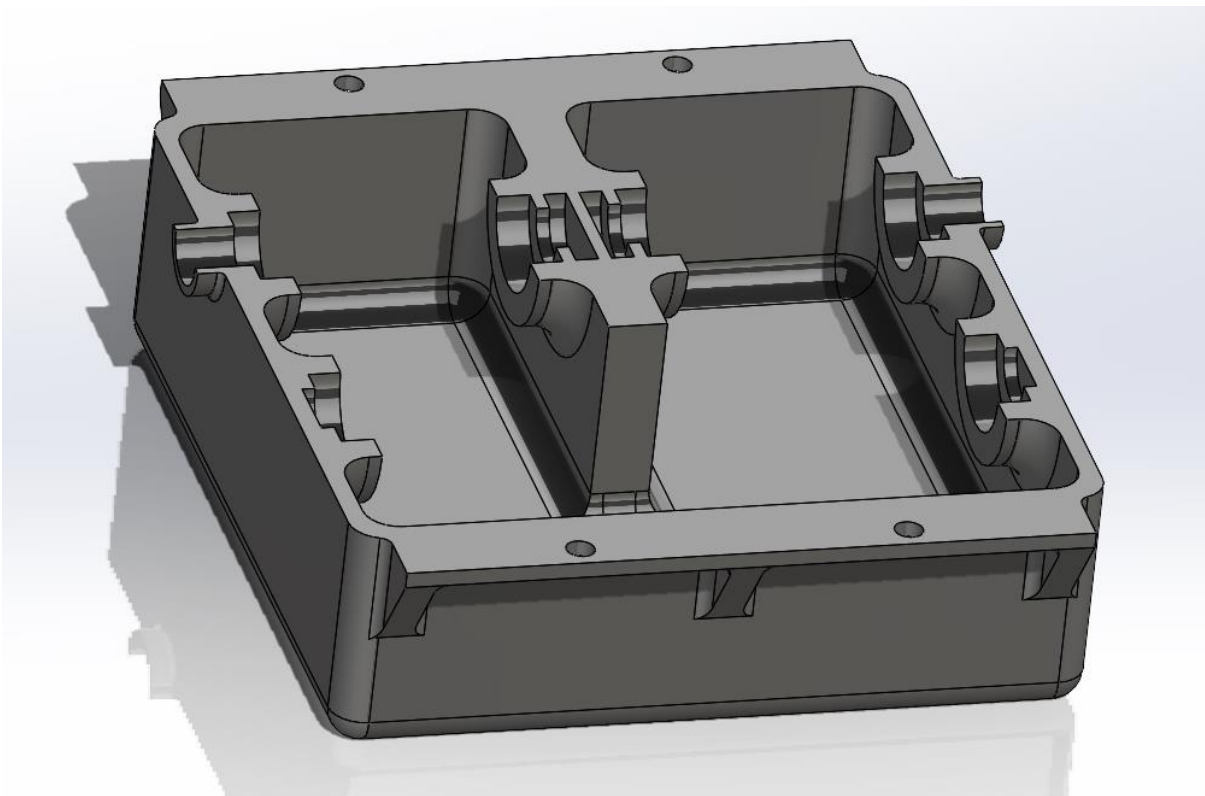
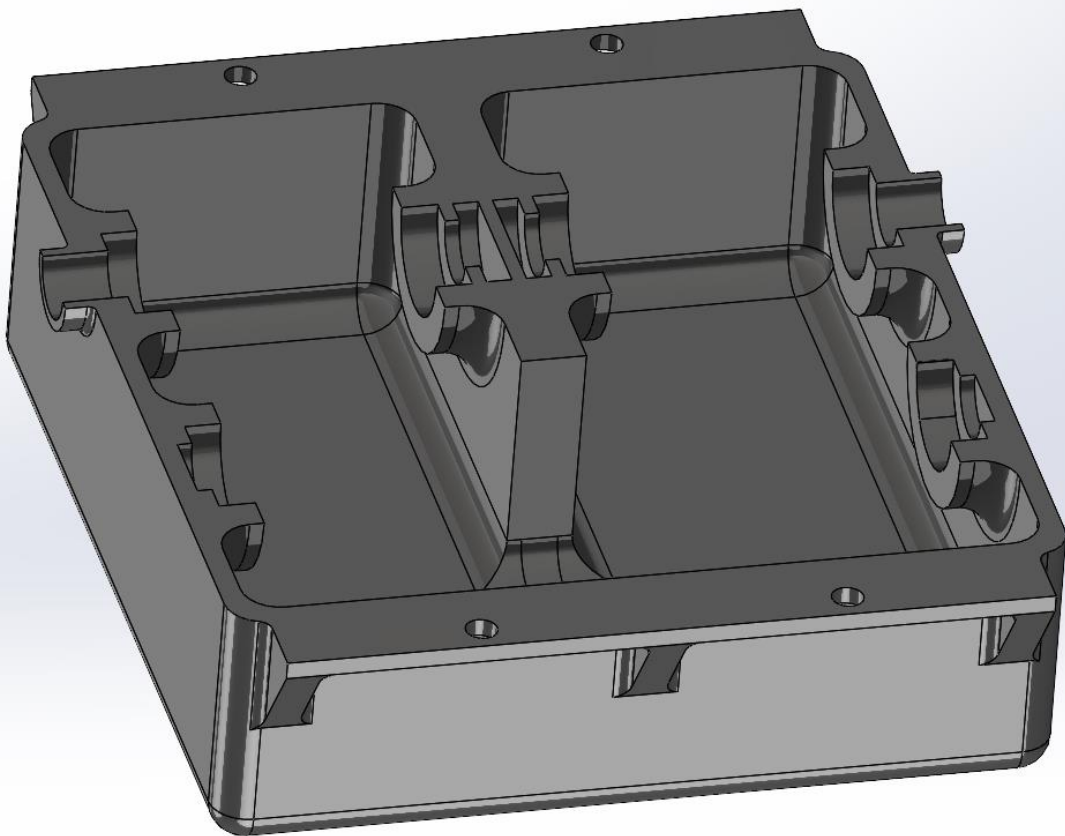


ABBILDUNG 40: GEHÄUSEBODEN

## Getriebe Oben:

Der Deckel sieht von innen gleich aus und wird vom Getriebeboden gespiegelt.



**ABBILDUNG 41: GEHÄUSEDECKEL**

Um das Getriebe noch ein wenig zu personalisieren, wurde auf dem Getriebedeckel der Name des Entwicklers drauf gezeichnet.

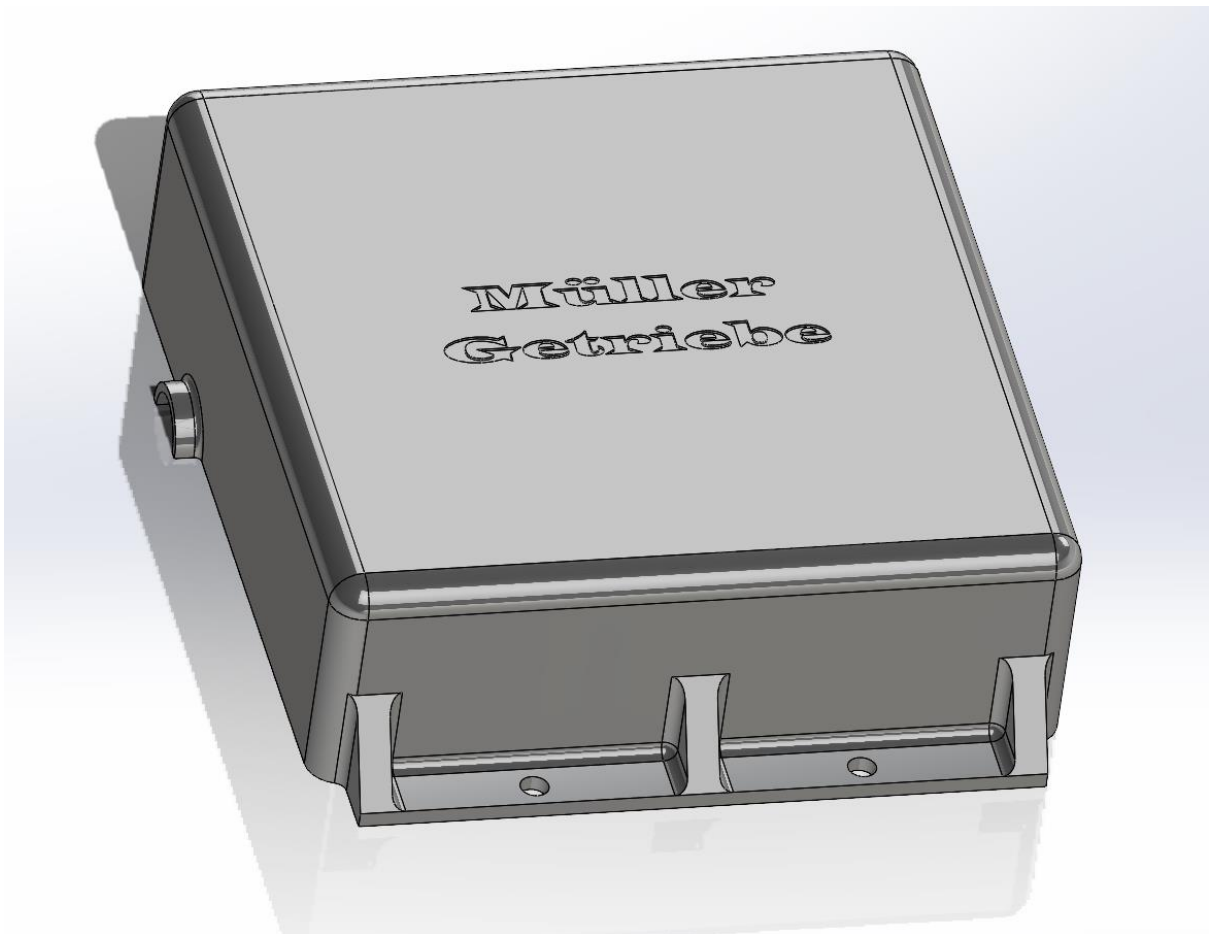


ABBILDUNG 42: GEHÄUSEDECKEL

## Getriebe zusammengebaut:

Im Zusammengebautem Zustand, sollte das Getriebe von innen etwa so aussehen. Jede Welle mit zwei Lagerstellen.

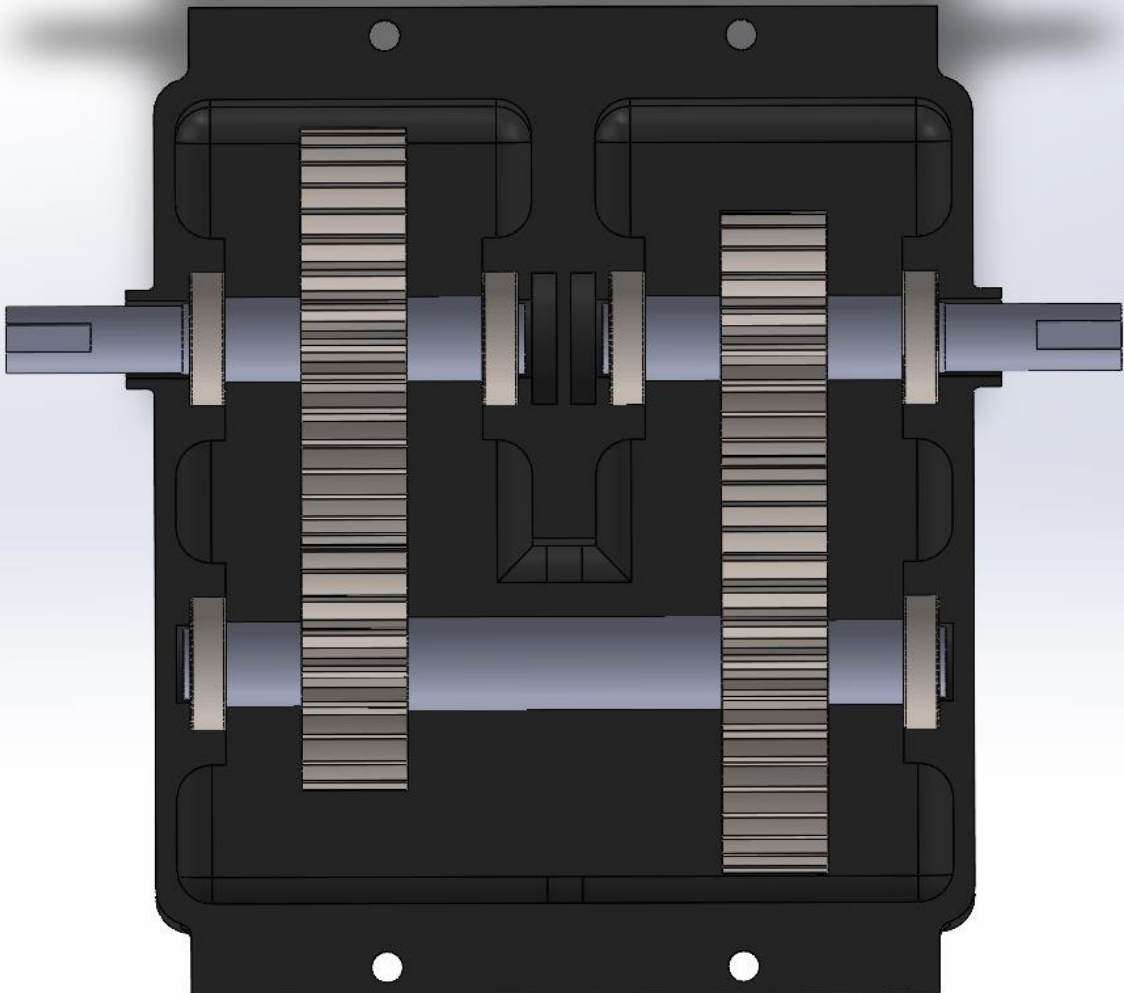


ABBILDUNG 43: GETRIEBE VON INNEN 1/2

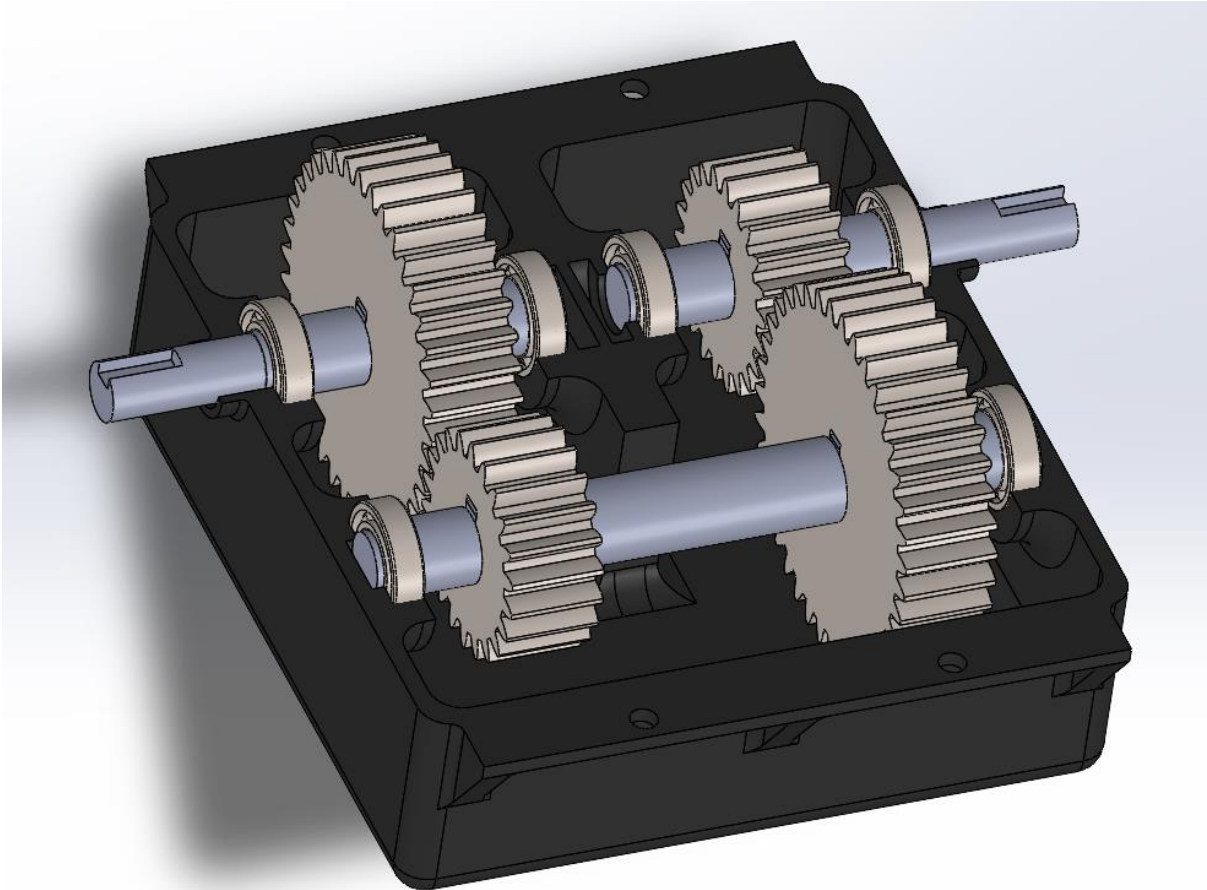


ABBILDUNG 44: GETRIEBE VON INNEN 2/2

Hier ist das Endprodukt auf Solid Works zu sehen. Eine relativ vereinfachte Bauart eines Getriebes.

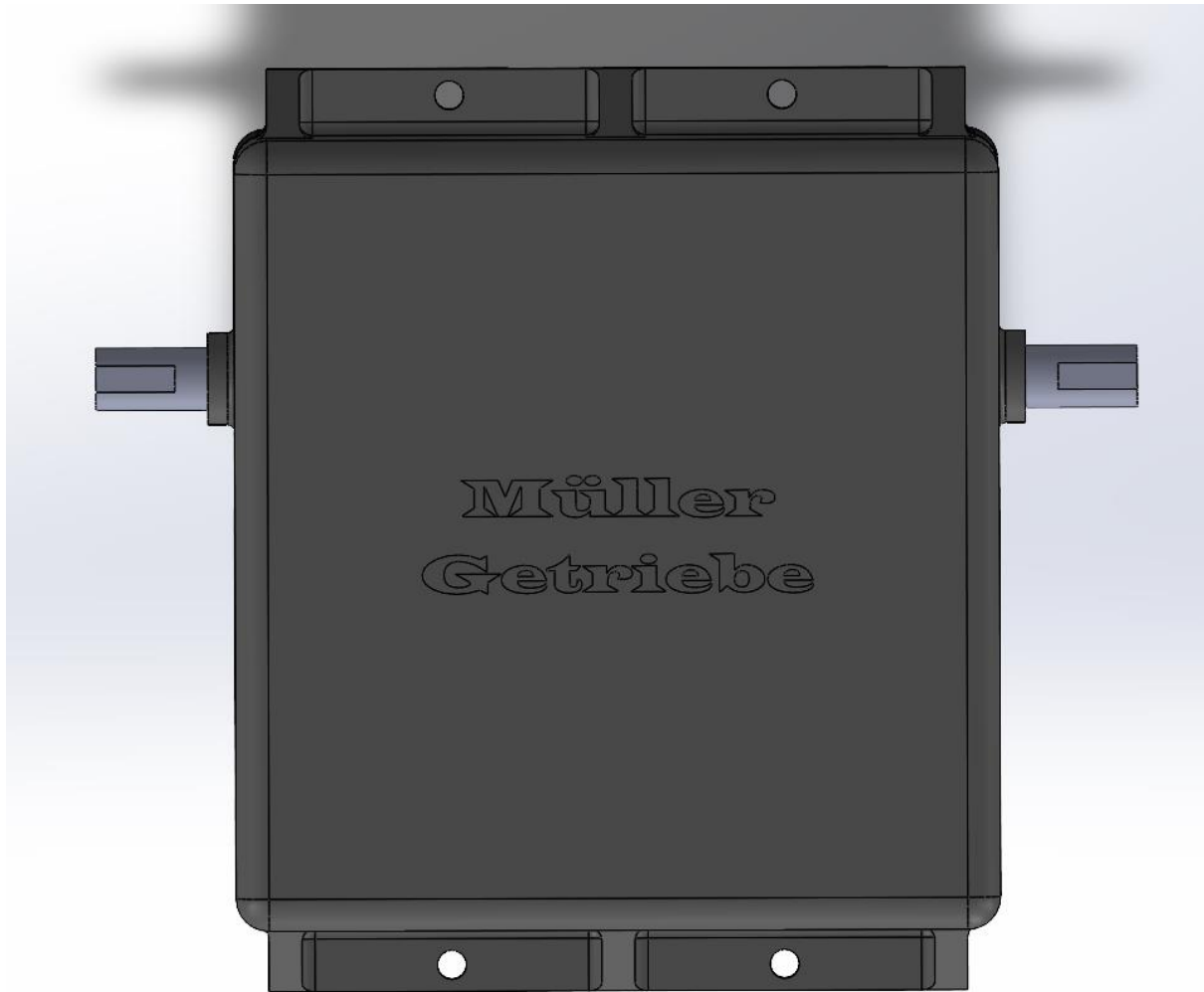


ABBILDUNG 45: DAS FERTIGE GETRIEBE 1/2

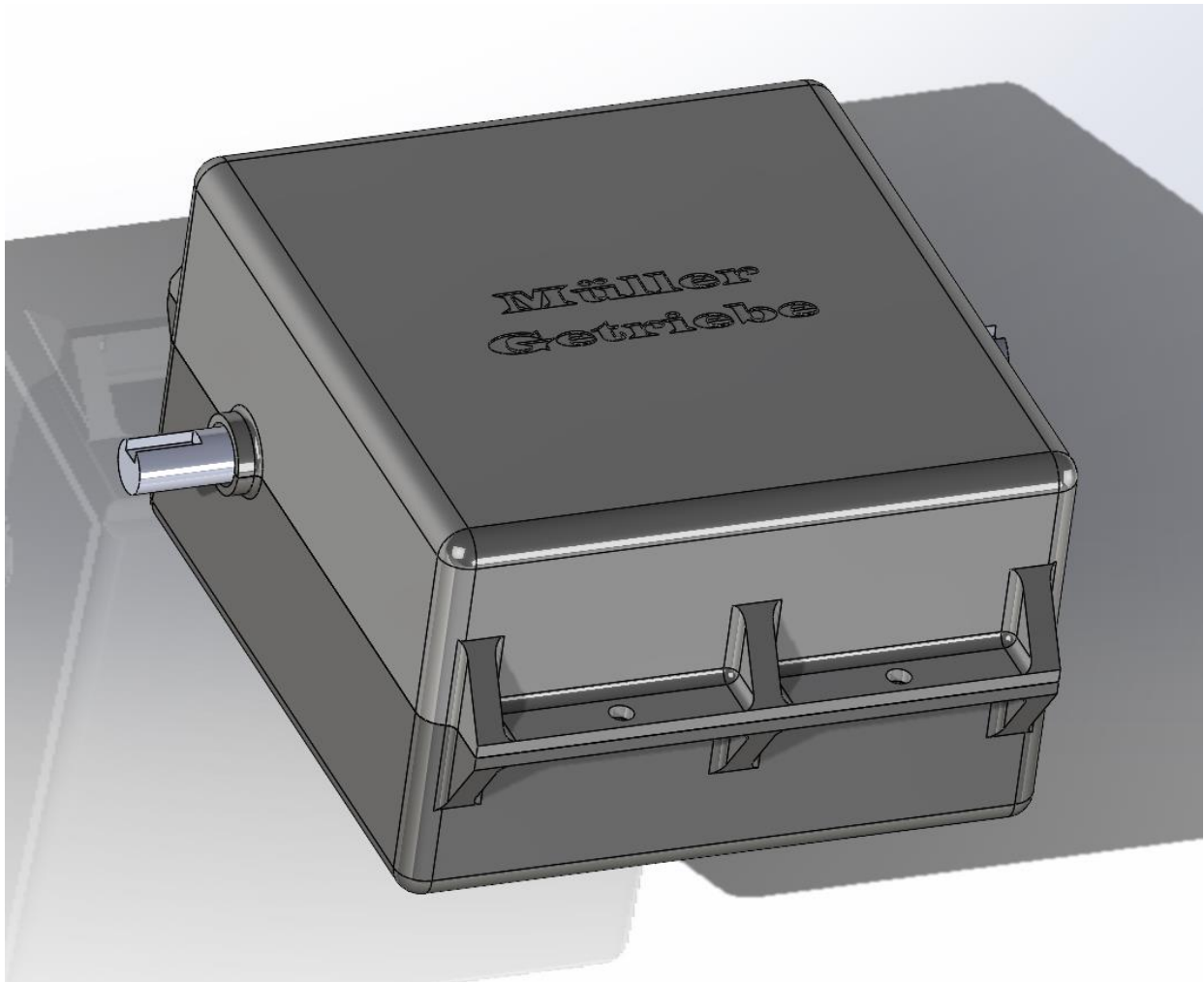


ABBILDUNG 46: DAS FERTIGE GETRIEBE 2/2

## Schutzkappe:

Es wurde noch eine Schutzkappe konstruiert, um Verschmutzungen an den Lagern zu vermeiden. Die Kappe lässt sich auf die Welle aufdrücken und dreht sich mit der Welle mit. Das Material ist Elastisch und dichtet zusätzlich die Welle ab.

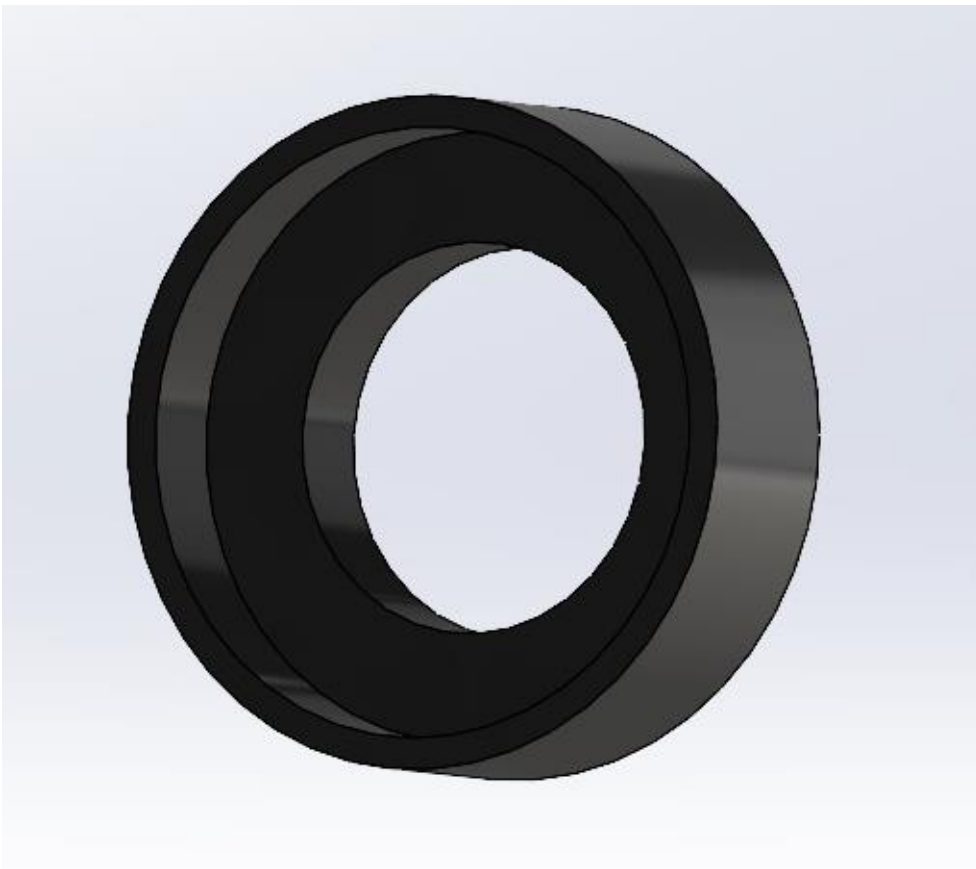


ABBILDUNG 47: SCHUTZKAPPE

So sieht es dann im eingebauten Zustand aus. Es wurde eine 0,5-mm-Aussparung zwischen Kappe und Gehäuse eingepplant, um Reibung zu vermeiden.

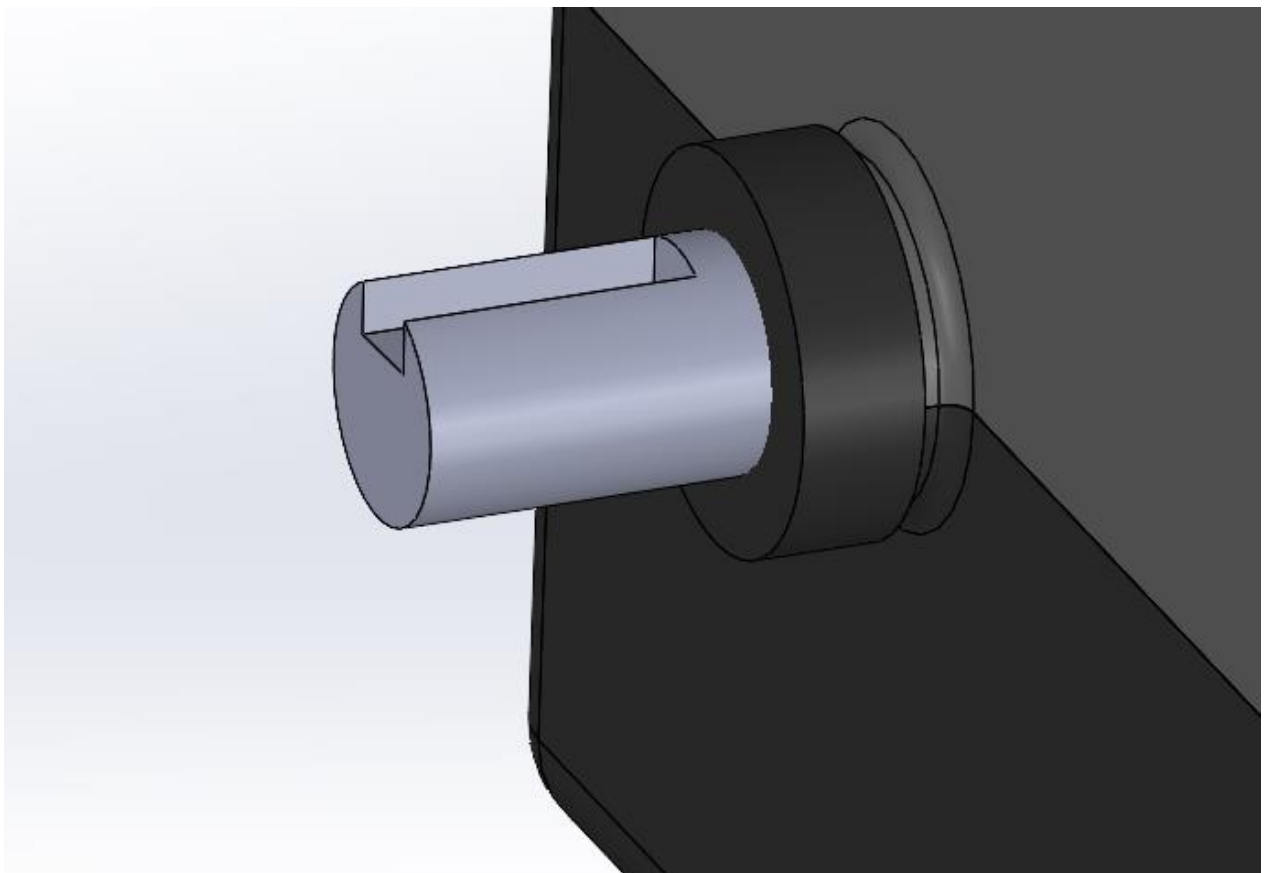


ABBILDUNG 48: SCHUTZKAPPE IN EINGEBAUTEM ZUSTAND

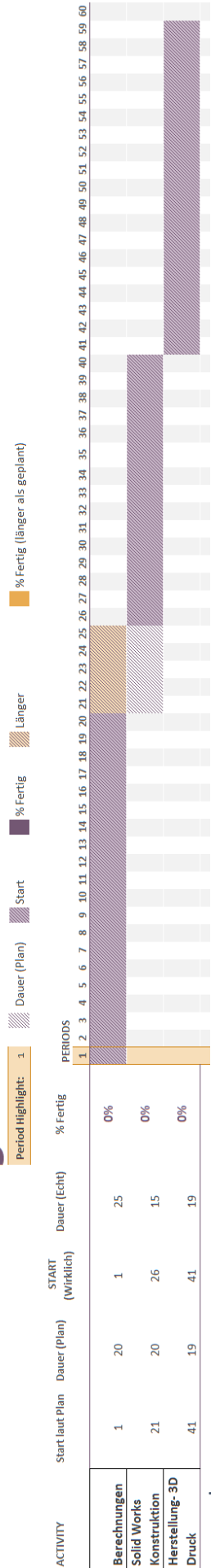
## Ist Zeitplanlan:

Wie erwartet gab es ein Problem mit den Herstellerangaben, wodurch die Berechnungsphase länger dauerte als geplant.

Dafür konnte in der Konstruktionsphase Zeit gutgemacht und der Plan wieder eingehalten werden.

In der Herstellungsphase traten ebenfalls Schwierigkeiten auf, doch waren diese vorhergesehen.

# Getriebe Entwicklung



ACTIVITY	Start laut Plan	Dauer (Plan)	START (Wirklich)	Dauer (Echt)	% Fertig
Berechnungen	1	20	1	25	0%
Solid Works Konstruktion	21	20	26	15	0%
Herstellung- 3D Druck	41	19	41	19	0%

TABELLE 2: IST ZETPLAN

## Kosten:

Der 3D-Druckmarkt ist äußerst hobbyfreundlich, weshalb es eine Reihe kostenloser CAD- und Slicing-Programme gibt. Zudem existieren verschiedene Webseiten, die tausende von CAD-Zeichnungen kostenlos zur Verfügung stellen. Dadurch benötigt man lediglich ein Slicing-Programm, um ein Objekt zu drucken. So lässt sich auch mit geringen Mitteln viel erreichen.

Jedoch muss man Objekte, wie beispielsweise ein Getriebe, insbesondere wenn sie spezielle Anforderungen erfüllen müssen, selbst von Grund auf entwerfen und herstellen.

Beschreibung	Anzahl	Preis pro Einheit	Gesamt
<b>Einmalige Kosten:</b>			
Drucker- (kann mit einem Einsteigermodell gedruckt werden)	1	(180-400) 290	290 CHF
Solid Works (Student Edition)	1	100	100 CHF
<b>Material:</b>			
Filament: PA12 (Nylon)	1	60	60 CHF
Filament: PAHT (Nylon- Kohlenstofffaser)	1	76	76 CHF
Filament: ASA	1	30	30 CHF
Kugellager: 61800	6	15.60	93.60 CHF

<b>Arbeitsaufwand:</b>			
Getriebe: Berechnungen	40	(70-120) 100	4000 CHF
Getriebe: Solid Works	30	(70-120) 100	3000 CHF
Getriebe: Drucken	30	(70-120) 100	3000 CHF
		<b>Total:</b>	<b>10 649.60 CHF</b>

**Berechnungen:**

Die Getriebeberechnungen dürfen nicht umgangen und sollten auch nicht überstürzt werden. Es ist wichtig, die Berechnungen korrekt auszuführen, um ein Versagen der Bauteile zu verhindern.

**Drucken:**

Je nach Erfahrung und den Fähigkeiten des Druckers kann sich die benötigte Zeit erheblich unterscheiden. Ein erfahrener Anwender kann selbst aus einem kostengünstigen Drucker viel herausholen, und ein weniger erfahrener Anwender möglicherweise gleich viel Potenzial einer hochwertigen 3D-Druckanlage ausschöpft.

In der Regel wird ein Objekt etwa dreimal gedruckt, bis das gewünschte Ergebnis erzielt ist, vorausgesetzt, man hat die Einstellungen des Filaments nach und nach optimiert. Dies bezieht sich allerdings auf alltägliche Filamente, da diese häufig einfacher zu drucken sind. Bei speziellen Filamenten, wie zum Beispiel Nylon, kann vieles schiefgehen.

**Totale Kosten:**

Die Realisierung des Getriebeprojekts für 10.649,60 CHF stellt angesichts der beteiligten Prozesse und Technologien eine erhebliche Kosteneffizienz dar. Mit einem Rahmen von etwa 100 + Arbeitsstunden von der initialen Konzeption bis zur endgültigen Herstellung wurde das Projekt nicht nur mit finanzieller Rücksichtnahme, sondern auch mit bemerkenswerter Geschwindigkeit umgesetzt.

## Produkt Bewertung:

Alle gedruckten Objekte durchliefen mehrere Druckzyklen, ein üblicher Prozess, da die Perfektionierung selten beim ersten Versuch gelingt. Diese Notwendigkeit wurde besonders betont, da die verwendeten Filamente eine spezifische Herausforderung darstellen und nicht unkompliziert zu drucken sind.

Daher erforderte jedes Filament eine sorgfältige Justierung der Maschine, um sicherzustellen, dass sowohl die Oberflächenbeschaffenheit als auch die Maßgenauigkeit den gewünschten Spezifikationen entsprechen.

## Welle 1 und 3:

Die Wellen 1 und 3 zeichnen sich durch eine überdurchschnittlich gute Qualität aus. Gefertigt aus PAHT CF, einem Material bekannt für seine hohe Festigkeit, sind diese Wellen optimal konzipiert, um erheblichen Belastungen standzuhalten.

Filamentlänge: 2.77 m

Gewicht: 8.25 g

Druck Zeit: 33 min (Pro Druck)



ABBILDUNG 49: WELLE 1 UND 3 FERTIG DRUCK

## Welle 2:

Welle 2 wies eine etwas rauere Oberflächenbeschaffenheit auf im Vergleich zu den übrigen Wellen, jedoch entsprachen ihre Dimensionen exakt den Vorgaben. Dieses Phänomen könnte auf eine erhöhte Luftfeuchtigkeit am Tag des Druckvorgangs zurückzuführen sein, die gelegentlich die Druckqualität beeinträchtigen kann. Trotz dieser kleinen Abweichung wurde auch für die zweite Welle PAHT CF als Material der Wahl beibehalten. Die Wahl fiel aufgrund seiner herausragenden Eignung, die auftretenden Kräfte zu absorbieren und die strukturelle Integrität zu gewährleisten, erneut auf dieses Hochleistungsmaterial.

Filamentlänge: 5.31 m

Gewicht: 15.83 g

Druck Zeit: 1h 2min (Pro Druck)



**ABBILDUNG 50: WELLE 2 FERTIG 3D DRUCK**

## Zahnrad 1 und 3:

Die Zahnräder z1 und z3 wiesen eine zufriedenstellende Qualität auf, obwohl der Druckprozess aufgrund der Eigenschaften von Nylon erhebliche Herausforderungen mit sich brachte. Die Komplexität des Materials erforderte viele Druckdurchläufe, um die gewünschten Ergebnisse zu erzielen. „Warping“ war hier immer ein Thema.

Für die Fertigung aller Zahnräder kam PA12 zum Einsatz, eine Nylonvariante, die aufgrund ihrer hohen Verschleißfestigkeit und mechanischen Stabilität auch in der Industrie für Zahnräder präferiert wird.

Filamentlänge: 14.17 m

Gewicht: 42.28 g

Druck Zeit: 2h 12min (Pro Druck)

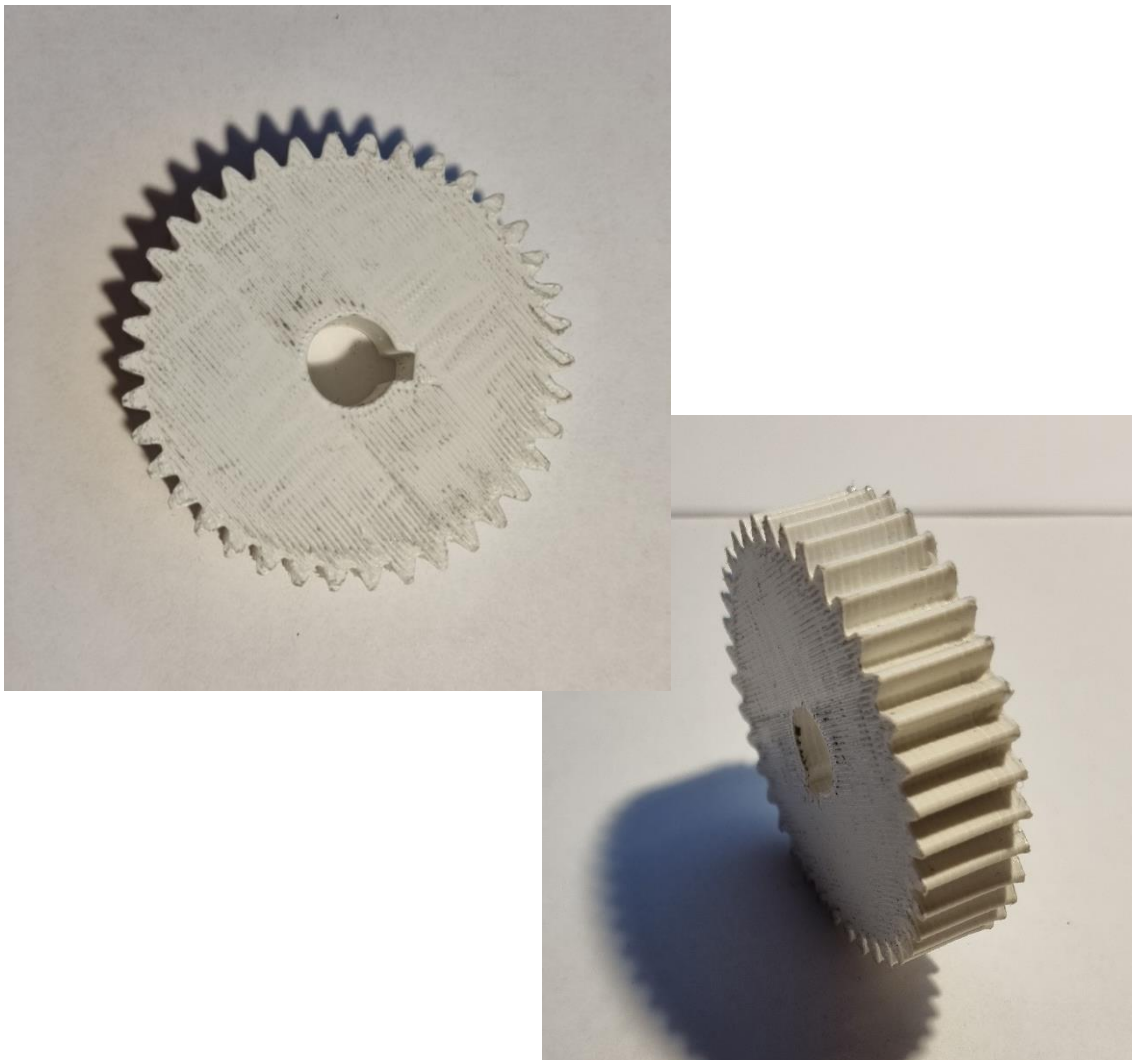


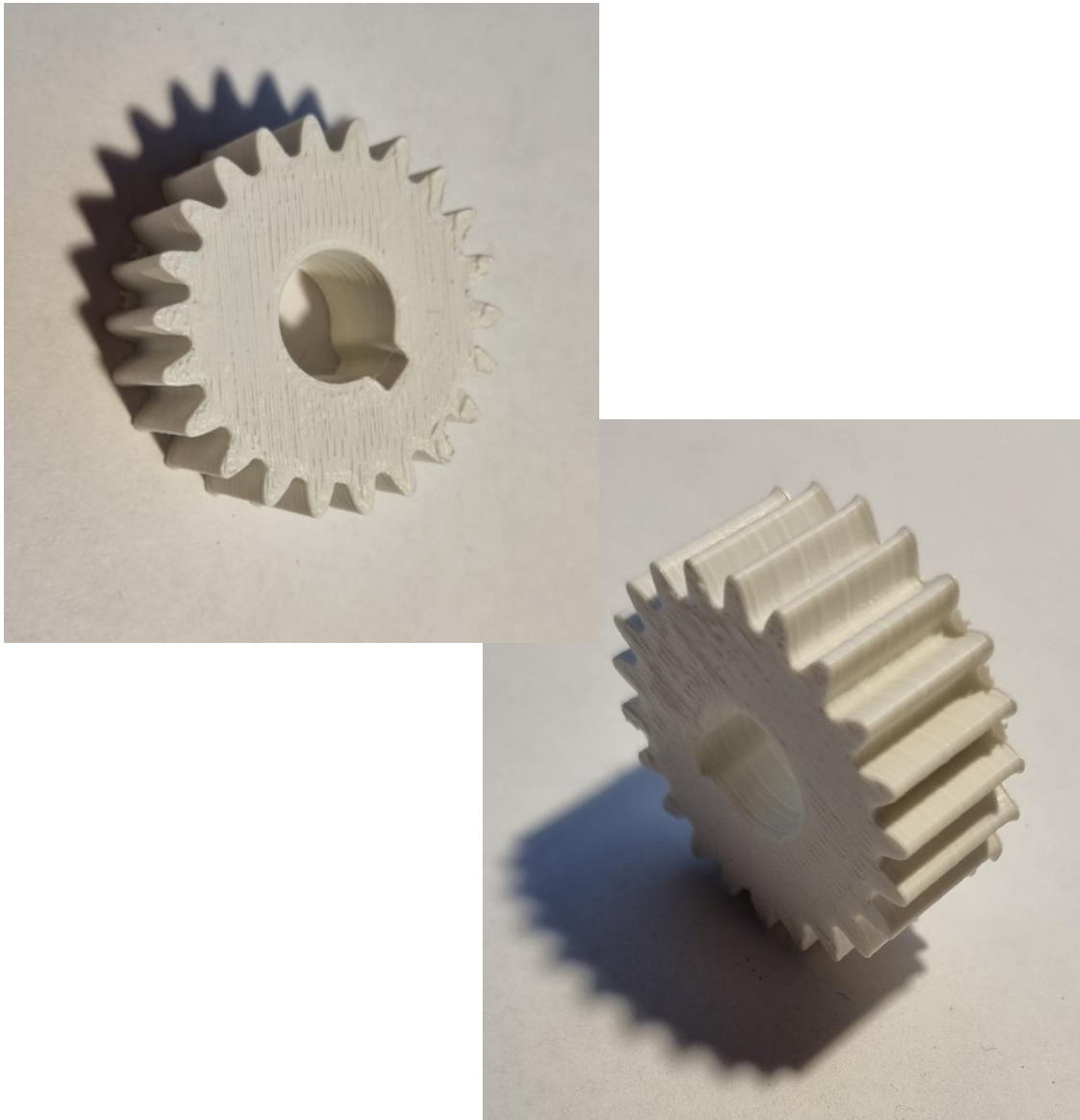
ABBILDUNG 51: ZAHNRAD 1 FERTIG DRUCK

## Zahnrad 2 und 4:

Filamentlänge: 4.25 m

Gewicht: 12.67 g

Druck Zeit: 53 min (Pro Druck)



**ABBILDUNG 52: ZAHNRAD 2 FERTIG DRUCK**

## Das Gehäuse:

Das Gehäuse wurde aufgrund seiner Komplexität in zwei separaten Segmenten gedruckt: der oberen und der unteren Hälfte.

Für diese Komponenten kam das Filament ASA zum Einsatz, welches zwar nicht die gleiche hohe Festigkeit wie PAHT CF aufweist, dafür aber bedeutende Vorteile in Bezug auf Witterungsbeständigkeit bietet. Insbesondere die UV-Resistenz des ASA-Filaments ist hervorzuheben, da sie das Gehäuse vor möglichen Schäden durch ständige Sonneneinstrahlung schützt, ein wesentlicher Faktor, da das Getriebe häufig solchen Bedingungen ausgesetzt sein kann.

## Unten:

Filamentlänge: 64.5 m

Gewicht: 192.38 g

Druck Zeit: 10h 53 min (Pro Druck)

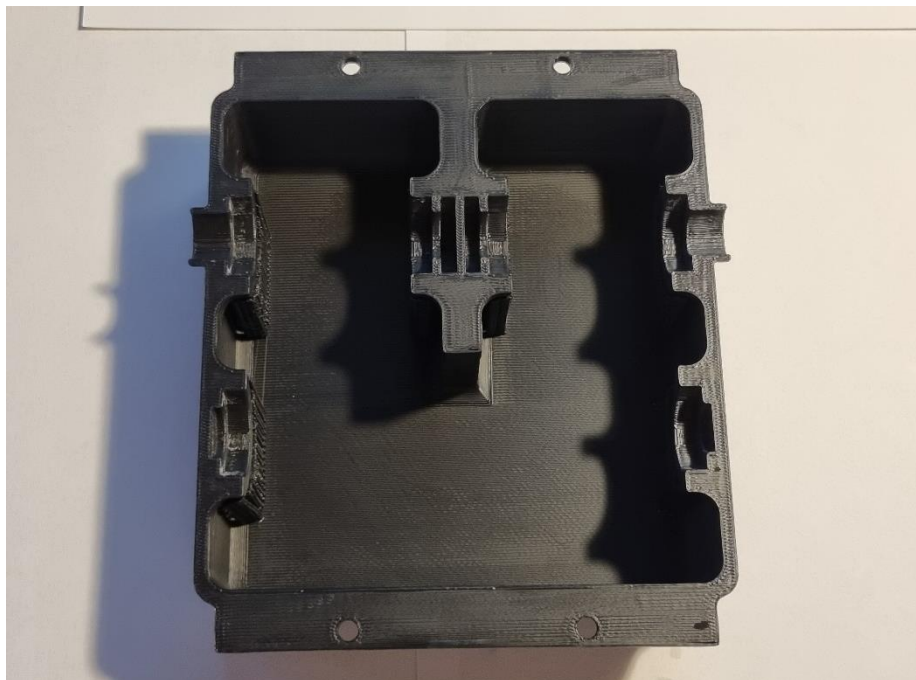


ABBILDUNG 53: GEHÄUSE DRUCK UNTEN

Oben:

Auf der oberen Hälfte des Getriebes wurde der Name des Herstellers prominent als "Produktname" eingefügt.

Bei beiden Teilen des Getriebes stellte das "Warping" eine besondere Herausforderung dar.

Filamentlänge: 64.46 m

Gewicht: 192.26 g

Druck Zeit: 10h 50 min (Pro Druck)



ABBILDUNG 54: GEHÄUSE DRUCK OBEN (MÜLLER GETRIEBE)



### Gehäuse zusammengebaut:

Alle Lager und Zahnräder ließen sich planmäßig auf die Wellen pressen. Die Lager fügten sich präzise in das Gehäuse ein, und beim Zusammendrücken der beiden Hälften wurden die äußeren Ringe der Lager fixiert, um ein Durchrutschen zu verhindern. Die Zahnräder erforderten eine Nachbearbeitung an der Druckfläche, um überschüssiges Material am Rand zu entfernen. Insgesamt funktioniert das Getriebe einwandfrei, und alle Projektziele wurden erfolgreich umgesetzt.

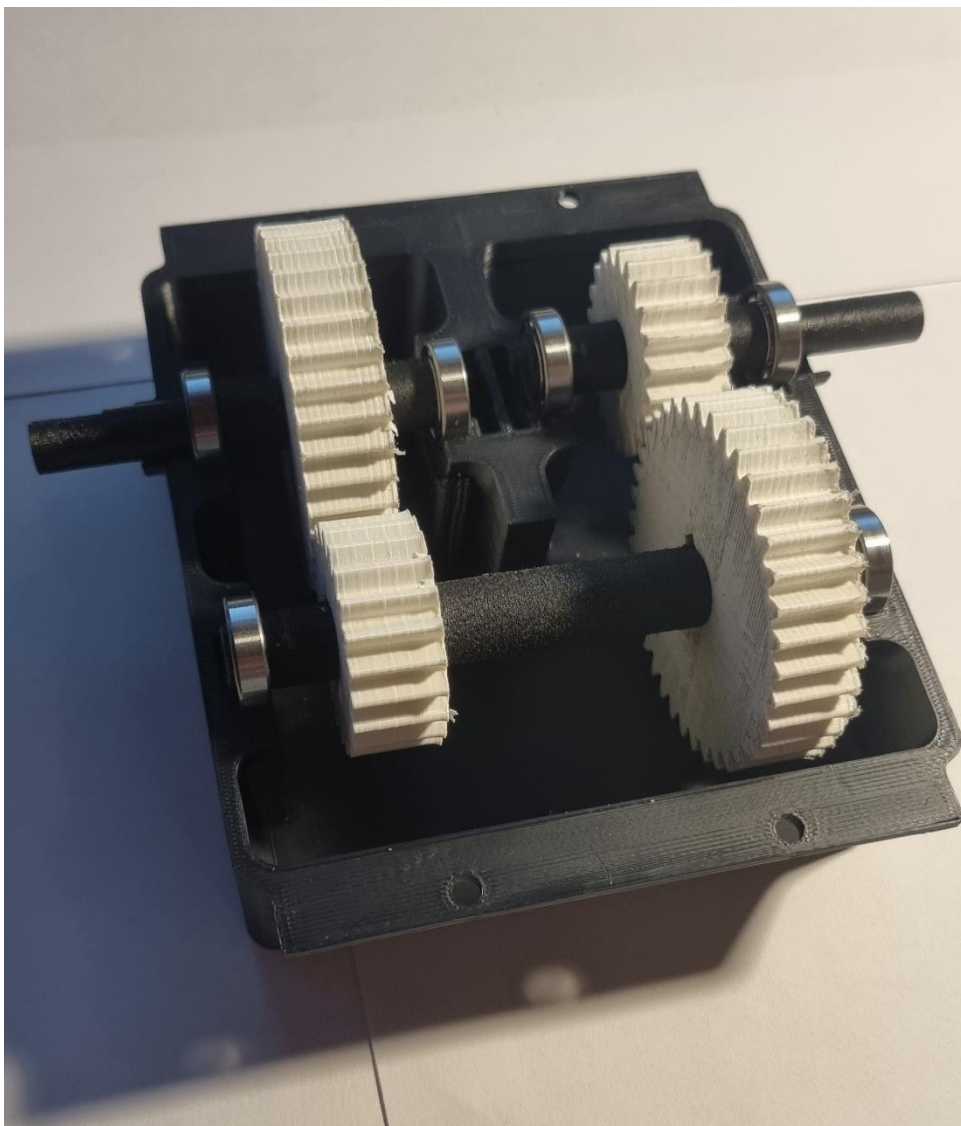


ABBILDUNG 55: DAS FERTIGE GETRIEBE OHNE DECKEL

## Erreichte Ziele:

### Kurbelzahl Reduktion:

Das Ziel, die Umdrehungen von 70 auf mindestens unter 30 zum Ausfahren zu reduzieren, wurde erreicht, wie die Berechnungen bewiesen haben.

Das Ergebnis wurde sogar übertroffen, indem die Anzahl der Kurbelumdrehungen zum Ausfahren auf etwa 24 reduziert werden konnte.

### Material Auswahl:

Für alle Komponenten wurde sorgfältig ein jeweils vorteilhaftes Material ausgewählt, um die Lebensdauer des Getriebes zu gewährleisten.

### Größe vom Getriebe:

Das primäre Ziel bestand darin, das Volumen des Getriebes auf einen maximalen Wert zu beschränken, der dem eines Fußballs entspricht. Ein herkömmlicher Fußball weist in der Regel ein Volumen von rund 5790 cm<sup>3</sup> auf.

Mit einem tatsächlichen Volumen von lediglich 374,79 cm<sup>3</sup> bleibt das entwickelte Getriebe weit unter dieser Grenze. Dieses Ergebnis ist nicht nur eine klare Einhaltung der vorgegebenen Spezifikationen, sondern unterstreicht auch die erfolgreiche Realisierung von Kompaktheit und Effizienz in der Konstruktion.

### Die Berechnungen:

Die Durchführung der Berechnungen erwies sich als erfolgreich, obgleich die fehlenden Werte eine erhebliche Herausforderung darstellten. Diese Komplexität resultiert aus den besonderen Eigenschaften des Filament-Materials, das beinahe eine separate Kategorie für sich bildet. Trotz dieser Schwierigkeiten gelang es, alle notwendigen Daten so präzise wie möglich zu ermitteln und eine fundierte Berechnungsbasis zu schaffen.

### Funktionierendes Getriebe:

Das Getriebe erfüllt seine Funktion tadellos. Alle Komponenten rotieren einwandfrei und die Umsetzung der Übersetzung erfolgen reibungslos und ohne jegliche Schwierigkeiten.

Dieses positive Ergebnis bestätigt die hohe Qualität der Konstruktion und die präzise Abstimmung aller mechanischen Komponenten, die gemeinsam ein harmonisches und effizientes Zusammenspiel gewährleisten.

## Reflektion:

Die Durchführung dieses Projekts war eine intensive Lernerfahrung, die sowohl Herausforderungen als auch Chancen bot, meine technischen Fähigkeiten zu erweitern und praktisches Wissen in Bereichen zu erwerben, die neu oder bisher weniger vertraut für mich waren.

Ein wesentlicher Teil der Herausforderung bestand in der Anfangsphase, insbesondere bei den Berechnungen. Das Fehlen bestimmter Herstellerangaben erschwerte eine vollständige und präzise Berechnung. Obwohl ich versucht habe, die notwendigen Informationen zu erhalten, blieben meine Anfragen leider unbeantwortet. Dies hat mich darüber nachdenken lassen, dass mehr Zeit für die Vorabklärungen eine tiefere und genauere Analyse ermöglicht hätte. Es war eine Lektion in der Bedeutung der Zugänglichkeit und Vollständigkeit von Daten sowie der Notwendigkeit, mögliche Verzögerungen in der Kommunikation mit externen Parteien zu berücksichtigen.

Meine Erfahrung mit SolidWorks war vor diesem Projekt eher grundlegend. Die Notwendigkeit, ein komplexes Getriebe zu konstruieren, drängte mich jedoch, die Grenzen meiner bisherigen Kenntnisse zu erweitern. Der Lernprozess war intensiv, aber unglaublich lohnend, da ich mit jedem Schritt, jeder Herausforderung und jedem gelösten Problem mehr Vertrauen und Kompetenz in der Verwendung des Programms gewann.

Was den 3D-Druck betrifft, so war dieser Teil des Prozesses sowohl der zeitaufwändigste als auch der experimentellste. Die Feinabstimmung der Drucker für verschiedene Filamente und die genaue Messung der Endprodukte erforderte viel Geduld und Versuch und Irrtum. Obwohl es entmutigend war, viele Prototypen verwerfen zu müssen, akzeptierte ich dies als Teil des Lernprozesses, der im 3D-Druckumfeld üblich ist. Es lehrte mich die Bedeutung von Beharrlichkeit und Detailgenauigkeit in der Fertigungsphase.

Insgesamt war dieses Projekt trotz der unvermeidlichen Hürden eine positiv prägende Erfahrung. Die praktischen Herausforderungen waren vielfältig und lehrreich. Die gesamte Erfahrung war bereichernd und hat meine Fähigkeiten in Berechnung, Design und Fertigung deutlich verbessert. Es hat mich nicht nur technisch kompetenter gemacht, sondern auch wichtige Lektionen in Durchhaltevermögen, Problemlösung und der Bedeutung von praxisorientiertem Lernen vermittelt.

## Schlusswort:

Abschließend bestätigt diese Arbeit die transformative Kraft innovativer Ansätze in der Mechanik und Fertigung. Durch das sorgfältige Erreichen der festgelegten Ziele zeigt das Projekt die Machbarkeit und Wirksamkeit der Anwendung moderner Technologien, insbesondere des 3D-Drucks, in der traditionellen Maschinenbauindustrie.

Die erfolgreiche Reduzierung der Umdrehungen von 70 auf unter 30 bei der Handhabung des Getriebes ist ein Beweis für den Erfolg des Designs und der Umsetzung. Es hebt die Bedeutung präziser Berechnungen, Materialauswahl und innovativer Konstruktionsprinzipien hervor. Dabei übersteigt der Wert dieser Arbeit die spezifische Anwendung für Markisen und spricht für eine breitere Relevanz in der Gestaltung mechanischer Systeme.

Diese Forschung dient nicht nur als Lösung für eine praktische Herausforderung, sondern bietet auch wertvolle Einsichten und eine robuste Methodik, die auf eine Vielzahl von Projekten in der mechanischen Konstruktion und Fertigung anwendbar ist. Die Ergebnisse setzen neue Standards in Bezug auf Effizienz und benutzerzentriertes Design und fördern eine Kultur der kontinuierlichen Innovation im Maschinenbau.

## Literaturverzeichnis:

### **FDM Druck:**

Abbildung 1- <https://www.3djake.ch/de-CH/esun/epaht-cf-natural>

Abbildung 2- <https://www.tugraz.at/institute/ift/forschung/additive-fertigung/>

Abbildung 3- <https://all3dp.com/2/3d-printer-layer-height-how-much-does-it-matter/>

Abbildung 4- <https://all3dp.com/2/3d-printing-supports-guide-all-you-need-to-know/>

Abbildung 5- Privat

### **Materialien:**

Abbildung 6- <https://www.etsy.com/fi-en/listing/1084432127/the-love-is-love-boat-lgbtq-rainbow>

Abbildung 7-

[https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/8r32is/first\\_petg\\_benchy\\_it\\_came\\_out\\_pretty\\_decent/](https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/8r32is/first_petg_benchy_it_came_out_pretty_decent/)

Abbildung 8- [https://www.reddit.com/r/FixMyPrint/comments/zk3uoe/3d\\_benchy\\_help\\_abs\\_prusa\\_i2/](https://www.reddit.com/r/FixMyPrint/comments/zk3uoe/3d_benchy_help_abs_prusa_i2/)

Abbildung 9-

[https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/irjil9/asa\\_with\\_cooling\\_and\\_without\\_cooling/?rdt=38953](https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/irjil9/asa_with_cooling_and_without_cooling/?rdt=38953)

Abbildung 10- <https://www.3dbenchy.com/nicely-3d-printed-ninjabflex-3dbenchy/>

Abbildung 11- <https://3dprinting.com/reviews/flashforge-creator-3-review/>

Abbildung 12-

[https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/g8ptdw/matterhackers\\_nylonx\\_carbon\\_fiber\\_benchy/](https://www.reddit.com/r/3Dprinting/comments/g8ptdw/matterhackers_nylonx_carbon_fiber_benchy/)

### **Layout:**

Abbildung 13- <https://www.3dprintacademy.co.uk/fdm-3d-printing-tips-for-designers-tip-3-part-orientation/>

### **Druckfehler:**

Abbildung 14 bis 19-

<https://www.simplify3d.com/resources/print-quality-troubleshooting/>

Abbildung 20- <https://top3dshop.com/blog/prevent-3d-print-stringing-the-ultimate-guide>

Abbildung 21- [https://www.digitec.ch/de/s1/product/sunlu-filadryer-s1-plus-3d-drucker-zubehoer-](https://www.digitec.ch/de/s1/product/sunlu-filadryer-s1-plus-3d-drucker-zubehoer-25461781?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiwAwe5w0z1e3qllbdwCVfWGELNvelbqoPK1-)

[25461781?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiwAwe5w0z1e3qllbdwCVfWGELNvelbqoPK1-](https://www.digitec.ch/de/s1/product/sunlu-filadryer-s1-plus-3d-drucker-zubehoer-25461781?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiwAwe5w0z1e3qllbdwCVfWGELNvelbqoPK1-JSp5GjAdtFV4nBpLaE0DA3bqhoCYc4QAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds)

[JSp5GjAdtFV4nBpLaE0DA3bqhoCYc4QAvD\\_BwE&gclidsrc=aw.ds](https://www.digitec.ch/de/s1/product/sunlu-filadryer-s1-plus-3d-drucker-zubehoer-25461781?gclid=CjwKCAjwgsqoBhBNEiwAwe5w0z1e3qllbdwCVfWGELNvelbqoPK1-JSp5GjAdtFV4nBpLaE0DA3bqhoCYc4QAvD_BwE&gclidsrc=aw.ds)

Abbildung 22- <https://community.ultimaker.com/topic/29471-what-is-going-on-with-new-supports-in-cura/>

Abbildung 23- <https://www.3deee.ch/?p=862>

Abbildung 24- <https://3dcadkonstruktion.de/3d-druck-koln/>

**Berechnungen:**

Abbildung 25 bis 29- Buch: Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung

Information Poisson-Verhältniss: <https://studyflix.de/ingenieurwissenschaften/querkontraktionszahl-poissonzahl-1086>

Abbildung 33- <https://toolster.ch/de/eisenwaren/maschinenbauteile/kugellager/einreihige-rillenkugellager-skf--866000.html?artno=866000.0400>

Abbildung 34- Roloff/Matek Maschinenelemente Formelsammlung

3D Drucker, Filament Info: <https://www.3djake.com/> ;

<https://www.esun3d.com/> ; <https://fiberlogy.com/en/fiberlogy-filaments/nylon-pa12/>

## Anhänge:

### Wörter Reduktionsanfrage:

Hiermit beantrage ich eine Reduzierung des erforderlichen Wortumfangs meiner Abschlussarbeit von ursprünglich 12.000 auf 6.000 Wörter. Der Grund für diese Anfrage liegt in der umfangreichen praktischen Arbeit, die mein Projekt mit sich bringt. Meine Arbeit konzentriert sich auf die Entwicklung eines Getriebes, einschließlich der Erstellung detaillierter Konstruktionszeichnungen in SolidWorks und des nachfolgenden 3D-Drucks der Komponenten.

Dieser praktische Ansatz erfordert erhebliche Zeitinvestitionen in die physische Umsetzung, die über den theoretischen Rahmen oder das Schreiben selbst hinausgehen. Die Komplexität des Design- und Druckprozesses, die Anpassungen nach den ersten Tests und Prototypen sowie die notwendigen Qualitätskontrollen sind zeitaufwendig, tragen aber wesentlich zum Erfolg des Projekts bei. Dabei bleibt weniger Zeit, die Erfahrungen und Prozesse in einer umfangreichen schriftlichen Arbeit zu dokumentieren.

Das Hauptziel des Projekts ist es, theoretisches Wissen praktisch anzuwenden und real greifbare Ergebnisse zu erzielen, die über eine rein theoretische Diskussion hinausgehen. Eine Kürzung der Wortanzahl würde es mir ermöglichen, die Qualität und Tiefe der praktischen Arbeit zu gewährleisten, ohne dabei Kompromisse bei der Qualität der theoretischen Dokumentation einzugehen.

Ich bin überzeugt, dass die gewonnenen praktischen Erkenntnisse und Erfahrungen, die ich während des Projekts sammle, von großem Wert sind und dass die Kürzung des schriftlichen Teils der Arbeit dieses Potenzial nicht schmälert. Eine gestraffte, präzise Dokumentation meiner Arbeit würde es mir ermöglichen, die wesentlichen Aspekte meines Projekts effektiv zu kommunizieren, ohne wichtige praktische Erfahrungen zu opfern.

Ich danke Ihnen für Ihre Berücksichtigung dieses Antrags und stehe für weitere Informationen oder Diskussionen zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen,  
Andreas Müller

Unterschrift Student:

Unterschrift Diplom-Coach:

The image shows two handwritten signatures in blue ink. The top signature is written over a horizontal line and appears to be 'Andreas Müller'. The bottom signature is also written over a horizontal line and appears to be 'P. Müller'.

## Betreuungs Protokoll (Bemerkung) :

Betreff: Klarstellung bezüglich der nicht initiierten Betreuungstermine

Datum: 20.10.23

Betreuer: Peter Müller

Student: Andreas Müller

---

Bei der Arbeit an meiner Diplomarbeit bin ich davon ausgegangen, dass die Betreuungstermine mit Peter Müller flexibel sind und hauptsächlich dazu dienen, konkrete Probleme zu besprechen. Da es keine festgelegten Termine gab, verstand ich diese Treffen als optional, besonders wenn keine unmittelbaren oder schwerwiegenden Probleme vorlagen.

Infolgedessen initiierte ich keine Sitzungen, als ich auf Herausforderungen stieß, da ich sie als innerhalb meiner Fähigkeiten zu bewältigen ansah. Heisst es tauchten Problem auf, wo ein Diplom-Coach nicht helfen konnte.

Diese Annahme führte dazu, dass ich die Möglichkeit wertvoller Interaktionen und Feedbacks verpasste, die über die Klärung direkter Probleme hinausgingen. Mir wurde klar, dass diese Treffen eine Chance bieten, aus verschiedenen Perspektiven zu lernen und wertvolle Einsichten zu erhalten, unabhängig vom Stand der Dinge.

Ich bedauere das Missverständnis und freue mich darauf, diesen Ansatz zu korrigieren, um den Rest meiner Diplomarbeit optimal zu nutzen.



Nov.2021

Version 4.0

# ePAHT-CF

Technical Data Sheet

A material based on PA6 developed by eSUN and LUVOCOM, added 15% high-rigidity carbon fiber, high-strength, high-rigidity, mechanical and thermal properties are higher than other eSUN nylon series products; it can be substituted in many occasions; the continuous use temperature of the parts can reach 150°C, and the short-term use temperature can reach 180°C; low shrinkage, not easy to warp and crack during printing, the surface of the printed item Matte and delicate.

Material Status	Mass Production
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• High strength</li> <li>• High impact resistance</li> <li>• Abrasion resistance</li> <li>• Excellent printability</li> <li>• High toughness</li> <li>• Chemical resistant</li> <li>• Matte surface effect</li> <li>• High rigidity</li> <li>• Heat resistance</li> <li>• Antistatic</li> </ul>
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Machinery</li> <li>• Electrical and electronic</li> <li>• Drone</li> <li>• Textile</li> <li>• Chemical industry</li> <li>• Robot</li> <li>• Automobile</li> <li>• Aerospace</li> </ul>
Form	• Filament
Processing method	• 3D Print, FDM Print

	Testing method	Typical value
<b>Physical Properties</b>		
Density	GB/T 1033	1.4 g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Index	GB/T 3682	19.68 (270°C/2.16kg)
<b>Mechanical Properties</b>		
Tensile Strength	GB/T 1040	173.37 MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	8.93 %
Flexural Strength	GB/T 9341	171.64 MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	5612.41 MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	12.74 kJ/m <sup>2</sup>
<b>Thermal Properties</b>		
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	190 (°C,0.45MPa)
Continuous Service Temperature	UL 746B	150 °C
Maximum (short term) Use Temperature		180 °C

Wuhan University Building A403-I,A901,No.6 Yuexing 2 Road,Nanshan District,Shenzhen,Guangdong

China

Tel +86 755 86581960  
 fax +86 755 26031982  
 Email: bright@brightcn.net  
 www.esun3d.net

1/2



Nov.2021

Version 4.0

### Recommended printing parameters

Extruder Temperature	260 - 300°C
Build Platform Temperature	45-60°C
Fan Speed	0%
Printing Speed	40 - 100mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2. Printing conditions may vary with different nozzle diameters

### Drying Recommendations

N/A

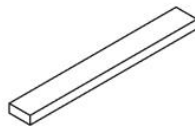
### Notes

1. ePAHT-CF needs to be dried (70°C/>12H) before printing to achieve the best printing effect. It is recommended to use it with the eBOX cartridge when printing.
2. The ePAHT-CF line has strong rigidity and is not easy to bend. In the feeding pipe, excessive bending of the wire should be avoided as much as possible
3. ePAHT-CF is very easy to grind nozzles and extruder gears. It is recommended to use hardened steel nozzles or ruby nozzles. If conditions permit, you can choose hardened steel extruder gears. If the printing time is long, you need to replace the throat and nozzles.
4. It is recommended to set the skirt to make it better for taking the model from the forming plate.

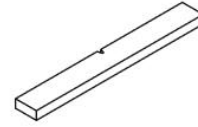
### Mechanical Properties



Tensile testing specimen GB/T 1040



Flexural testing specimen GB/T 9341



Impact testing specimen GB/T 1043

The physical properties, mechanical properties, thermal properties, and electrical properties of the filament are obtained based on the injection molding spline test.

Print test condition:

Extruder Temperature	240-300°C
Build Platform Temperature	80°C
Outline/Perimeter Shells	4
Top/Bottom Layers	4
Infill Percentage	20%
Fan speed	0%
Printing speed	40mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2.

### Notice

All information supplied by or on behalf of eSUN in relation to this product, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but the product is sold "as is". eSUN assumes no liability and makes no representations or warranties, express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose, or of any other nature with respect to information or the product to which information refers and nothing herein waives any of the seller's conditions of sale.

Wuhan University Building A403-I,A901,No.6 Yuexing 2 Road,Nanshan District,Shenzhen,Guangdong

China

Tel +86 755 86581960  
 fax +86 755 26031982  
 Email: bright@brightcn.net  
 www.esun3d.net

2/2

Nov.2021

Version 4.0



# eASA

## Technical Data Sheet

The ASA characteristics are similar to ABS material, but it is more resistant to ultraviolet rays and harsh weather conditions. Besides, it has strong toughness, strong rigidity, and high impact resistance; The excellent weather resistance and mechanical properties make it more resistant to the effects of environmental aging. The ASA material is widely used in outdoor applications.

Material Status	Mass Production
Characteristics	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Weather resistance</li> <li>• High toughness</li> <li>• High rigidity</li> <li>• High impact resistance</li> </ul>
Applications	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Building materials</li> <li>• Car</li> <li>• Outdoor</li> <li>• Electronic and electrical</li> </ul>
Form	• Filament
Processing method	• 3D Print, FDM Print

	Testing method	Typical value
<b>Physical Properties</b>		
Density	GB/T 1033	1 g/cm <sup>3</sup>
Melt Flow Index	GB/T 3682	10-15 (220°C/10kg)
<b>Mechanical Properties</b>		
Tensile Strength	GB/T 1040	50 MPa
Elongation at Break	GB/T 1040	30 %
Flexural Strength	GB/T 9341	35 MPa
Flexural Modulus	GB/T 9341	4300 MPa
IZOD Impact Strength	GB/T 1843	19 kJ/m <sup>2</sup>
<b>Thermal Properties</b>		
Heat distortion Temperature	GB/T 1634	54 (°C,0.45MPa)
Continuous Service Temperature	IEC 60216	N/A
Maximum (short term) Use Temperature		N/A
<b>Electrical Properties</b>		
Insulation Resistance	DIN IEC 60167	N/A
Surface Resistance	DIN IEC 60093	N/A

Wuhan University Building A403-I,A901, No.6 Yuexing 2 Road, Nanshan District, Shenzhen, Guangdong

China

Tel +86 755 86581960  
 fax +86 755 26031982  
 Email: bright@brightcn.net  
 www.esun3d.net

1/2



Nov.2021

Version 4.0

#### Recommended printing parameters

Extruder Temperature	240 - 270°C
Build Platform Temperature	90-110°C
Fan Speed	0%
Printing Speed	40 - 100mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2. Printing conditions may vary with different nozzle diameters

#### Drying Recommendations

N/A

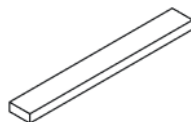
#### Notes

The shingage of eASA material is high. So pls use printer which has chamber to print the eASA filament.

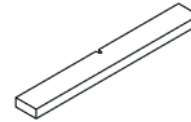
#### Mechanical Properties



Tensile testing specimen GB/T 1040



Flexural testing specimen GB/T 9341



Impact testing specimen GB/T 1043

The physical properties, mechanical properties, thermal properties, and electrical properties of the filament are obtained based on the injection molding spline test.

Print test condition:

Extruder Temperature	230-270°C
Build Platform Temperature	100°C
Outline/Perimeter Shells	4
Top/Bottom Layers	4
Infill Percentage	20%
Fan speed	0%
Printing speed	40mm/s

Based on 0.4 mm nozzle and Simplify 3D v.4.1.2.

#### Notice

All information supplied by or on behalf of eSUN in relation to this product, whether in the nature of data, recommendations or otherwise, is supported by research and, in good faith, believed reliable, but the product is sold "as is". eSUN assumes no liability and makes no representations or warranties, express or implied, of merchantability, fitness for a particular purpose, or of any other nature with respect to information or the product to which information refers and nothing herein waives any of the seller's conditions of sale.

Wuhan University Building A403-I,A901,No.6 Yuexing 2 Road,Nanshan District,Shenzhen,Guangdong

China

Tel +86 755 86581960  
 Fax +86 755 26031982  
 Email: bright@brightcn.net  
 www.esun3d.net

2/2



## TECHNICAL DATA SHEET NYLON PA12

TRADE NAME:	<b>Fiberlogy Nylon PA12</b>
MANUFACTURER:	Fiberlab S.A., Brzezie 387, 32-014 Brzezie, Poland
DESCRIPTION:	<b>Nylon PA12</b> filament designed for printing in FFF/FDM technology, available in different colors, wound on a spool, vacuum-packed in a plastic bag, placed in a cardboard box.

### TECHNICAL INFORMATION:

Diameter:	1.75 mm
Diameter Tolerance:	+/- 0.02 mm
Avg Roundness:	+ 0.01 mm
Net Weight:	0.75 kg
Print Temperature:	255°C - 270°C
Bed Temperature:	100°C



Physical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Specific Gravity	ISO 1183	g/cm <sup>3</sup>	1.01
Mechanical Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Tensile Strength @ Yield	ISO 527	MPa	45
Tensile Strength @ Break	ISO 527	MPa	51
Tensile Modulus	ISO 527	MPa	1400
Elongation @ Yield	ISO 527	%	5
Elongation @ Break	ISO 527	%	>200
Flexural Strength	ISO 178	MPa	-
Flexural Modulus	ISO 178	MPa	1150
Izod Impact Strength (Notched) @ 23°C	ISO 180	kJ/m <sup>2</sup>	12
Thermal Properties	Test Method	Unit	Typical Value
Heat Distortion Temperature @ 0.45 MPa	ISO 75	°C	135
Heat Distortion Temperature @ 1.8 MPa	ISO 75	°C	55
Vicat Softening Temperature	ISO 306	°C	145
Glass Transition Temperature T <sub>g</sub>	DSC	°C	-
Melting Temperature T <sub>m</sub>	DSC	°C	178
Continuous Use Temperature (UL Yellow Card)	UL 746	°C	65

The information set forth herein has been gathered from standard reference materials and/or supplier test data. To the best knowledge and belief of Fiberlab S.A. they are accurate and reliable. Information is offered only for your consideration, investigation and verification. Fiberlab S.A. makes no warranties, expressed or implied, with respect to the use of such information or the use of the specific material identified herein combination with any other material or process, and assumes no responsibility therefore.

Last update: December 1, 2021

## Ender 3 S1 Pro

	Ender 3 S1 Pro
<b>Build volume</b>	220x220x270mm
<b>Printer size</b>	490x455x625mm
<b>Extruder</b>	Sprite Direct Drive Dual Gear
<b>Max. nozzle temperature</b>	300°C
<b>Max. heated bed temperature</b>	110°C
<b>Weight</b>	8.6kg
<b>Connectivity</b>	USB-C / SD
<b>Filament sensor</b>	Yes
<b>Dual Z-axis</b>	Yes
<b>Automatic levelling</b>	Yes
<b>Mainboard</b>	Silent motherboard, 32-bit
<b>Screen</b>	4.3-inch touch screen
<b>UI language</b>	Chinese, English, German, Spanish, French, Italian, Portuguese, Russian, Turkish



## Description



### Even bigger, even more possibilities!

The Creality Ender 3 S1 Plus is a new edition of the proven [Creality Ender 3 S1](#). With an installation space of 300 x 300 x 300 mm, the numerous innovative features of the Ender 3 S1 are now distributed over even more space. This creates countless new possibilities, let your creativity run free!

### Proven technology

The powerful Sprite Direct Drive Dual-Gear Extruder enables you to process a wide variety of materials safely and in a controlled manner. The synchronised, dual Z-axis guarantees indestructible stability. In conjunction with the ultra-quiet 32-bit mainboard, nothing stands in the way of admirable print results!

### Uncomplicated handling

The automatic bed levelling using the CR-Touch checks the nozzle height at 16 different points on the heated bed. Lean back and let the Creality Ender 3 S1 Plus work for you!

Despite having so many new features, the Ender 3 S1 Plus is ready for use in just 6 assembly steps!

## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Geburtsdatum / Ort: 13.05.1996 in Südafrika (Pretoria)  
 Staatsangehörigkeit: Deutschland / Südafrika



Zivilstand: Ledig  
 Persönliche Merkmale: Teamfähigkeit, Zuverlässigkeit, Selbstständige und strukturierte Arbeitsweise Flexibilität

### Arbeitserfahrung

Seit 2019

#### Optimo Technics AG

Tätigkeit als Service Techniker-Maschinenbau

- Störungssuche und Ausführung mechanischen Reparaturen
- Ausführung und Dokumentierung von Wartungsarbeiten an Werkzeugmaschinen und Produktionsanlagen
- Ausführung von Industrie Umzügen
- Umbauarbeiten an mechanischen Maschinenkomponenten

2015 – 2019

#### Ausbildungszentrum Winterthur

Lehrstelle als Polymechaniker

- Produktion für Unterschiedliche Kunde an CNC Maschinen (Heidenhein / Siemens)
- Intensive Dreh- und Fräsausbildung

### Bildung

2020 –

#### > Techniker Maschinenbau (TEKO Zürich)

- Maschinen oder Maschinenelemente entwerfen und berechnen
- Prototypen zur Überprüfung der Funktionalität bauen
- Lösungen mit IT-basierten Konstruktions-, Simulations- und Berechnungswerkzeugen entwickeln
- Maschinenteile mit verschiedenen Werkstoffen dimensionieren und konstruieren
- eine Führungsfunktion in den Bereichen Produktion, Versuchswesen, Qualitätssicherung, Service und Inbetriebnahme übernehmen

### Schulbildung

2003-2014

Primar und Gymnasiale Oberstufen Abschluss -Deutschen Schule Pretoria (DSP-Südafrika)

### Sonstiges

EDV Kenntnisse: Microsoft Office, CAD (Fusion360, Solidworks)

Uster, 20 Oktober  
 2023 Andreas Müller

## Qualifikationsprofil

### Dipl. Maschinenbautechniker HF

**Entscheidungen Fällen****Prozess 2**

Fachkompetenz

Auf der Grundlage gründlich gesammelter Informationen und Daten werden fundierte technische Entscheidungen getroffen. Dabei wird sorgfältig analysiert und abgewogen, welche Strategien und Herangehensweisen für die Entwicklung und die weitere Optimierung des Prototyps am vorteilhaftesten sind.

**Projekte planen und leiten****Prozess 3**

Methodenkompetenz

Die Planung eines Projekts umfasst alle Phasen, von der initialen Entwicklung bis hin zur finalen Herstellung. Dies beinhaltet eine strategische Vorgehensweise, die Gewährleistung einer systematischen Zeitplanung, um die erfolgreiche und termingerechte Fertigstellung des Endprodukts sicherzustellen.

**Sich sprachlich verständigen****Prozess 4**

Kommunikationskompetenz

Kommunikation mit Herstellern wird in klar verständlicher Weise geführt, um präzise Informationen zu sammeln, die für das Verständnis technischer und produktionsspezifischer Details unerlässlich sind. Diese Zusammenarbeit dient auch der akkuraten Übersetzung und Aufbereitung von Dokumentationen, wobei komplexe Fachterminologie in zugängliche Sprache übertragen wird, um die Einhaltung von Standards und Richtlinien zu gewährleisten.

**Wirkungsvoll präsentieren & kommunizieren****Prozess 5**

Methodenkompetenz

Erfahrung in der Durchführung von Präsentationen vor verschiedenen Publikumsgruppen, einschließlich Live-Audienzen und Online-Zuhörern, unter Einsatz moderner Hilfsmittel und Technologien. Diese Kompetenz umfasst die souveräne Nutzung von digitalen Werkzeugen wie Whiteboards und Bildschirmteilungs-Features sowie die effektive Einbindung von Plattformen wie Microsoft Teams.

**Probleme analysieren und lösen****Prozess 9**

Wissensmanagement

Engagement bei der Suche nach Lösungen für Prototypen durch die Anwendung fundierter Bildung und technischen Wissens, um optimale Ergebnisse zu erzielen. Dieser Prozess beinhaltet eine gründliche Analyse bestehender Systeme und kreative Problemlösungen

**Sich persönlich weiter entwickeln****Prozess 10**

Wissensmanagement

Während umfangreicher Projekte wird eine kontinuierliche Reflexion durchgeführt, die darauf abzielt, Denkprozesse zu erweitern und kritische Perspektiven einzubeziehen. Dieser Ansatz fördert eine tiefgehende Analyse der laufenden Arbeit, ermöglicht die Identifikation von Verbesserungspotenzialen und die Anpassung von Strategien in Echtzeit.

**Produkte Entwickeln****Prozess 11**

Maschinenbau-Arbeitsprozesse und fachliche Kompetenzen

Im Rahmen von Projekten wird eine umfassende Analyse durchgeführt, gefolgt von einer klaren Vereinbarung über die zu erreichenden Ziele. Dies beinhaltet das sorgfältige Entwickeln und Berechnen von Prototypen, um sicherzustellen, dass sie den festgelegten Spezifikationen und Leistungsstandards entsprechen.

**Baugruppen und Maschinen konstruieren****Prozess 12**

Maschinenbau-Arbeitsprozesse und fachliche Kompetenzen

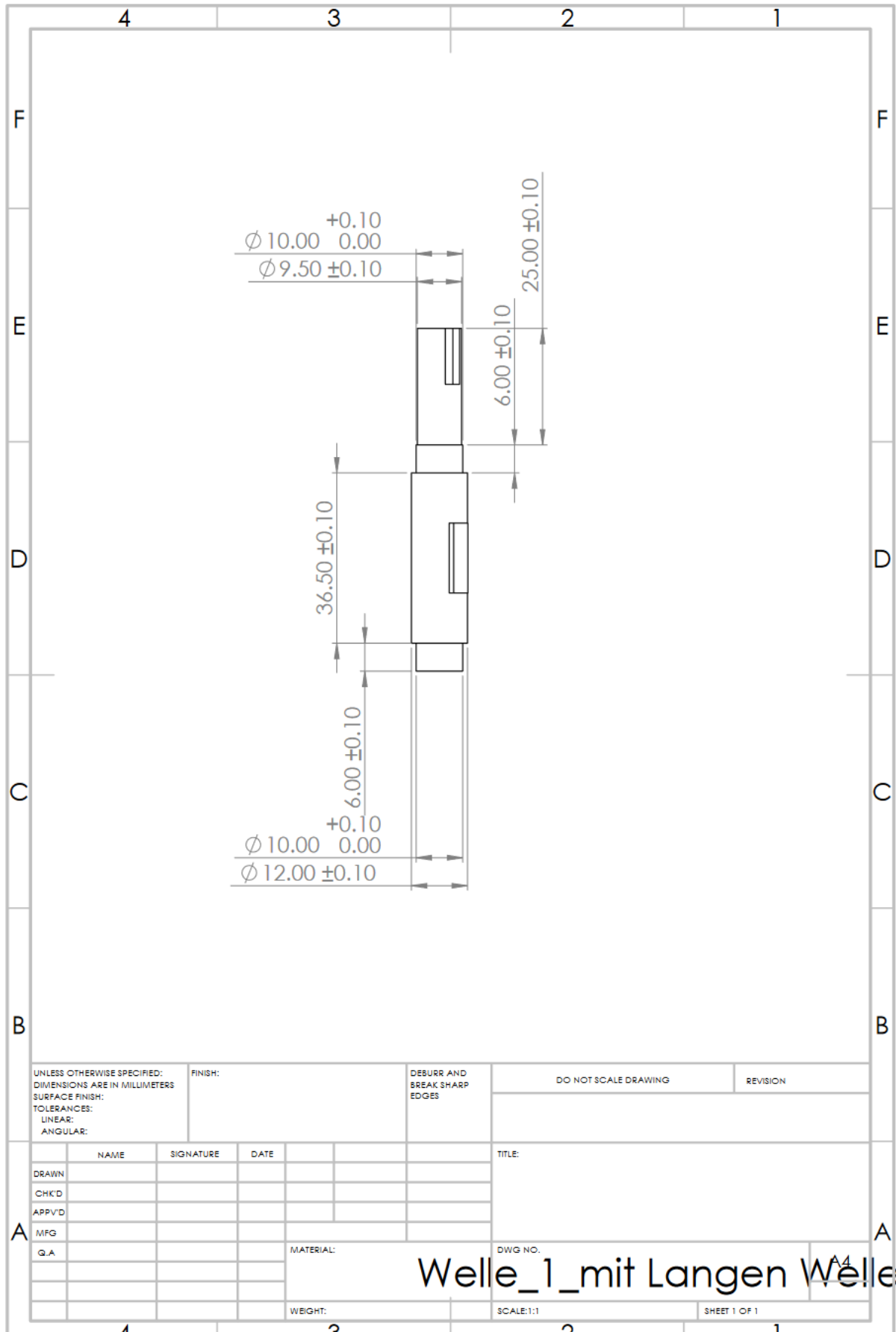
Innerhalb von Projekten erfolgt die akribische Berechnung von Bauteilen, die anschließend mithilfe hochmoderner CAD-Software, wie beispielsweise SolidWorks, konstruiert werden. Diese Aufgaben umfassen eine umfassende Auslegung und Analyse sämtlicher Komponenten, wodurch sichergestellt wird, dass diese den spezifischen Anforderungen des Projekts und den allgemeinen branchenüblichen Standards entsprechen.

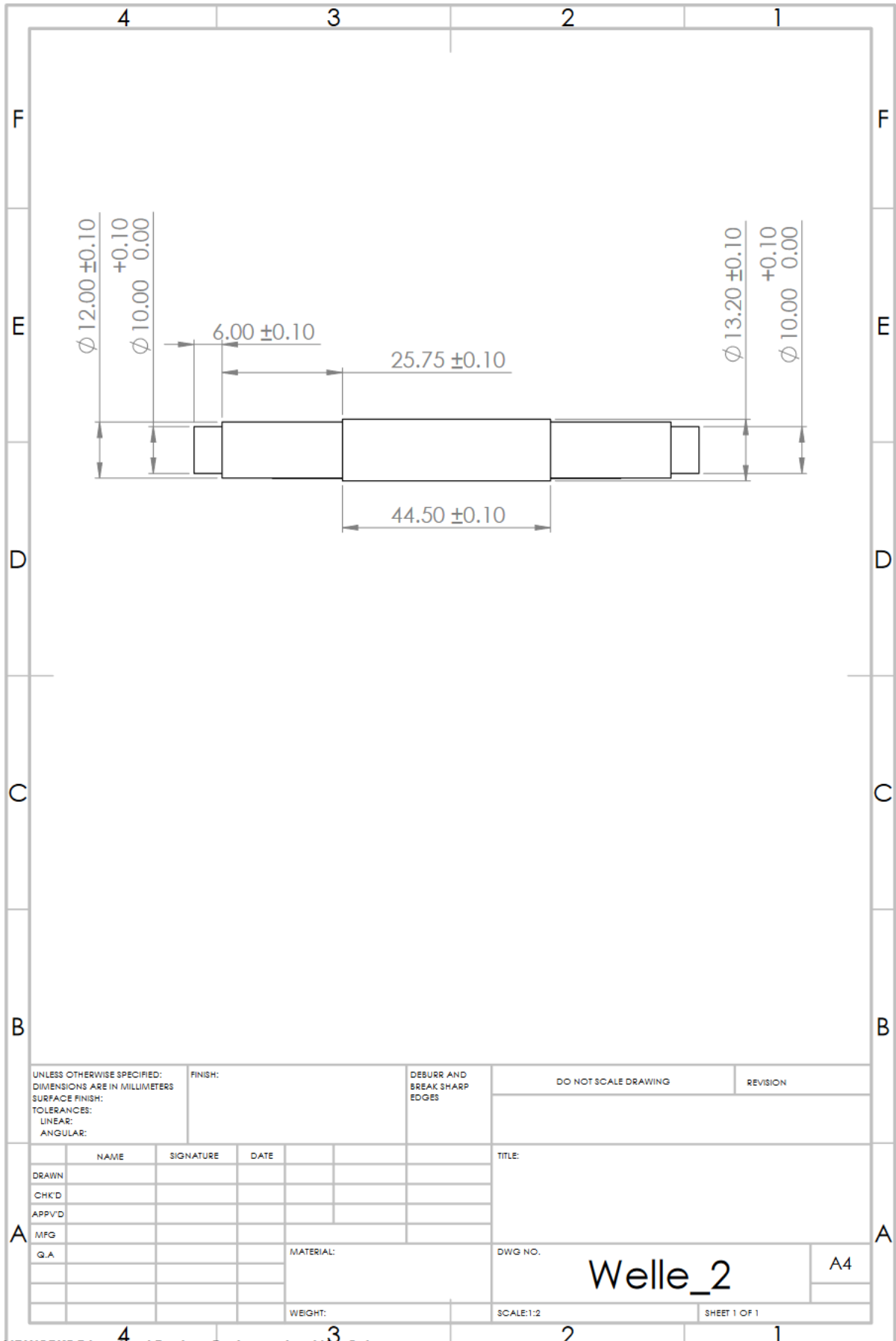
**Produktion leiten****Prozess 13**

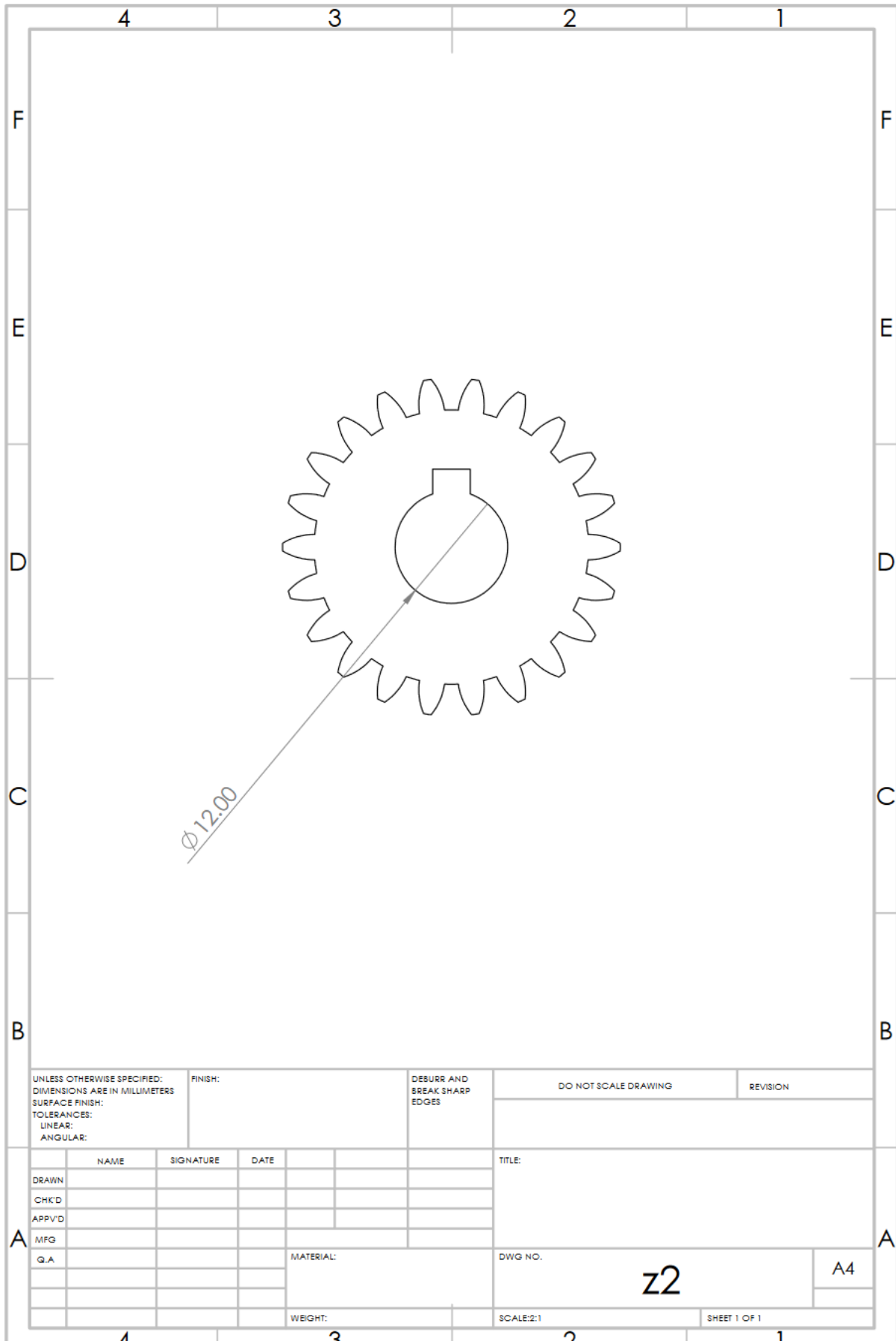
Maschinenbau-Arbeitsprozesse und fachliche Kompetenzen

Die Überwachung der Produktionsprozesse erfolgt mit hoher Aufmerksamkeit für Details, wobei kontinuierlich nach Bereichen gesucht wird, in denen Verbesserungen sowohl notwendig als auch möglich sind. Diese systematische Herangehensweise beinhaltet eine eingehende Analyse der aktuellen Verfahren, um Effizienzsteigerungen zu identifizieren, die Durchführbarkeit von Anpassungen zu bewerten und die Implementierung von Optimierungsmaßnahmen voranzutreiben.

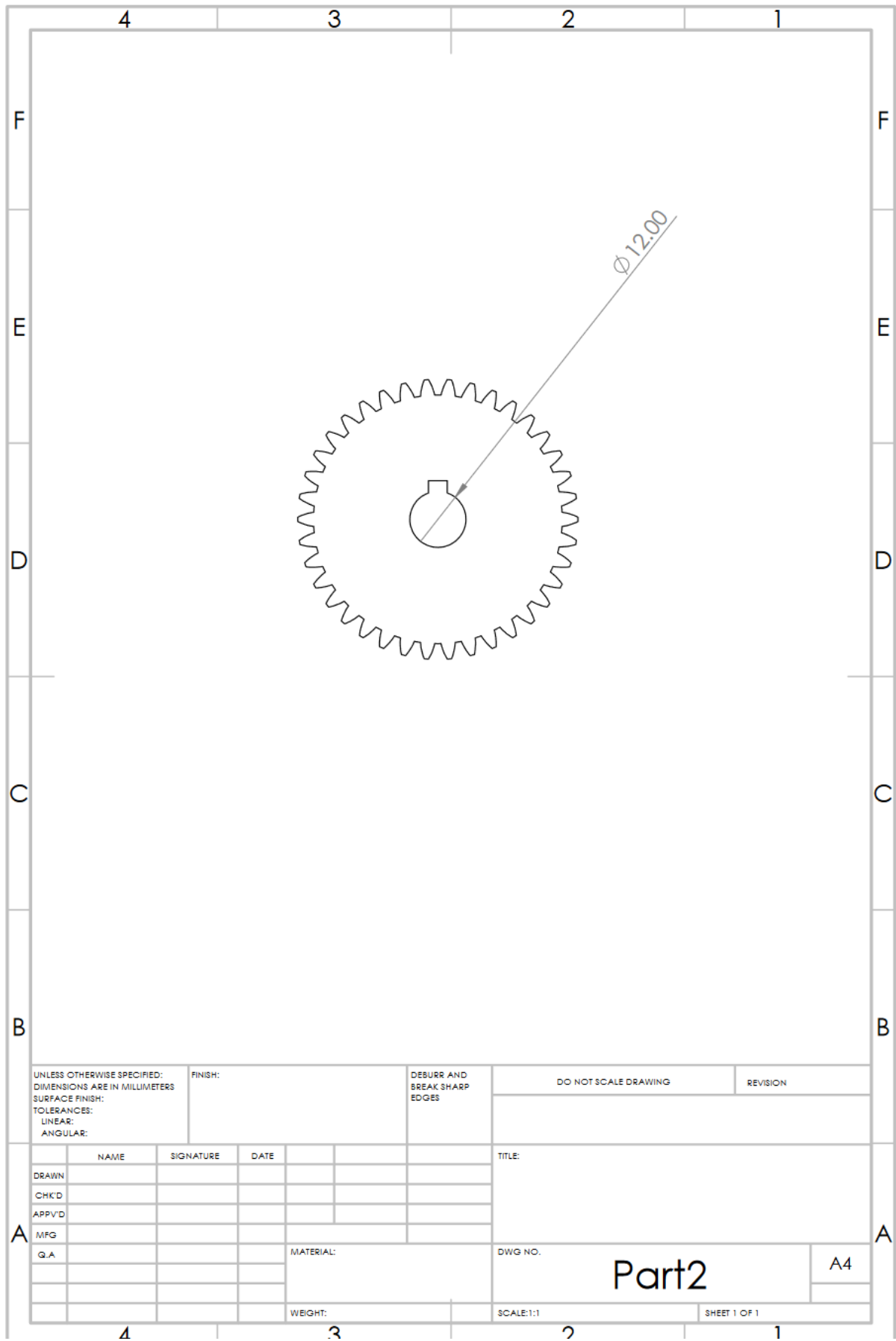
Zeichnungen:

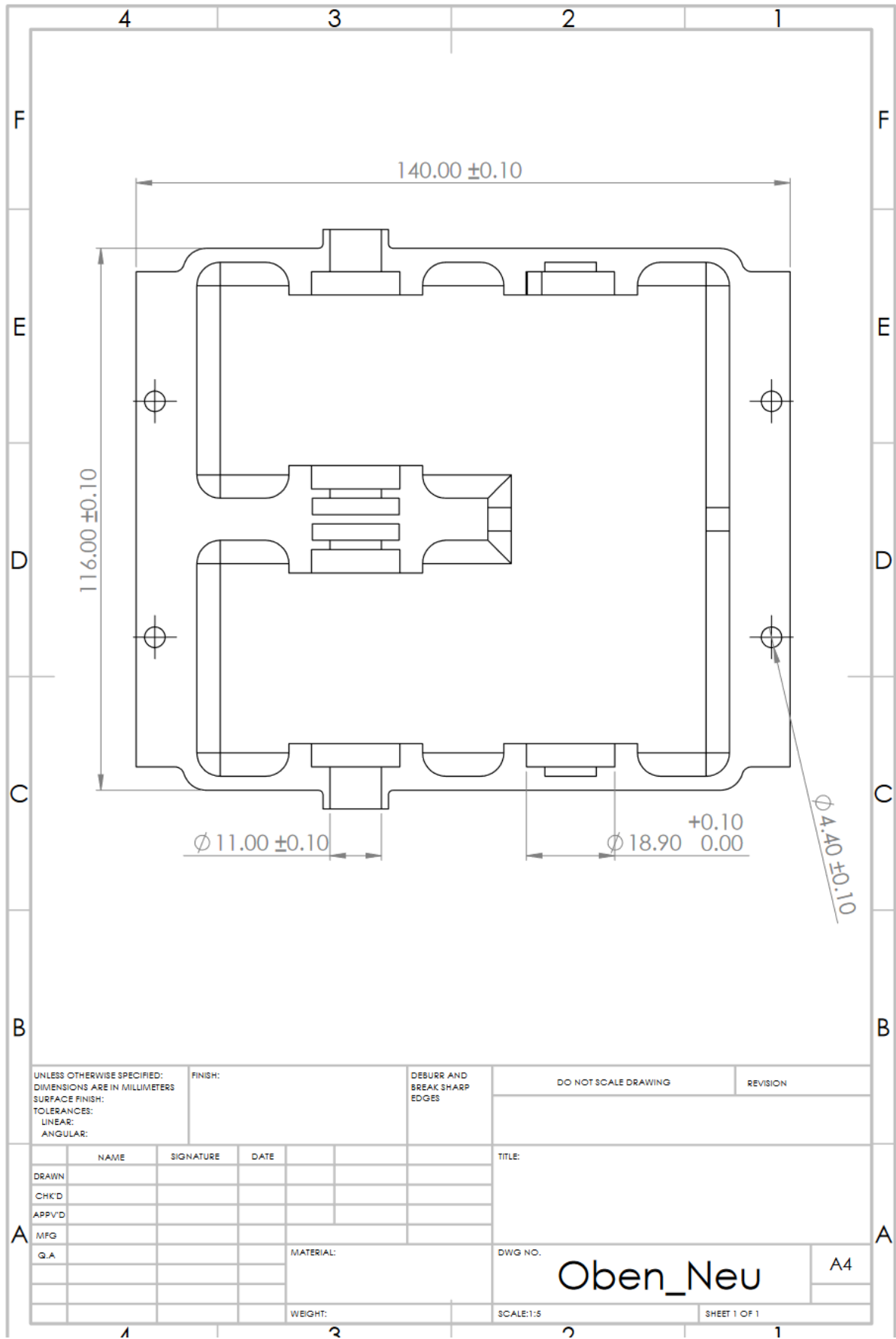






UNLESS OTHERWISE SPECIFIED: DIMENSIONS ARE IN MILLIMETERS		FINISH:		DEBURR AND BREAK SHARP EDGES		DO NOT SCALE DRAWING		REVISION	
SURFACE FINISH:									
TOLERANCES:									
LINEAR:									
ANGULAR:									
NAME		SIGNATURE		DATE		TITLE:			
DRAWN									
CHK'D									
APP'VD									
MFG									
G.A.				MATERIAL:		DWG NO.		A4	
						z2			
				WEIGHT:		SCALE:2:1		SHEET 1 OF 1	





## Selbstständigkeitserklärung:

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst habe, dass ich sie zuvor an keiner anderen Hochschule und in keinem anderen Studiengang als Prüfungsleistung eingereicht habe und dass ich keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Datum: 25.10.2023

Unterschrift: A. Müller