

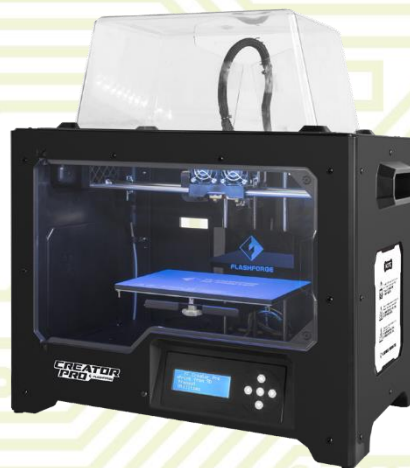
Spee Lab

*gemeinsam forschen
und verstehen*

zdi - Schülerlabor der Friedrich-Spee-Gesamtschule Paderborn

3D-Drucker

Von der Konstruktion bis zum fertigen Produkt



Informationsheft

3D-Druck für 7. Klasse

*Farnoush Khatiri, Tobias Steimel,
Gerhard Warkentin, Courtney Ritzenhoff*

Paderborn, Juni 2020- Version 1

Gefördert aus Mitteln des europäischen Fonds für regionale Entwicklung:



Die Landesregierung
Nordrhein-Westfalen



In Kooperation mit:



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	2
1. Einführung	3
2. Konstruieren im CAD	5
• Fertigungsplanung in der Konstruktionsabteilung	5
• Konstruieren des Handyhalters	7
3. Stationenlernen	17
• Station Material und Temperatur	17
▪ Material	17
▪ Temperatur	18
• Station Infill und Schichtdicke	19
• Station Stützstrukturen	21
• Station Fehlerarten von 3D-Druck	22
4. Slicen	24
• Was ist Slicen?	24
• Klickanleitung der Handyhalterung in Flashprint	25
5. Drucker einrichten	29
• Düsenarten	29
• Material laden	30
• Druckbett leveln	30
6. Qualitätskontrolle	31
• Rauheitsmessung	31
• Prüfprotokoll	31
Abbildungsverzeichnis	32
Literaturverzeichnis	33

1. Einführung

Beim 3D-Druck werden dreidimensionale Objekte mit innovativen Anlagen erstellt, die einfach als 3D-Drucker bezeichnet werden. Der 3D-Druck ist ein Verfahren zum Herstellen eines physischen Objekts aus einem dreidimensionalen digitalen Modell. Typischerweise entsteht das Modell durch Aufbringen vieler aufeinanderfolgender dünner Schichten eines Materials. Mögliche Materialien sind unter anderem Kunststoffe, Metalle oder sogar Lebensmittel wie Schokolade.



Abbildung 1: Der Schweizer Schokoladenhersteller der Barry Callebaut Group bietet Köchen die Möglichkeit, ihre Süßwarenvisionen in 3D-gedruckte Schokoladenrealitäten umzusetzen. www.all3dp.com (aufgerufen am 09.06.2020)

Es gibt zahlreiche Vorteile von 3D-Druck. Die additive Fertigung wird für verschiedene medizinische Anwendungen eingesetzt. Zum Beispiel für die Entwicklung von Medikamenten, medizinischen Geräten oder die Schaffung von Geweben.

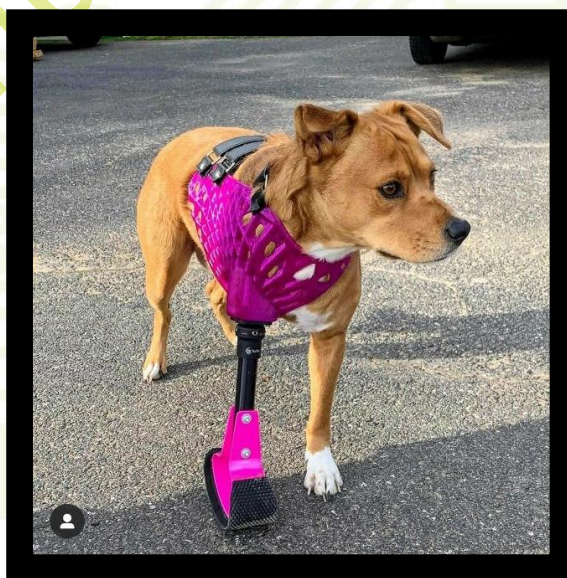


Abbildung 2: Ein Hund mit seiner 3D Prothese, aus Instagram von engindustry (aufgerufen am 09.09.2020)

Der 3D-Druck erlaubt die schnelle, präzise, auch kleinteilige und flexible Fertigung von Bauteilen. Ein weiterer Vorteil des 3D-Drucks ist, dass die Anzahl von Bauteilen bei komplexen, zusammengesetzten Werkstücken reduziert werden kann.



Abbildung 3: Ein 3D-gedrucktes Kaninchen mit Vorsprüngen und Vertiefungen in alle Richtungen.
<https://silklab.it.tufts.edu/> (aufgerufen am 08.06.2020)



Abbildung 4: Bei einem siebenteiligen Druck werden rote und goldene, silberne, graue und blaue Filamente für den authentischen Iron Man-Look verwendet. <https://all3dp.com/> (aufgerufen am 08.06.2020)

2. Konstruieren im CAD

- **Fertigungsplanung in der Konstruktionsabteilung**

Ist von einem Unternehmen ein Auftrag angenommen worden, so kann nicht direkt mit der Arbeit in der Werkstatt begonnen werden. Das zu fertigende Bauteil muss zunächst konstruiert werden (vgl. Jung et al. 2004, S. 15). Das Konstruieren umfasst alle Tätigkeiten, die notwendig sind, um den Entwurf eines technischen Produktes so auszuarbeiten, dass seine Fertigung möglich wird (vgl. Koller 1998, XXII).

Die Ausarbeitung einer Konstruktion geschah damals in der Regel an einem Zeichenbrett. In *Abbildung 1* ist zu erkennen, wie die Konstrukteure damals gearbeitet haben. Diese Art der Konstruktion hat, verglichen mit heute, große Nachteile.



Abbildung 5: Konstrukteure am Zeichenbrett www.mulag.de (aufgerufen am 08.06.2020)

Der einzige Vorteil eines solchen Arbeitsplatzes ist, dass er verglichen mit dem heutigen Standard sehr günstig ist. Alles was benötigt wird ist ein Zeichenbrett und ein Mitarbeiter, der das Konstruieren nach bestehenden DIN-Vorschriften beherrscht. Verglichen mit einem heutigen CAD Arbeitsplatz, CAD steht für computer aided design und bedeutet zu Deutsch „rechnergestütztes Konstruieren“, gibt es jedoch viele Nachteile. Zum einen ist die Konstruktion sehr zeitaufwendig da jeder Fehler von Hand korrigiert werden muss.



Abbildung 6: CAD Arbeitsplatz www.keltia-design.com (aufgerufen am 08.06.2020)

Durch den Einsatz moderner CAD-Programme (unter anderem Solid Edge, mit denen Ihr später arbeiten werdet) wurde die Produktivität der Konstrukteure stark gesteigert. CAD-Programme arbeiten rechnergestützt mit digitalen Daten. Die Nutzung von CAD-Programmen gibt den Konstrukteuren die Möglichkeit, Fehler per Mausklick zu korrigieren. Die meisten CAD-Programme enthalten sogar bereits Funktionen, um statische Bauteilberechnungen durchzuführen. So kann direkt abgeschätzt werden, ob das Bauteil den Belastungen standhalten kann.

- **Konstruieren des Handyhalters**

Ihr bekommt heute die Möglichkeit, eine Handyhalterung zu konstruieren, die ihr später mit nach Hause nehmen dürft. CAD-Programme sind äußerst komplexe Anwendungen mit einer Vielzahl von Funktionen. Um die Konstruktionszeit zu reduzieren, findet ihr hier eine Klickanleitung, um die Bodenplatte der in Abbildung 3 gezeigten Handyhalterung zu konstruieren, um so einen Einblick in die Arbeit mit Solid Edge zu bekommen.

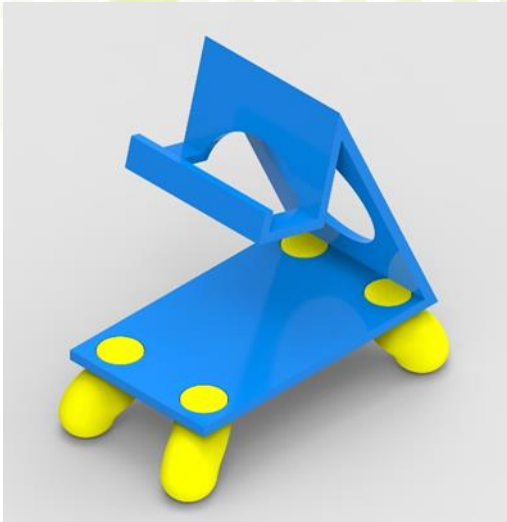
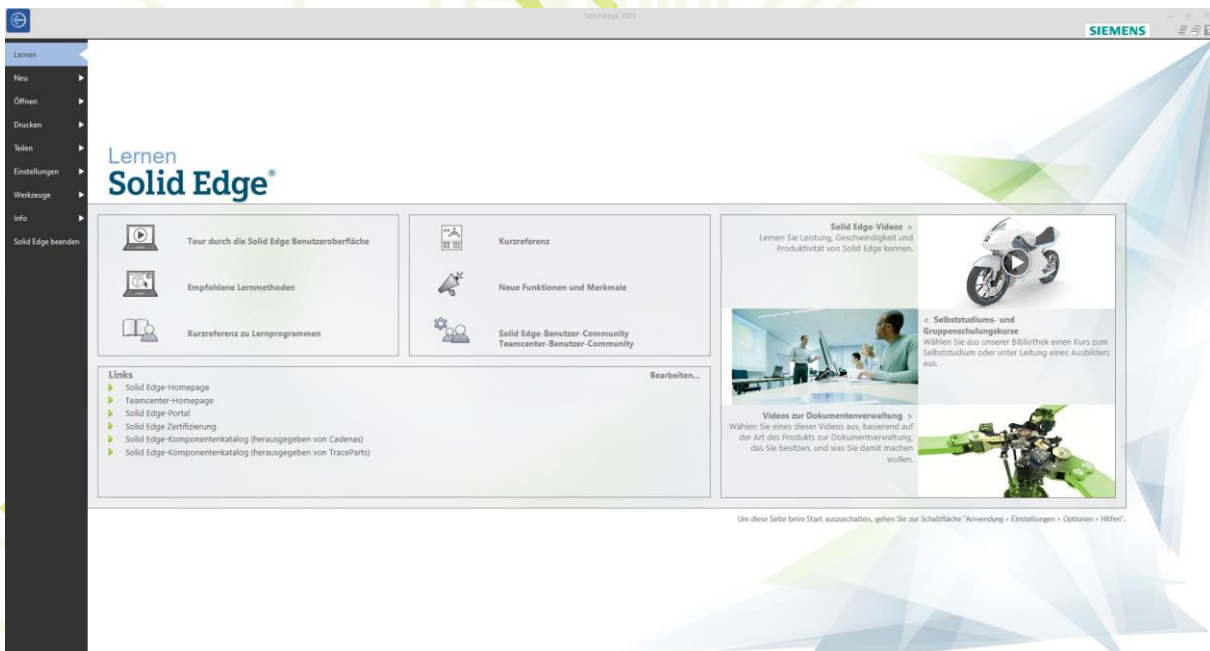
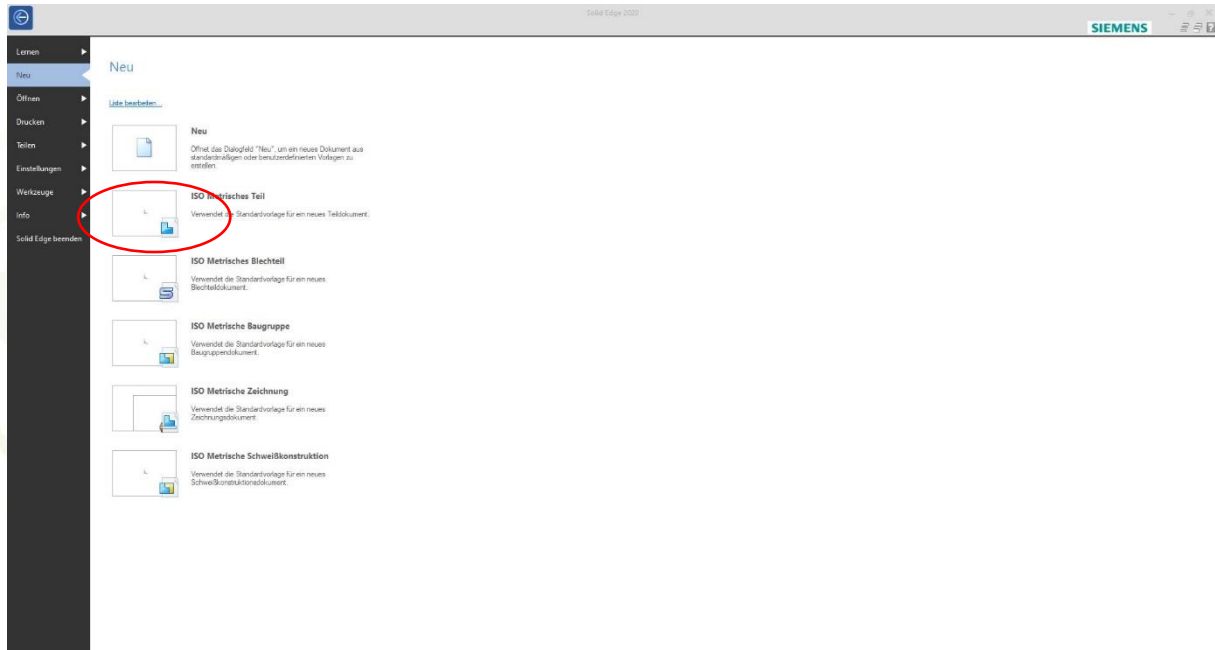


Abbildung 7: Handyhalterung

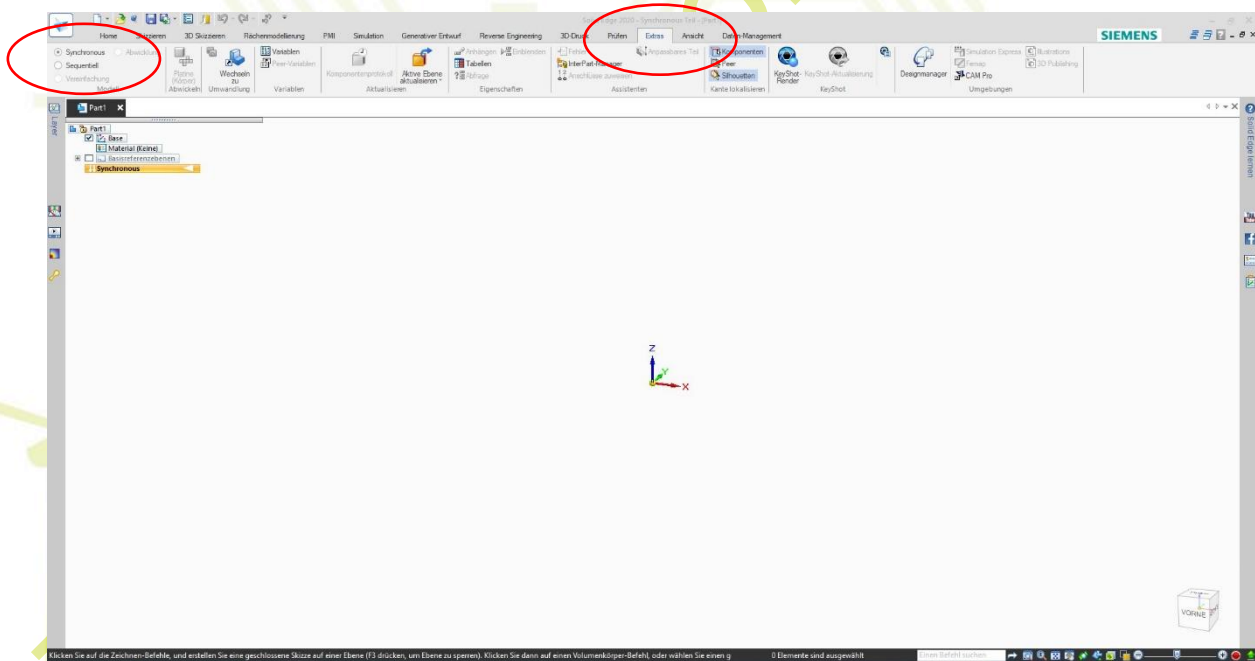
1. Starte Solid Edge



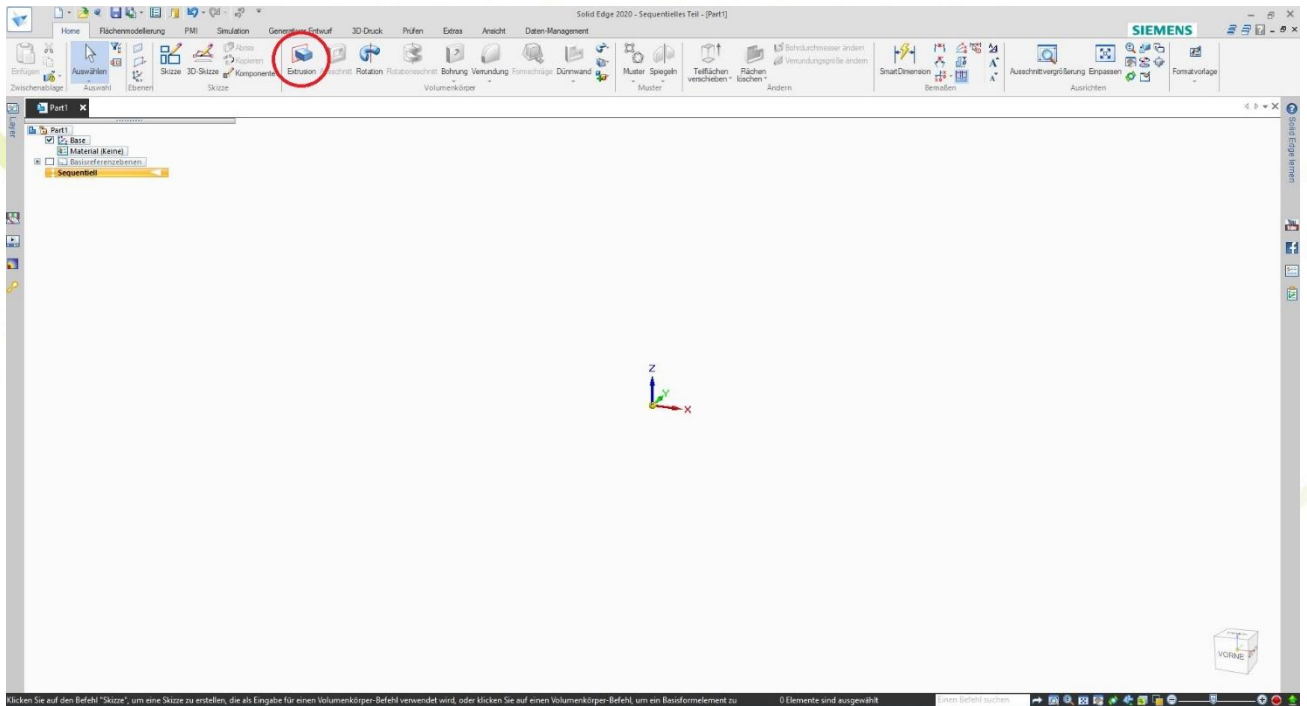
2. Um ein neues Bauteil zu erstellen, wähle Neu → ISO Metrisches Teil



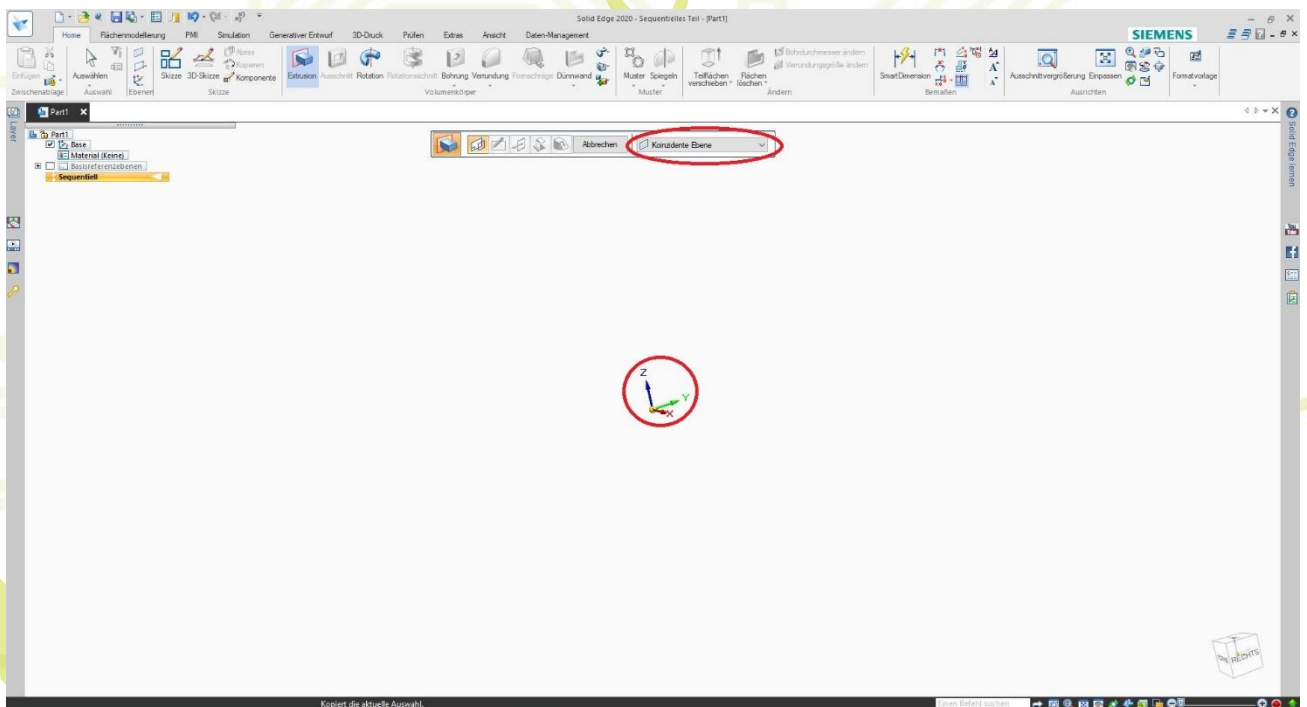
3. Wähle im oberen Reiter Extras → sequentielle Modellierungsumgebung



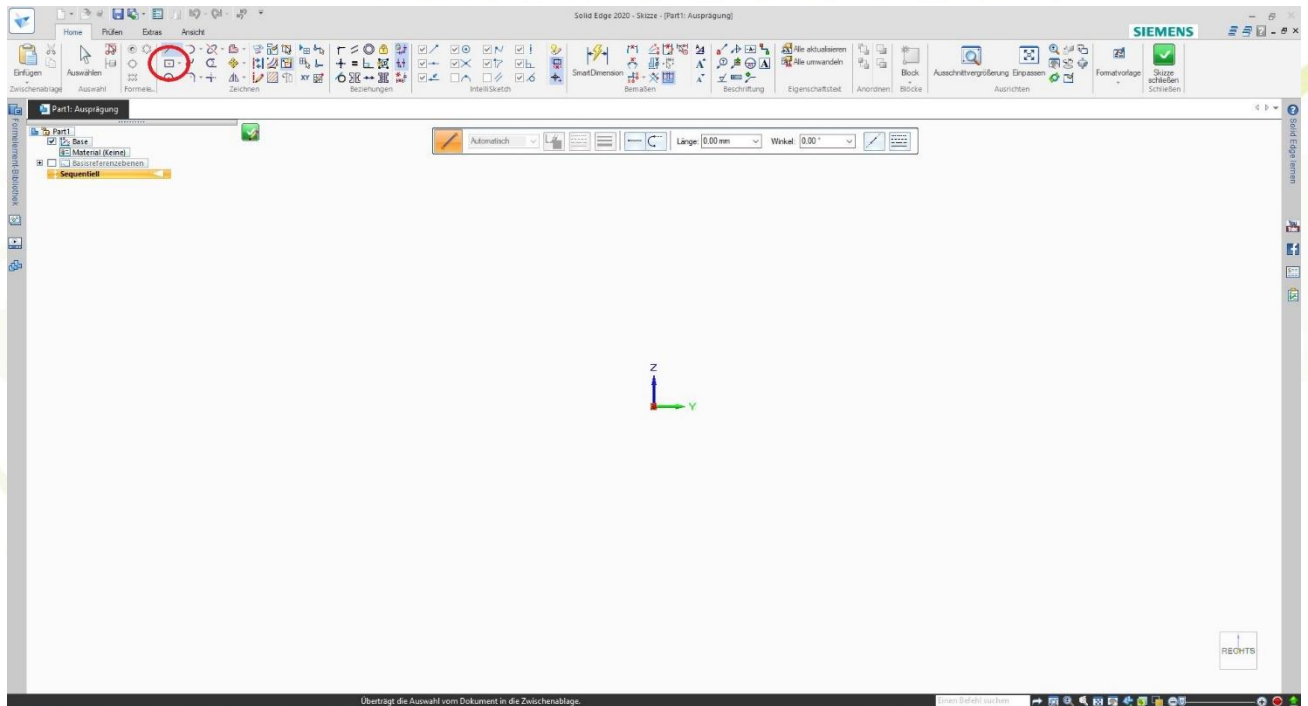
4. Wähle nun den Befehl Extrusion aus.



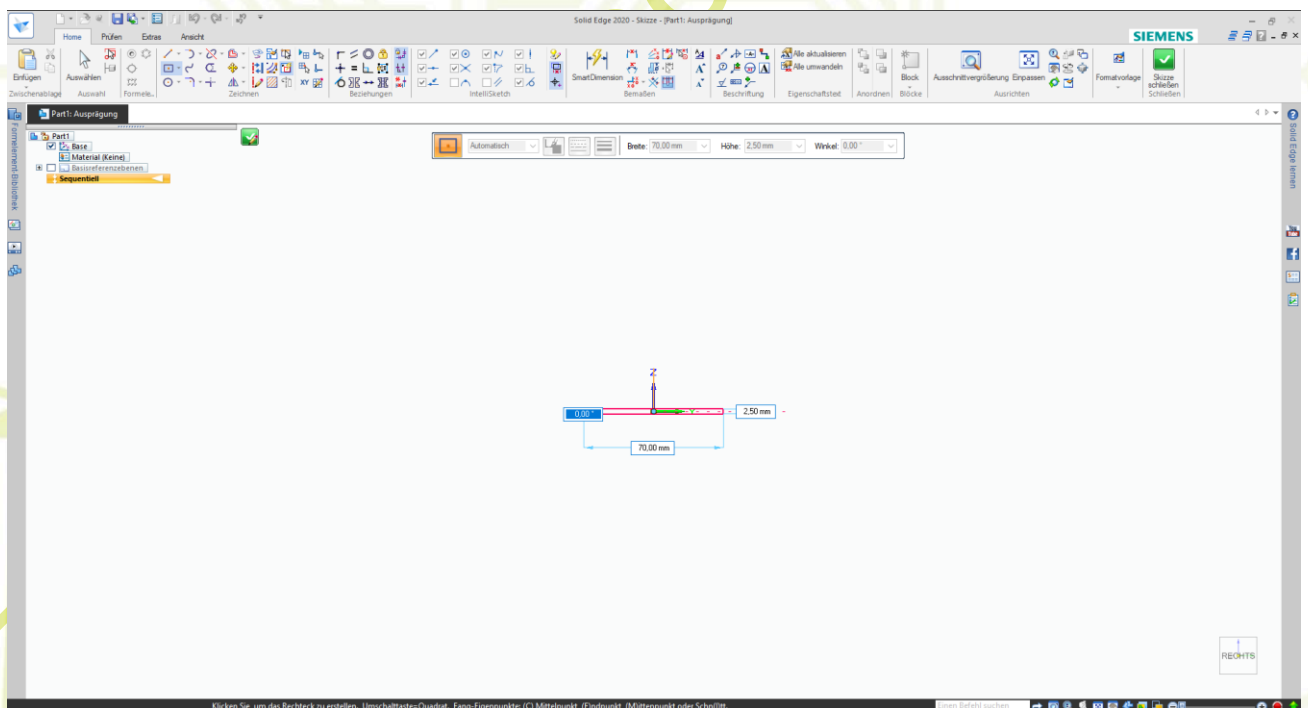
5. Jetzt wähle die Y-Z Achse mit der Maus aus, achte darauf, dass der Punkt „Konizidente Ebene“ im oberen Feld ausgewählt ist.



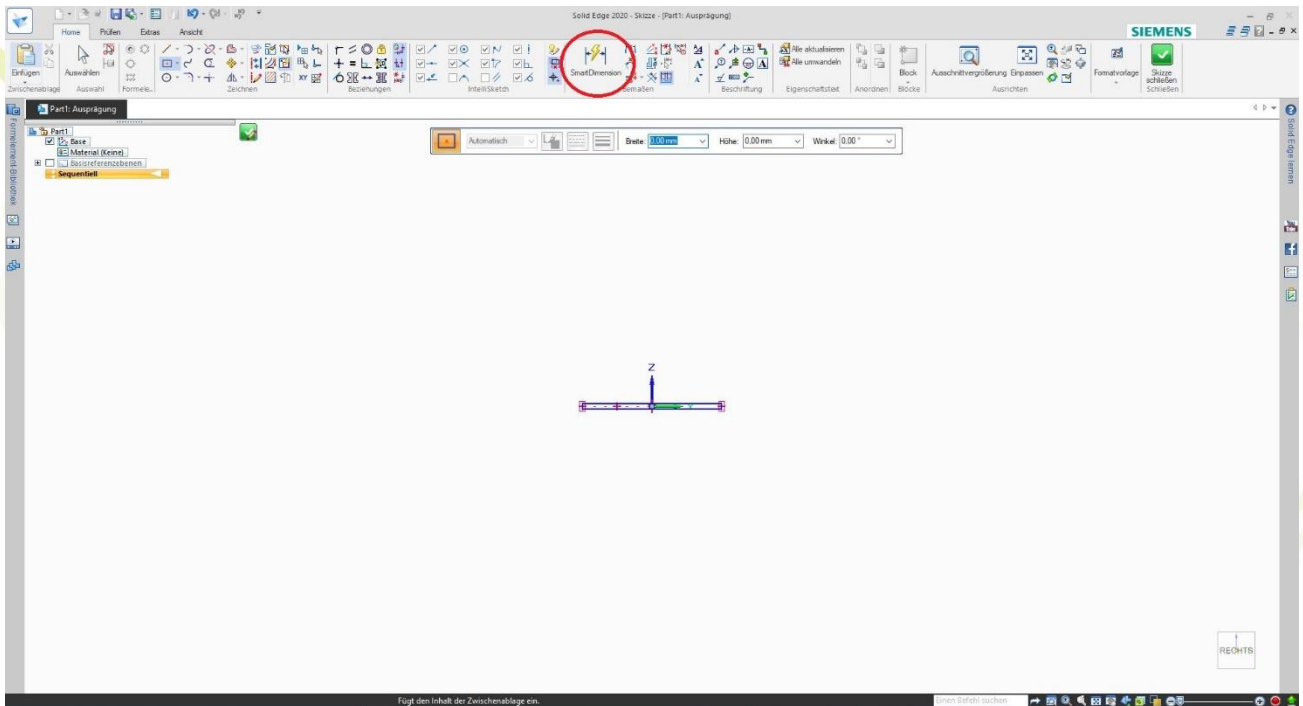
6. Die Bodenplatte besteht aus einem Rechteck, wähle Rechteck in der Skizzenumgebung aus.



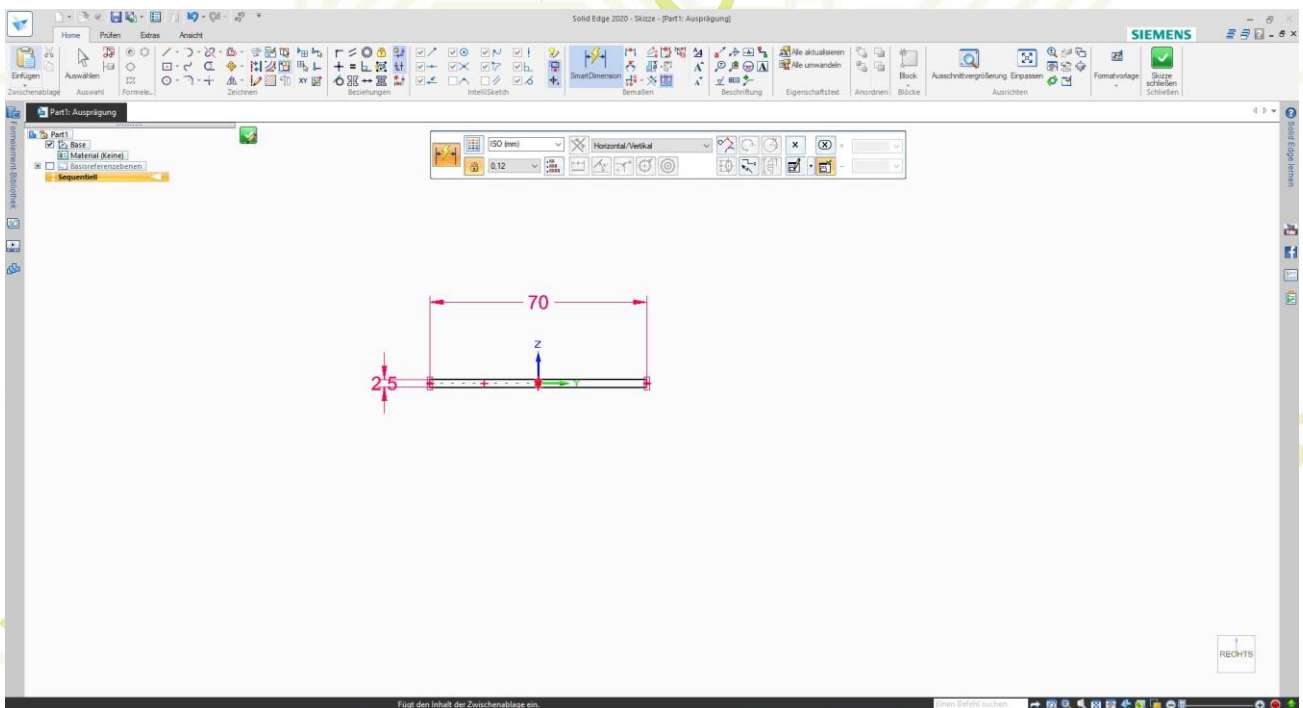
7. Nun wähle den Mittelpunkt des Koordinatensystems an und erzeuge von dort aus ein Rechteck mit den Maßen 70mm in Y-Richtung und 2,5mm in Z-Richtung. Bestätige die Eingabe jeweils mit Enter.



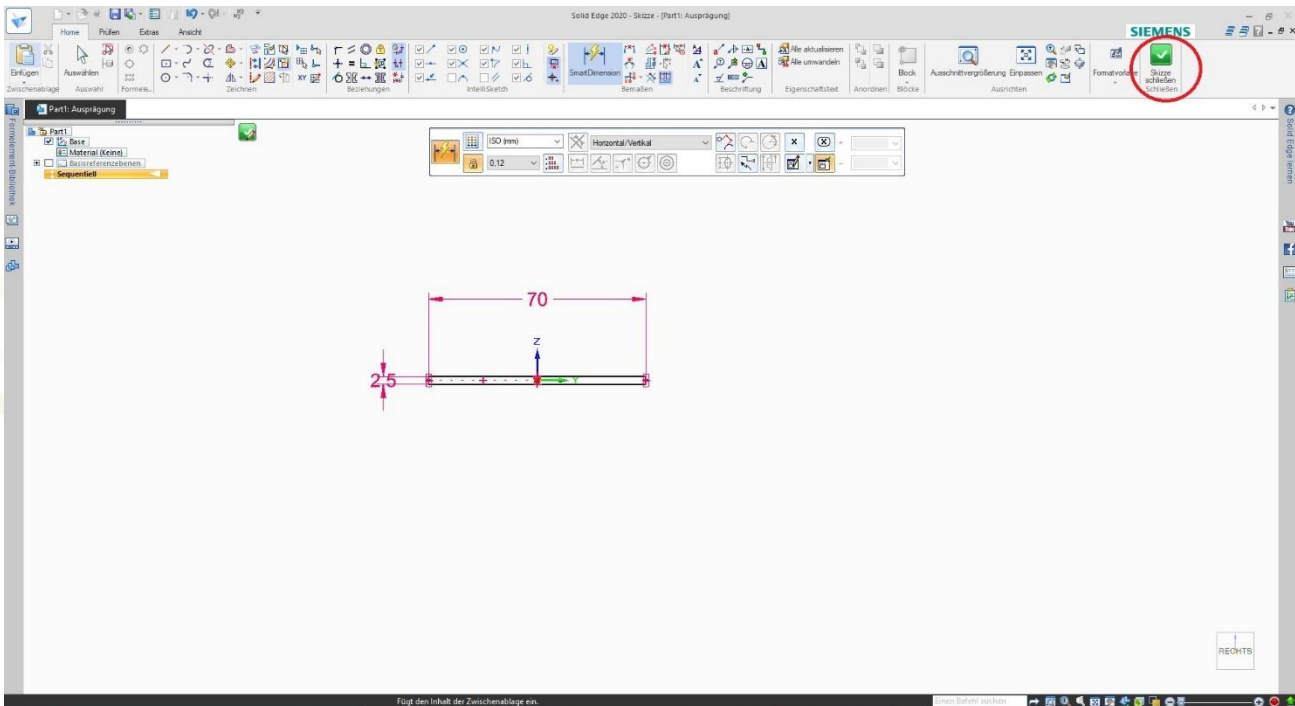
- Um die Skizze zu definieren, muss das Rechteck bemaßt werden, wähle hierfür die Funktion „SmartDimension“ aus.



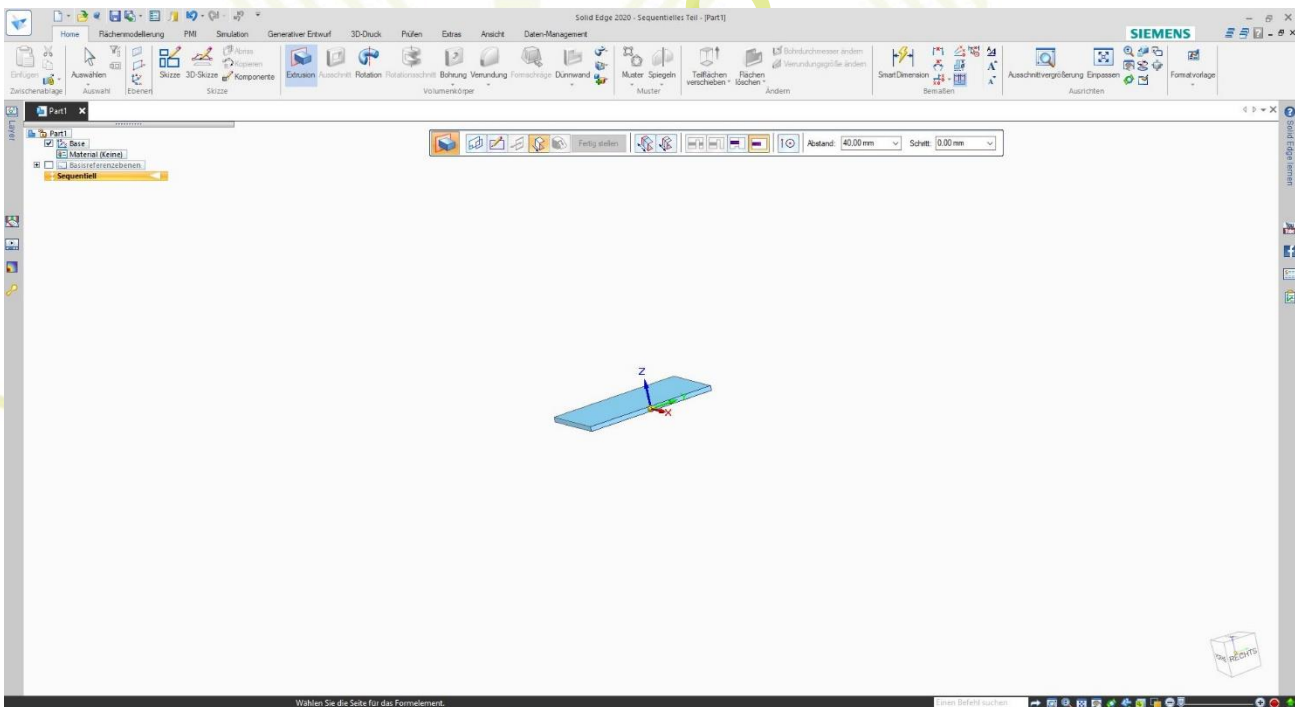
- Nun kannst du auf die einzelnen Linien klicken um die Bemaßung zu setzen. Wähle für die lange Seite 70mm und für die kurze Seite 2,5mm aus.



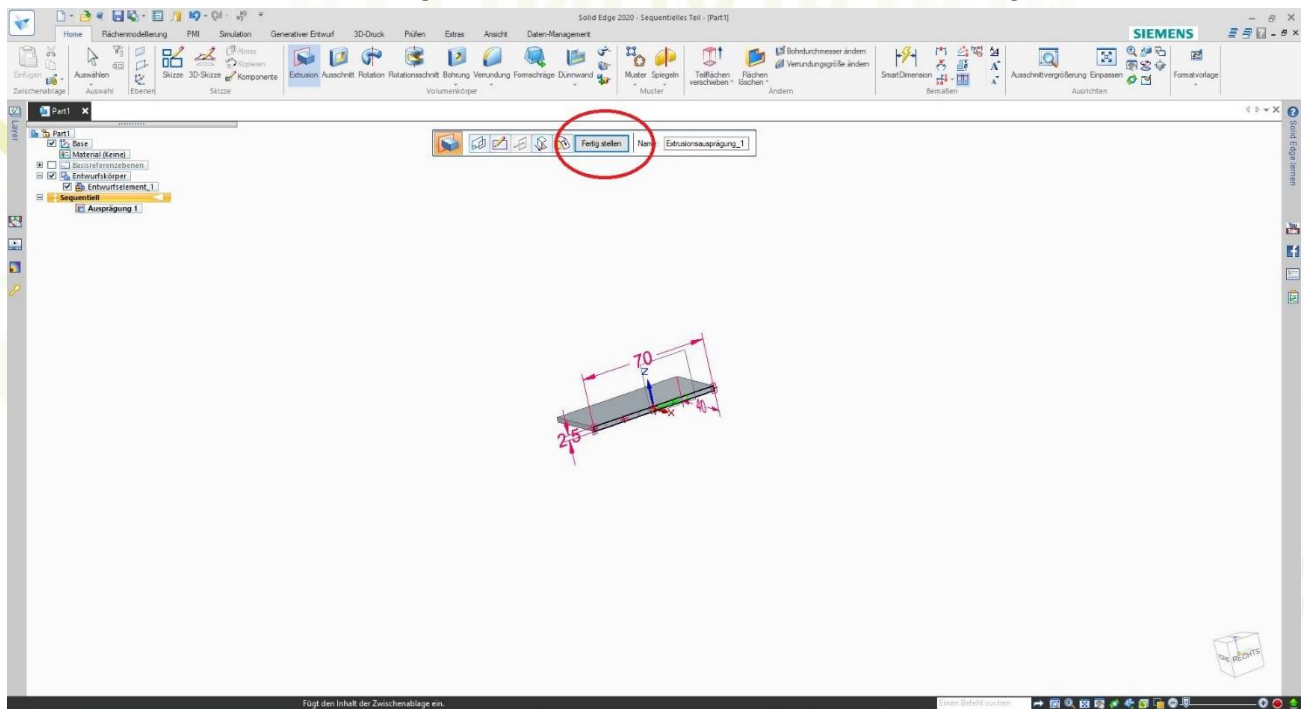
10. Der Grundkörper für die Bodenplatte ist somit für die Extrusion vorbereitet. Schließe die Skizze indem du oben rechts auf „Skizze schließen“ klickst.



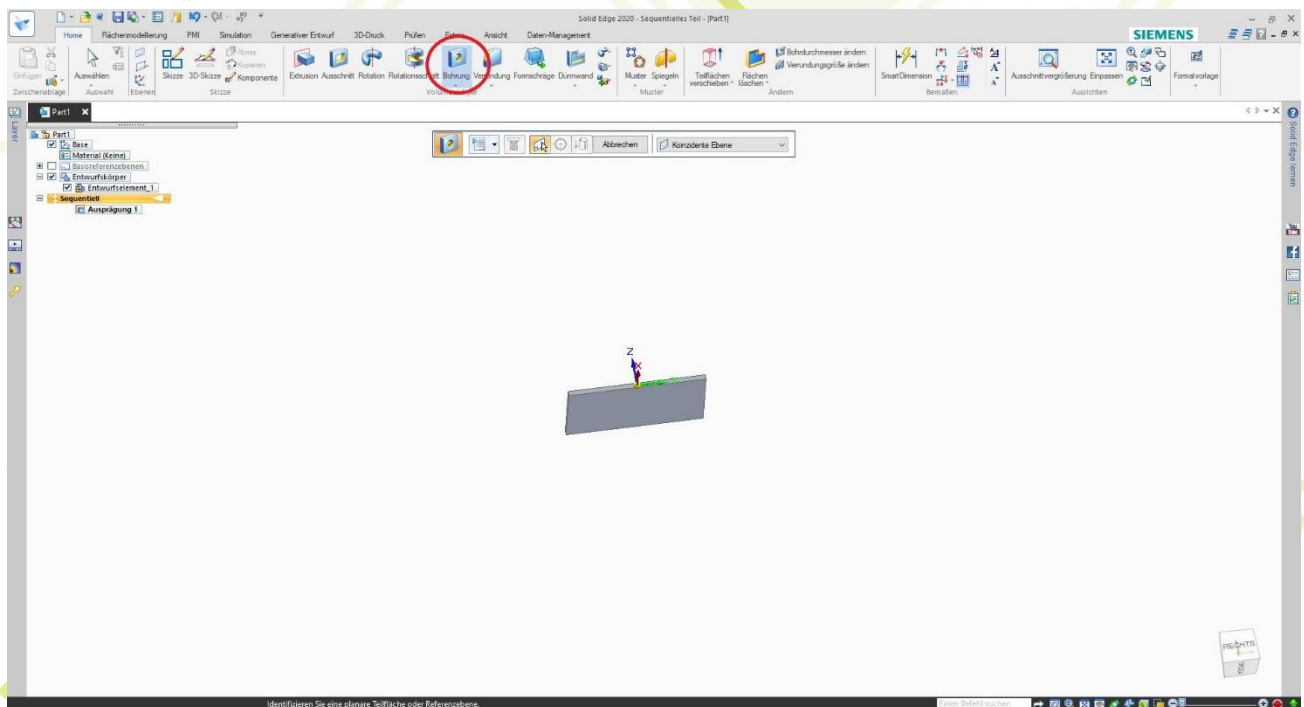
11. Nun öffnet sich die Bearbeitung der Extrusion. Wähle einen Abstand von 40mm im oberen Reiter aus und bestätige die Eingabe mit Enter.



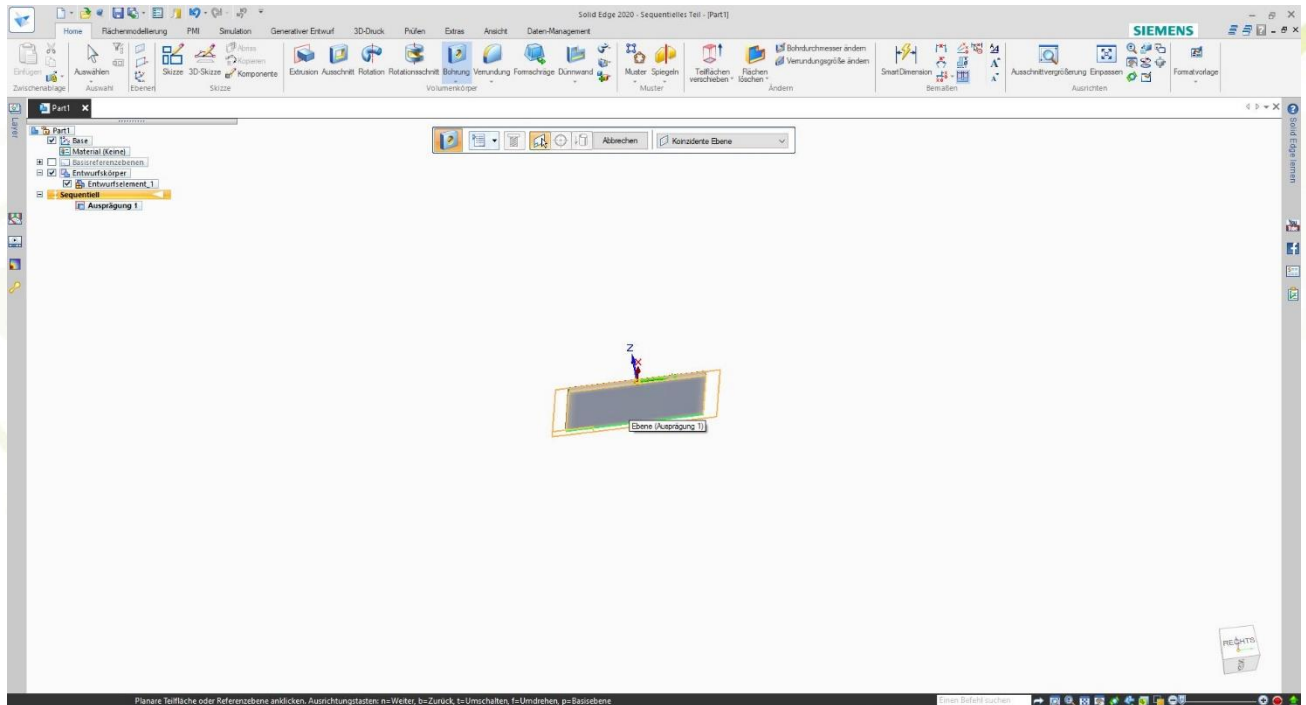
12. Nun sollte die Extrusion abgeschlossen sein. Beendet diesen Schritt mit Fertig stellen.



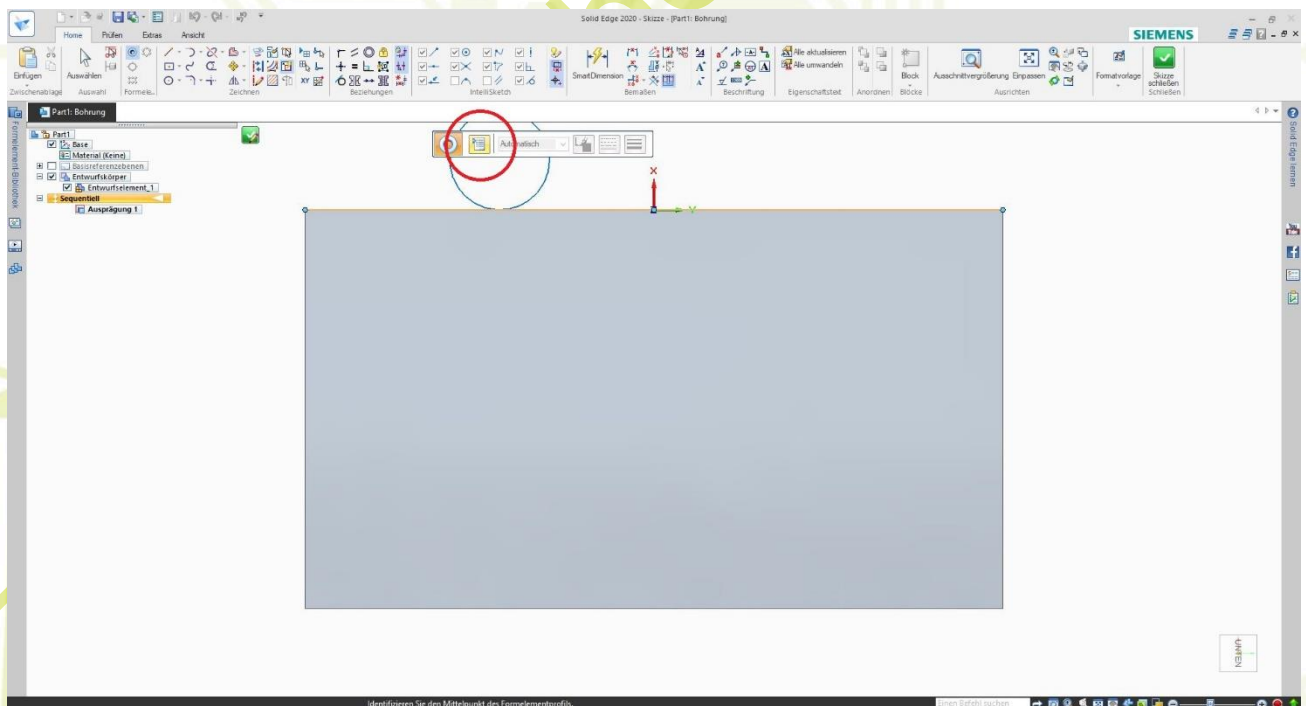
13. Nun sollen die Bohrungen für die FüÙe der Handyhalterung erstellt werden. Dazu wählt ihr den Befehl „Bohren“ aus.



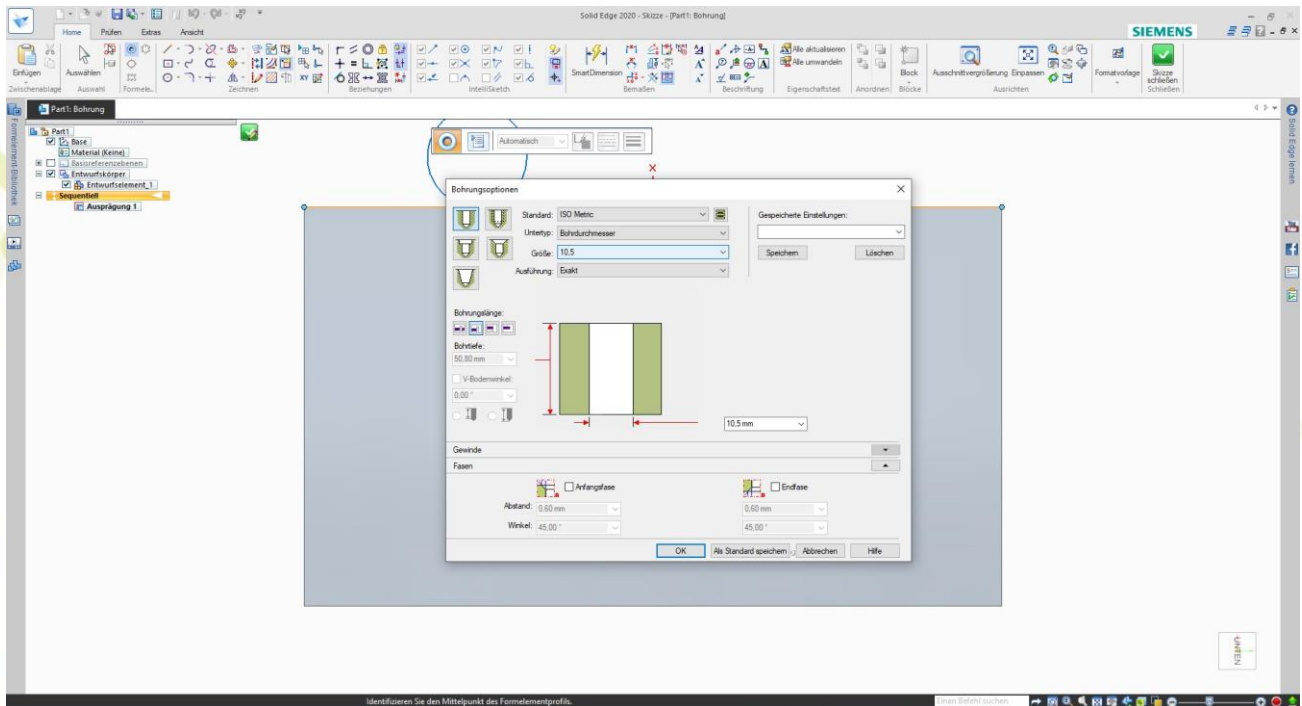
14. Anschließend wählt ihr die Unterseite der Bodenplatte per Mausklick aus. Achtet auch hier wieder auf die Auswahl „Konzeidente Ebene“.



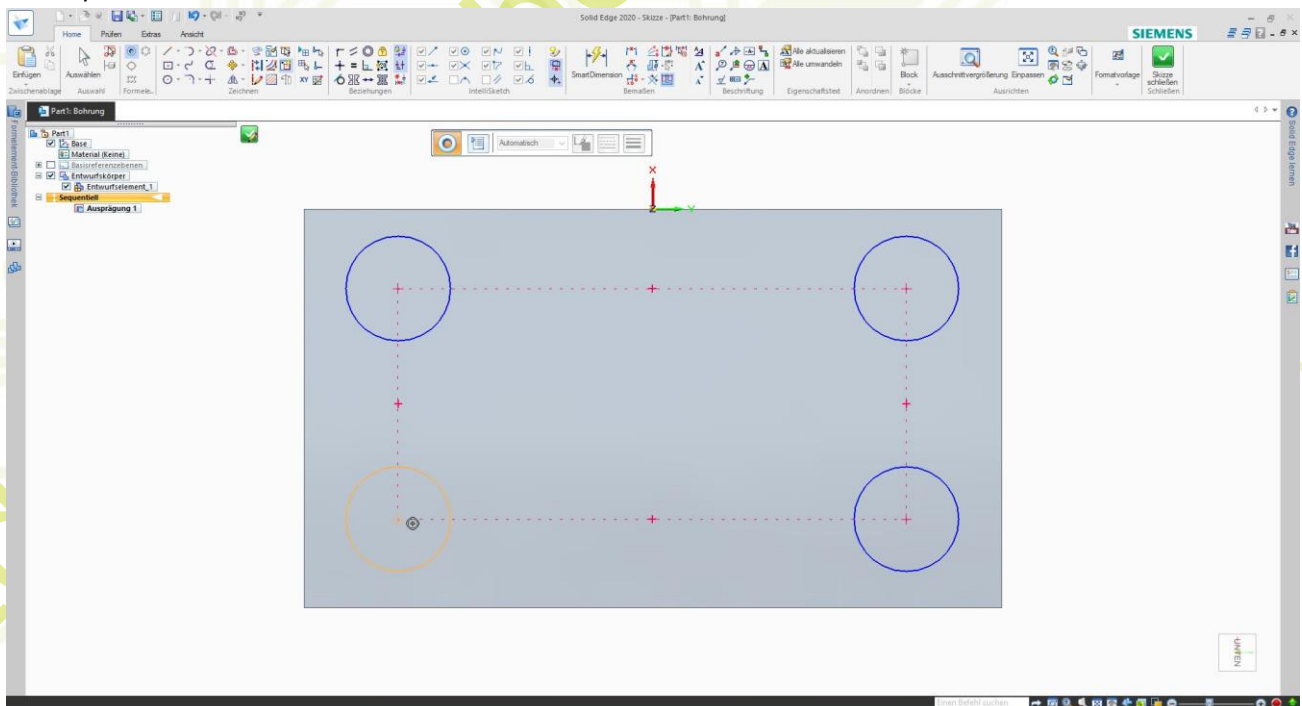
15. Es öffnet sich ein Bohrungsmenü. Hier muss zunächst der Bohrungsdurchmesser ausgewählt werden. Klickt dazu auf den Notizzettel.



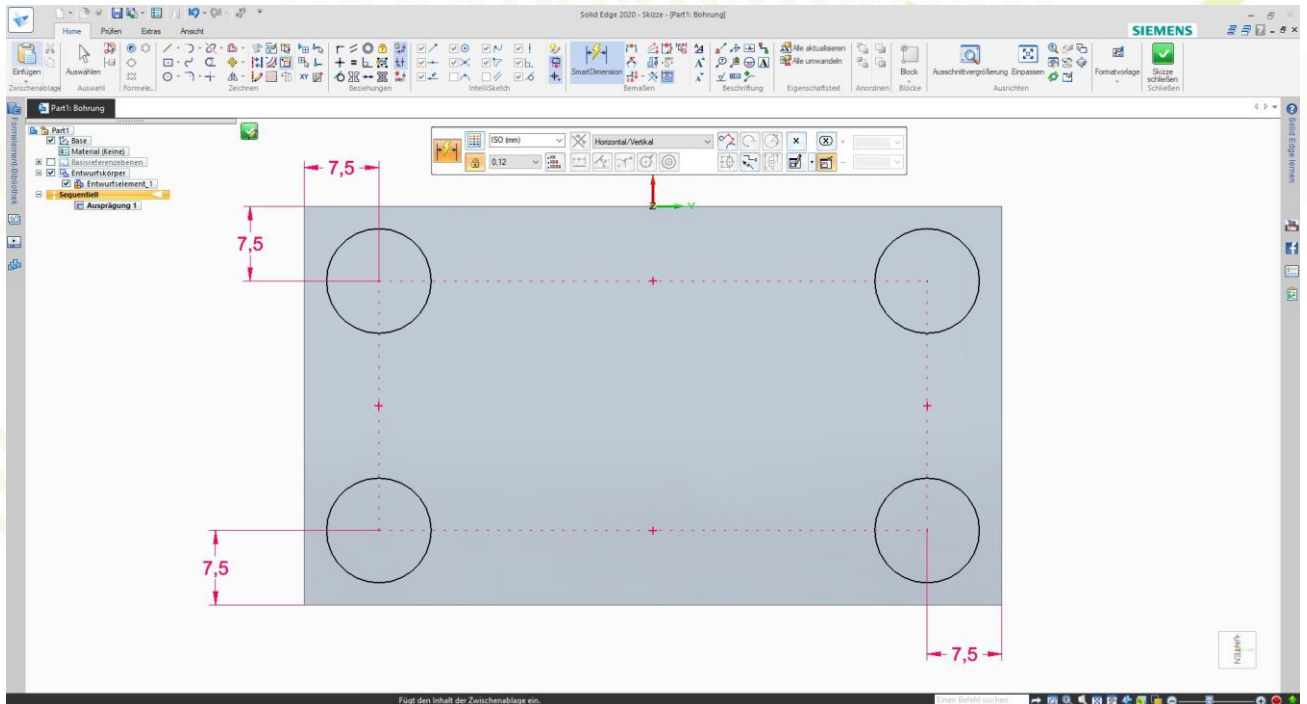
16. Es öffnet sich das Parametermenü. Gebt als Durchmesser 10,5mm an und bestätigt die Eingabe mit OK.



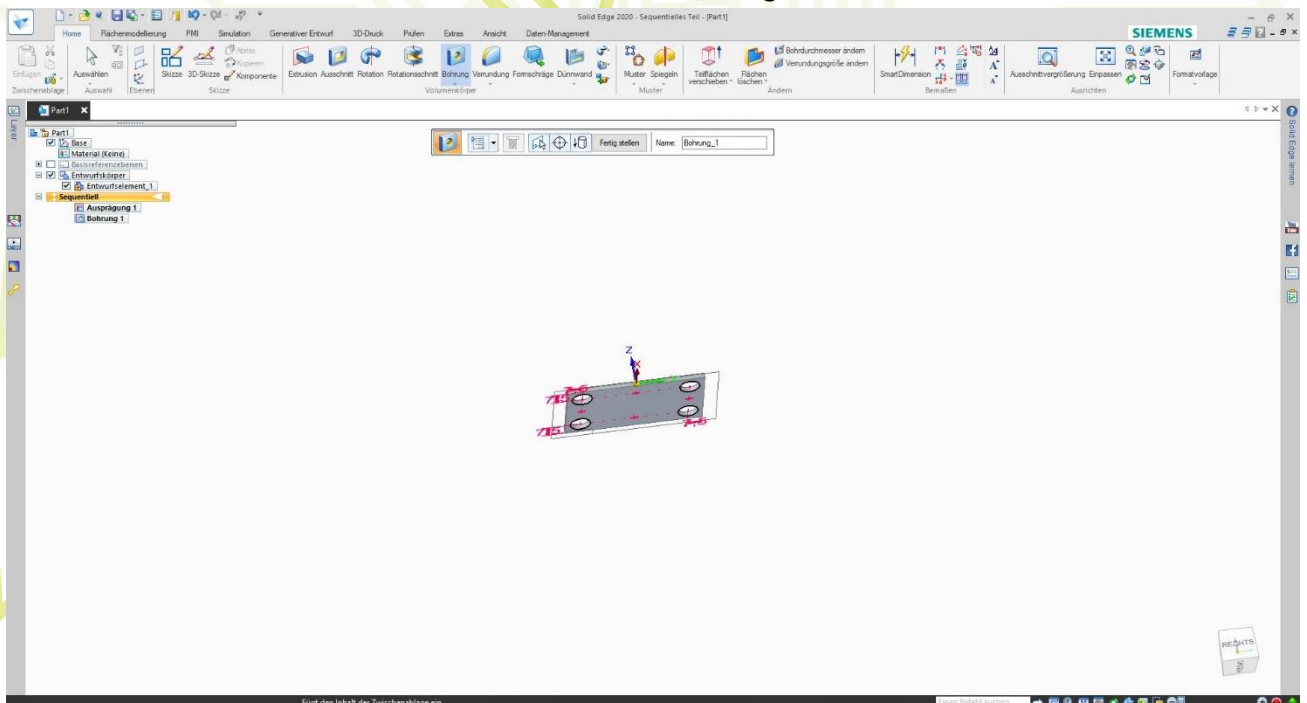
17. Anschließend werden die Bohrungen per Mausclick auf der Bodenplatte positioniert. Achtet dabei darauf, dass die Bohrungen wie in dem Bild unten zentrisch zueinander angeordnet sind, das erspart euch später arbeit beim bemaßen.



18. Wurden die Bohrungen gesetzt, wählt wieder den Befehl SmartDimension aus und bemaßt den Mittelpunkt der Bohrungen zu den Außenkanten. Diese sollen jeweils 7,5mm vom Rand entfernt sein. Sollten eure Bohrungen keine Beziehung zueinander haben, müsst ihr jede Bohrung einzeln bemaßen.



19. Anschließend klickt ihr auf „Skizze schließen“ nun sollten sich die Bohrungen in der Bodenplatte abzeichnen. Beendet den Befehl mit einem Mausklick auf „Fertig stellen“.



20. Ihr habt nun einen Einblick in die Konstruktion der Handyhalterung erhalten. Aufgrund der Zeit wird die Handyhalterung nicht bis zu Ende konstruiert. In diesem Modul geht es um das 3D-Drucken und nicht um das Konstruieren. Die fertig konstruierten Handyhalterungen stellt euch euer Betreuer zur Verfügung.

3. Stationenlernen

- **Station Material und Temperatur**

- **Material**

Im Bereich des Kunststoff 3D-Drucks gibt es mittlerweile die verschiedensten Materialien von einfachem PLA (Polyactide) über mit Holz angereichertem Filament bis hin zu höherfesten Kunststoffen wie ABS. (vgl. Fischer et al. 2018, 40 ff.) Oft verwendete Materialien sind PLA, PET-G und ABS. Es gibt neben einer Vielzahl von Materialien auch eine Vielzahl von Filamentanbietern im Internet zu finden. Diese geben in der Regel wichtige Informationen zu den Druckeigenschaften wie Extrudertemperatur und Druckbetttemperatur an. Um hier mehr zu erfahren lohnt sich ein Blick ins Internet. Auf Internetseiten wie

www.3dprima.com

www.3d-drucker-experte.de

www.filamentworld.de

findet man nützliche Informationen zu jedem Filament.



▪ Temperatur

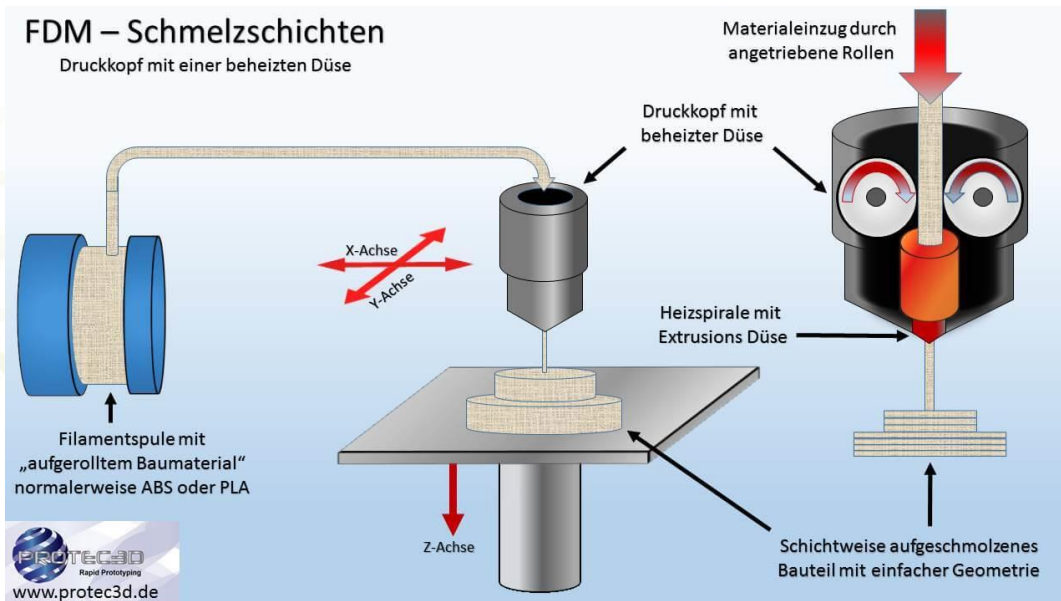


Abbildung 8: Funktionsweise FDM Drucker www.protec3d.de (aufgerufen am 08.06.2020)

Um das Material auf das Druckbett zu fördern und dabei zu formen, schmilzt der Extruder das Material auf. Um dabei eine gleichbleibende Temperatur des Extruders zu gewährleisten nutzen die Drucker in der Regel eine Temperaturregelung, die über die Stromzufuhr am Heizelement und einen Axiallüfter die voreingestellte Drucktemperatur regelt.

Nach dem das Material mit hoher Temperatur (je nach Material 180°C bis 250°C) extrudiert wird, muss es abkühlen, damit es erstarren kann und die Form nicht verliert. Hier wird in der Regel ein Radiallüfter verwendet, der den Abkühlvorgang unterstützt.

Ein Problem, das beim 3D-Druck auftreten kann, ist Verzug. Verzug bezeichnet das einseitige Ablösen der Bauteile vom Druckbett. Es entsteht dadurch, dass das extrudierte Material sich beim Abkühlen zusammenzieht. Um den Effekt des Verzugs zu minimieren wird mit einem beheiztem Druckbett gearbeitet. Übliche Druckbetttemperaturen liegen zwischen 45°C und 100°C, diese sind je nach Material zu wählen. Das Aufheizen des Druckbetts hat zwei Funktionen. Zum einen wird die Haftung zwischen Material und Druckbett verbessert und zum anderen kann dadurch dem Verzug entgegengewirkt werden. Durch die Verringerung der relativen Temperaturdifferenz zwischen Material und Druckbett, wird die Längenänderung des Materials verringert.

- **Station Infill und Schichtdicke**

Wie wir bereits gelernt haben geht es im 3D- Druck darum, unterschiedliche Objekte Schicht für Schicht aufzubauen. Wichtig ist dabei die Frage, welche Auswirkungen die Schichtdicke auf die Qualität oder auch auf die Funktionalität eines Bauteils hat. Das kann man mit der Auflösung eines Computers vergleichen, jedoch ist es beim Drucken so, dass je geringer die Schichtdicke (vgl. höhere Auflösung) desto glatter die Oberfläche. Dabei ist ein Drucker in der Lage Schichtdicken im Bereich von 0,1 mm, 0,2 mm, und 0,3 mm zu drucken. Die Schichtdicken stehen im direkten Zusammenhang mit dem Düsendurchmesser.

Insbesondere der Schichtaufbau ist charakteristisch beim 3D- Druck. Die Stränge werden in einem bestimmten Raster abgelegt, somit wird Schicht für Schicht hergestellt.

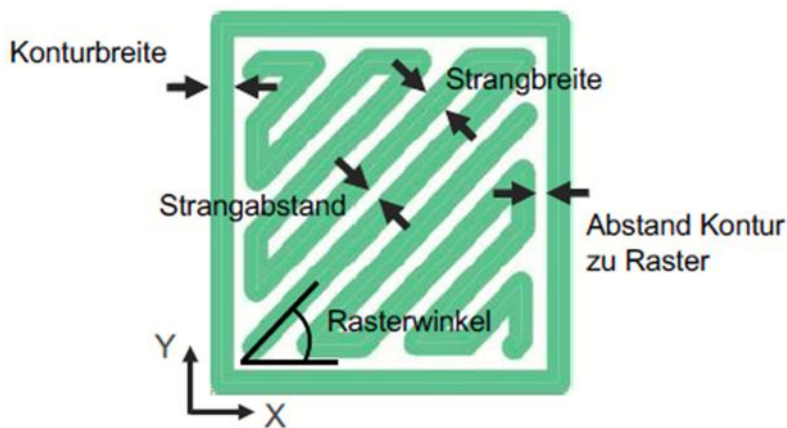
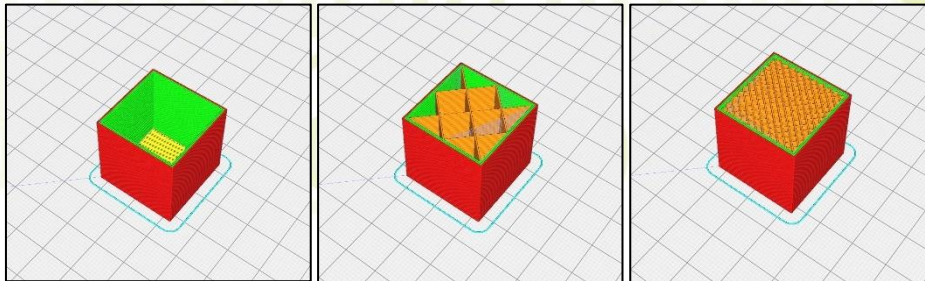


Abbildung 9: Konturen und Stränge

In der obigen Abbildung ist deutlich zu erkennen, dass bei einer Standardeinstellung zwischen den Bahnen ein Winkel von 45° herrscht mit einem Rasterfolgewinkel von 90° .

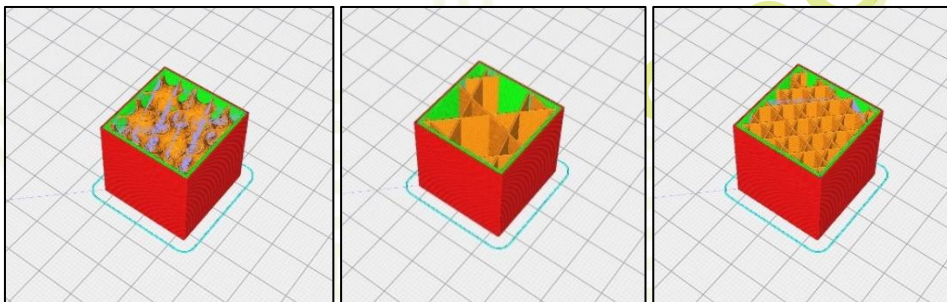
Beim 3D-Druck ist es möglich, eigentlich solide Blöcke mit Hohlräumen zu drucken, um Material und Druckzeit zu sparen. Hier gibt es die verschiedensten Infillarten. Im Folgenden werden einige Beispiele gezeigt. Ihr könnt diese Beispiele in der Station Infill und Schichtdicke anschauen und euch selbst ein Bild von der jeweiligen Stabilität machen.



1) *Kein Infill*

2) *Linien 5%*

3) *Linien 10%*



4) *Gyroid 10%*

5) *Tri-Hexagon 10%*

6) *Tri-Hexagon 25%*

- **Station Stützstrukturen**

Je nach Gestalt des gewünschten Objekts kann es passieren, dass Strukturen in der Luft gedruckt werden müssen, da dies aber mit dem 3D- Druck nicht so einfach zu realisieren ist werden Stützstrukturen verwendet.

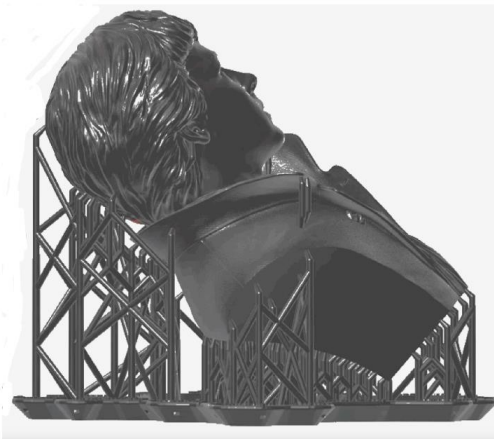


Abbildung 10: Stützstruktur eines 3D-Druck Modells www.support.formlabs.com (aufgerufen am 09.06.2020)

Wie in der Abbildung oben zu erkennen, haben Stützstrukturen beim 3D- Druck eine wichtige Aufgabe. Sie ermöglichen den Druck des Objekts, indem sie Hohlräume oder auch Überhänge abstützen. Hinzukommend erleichtern sie die Verbindung zwischen Bauteil und Bauplattform und verhindern Verzug (vgl. formlabs, 3dfilstore). Stützstrukturen werden ebenso wie das Material für das Bauteil Schicht für Schicht gedruckt, meist jedoch mit einer separaten Düse.

Dabei gibt es unterschiedliche Arten von Stützstrukturen. Zum einen gibt es sprödes Stützmaterial was sich leicht mit einer Zange oder von Hand vom Bauteil entfernen lässt (Breakaway Support) (vgl. ultimaker). Und dann gibt es noch Stützmaterial das wasserlöslich ist, das bedeutet, dass dieses Material sich in Wasser oder anderen Flüssigkeiten vom Bauteil lösen lässt (Soluble Support) (vgl. ultimaker).

Ein Richtwert für die Erstellung von Stützstruktur ist ein Überhang von 45°. Ihr könnt bei dem Bauteil vor euch sehen, wie sich der Überhang auf die Bauteilqualität auswirkt.

- **Station Fehlerarten von 3D-Druck**

Leider gibt es auch beim 3D-Druck immer wieder Fehler, die auftreten. Dabei sind das meist recht unterschiedliche Fehler, die häufigsten werden im Weiteren näher erläutert.

3D-Druck Bauteile werden auf einer beheizten Bauplattform aufgetragen, dabei kann es passieren, dass die zuerst auftragende Druckschicht zu schnell abkühlt. Wenn das passiert bildet sich in dem Filament eine Eigenspannung aufgrund des thermischen Unterschieds.



Abbildung 11: Warping

Das Resultat: das Bauteil verzieht sich und wird krumm, dieser Effekt wird Verzug (Warping) genannt (vgl. 3faktor, just3dp). Das Thema mit dem Verzug werdet ihr auch in der Station Material und Temperatur behandeln.

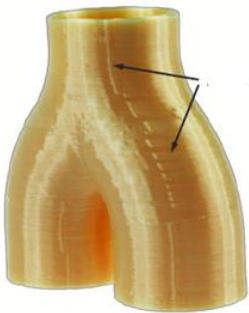


Abbildung 12: Bindenaht

Des Weiteren kommt es beim 3D-Druck meist zur Bildung von Bindenähten. Diese entstehen durch den Start- und Endpunkt der Strangablage. Dabei bildet sich ein kleiner Wulst der später als Bindenaht in der Bauteiloberfläche zu sehen ist. Dieser Fehler kann im Slicingprogramm minimiert werden, indem die Schichtübergänge ins innere des Bauteils gelegt werden.

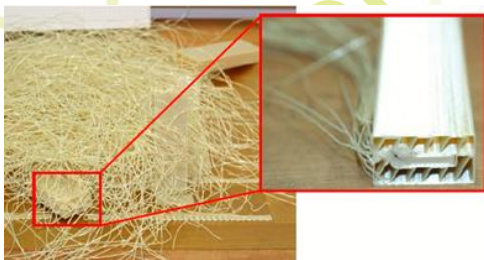
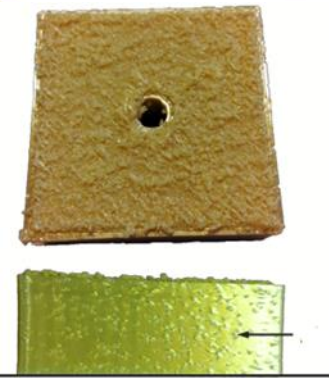


Abbildung 13: Instabilität

Jedoch können noch mehr Fehler bei der Strangablage auftauchen. Der nächste Fehler tritt auf durch den Druckkopf, genauer gesagt um die Düse, die im Druckkopf sitzt. Bei häufiger Benutzung des 3D-Druckers, kann passieren das die Düse sich schon mal verstopft und somit der Drucker nicht vernünftig drucken kann. Was dazu führen kann, dass die Stränge nicht gleichmäßig/ undefiniert abgelegt werden, weswegen es zu einem welligen Muster kommen kann. Dieses wellige Muster kann daraufhin ein schwanken oder kippen des Bauteils auslösen, weswegen es zu massiven Druckfehlern kommen kann.⁵

Und zum Schluss kann nicht nur die Maschine, die Düse oder andere Bauteile des Druckers Fehler im Bauteil verursachen, denn ein weiterer wichtiger Faktor ist das Material. Denn manche Materialien müssen bestimmt



gelagert werden, bevor sie überhaupt verarbeitet werden können. Es gibt Kunststoffmaterialien, die gerne die Feuchtigkeit anziehen (hygroskopisch) und diese dann aufnehmen. Wenn ein solches Material vor der Verwendung nicht getrocknet wird kann es passieren, dass sich bei der Verarbeitung des Materials Blasen bilden, die sich dann auf die Oberfläche niederschlagen. Deswegen ist es wichtig vor der Verwendung des Materials sicher zu gehen, dass das Material Ordnungsgemäß gelagert wurde (vgl. einfach3ddruck).

Abbildung 14: Blasenbildung

4. Slicen

- **Was ist Slicen?**

Du hattest eine Idee oder einen Auftrag zum Drucken. Das Bauteil ist konstruiert und du hast eine .stl Datei erzeugt. Jetzt geht es darum es auch zu drucken. Dafür muss man die Datei an den 3D-Drucker schicken, wie

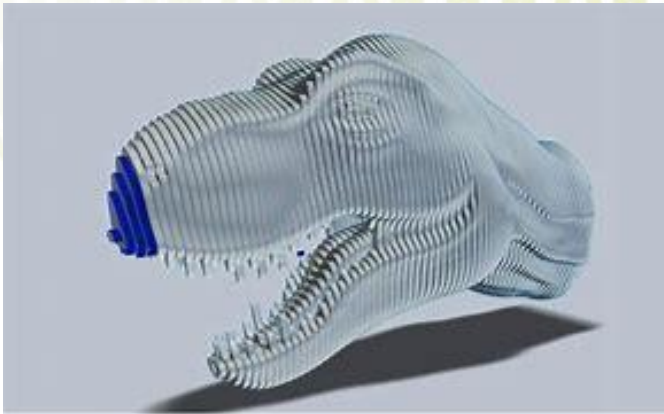


Abbildung 15: Beispiel Slicen www.3dinsider.com
(aufgerufen am 15.06.2020)

bei einem normalen Papierdrucker auch. Damit der Drucker es versteht, muss es ein Programm geben, dass die Informationen aus der .stl Datei für den 3D-Drucker „übersetzt“. Diese Aufgabe übernimmt das Slicing-Programm und man nennt dieses Übersetzen auch „slicen“. Slicen kommt aus dem englischen und bedeutet schneiden. Es gibt verschiedene Slicing-Programme, wie Cura, Simplify3D, oder auch Flashprint, mit dem wir heute arbeiten. Damit der 3D-Drucker später versteht, wie er das Bauteil drucken muss, zerlegt oder schneidet das Slicingprogramm das Bauteil in viele kleine Schichten oder Scheiben.

Außerdem stellt man im Programm einige Parameter ein, damit der Druck auch optimal funktioniert. Hier findet ihr die wichtigsten Parameter:

Es gibt verschiedene **Materialien**, die man zum Drucken benutzen kann. Abhängig vom Material wird auch eine bestimmte **Temperatur** eingestellt. PLA z.B. benötigt eine andere Temperatur als ABS. Die Werte kann man auf der Filamentrolle ablesen oder man findet sie in Tabellen.

Unter **Infill** versteht man die Struktur, mit der das Bauteil von innen aufgebaut ist. Wenn das Bauteil größer ist, wird es meistens nicht im Vollen gedruckt. Dadurch spart man viel Material und Zeit. Damit das Bauteil trotzdem stabil bleibt, gibt es verschiedene Infillarten, die im Inneren wie ein Gerüst gedruckt werden. (Dazu gehören Gyroide, Linien, ...). Die Infillart wird beim Slicen ausgewählt. Ist die Wanddicke jedoch so gering, dass ein Bauteil in Vollmaterial gedruckt werden muss, ist dieser Schritt überflüssig. Wird ein Infill verwendet, muss die Form und das Füllvolumen in Prozent angegeben werden. Wenn das Bauteil also als Vollmaterial gedruckt werden soll, dann wird 100% Füllvolumen angeben.

Die Einstellung der **Schichtdicke**/höhe beeinflusst maßgeblich die Qualität des Drucks. Je kleiner die Schichtdicke, desto feiner wird die Oberfläche. Weitere Informationen zur Schichtdicke habt ihr bereits in der Station Infill und Schichtdicke erfahren. Da es ein wichtiges Thema beim 3D-Druck ist, wird es auch noch einmal beim Einrichten des Druckers erläutert. Für eine gut auflösende Handyhalterung ist eine Schichtdicke von 0,2mm angemessen.

Ebenso ist die Qualität von der eingestellten **Geschwindigkeit** abhängig. Es gibt die Verfahrensgeschwindigkeit und die Druckgeschwindigkeit. Die Verfahrensgeschwindigkeit stellt man für die Bewegung des Druckkopfes ein, wenn er nicht druckt. Die Druckgeschwindigkeit gibt an, wie schnell der Druckkopf die Schichten übereinanderlegt. Geschwindigkeiten können je nach Drucker von 20mm/s bis 120mm/s eingestellt werden. Damit der Druck gut wird, kann man einen Wert zwischen 30-60mm/s wählen.

- **Klickanleitung der Handyhalterung in Flashprint**

Öffne das Programm Flashprint

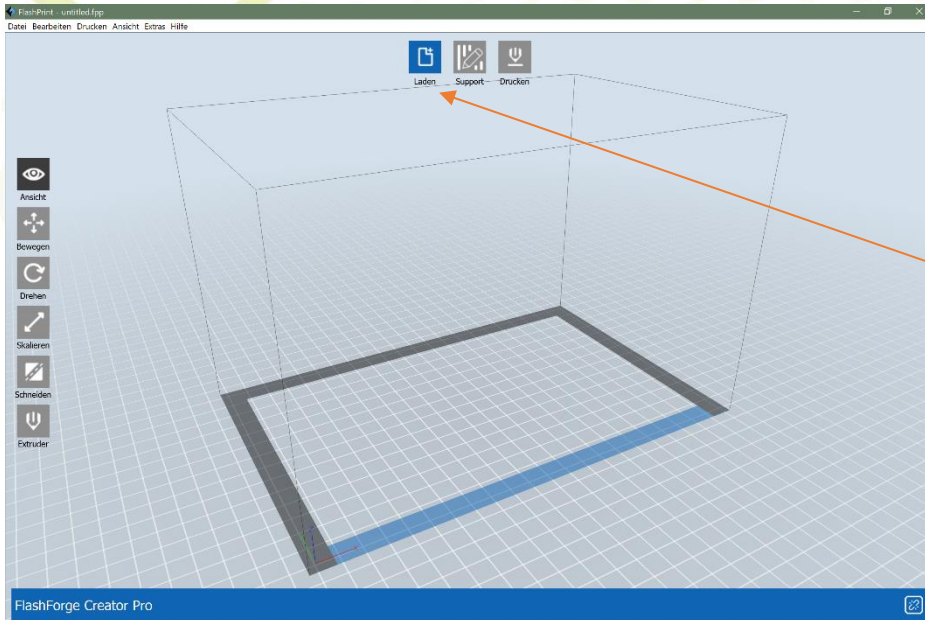


Abbildung 16: Startoberfläche

Nun importierst du die STL Datei der Handyhalterung in das Programm. Dazu klickst du auf „Laden“. Suche im Explorerfenster den richtigen Speicherort aus und wähle die Datei mit einem Doppelklick aus.

Nun erscheint die Handyhalterung:

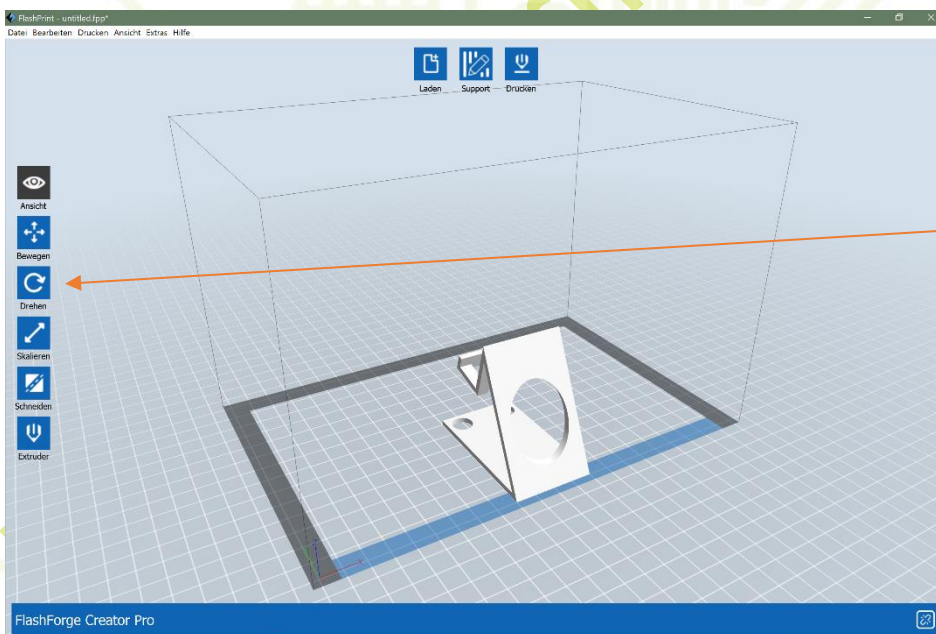


Abbildung 17: Handyhalterung in Flashprint eingefügt

Nun überleg dir, wie du die Handyhalterung so positionierst, dass sie möglichst optimal gedruckt werden kann. Wann braucht man wenig Stützstrukturen?

→ Material sparen

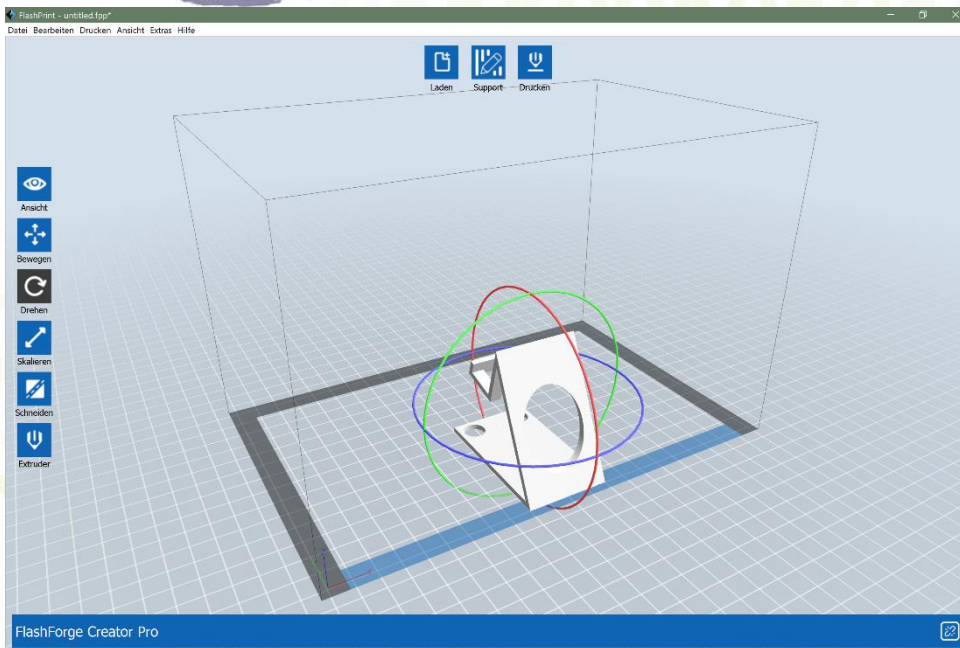


Abbildung 18: Handyhalterung drehen

Wenn du „Drehen“ anklickst, siehst du drei verschiedene Linien und Farben. Klickst du eine Linie an und hältst die Maustaste gedrückt, kannst du die Handyhalterung in der Richtung der farbigen Linie verschieben.

Hast du eine optimale Position eingestellt, bewegst du die Handyhalterung noch in die Mitte und stellst sie auf die Plattform:

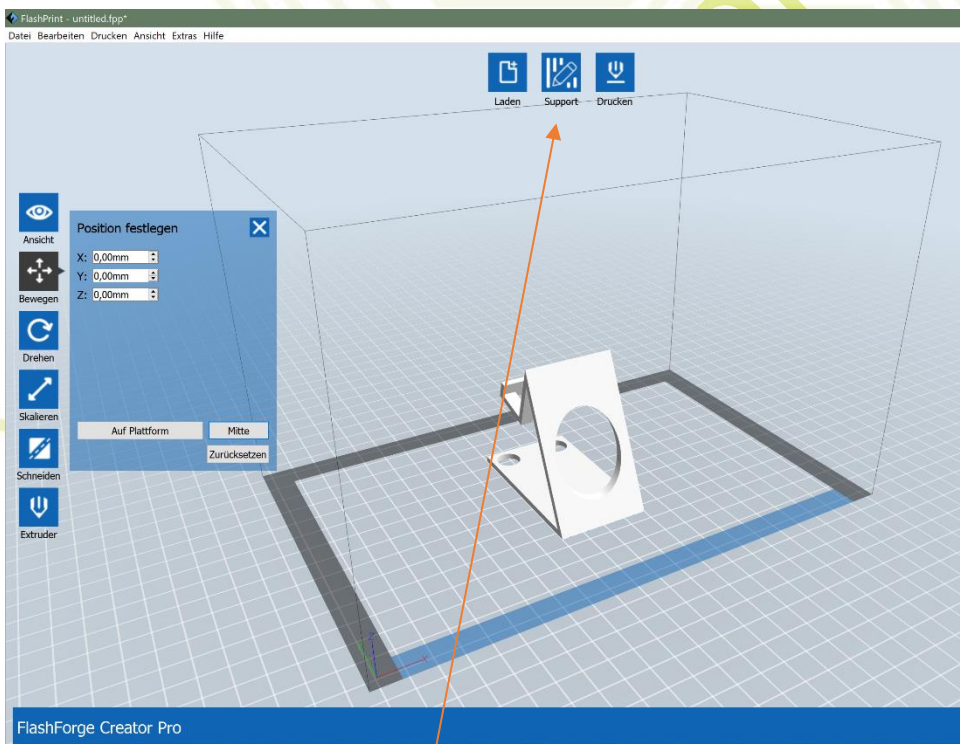


Abbildung 19: Handyhalterung bewegen

Wenn du zweimal auf „Bewegen“ geklickt hast, erscheint das Fenster wie nebenan zu sehen. Dort kannst du auf „Plattform“ klicken, damit die Handyhalterung nicht aus Versehen in der Luft hängt und du klickst auf „Mitte“, damit die Handyhalterung in der Mitte der Plattform platziert wird.

Wenn du meinst, dass du dich verlickt hast oder dir das Ergebnis nicht gefällt, kannst du in jedem Fenster auf „Zurücksetzen“ klicken.

Als nächstes klickst du auf „Support“.

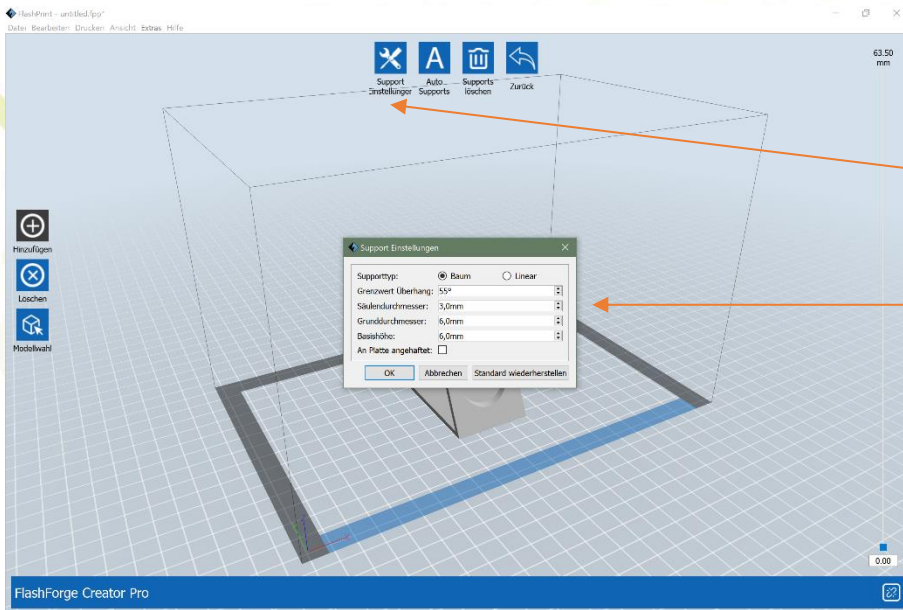


Abbildung 20: Stützstrukturen einstellen

Nun aktivierst du die Stützstrukturen:

Klicke auf „**Support Einstellungen**“.

Es erscheint ein Fenster, indem du einen Wert für „**Grenzwert Überhang**“ eintragen kannst. Was hast du eben gelernt, ab wann braucht man Stützstrukturen? → Trage den Wert in deine Experimentieranleitung ein.

Außerdem entscheidest du, ob die Stützstrukturen in Baumform oder linear als

Wand gedruckt werden sollen.

Als nächsten Schritt klickst du neben „**Support Einstellungen**“ das Feld „**Auto-Supports**“ an. Hier werden jetzt die Stützstrukturen angezeigt.

Auf „**Zurück**“ kommst du wieder in die Hauptansicht. Jetzt geht es darum, die richtigen Einstellungen für die Druckparameter Infill, Schichtdicke, Temperatur und Material vorzunehmen:

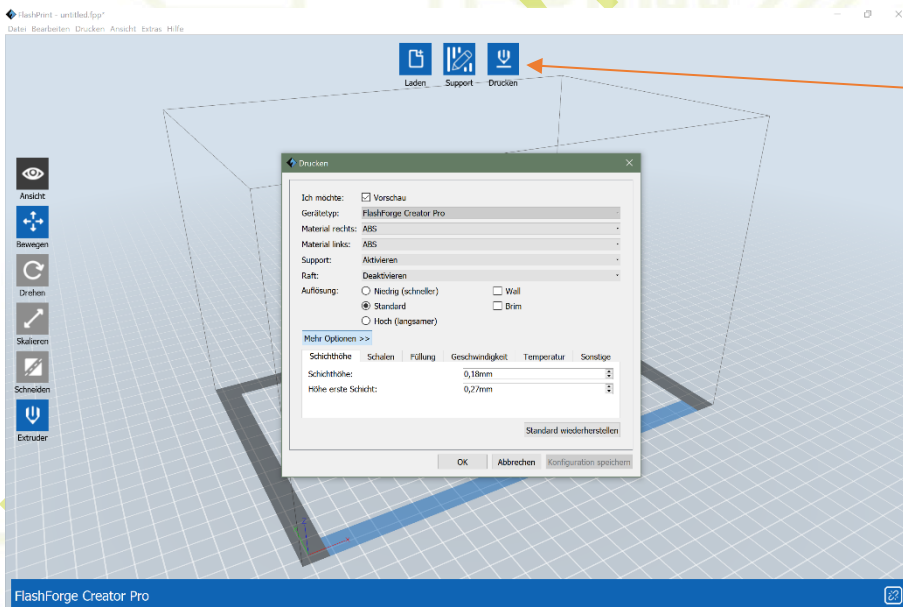


Abbildung 21: Parameter zum Drucken einstellen

Klicke „**Drucken**“ an.

Es öffnet sich wie links zu sehen, ein Fenster. Dort klappen sich durch Klicken auf „**Mehr Optionen**“ weitere Felder auf, in denen man Werte einstellen kann.

Hier kommt es nun darauf an, Werte auszuwählen, die ihr gerade gelernt habt. Für folgende Felder macht ihr Einstellungen:

Material	Wähle ein Material aus. Welches wird benutzt? Woher weißt du das?
Schichthöhe	Trage für Schichthöhe einen realistischen Wert ein.
Füllung	Gib für Fülldicke eine Prozentzahl an. Welche ist sinnvoll? Muss ein Infill gewählt werden?
Temperatur	Trage für „Extruder rechts“ und „Plattform“ eine Temperatur ein. Welche?
Stützstruktur	Trage hier deine gewählte Stützstruktur ein
Geschwindigkeit	Trage hier deine gewählte Geschwindigkeit für den Druck ein

Zum Druck der Handyhalterung

Im Speelab wird mit dem Material PLA gedruckt. Als Schichthöhe bietet sich für eine gute Qualität 0,2mm an. Als erste Schichthöhe kann ein Wert von 0,3mm angegeben werden, das hilft die Haftung auf dem Druckbett zu verbessern. Als Fülldicke ist bei der Handyhalterung 100% sinnvoll, da diese nur aus Wandlinien besteht. Eine bewährte Temperatur für das Material PLA ist 205°C. Die Druckbetttemperatur sollte 50°C betragen, das hilft wiederum die Haftung zu verbessern und Verzug vorzubeugen. Als Stützstruktur bietet sich bei der Handyhalterung die lineare Struktur an. Eine Baumstruktur würde zu unnötiger verlängerter Druckzeit führen. Als Druckgeschwindigkeit kann ein Wert von 40mm/s. Die Verfahrgeschwindigkeit kann auf 120mm/s gesetzt werden.

Wenn du alle Werte eingestellt hast, klicke auf „Ok“. Es erscheint nun ein Fenster, indem du auswählst, wo die Datei gespeichert werden soll.

Schau nach, ob du alles in deine Experimentieranleitung eingetragen hast.

Nun geht es zum Drucker.

5. Drucker einrichten

Vor dem eigentlichen Druck müssen noch einige Dinge beachtet und gegebenenfalls vorbereitet werden. Ihr könnt euch das so vorstellen, wie Autofahren. Vor dem Losfahren müsst ihr auch einmal nachsehen ob das Auto verkehrssicher ist. Funktioniert die Beleuchtung? Sind die Reifen okay? Anschließend setzt ihr euch ins Auto, schnallt euch an und startet den Motor. Beim Drucker muss beachtet werden, ob die richtige Düse eingebaut ist, ob das richtige Material geladen ist und das Druckbett muss gelevelt sein. Was genau das heißt erfahrt ihr hier.

- **Düsenarten**

Es gibt verschiedene Düsendurchmesser und Düsenmaterialien. Generell muss die Düse Wärme gut leiten, um das Filament aufschmelzen zu können. Des Weiteren muss die Düse genügend Widerstand gegen Abrieb aufweisen, sodass diese nicht zu schnell verschleißt. Im standard Kunststoff 3D-Druck wird ein Düsendurchmesser von 0,4mm verwendet.

Der Düsendurchmesser muss in der Slicingsoftware hinterlegt sein, da das Programm die benötigte Durchflussgeschwindigkeit an den Düsendurchmesser anpasst.

Es gibt eine Vielzahl von Düsendurchmessern. Dabei hat der gewählte Düsendurchmesser einen direkten Einfluss auf die Schichtbreite und die maximal mögliche Schichtdicke. Grundsätzlich werden grobe Bauteile mit dickerer Düse gedruckt und je feiner das Bauteil ist, desto dünner muss der Düsendurchmesser sein.



Abbildung 22: Düsenarten www.shop.bohrers.de
(aufgerufen am 10.06.2020)

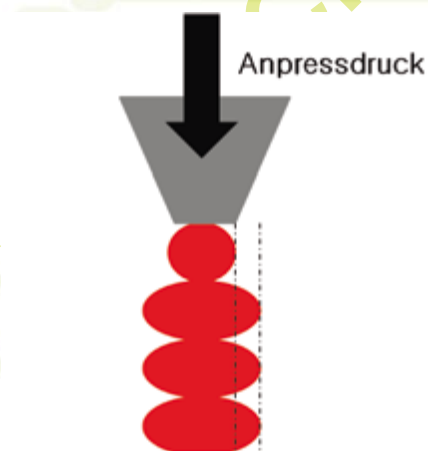


Abbildung 23: Schichtdicke (Fischer et al. 2018, 127)

Als Faustregel kann gesagt werden, dass die maximal mögliche Schichtdicke der Düsendurchmesser – 0,1mm beträgt. So wird sichergestellt, dass das aufgeschmolzene Filament an der vorherigen Schicht haften kann. Die Schichthöhe kann dann den Qualitätsanforderungen des Produktes angepasst werden.

- **Material laden**

Um zu Drucken benötigt man natürlich auch das entsprechende Material. Dieses wird beim FDM Druck in der Regel als Filament auf Rollen bereitgestellt. Vor dem Druck muss sichergestellt werden, dass der richtige Durchmesser des Filaments in der Slicingsoftware hinterlegt ist. Dieser wird wiederum zur Berechnung des Durchflusses benötigt. Das Material wird anschließend in den Extruder eingeführt.



Abbildung 24: Material www.blog.inkjetwholesale.com.au (aufgerufen am 10.06.2020)

- **Druckbett leveln**

Unter dem Leveln des Druckbetts versteht man, das Ausrichten der Düse zum Druckbett, sodass das Druckbett an jeder Koordinate denselben Abstand zur Düse hat. Zum Leveln verwendet man in der Regel ein Blatt Papier. Das Papier wird zwischen Düse und Druckbett gelegt und die Höhe des Druckbetts soweit verändert, bis das Papier leicht geklemmt wird. So kann sichergestellt werden, dass das Material gleichmäßig aufgetragen wird und gut am Druckbett haftet. Ein falsch geleveltes Druckbett kann zu einer schlechten Materialhaftung oder einer verstopften Düse führen. Modernere Drucker besitzen mittlerweile Druckbettsensoren, die automatisch den Abstand zwischen Druckbett und Düse messen und die Höhendifferenz ausgleichen.

6. Qualitätskontrolle

- Rauheitsmessung**

Bei einer Qualitätskontrolle geht es um die Überprüfung verschiedener Kennwerte oder optischer Merkmale, die den Wunsch des Kunden erfüllen sollen (vgl. Dillinger 2007, S. 61). Bei vielen Bauteilen im 3D-Druck ist vor allem die Beschaffenheit der Oberfläche sehr wichtig. Um das zu überprüfen, kann eine Rauheitsmessung durchgeführt werden.

Der Rz-Wert beschreibt die gemittelte Rautiefe, die aus dem arithmetischen Mittel aufeinanderfolgender Messstrecken bestimmt wird. Mit Hilfe des Rz-Wertes kann verglichen werden, ob die gewünschte Oberflächenqualität erreicht wurde oder nicht.

- Prüfprotokoll**

Im Allgemeinen lässt sich Qualität durch viele verschiedene Faktoren bestimmen, je nach Bauteil sind es unterschiedliche Kriterien, die erfüllt werden müssen. Um am Ende der Bauteilfertigung die Qualität überprüfen zu können, werden Prüfprotokolle angefertigt, in denen die wichtigsten Merkmale aufgelistet sind. Da soll der Prüfer dann das Ergebnis des Ist-Zustandes vom Bauteil ermitteln und eine Aussage darüber treffen ob das Bauteil in Ordnung (i.O.) oder nicht in Ordnung (n.i.O.) ist. Für die Bewertung gibt es unterschiedliche Vorgehensweisen, die durchgeführt werden können, zum Beispiel: Noten vergeben, +/-o und viele mehr.

Demnach könnte ein Prüfprotokoll, in dem Noten vergeben werden sollen, so aussehen:

optisches Prüfprotokoll 3D-Druck			
Druckfehler, sind welche vorhanden und wenn welche?			
Merkmal	Schulnote		
Oberflächenbeschaffenheit			
Merkmal	Schulnote		
Rauheit			
Liegen die Schichten gut aufeinander?			
Funktion			
Merkmal	Schulnote		
Hält das Handy?			
Bleibt die Halterung von alleine stehen?			

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Der Schweizer Schokoladenhersteller der Barry Callebaut Group bietet Köchen die Möglichkeit, ihre Süßwarenvisionen in 3D-gedruckte Schokoladenrealitäten umzusetzen. www.all3dp.com (aufgerufen am 09.06.2020)	3
Abbildung 2: Ein Hund mit seiner 3D Prothese, aus Instagram von engindustry (aufgerufen am 09.09.2020)	3
Abbildung 3: Ein 3D-gedrucktes Kaninchen mit Vorsprüngen und Vertiefungen in alle Richtungen. https://silklab.it.tufts.edu/ (aufgerufen am 08.06.2020)	4
Abbildung 4: Bei einem siebenteiligen Druck werden rote und goldene, silberne, graue und blaue Filamente für den authentischen Iron Man-Look verwendet. https://all3dp.com/ (aufgerufen am 08.06.2020)	4
Abbildung 5: Konstrukteure am Zeichenbrett www.mulag.de (aufgerufen am 08.06.2020)	5
Abbildung 6: CAD Arbeitsplatz www.keltia-design.com (aufgerufen am 08.06.2020).....	6
Abbildung 7: Handyhalterung	7
Abbildung 8: Funktionsweise FDM Drucker www.protec3d.de (aufgerufen am 08.06.2020).....	18
Abbildung 9: Konturen und Stränge	19
Abbildung 10: Stützstruktur eines 3D-Druck Modells www.support.formlabs.com (aufgerufen am 09.06.2020)	21
Abbildung 11: Warping	22
Abbildung 12: Bindenaht	22
Abbildung 13: Instabilität.....	22
Abbildung 14: Blasenbildung.....	23
Abbildung 15: Beispiel Slicen www.3dinsider.com (aufgerufen am 15.06.2020)	24
Abbildung 16: Startoberfläche	25
Abbildung 17: Handyhalterung in Flashprint eingefügt.....	25
Abbildung 18: Handyhalterung drehen	26
Abbildung 19: Handyhalterung bewegen	26
Abbildung 20: Stützstrukturen einstellen.....	27
Abbildung 21: Parameter zum Drucken einstellen.....	27
Abbildung 22: Düsenarten www.shop.bohrers.de (aufgerufen am 10.06.2020).....	29
Abbildung 23: Schichtdicke (Fischer et al. 2018, 127)	29
Abbildung 24: Material www.blog.inkjetwholesale.com.au (aufgerufen am 10.06.2020)	30

Literaturverzeichnis

Dillinger, Josef (2007): Fachkunde Metall. 55., neu bearb. Aufl., [Nachdr.]. Haan-Gruiten: Verl. Europa-Lehrmittel Nourney Vollmer (Europa-Fachbuchreihe für metalltechnische Berufe).

Fischer, Andreas; Gebauer, Stefan; Khavkin, Evgeniy (2018): 3D-Druck im Unternehmen. Entscheidungsmodelle, Best Practices und Anwendungsbeispiele. Am Beispiel Fused Layer Modeling (FLM). München: Hanser. Online verfügbar unter <https://www.hanser-elibrary.com/doi/book/10.3139/9783446441248>.

Jung, Heinz; Pahl, Jörg-Peter; Schröder, Werner (2004): Fachpraxis Metall. Für die berufliche Aus- und Fortbildung ; mit 490 Aufgaben zur Vertiefung und Wiederholung. 6. Aufl., 3. Dr. Berlin: Cornelsen.

Koller, Rudolf (1998): Konstruktionslehre für den Maschinenbau. Grundlagen zur Neu- und Weiterentwicklung technischer Produkte mit Beispielen. neubearbeitete und erweiterte Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

<https://support.formlabs.com/s/article/What-Supports-Do?language=de>,
<https://www.3dfilstore.ch/blog/2018/11/13/stuetzstrukturen-beim-3d-druck/> (aufgerufen am 10.06.2020)

<https://ultimaker.com/de/materials/breakaway> (aufgerufen am 10.06.2020)

<https://3faktor.com/fehler-beim-3d-druck-vermeiden/> (aufgerufen am 12.06.2020)

<https://www.just3dp.com/blog/post/probleme-beim-3d-druck-und-ihre-loesung/> (aufgerufen am 12.06.2020)

<https://einfach3ddruck.de/blasenbildung-in-der-grundsicht/> (aufgerufen am 12.06.2020)