

## EINLEITUNG

Im Bildungskontext werden häufig Kompassse verwendet, um Magnetfelder zu untersuchen. Diese sind günstig und sehr empfindlich, haben aber den Nachteil, dass nur horizontale Magnetfeldkomponenten untersucht werden können. Alternativ können Eisenspäne verwendet werden, um Magnetfelder sichtbar zu machen. Diese ermöglichen aber häufig nur kurzzeitige Beobachtungen.

Eine weitere Möglichkeit ist die Verwendung von Magnetfeldsonden.



Abbildung 1: Magnetfeldsonde an einem Modell des Erdmagnetfeldes

Bei diesen ist ein Magnet kardanisch, also an zwei zueinander rechtwinkligen Achsen, befestigt, so dass er sich frei in alle Raumrichtungen drehen kann. Ähnlich wie ein Kompass richtet er sich in Gegenwart eines Magnetfeldes nach den magnetischen Feldlinien aus. Durch die kardanische Aufhängung können aber im Gegensatz zum Kompass auch vertikale Magnetfeldkomponenten untersucht werden.

## MATERIALIEN

- Autodesk Fusion 360
- Autodesk Bildungsaccount (Studierende, Lehrkräfte etc.)
- CURA oder anderen Slicer
- Computer und Maus
- USB-Stick
- Cuttermesser oder Teppichmesser
- Neodym-Stabmagnet  $\varnothing$  4 mm, Höhe 12,5 mm

## AUFGABE

**Konstruieren Sie eine Magnetfeldsonde und drucken diese aus.**

- Konstruieren Sie die Halterung in der Software Fusion 360.
- Die Halterung sollte einen ausreichend großen Griff zum Festhalten haben.
- Erstellen Sie den *gcode* und drucken Sie ihn aus.
- Bearbeiten sie den Druck so nach, dass die **Drehlager** möglichst leichtgängig sind.
- Setzen Sie den **Magneten** ein.



Abbildung 2: Magnetfeldsonde aus PLA

## SCHRITT FÜR SCHRITT

### Autodesk Fusion 360 starten

- Starten Sie die Software Autodesk Fusion 360.
- Loggen Sie sich mit Ihrem Account ein.

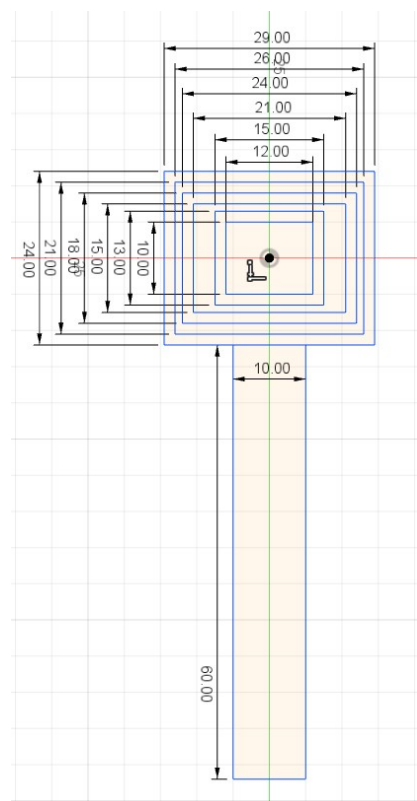
### Zeichnung in einer Ebene anlegen - Grundform

- Erstellen Sie eine **Zeichnung** in der **X-Y-Ebene** durch Klicken auf das entsprechende Symbol und anschließend auf die **Ebenenfläche X-Y**.
- Erstellen Sie die **Außenkontur** der **Halterung** auf Grundlage der Abbildung (s.u.), indem Sie zunächst **Rechtecke mit gleichem Mittelpunkt** (Skizze  $\rightarrow$  Rechteck  $\rightarrow$  **Mittelpunkt**, **Rechteck**) mit den folgenden Größen erstellen.

**Wichtig: Es ist für die späteren Schritte sehr hilfreich, dass der Koordinatenursprung in der Mitte der Rechtecke liegt!**

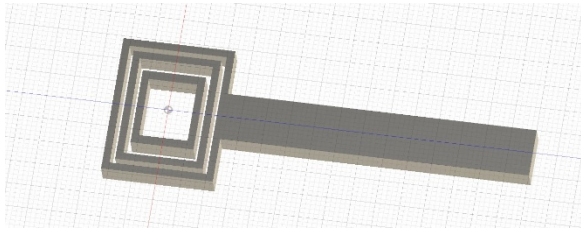
	Länge in mm	Breite in mm
1.	10.00	12.00
2.	13.00	15.00
3.	15.00	21.00
4.	18.00	24.00
5.	21.00	26.00
6.	24.00	29.00

- Ergänzen Sie einen etwa 10 mm breiten und 60 mm langen Griff mit der Funktion **Rechteck** (Hotkey R) oder der Funktion **Linie** (Hotkey L).



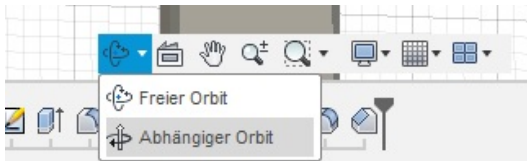
- Beenden Sie die Skizze.

- Mittels der Funktion **Extrusion** (Hotkey E) wird die Skizze ins dreidimensionale überführt. Die Halterung soll später 5 mm hoch sein. **Achtung es müssen nur bestimmte Bereiche extrudiert werden (s. Abbildung)**. Wählen Sie dazu die Bereiche aus, die Sie extrudieren wollen (mit **Strg + Linksklick** oder **Shift + Linksklick** lassen sich Bereiche der Auswahl hinzufügen).

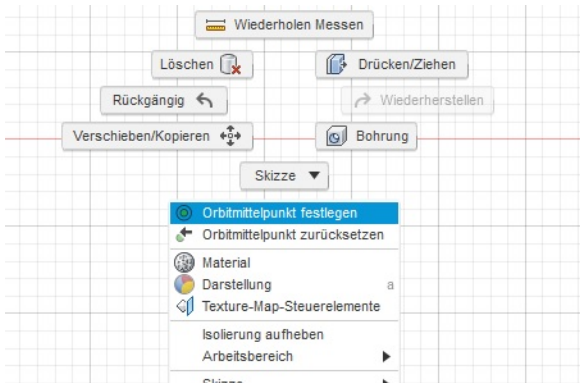


Die folgenden Schritte können etwas knifflig werden, weil die einzelnen Bauteile sich gegenseitig „im Weg“ sind und Sie den Blickwinkel häufig ändern müssen. Hier finden Sie vorab einige **Tipps und Tricks**:

- Sie können links oben im **Browser** sowohl **Skizzen** als auch **Körper** einzeln **auswählen, benennen** und mit der Glühbirne **aus- und einblenden**.
- Durch Drücken des Mausekzes und Ziehen der Maus lässt sich der **Sichtbereich verschieben (Pan)**.
- Durch gleichzeitiges Drücken des Mausekzes und der Shift-Taste lässt sich der **Blickwinkel ändern (Orbit)**. Hier gibt es zwei Modi, zwischen denen Sie in der **Navigationsleiste** wechseln können. Testen Sie aus, welche Methode ihnen besser gefällt.



- Der **Orbitmittelpunkt** lässt sich über **Rechtsklick neben die Körper** → **Orbitmittelpunkt festlegen** neu platzieren.



- Der **Blickwinkel** lässt sich auch über den **ViewCube** ändern. Dieser befindet sich **oben rechts**. Er bietet viele Möglichkeiten, die Sie am besten selber ausprobieren.



### Drehlager hinzufügen

Ergänzen Sie jetzt die **Drehlager** an der Halterung (s. **Abb. 3**). Diese Drehlager sind durch **kegelförmige Erhebungen** realisiert, die in **kegelförmige Vertiefungen** passen. Ein Querschnitt ist auf **Abb. 3 (unten)** zu sehen.

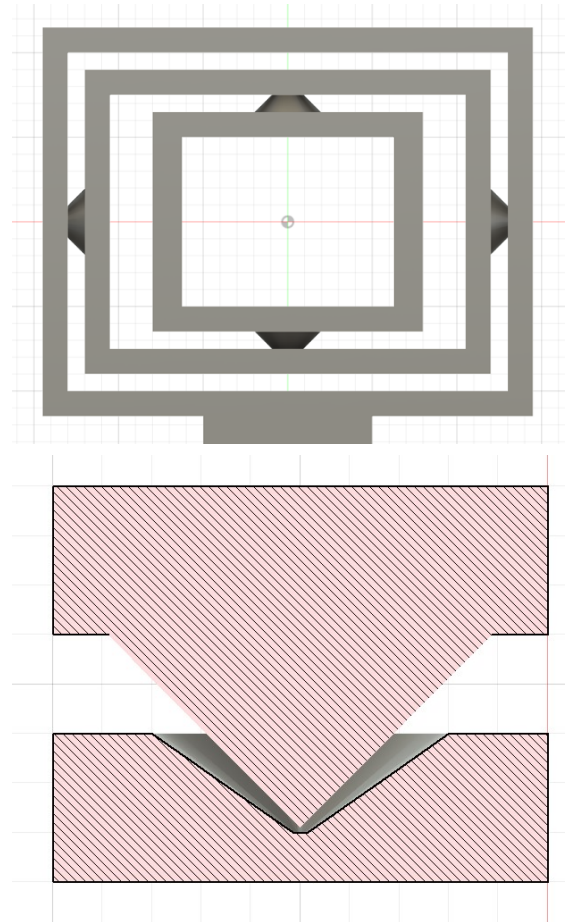
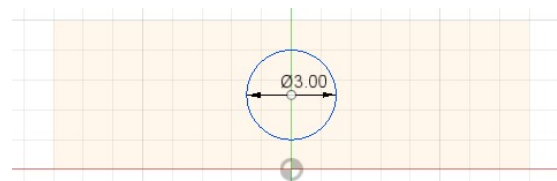


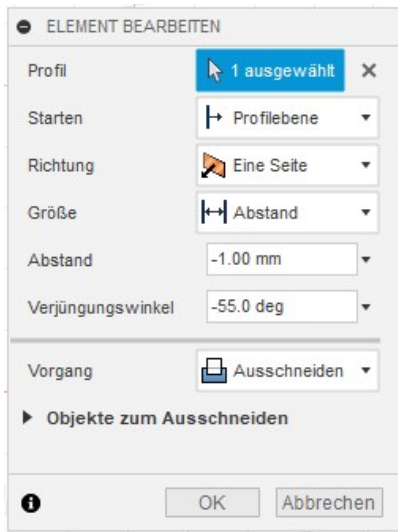
Abbildung 3: Positionen der Drehlager (oben) sowie Querschnitt eines Drehlagers (unten)

Beginnen Sie die **Drehlager** indem Sie die kegelförmigen Vertiefungen erstellen.

- Erstellen Sie an den Stellen, an denen Sie Drehlager einfügen wollen **Skizzen von Kreisen mit 3.0 mm Durchmesser**.

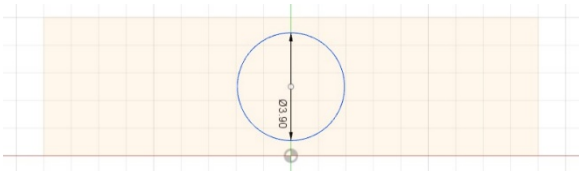


- **Extrudieren** Sie die Kreise so, dass sich kegelförmige Vertiefungen mit **1 mm Tiefe** (d.h. -1mm) ergeben. Durch den **Verjüngungswinkel** von **-55°** wird aus dem Zylinder ein Kegel.

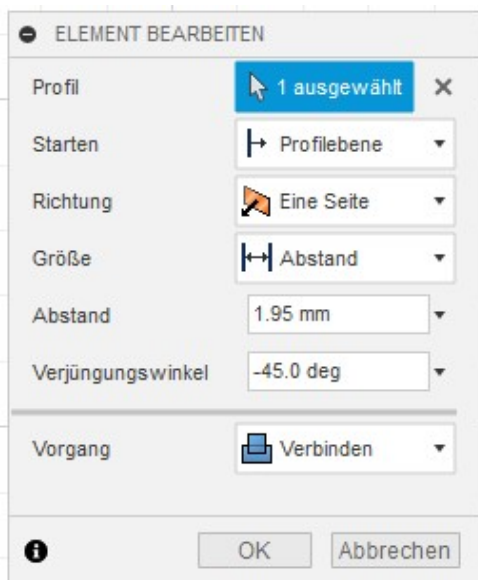


Ergänzen Sie jetzt die Kegelförmigen Erhebungen:

- Erstellen Sie gegenüber von jeder Vertiefung eine *Skizze* eines Kreises mit jeweils **3.9 mm Durchmesser**.

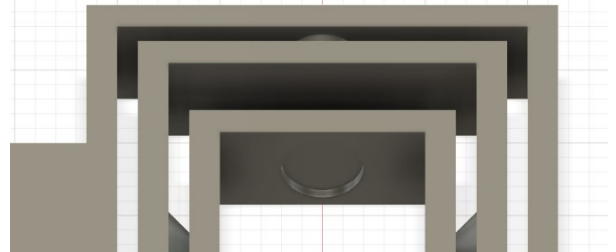


- **Extrudieren** Sie die Kreise so, dass sich kegelförmige Erhebungen mit **1.95 mm Tiefe** und einem Winkel von **-45°** ergeben.



### Magnetaufnahme hinzufügen

Ergänzen Sie eine **Aufnahme**, die den Magneten ( $\varnothing$  4 mm, höhe 12,5 mm) in der Mitte der kardanischen Aufhängung festhält. Erstellen Sie dafür an den Stellen, an denen der Magnet festgehalten werden soll, kreisförmige Vertiefungen mit 4 mm Durchmesser (*Skizze* → *Kreis* → *Mittelpunkt*, *Durchmesser*, *Kreis* oder Hotkey C) und 0,5 mm Tiefe (Erstellen → *Extrusion* oder Hotkey E).



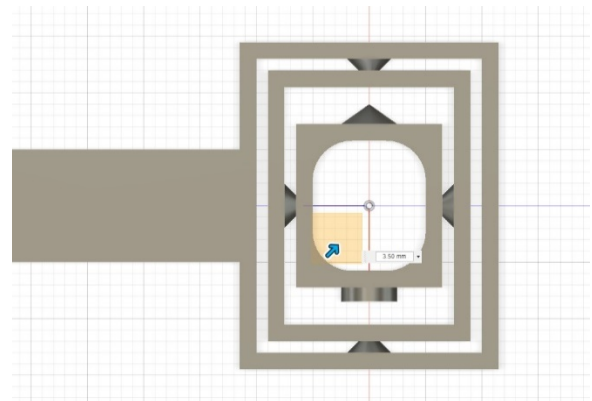
### Didaktische Reserve: Nordpol und Südpol markieren

Sorgen Sie dafür, dass bei dem fertigen Objekt später der Nordpol und der Südpol unterschieden werden können. Hier gibt es viele Möglichkeiten, deren Funktionalität sich kaum unterscheidet. Sie können beispielsweise Buchstaben in die Halterung einlassen oder eine Pfeilspitze ähnlich der eines Kompasses herausarbeiten.

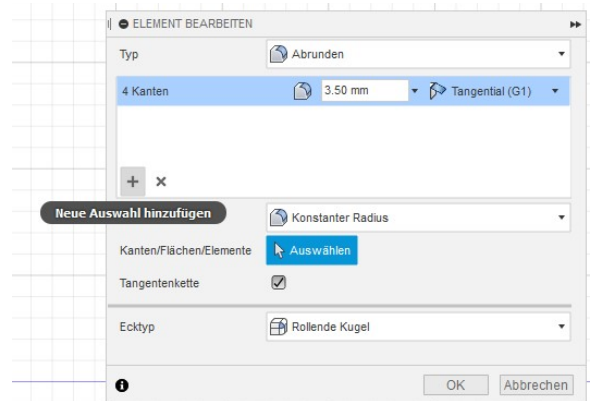
### Abunden der Kanten

**Runden** Sie die Einzelteile der kardanischen Aufhängung ab.

- Beginnen Sie indem Sie die vier inneren Kanten auswählen und abrunden (Hotkey F). Schließen Sie danach nicht das Fenster.



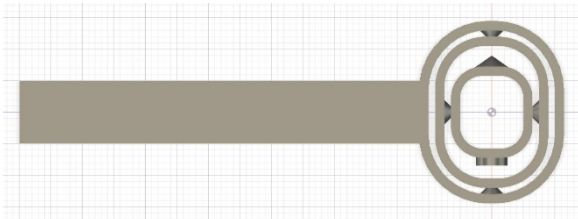
- Fügen Sie jetzt mit dem „+“-Zeichen eine neue Auswahl an Kanten hinzu und wählen Sie die nächsten vier Kanten aus.



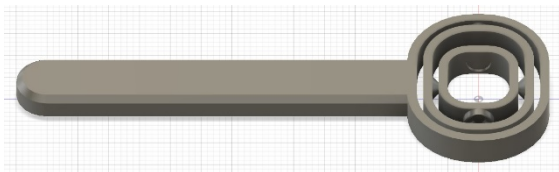
- Runden Sie so alle Kanten der Kardanischen Aufhängung ab. Von innen nach außen bieten sich die folgenden Radien an.

	Innenkante	Außenkante
<b>Inneres Glied</b>	3,5 mm	5 mm
<b>Mittleres Glied</b>	6,5 mm	8 mm
<b>Äußeres Glied</b>	9,5 mm	11 mm

Neben den ästhetischen Gründen ist dieser Schritt auch wichtig, damit die Ecken nicht später die Beweglichkeit der Bauteile einschränken.

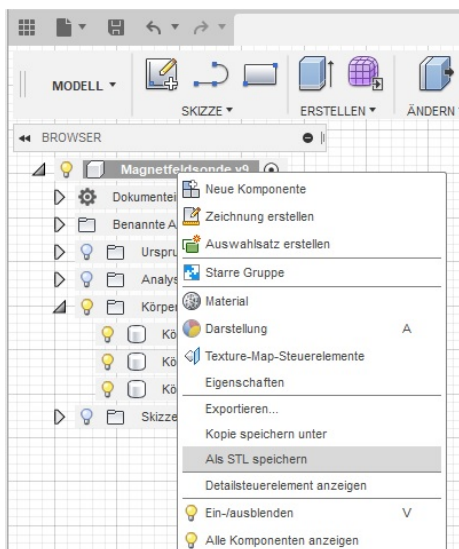


- Runden Sie danach die Ecken am unteren Ende ab und fügen Sie den Griffkanten eine Fase von **1 mm** hinzu.



### Export

Weil das Objekt aus **3 separaten Körpern** besteht, lässt es sich nicht wie gewohnt über *Erstellen* → *3D-Drucken* exportieren. Klicken Sie stattdessen mit der rechten Maustaste oben links im *Browser* auf den Namen Ihres Modells und wählen Sie in dem Kontextmenü **Als STL speichern aus**.



### Slicen

- Öffnen Sie den *Slicer* und stellen Sie den passenden **3D-Drucker-Typ** ein.
- Laden Sie die **STL-Datei** in den *Slicer* und bereiten Sie den Druck vor.
- Drucken Sie auf einer geringen Schichthöhe (z.B. **0.15 mm**).
- Achten Sie darauf **ohne Brim** oder **Raft** zu drucken. Diese sind in der Regel bei dem Modell nicht nötig und kompliziert zu entfernen.
- Speichern Sie den **gcode** auf dem USB-Stick und drucken Sie ihn aus.

### Nach dem Drucken

- Das Modell neigt zum **Stringing**. Entfernen Sie eventuelle Fäden mit der Hand oder mit einem Cutter.
- Testen Sie die Drehpunkte auf Beweglichkeit.
- Häufig verbessert sich die Beweglichkeit durch erste Bewegungen.
- Tragen Sie etwas **Graphit (Bleistift)** auf die Drehpunkte auf, um die Reibung zu verringern. Dafür kann es nötig sein die Einzelteile auseinanderzubauen.
- Es kann helfen, Unebenheiten an den Drehpunkten mit einem Cutter zu entfernen.
- Setzen Sie den Magneten ein. Wenn dieser sich nicht einsetzen lässt, können Sie versuchen das Material vorher mit einem Feuerzeug oder einem Föhn zu erhitzen.