

3D-Druck-Bauteile mit der Part Design Workbench von FreeCAD erstellen

Benötigt wird eine einigermaßen aktuelle Version von FreeCAD 0.17. Zu finden hier:

<https://github.com/FreeCAD/FreeCAD/releases>

Für dieses Tutorial habe ich die Version 0.17.11018 für Windows verwendet. Bei anderen Versionen kann es kleine Abweichungen z.B. in der Benutzeroberfläche geben. Das Grundprinzip sollte sich aber nicht verändern. Bevor man eine Entwicklerversion nutzt sollte man eine „offizielle Release“ installieren und mindestens einmal starten. Die Entwicklerversionen legen – zumindest auf Windows-Rechnern – die betriebssystemspezifischen Daten leider nicht an. Sie laufen aber dann problemlos ohne eigentliche Installation.

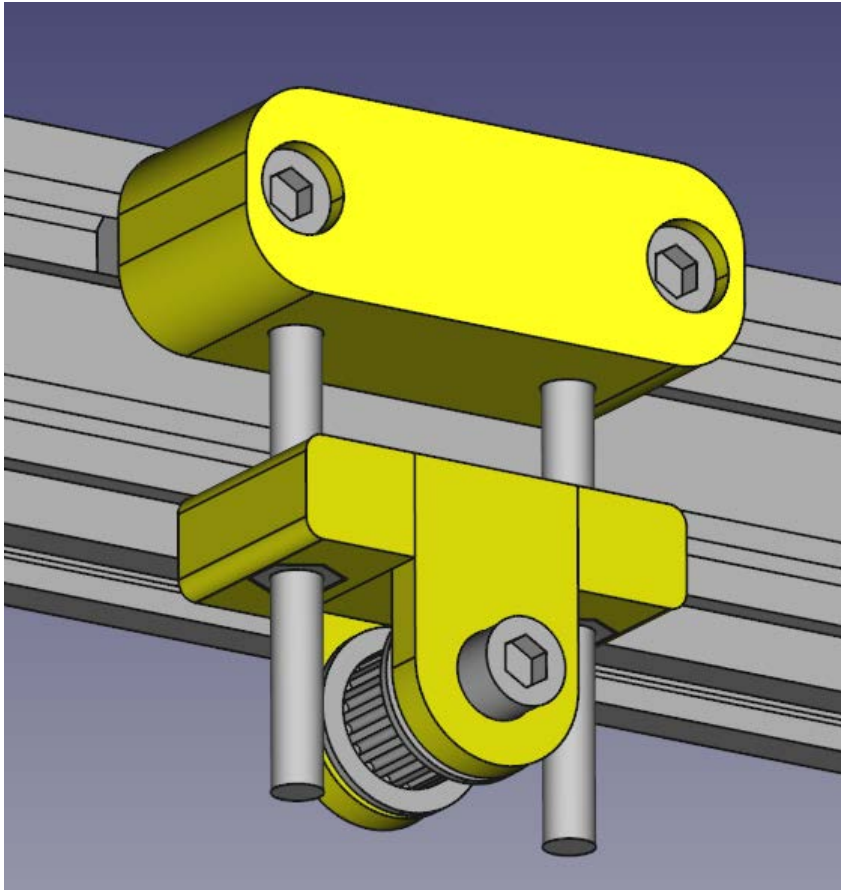
Wenn man Pech hat, dann gibt es in der aktuellen Entwicklerversion auch Fehler. Dann muss man ggf. ein paar Tage warten bis eine neue Entwicklerversion verfügbar ist oder man muss auf eine ältere Entwicklerversion zurückgreifen. Meist stellen die Entwickler zumindest für Windows 2 Entwicklerversionen zum Download bereit: Eine etwas ältere die „einigermaßen stabil“ läuft und eine sehr aktuelle mit höherer Wahrscheinlichkeit für Fehler.

Für dieses Tutorial verwenden wir neben der Part Design Workbench noch die Spreadsheet Workbench. Das ist eine eingebaute Tabellenkalkulation mit der man z.B. zentrale Abmessungen für seine Konstruktion verwalten kann. Das Besondere: Bei der Konstruktion kann man auf die Daten eines Spreadsheets zugreifen. Die Konstruktion ändert sich dabei automatisch. Wir werden das in diesem Tutorial auch gezielt nutzen um das konstruierte Bauteil – eine Riemenumlenkung mit einem Alu-Pulley und einstellbarer Riemen Spannung – z.B. an verschiedene Pulleys oder Riemenbreiten anzupassen. Das Teil soll an einem Alu-Nutprofilrahmen seitlich befestigt werden.

Vorüberlegungen

Grundsätzlich soll die Konstruktion aus einem – am Rahmen befestigten – Oberteil und einem Unterteil mit der Umlenkrolle bestehen. Das Oberteil soll mit 2 M5-Schrauben befestigt werden. Zwischen Ober- und Unterteil diesen ebenfalls 2 M5-Schrauben für eine Verbindung die sich „spannen“ lässt.

Eine grobe Skizze der ersten Entwurfsidee sieht – von der Seite betrachtet – ungefähr so aus:



Wie schon im ersten Tutorial wollen wir das Teil mit Hilfe von Spreadsheets parametrisieren. Diesmal verwenden wir aber 2 Spreadsheets. Das erste nennen wir „Schrauben“ und tragen dort die Daten ein die wir für M5-Schrauben brauchen:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|--------|---------------------|---|
| 2,5 mm | M5RadiusBore | Radius der Bohrungen für M5-Schrauben |
| 8 mm | M5HexNutWidth | Schlüsselweite der M5-Muttern |
| 4 mm | M5HexNutHeight | Höhe der M5-Muttern |
| 4,7 mm | M5HexSocketRadius | Radius des Schraubenkopfes der M5 Schrauben |
| 5,1 mm | M5HexSocketHeight | Höhe des Schraubenkopfes der M5 Schrauben |

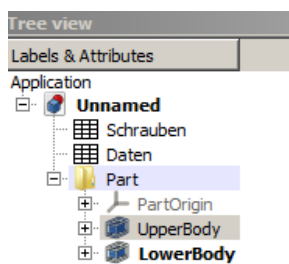
Ich habe ein solches Spreadsheet mit einigen Standard-Abmessungen in einer eigenen FreeCAD-Datei gespeichert und kopiere mir diese Tabelle dann in meine aktuellen Projekte. Sind halt „Standarddaten“ die nicht von der Konstruktion abhängen.

Für die Parameter der eigentlichen Konstruktion erstellen wir nun ein zweites Spreadsheet „Daten“. Hier tragen wir nun für den Anfang nur 2 Zeilen ein:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|---------------|---------------------|---|
| 0,4 mm | NozzleWidth | Düsendurchmesser für den 3D-Druck |
| 2*NozzleWidth | Flesh | Zusätzliches Material am Rand von Bauteilen |

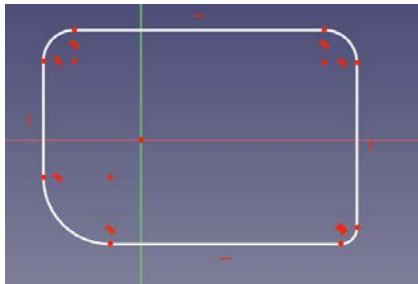
Den Parameter „Flesh“ nutze ich eigentlich immer um bei „Taschen“ für Muttern oder Schraubenköpfe rundum genug Material vorhanden ist. Wir werden später darauf zurückkommen. Für den Anfang genügen diese Daten – weitere Parameter werden wir nach und nach bei der Konstruktion erstellen – so wie man das normalerweise auch bei einer „richtigen“ Konstruktionsaufgabe machen würde.

Da wir es hier mit zwei zusammenhängenden Bauteilen zu tun haben erstellen wir nun in der Part-Design Workbench zunächst ein „Part“ und darin dann zwei „Bodies“ und geben den Bodies „sprechende“ Namen:

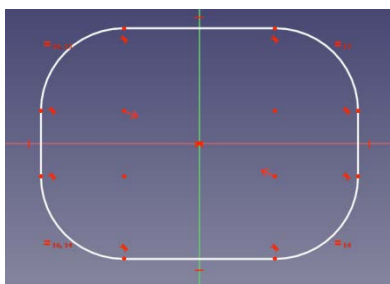


Das Oberteil

Beginnen wir mit dem Oberteil. Hierzu aktivieren wir zunächst den entsprechenden Body im TreeView per Doppelklick und erstellen einen ersten Sketch in der X-Z-Ebene. Wir zeichnen nun ein Rechteck um den Nullpunkt und runden die Ecken mit der Rundungsfunktion des Sketchers:



Die Kreisbögen werden nun mit dem entsprechenden Constraint zunächst auf identische Durchmesser constrained. Außerdem erzwingen wir eine Symmetrie um den Nullpunkt indem wir mit dem Symmetrie-Constraint-Tool nacheinander auf den linken oberen Kreismittelpunkt, den Nullpunkt und den rechten unteren Kreismittelpunkt klicken. Der Sketch müsste nun ungefähr so aussehen:



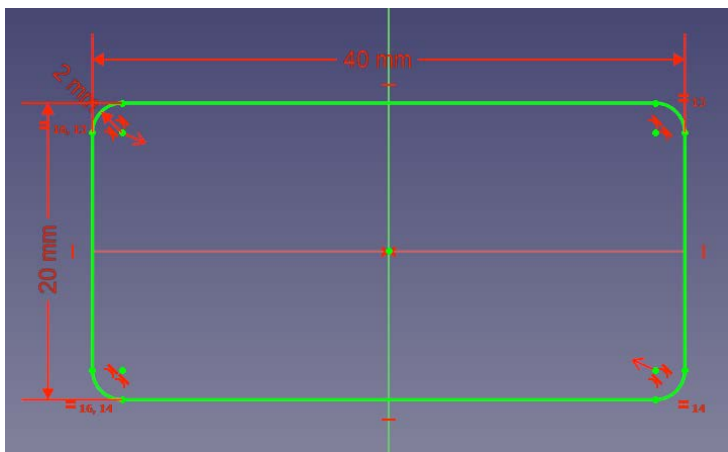
Nun brauchen wir die ersten „Zahlen“. Sinnvoll ist sicherlich den Radius der abgerundeten Ecken zentral festzulegen. Aber auch die Breite, Höhe und Dicke des Bauteils müssen wir irgendwie ermitteln. Wir öffnen also das Daten-Spreadsheet und tragen folgende zusätzliche Informationen ein:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|-------|---------------------|-------------------------|
| 20 mm | UpperHeight | Höhe des oberen Teils |
| 40 mm | UpperWidth | Breite des oberen Teils |
| 20 mm | UpperThickness | Dicke des oberen Teils |
| 2 mm | CornerRadius | Radius der Ausrundungen |

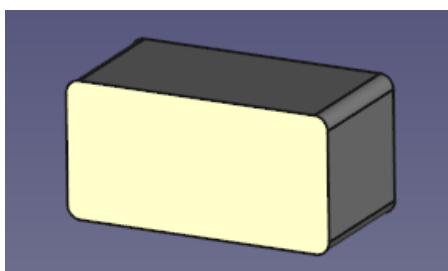
Wir geben hier zunächst einfach konkrete Zahlenwerte ein. Später werden wir versuchen sinnvolle Formeln für diese Werte zu ermitteln um die Konstruktion wirklich zu parametrisieren.

| | |
|--------|------------------------|
| 0.4 mm | Nozzle diameter |
| 0.8 mm | Flesh for construction |
| 20 mm | Upper part height |
| 40 mm | Upper part width |
| 20 mm | Upper part thickness |
| 2 mm | Corner radius |

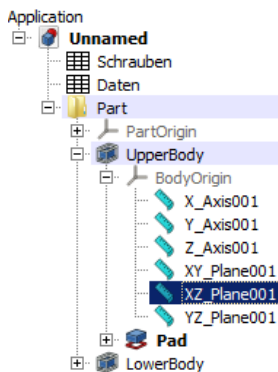
Zurück zum Sketch tragen wir Constraints für die Kreisbögen ein (Daten.CornerRadius) und dimensionieren das Bauteil mit Daten.UpperHeight und Daten.UpperWidth:



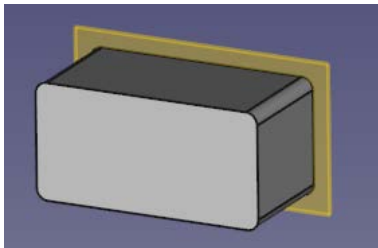
Wenn wir alles richtig gemacht haben sollte der Sketch sich grün färben und damit vollständig bestimmt sein. Nun den Sketch schließen und mit der Pad-Funktion als Dicke (Length) die Formel Daten.UpperThickness eintragen.



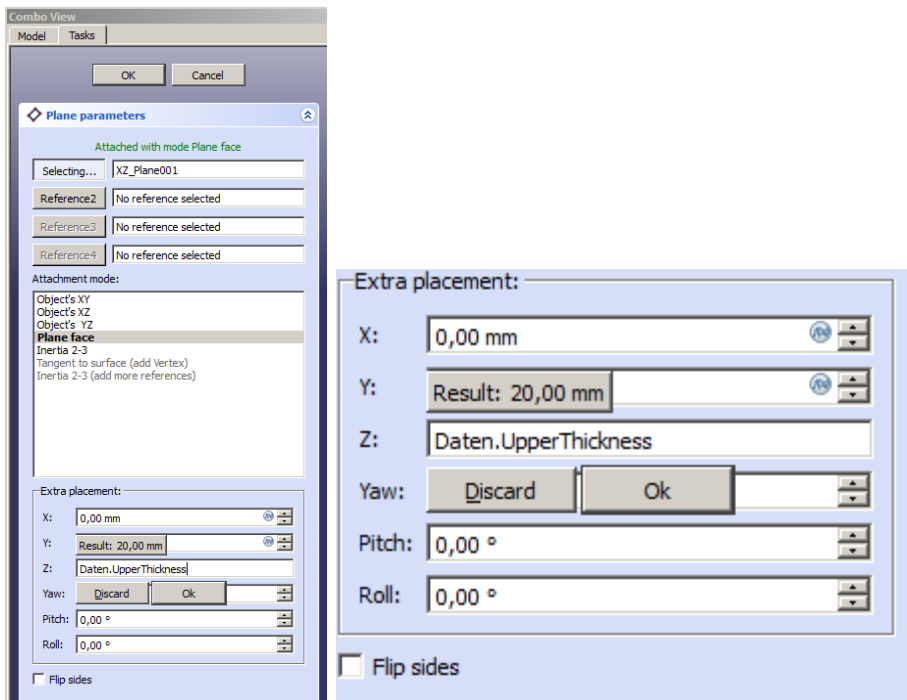
Für die Befestigung an den Rahmenprofilen brauchen wir nun Löcher für die Schrauben. Um die Schrauben auch noch versenken zu können müssen wir zunächst eine neue Ebene erstellen. Dazu markieren wir im TreeView die XZ-Ebene des oberen Bauteils



und wählen die Funktion „Create a new datum plane“ aus der Toolbar oder aus dem Part-Design menu.



Diese Ebene soll um Daten.UpperThickness verschoben sein – und zwar in Z-Richtung (der Originalebene). Also tragen wir das als Formel in das entsprechende Feld des Formulars ein:

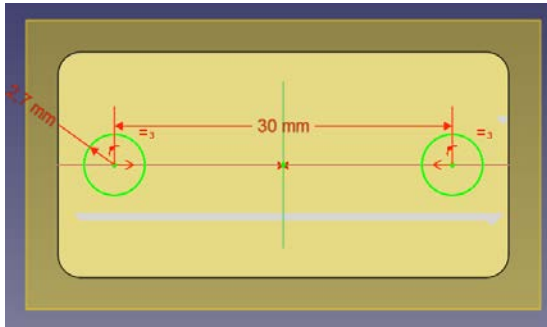


Im TreeView benennen wir die neue Ebene am besten gleich um in „UpperFrontPlane“ damit wir später die Orientierung nicht verlieren.

Nun markieren wir diese neue Ebene im TreeView und erstellen einen neuen Sketch. Hier zeichnen wir nun zwei Kreise, richten sie symmetrisch zur senkrechten Achse aus und vergeben als Radius Schrauben.M5RadiusBore. Was noch fehlt ist der Abstand der Bohrungen. Den müssen wir nun im Daten-Spreadsheet eintragen:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|-------|-------------------------|------------------------------------|
| 30 mm | HorizontalScrewDistance | Abstand der horizontalen Schrauben |

Anschließend können wir die Skizze komplett definieren



und die Bohrungen mit der Pocket-Funktion durch das komplette Bauteil (Through all) erzeugen.

Um die Schrauben versenken zu können müssen wir das Ganze nun nochmal machen. Nur den Durchmesser der Kreise setzen wir diesmal auf Schrauben.M5HexSocketHeadRadius weil wir ja die Schraubenköpfe versenken.

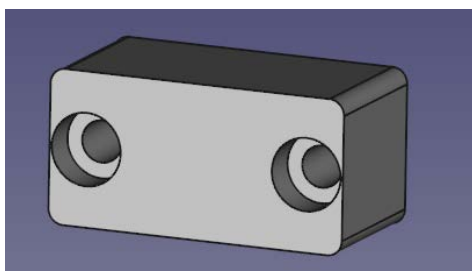
Bei der Erstellung der Pocket haben wir aber nun ein Problem: Damit die Schrauben im Nutprofil in entsprechende Hammermuttern eingeschraubt werden können müssen die Schrauben ca. 5 mm überstehen. Es gibt aber Schrauben nicht in beliebigen Abmessungen zu kaufen. Daher legen wir einfach selbst fest welche Befestigungsschrauben wir verwenden wollen. Für's Erste genügen 20 mm Schrauben. Wieder ein Fall für das Daten-Spreadsheet:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|-------|-----------------------|----------------------------------|
| 20 mm | HorizontalScrewLength | Länge der horizontalen Schrauben |

Die Pocket braucht als „Tiefe“ (Length) nun eine Formel. Da wir diese Formel nur hier benötigen verzichten wir diesmal darauf sie im Spreadsheet festzulegen und geben als Length einfach ein:

$\text{Daten.UpperThickness} - (\text{Daten.HorizontalScrewLength} - 5\text{mm})$

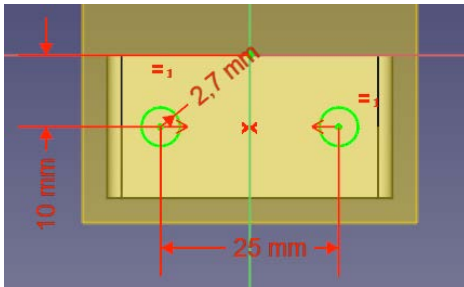
Die Formel leitet sich ganz einfach her: Wir müssen „Schraubenlänge-5mm“ an Material stehen lassen damit die Schraube später 5 mm übersteht. Die Gesamtdicke des Bauteils abzüglich dieses „Schraubenlänge-5mm“ ergibt also die Tiefe der Tasche. Das Teil sollte nun so aussehen:



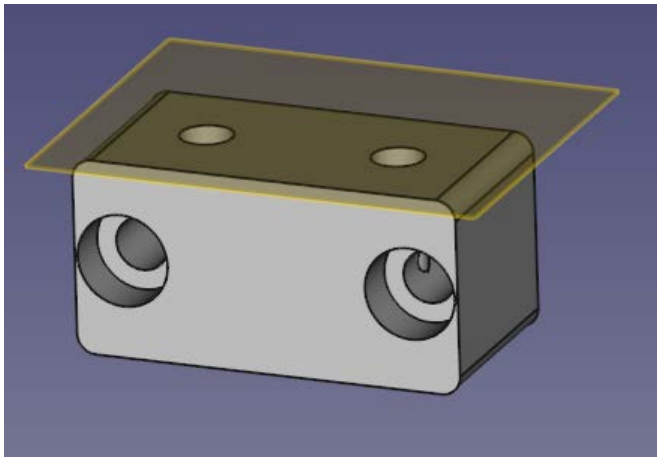
Machen wir weiter mit den senkrechten Schrauben. Das Prinzip ist identisch wie bei den horizontalen Schrauben. Auch hier brauchen wir wieder eine neue Datum-Plane (abgeleitet diesmal von der XY-Ebene im Abstand von $\text{Daten.UpperHeight}/2$) und den Abstand der Bohrungen müssen wir auch wieder in das Daten-Spreadsheet eintragen:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|-------|-----------------------|-------------------------------|
| 20 mm | VerticalScrewDistance | Abstand der Einstellschrauben |

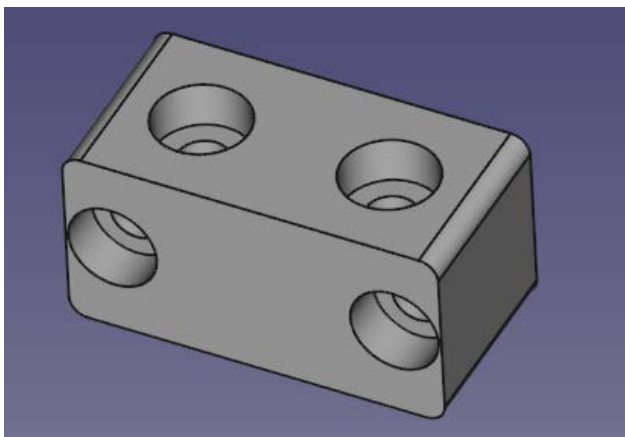
Die Bohrungen setzen wir mittig ins Bauteil ($\text{Daten.UpperThickness}/2$). Der Sketch wird dann ungefähr so aussehen:



Mit der Pocket-Funktion (Through all) schneiden wir die Löcher:



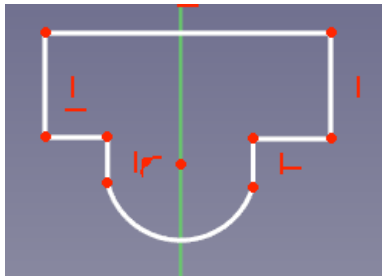
Wenn wir genau hinschauen sehen wir hier sofort einen „Fehler“ unserer Konstruktion: Die Bohrungen für die Schrauben überschneiden sich. So wird das nicht funktionieren.... Aber darum kümmern wir uns später. Zuerst bauen wir – siehe oben – Senkungen für die Schraubenköpfe ein (Length = Schrauben.M5HexSocketHeadHeight):



Damit ist die eigentliche 3D-Konstruktion des Oberteils auch schon fertig. Wobei man natürlich nicht wirklich von einer „Konstruktion“ sprechen kann solange wir die Abmessungen nur „frei“ vergeben und sie nicht berechnen. Aber wie gesagt: Darum kümmern wir uns später...

Das Unterteil

Machen wir erst mal mit dem Unterteil weiter. Dazu aktivieren wir den anderen „Body“ und erstellen auch wieder einen Sketch in der X-Z-Ebene der (mit Auto-Constraints erstellt) ungefähr so aussieht:



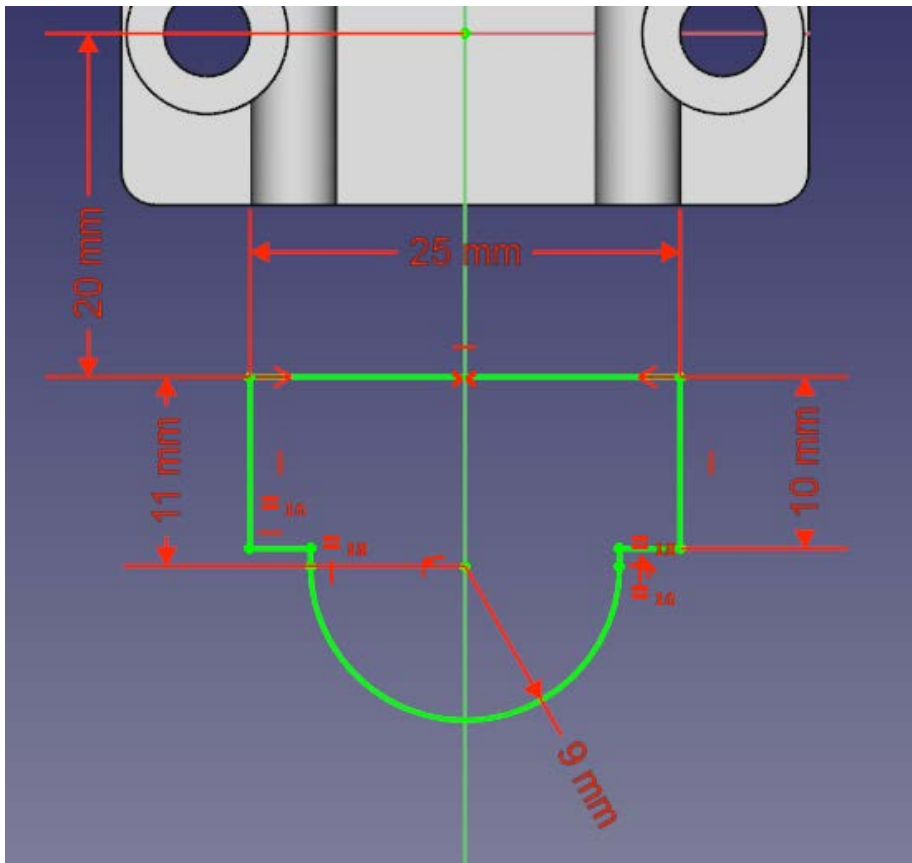
Im Daten-Spreadsheet tragen wir ein paar zusätzliche Parameter ein damit wir den Sketch sinnvoll mit Constraints versehen können:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|-------|---------------------|--|
| 18 mm | PulleyDiameter | Außendurchmesser der Zahnriemenscheibe |
| 8 mm | PulleyWidth | Breite der Zahnriemenscheibe |
| 25 mm | LowerWidth | Breite Unterteil |
| 10 mm | LowerBarHeight | Höhe des Querbalkens Unterteil |
| 20 mm | LowerHeight | Gesamthöhe Unterteil |
| 20 mm | LowerThickness | Dicke Unterteil |

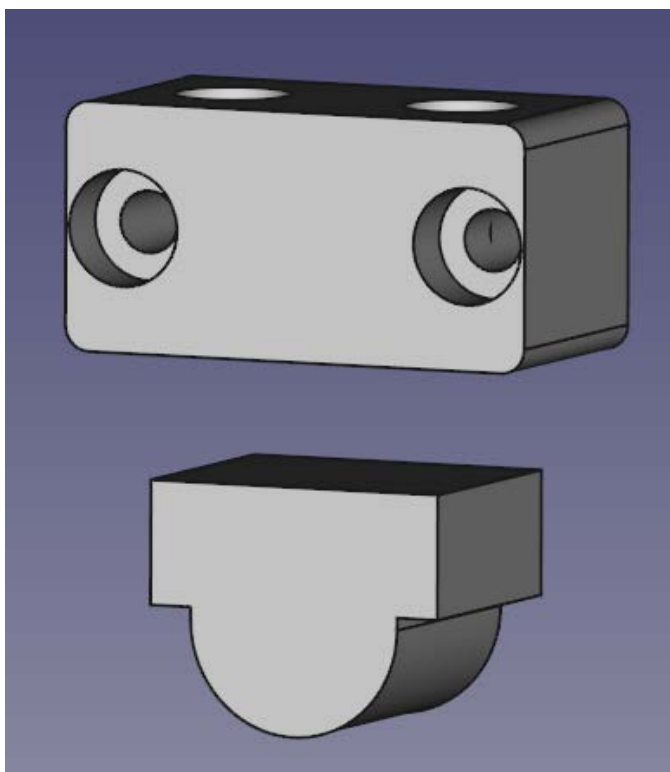
Die Constraints für diese Skizze sind nun schon etwas komplizierter. Die Breite (Daten.LowerWidth) lässt sich noch einfach zuweisen. Ebenfalls die Höhe des Querbalkens (Daten.LowerBarHeight). Der Radius soll dem Pulley-Radius entsprechen ($\text{Daten.PulleyDiameter}/2$) und tangential in die kurzen Senkrechten übergehen. Außerdem soll der Kreismittelpunkt auf der senkrechten Achse liegen. Die oberen Eckpunkte sind symmetrisch zur senkrechten Achse. Ebenso die „Innenecken“ und die Tangentenpunkte. Einfach mal etwas probieren.

Die Gesamthöhe lässt sich nicht direkt nutzen, da wir unten keinen Punkt haben dem wir einen Constraint zuweisen könnten. Aber mit „ $\text{Daten.LowerHeight}-\text{Daten.PulleyDiameter}/2$ “ können wir stattdessen den Kreismittelpunkt nutzen.

Die komplette Skizze müssen wir noch „absolut“ positionieren. Nehmen wir hier einfach 20 mm unter dem Nullpunkt als Abstand für die obere, horizontale Linie. Dann sollte eigentlich alles grün leuchten:

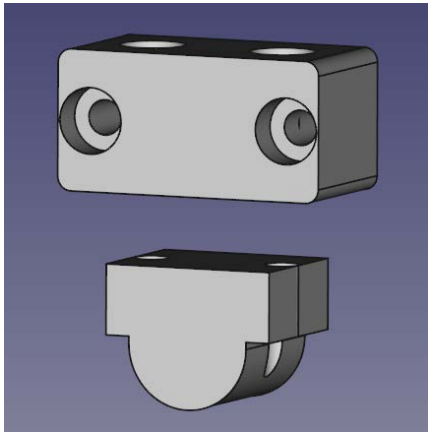


Schnell ein Pad mit Length=Daten.LowerThickness draus machen. Voila!

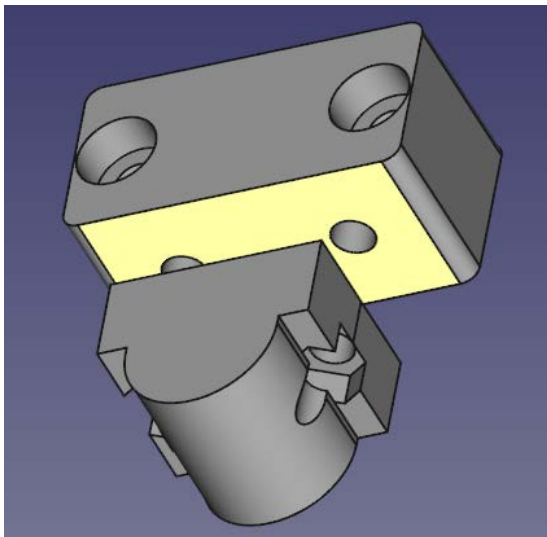


Nun schneiden wir erst mal die Löcher für die vertikalen Schrauben in das Bauteil. Die Vorgehensweise dürfte mittlerweile klar sein: Geeignete Basisebene wählen (hier z.B. XY-Ebene), Sketch erstellen, 2 Kreise mit Radius=Schrauben.M5BoreRadius, Symmetrie etc. Pocket...

Das Ergebnis sollte etwa so aussehen:



Um nun unten im Querbalken M5-Muttern versenken zu können brauchen wir dieser eine neue Datum-Plane. Diese leiten wir in bekannter Weise von der XY-Ebene ab und stellen den Z-Versatz entsprechend ein. In dieser Ebene erzeugen wir nun wieder einen Sketch und zeichnen dort zwei Sechsecke hinein die wir wieder mit Constraints entsprechend fixieren und schneiden eine Pocket für die Muttern (Length=Schrauben.M5HexNutHeight) hinein. Natürlich passt das alles jetzt nicht wirklich zusammen – wir sehen schon dass die Konstruktion nicht ganz so trivial ist. Aber auch darum können wir uns später kümmern.



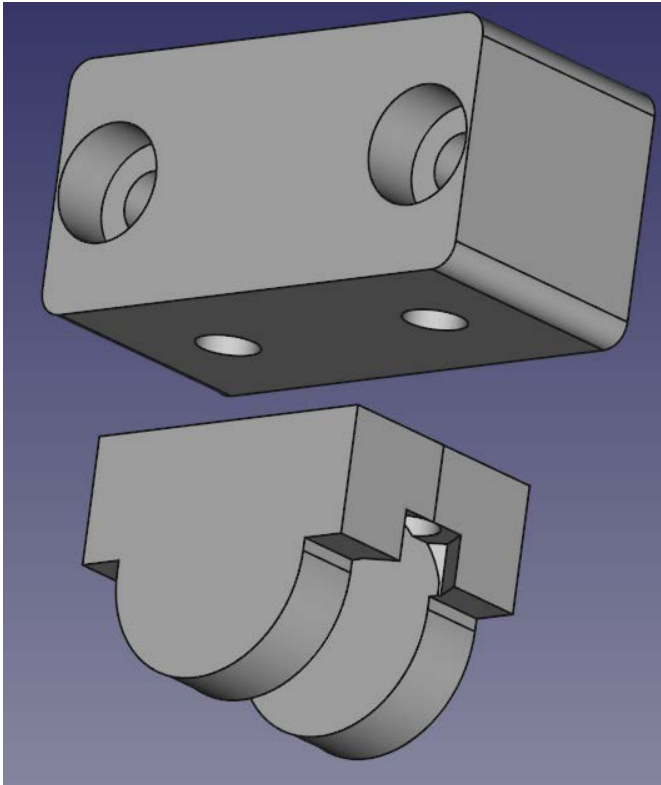
Der Abstand der vertikalen Schrauben ist offenbar zu gering. Das gesamte Bauteil ist zu schmal. Aber egal. Darum kümmern wir uns später.

Als nächstes schneiden wir einen „Schlitz“ in das Bauteil um das Zahnriemenrad aufzunehmen. Wieder brauchen wir eine neue Datum-Plane. Diesmal parallel zur XZ-Ebene und mittig im Bauteil damit wir die entsprechende Pocket symmetrisch ausschneiden können. Abstand von der Original-XZ-Ebene also: $\text{Daten.LowerThickness}/2$ (Benennen z.B. als LowerMiddlePlane). Als Sketch machen wir einfach einen Kreis. Der Radius sollte 1 mm größer sein als das Zahnriemenrad damit wir sicher sind das es sich in der Öffnung frei drehen lässt. Aus demselben Grund machen wir die Öffnung auch breiter als das Zahnriemenrad. Damit die Kugellager frei laufen brauchen wir eigentlich spezielle Unterlegscheiben die so klein sind das sie nur am inneren Kranz der Kugellager anliegen. Manchmal werden die sogar mit den Zahnriemenscheiben geliefert. Meistens jedoch nicht. Daher wollen wir

diese „Unterlegscheiben“ in unsere Konstruktion integrieren. Für die Abmessungen tragen wir in das Daten-Spreadsheet daher folgende zusätzlichen Parameter ein:

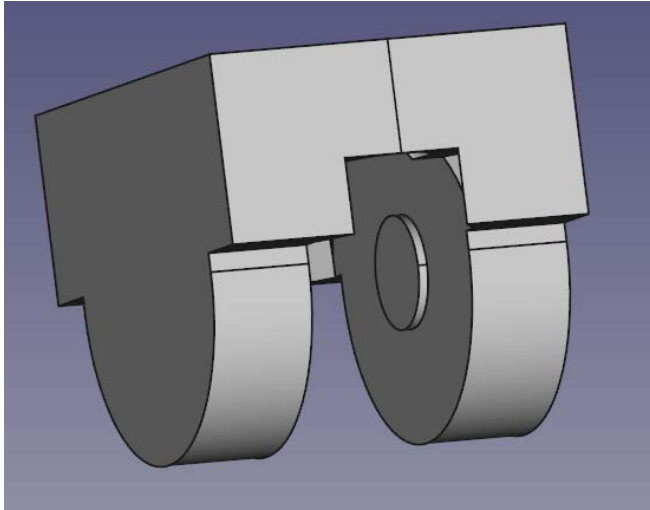
| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|--------|---------------------|--|
| 3 mm | WasherRadius | Radius der „Unterlegscheiben“ an der Zahnriemenscheibe |
| 0,5 mm | WasherThickness | Dicke der „Unterlegscheiben“ an der Zahnriemenscheibe |

Die Größe der „Pocket“ können wir nun auf $\text{Daten.PulleyWidth} + 2 * \text{Daten.WasherThickness}$ setzen:

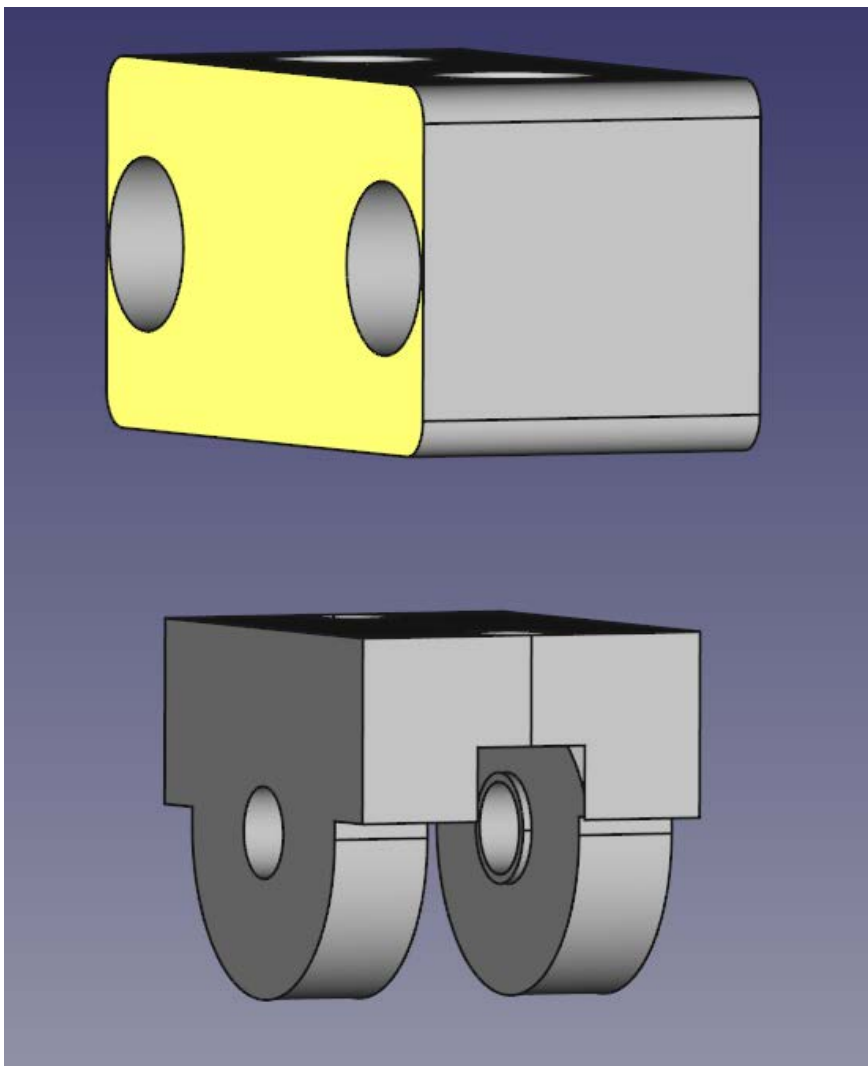


Um nun auch diese Unterlegscheiben konstruieren zu können brauchen wir zwei neue Datum-Planes. Diese legen wir – parallel zur XZ-Ebene – auf die gerade erzeugten Innenflächen (und vergeben sinnvolle Namen, z.B. WasherFrontPlane und WasherBackPlane) und erzeugen darauf jeweils einen einfachen Vollkreis mit $\text{Radius} = \text{Daten.WasherRadius}$. Pad mit $\text{Length} = \text{Daten.WasherThickness}$.

So ungefähr sollte die Konstruktion nun aussehen:



Nun fehlt noch die Achse für das Zahnriemenrad. Die können wir auf der „LowerMiddlePlane“ konstruieren (Radius Schrauben.M5BoreRadius) und als Pocket symmetrisch „through all“ anlegen. Damit ist unsere Basiskonstruktion eigentlich fertig und wir müssen uns „nur noch“ um die korrekten Abmessungen bzw. Formeln kümmern.



Parametrisierung

Kommen wir also nun zur eigentlichen „Konstruktionsarbeit“. Wir müssen den Teilen sinnvolle Maße zuweisen. Da wir die eigentliche geometrische Konstruktion ja bereits auf der Basis von Spreadsheets durchgeführt haben brauchen wir nun „nur noch“ im Daten-Spreadsheet sinnvolle Formeln zu hinterlegen.

Beginnen wir mit dem Abstand der vertikalen Schrauben. Wie groß muss deren Abstand (Achse-Achse) sein? Zwischen die Schrauben muss das Zahnriemenrad passen. Außerdem brauchen wir links und rechts vom Zahnriemenrad mindestens einen Schraubenradius Abstand damit Schrauben und Zahnriemenrad nicht kollidieren. Sinnvoll ist auch etwas zusätzliches „Fleisch“. Versuchen wir also folgende Formel für den Parameter VerticalScrewDistance

=PulleyDiameter + 2*Schrauben.M5RadiusBore + 2*Flesh

Passt nicht ganz, weil wir die M5-Muttern vergessen haben... Damit diese nicht mit dem Zahnriemen oder dem Zahnriemenrad kollidieren müssen wir die Formel ändern:

=PulleyDiameter + Schrauben.M5HexNutWidth + 2*Flesh

Jetzt schaut es schon besser aus. Die Muttern sitzen aber etwas nah an der runden Öffnung für das Zahnriemenrad. Vielleicht sollten wir aber doch besser den Durchmesser der Öffnung nehmen statt des Durchmessers der Zahnriemenscheibe. Also ändern wir nochmal:

=PulleyDiameter+2mm+Schrauben.M5HexNutWidth+2*Flesh

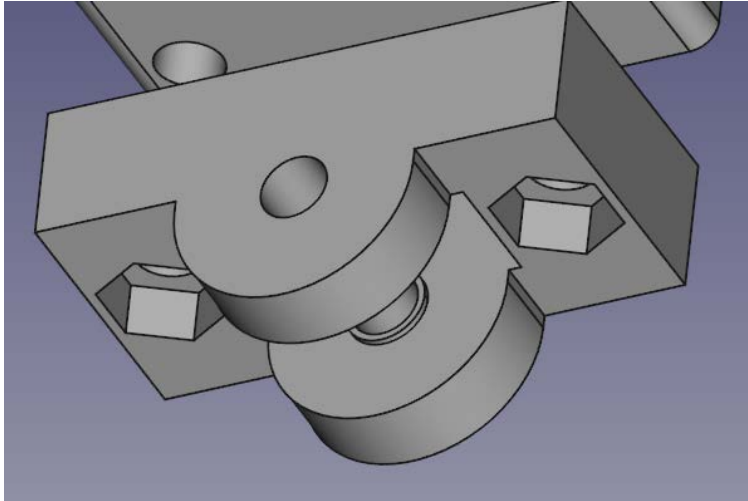
Dann können wir daraus auch gleich den Abstand der Befestigungsschrauben (HorizontalScrewDistance) ableiten. Dieser muss offensichtlich auf jeder Seite $2 * \text{Schrauben.M5RadiusBore}$ größer sein als der Abstand der vertikalen Schrauben. Plus etwas „Fleisch“. Wir tragen also in die Zelle HorizontalScrewDistance ein:

=VerticalScrewDistance + 4*Schrauben.M5RadiusBore+2*Flesh

Sieht doch vielversprechend aus.

Damit die ganzen Schrauben auch tatsächlich innerhalb der Teile liegen müssen wir uns auch um die Breite kümmern. Beim Unterteil brauchen wir zusätzlich zum Abstand der vertikalen Schrauben noch jeweils die halbe Breite der Muttern zusätzlich auf jeder Seite und wieder etwas „Fleisch“ dazu. In die Zelle LowerWidth kommt also folgende Formel:

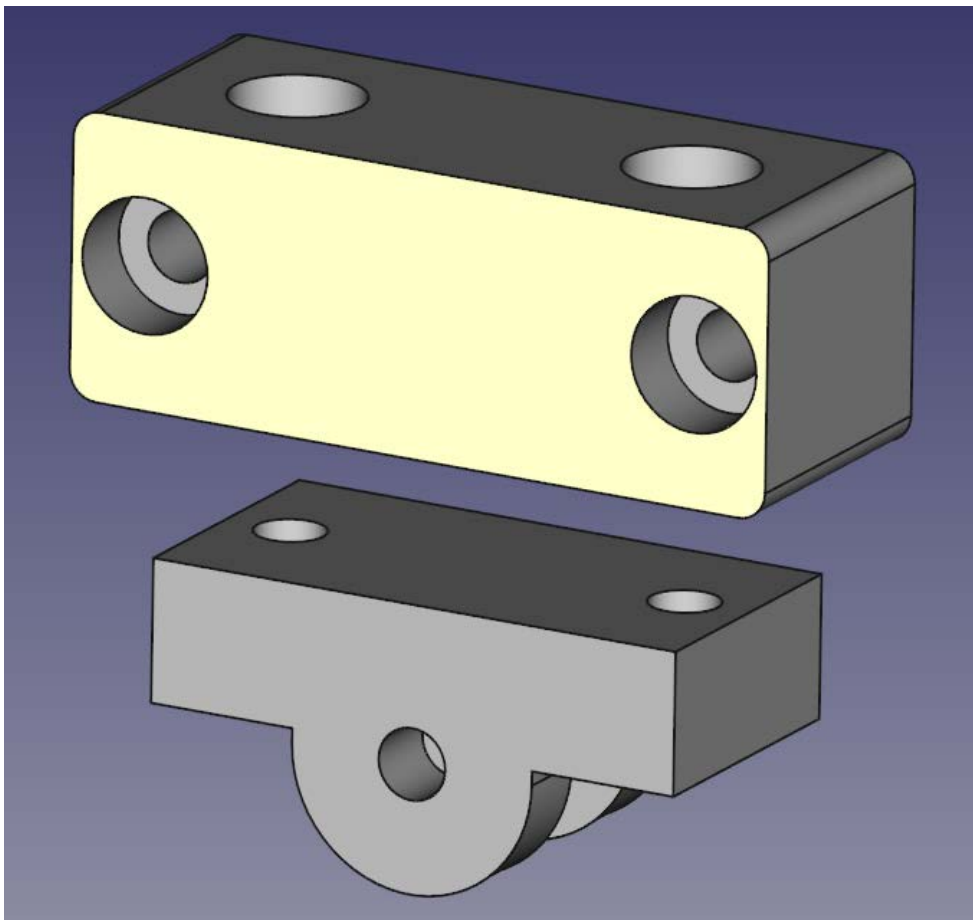
=VerticalScrewDistance + Schrauben.M5HexNutWidth + 2*Flesh



Ähnlich sieht es beim Oberteil aus. Hier brauchen wir zusätzlich zum Abstand der Schrauben auf jeder Seite den Radius der Schraubenköpfe zusätzlich – und natürlich wieder etwas „Fleisch“. UpperWidth bekommt also folgende Formel:

$$= \text{HorizontalScrewDistance} + 2 * \text{Schrauben.M5HexSocketRadius} + 2 * \text{Flesh}$$

Das Ergebnis sieht schon mal gar nicht so verkehrt aus:



Kommen wir nun zur Dicke der Bauteile. Die ist weitgehend von der Breite der Zahnriemenscheibe abhängig. Dazu kommt die Dicke der „Unterlegscheiben“. Zusätzlich brauchen wir Material an den

Seiten damit das Ganze auch stabil wird. Diese „Wandstärke“ tragen wir erst mal wieder ins Spreadsheet ein:

| Wert | Parametername/Alias | Beschreibung |
|------|---------------------|----------------------|
| 2 mm | WallThickness | Wandstärke Unterteil |

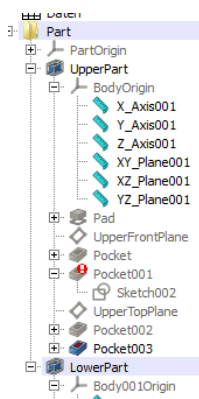
Die Dicke des Unterteils (LowerThickness) ergibt sich damit:

=PulleyWidth + 2*WasherThickness + 2*WallThickness

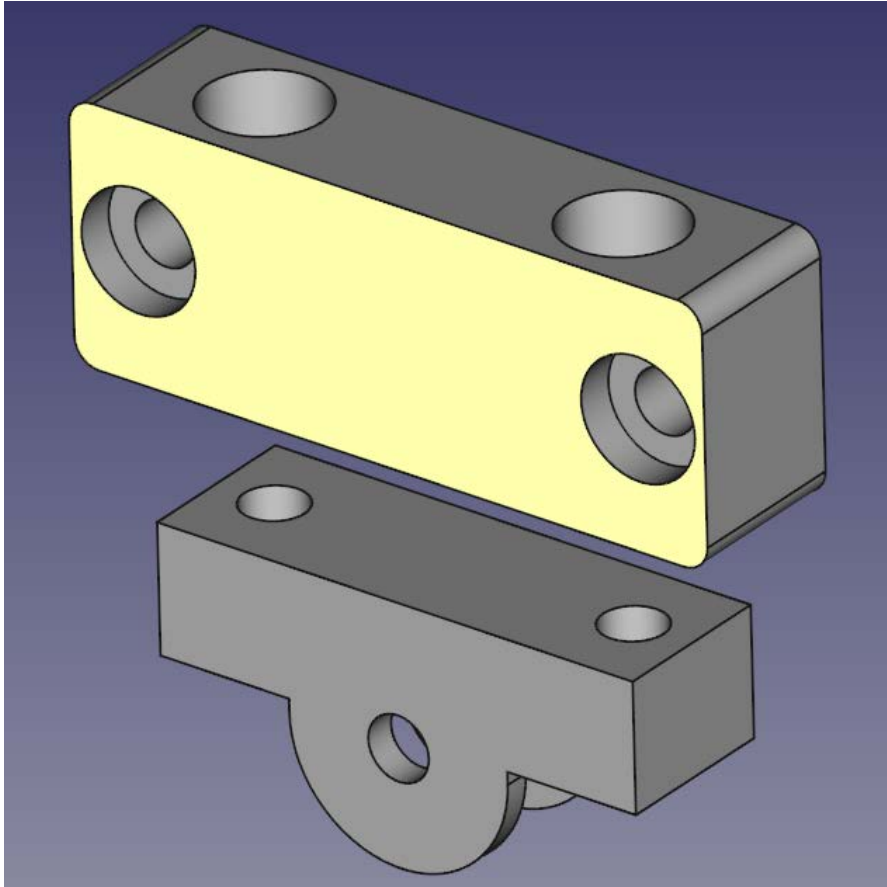
Die Dicke des Oberteils (UpperThickness) setzen wir einfach auf denselben Wert:

=LowerThickness

Da tut sich nichts bei der Änderung und im TreeView sehen wir ein rotes Ausrufezeichen:



Wenn wir das Teil aktivieren sehen wir das die „Length“ negativ geworden ist. Das liegt daran das unser Teil nun erheblich weniger Dicke hat als wir ursprünglich eingetragen haben (vorher: 20 mm, jetzt 13 mm). Dadurch ist die Schraube zu lang. Also ändern wir die Schraubenlänge im Spreadsheet auf 15 mm. Sofort verschwindet das Ausrufezeichen und das Bauteil passt sich korrekt an:



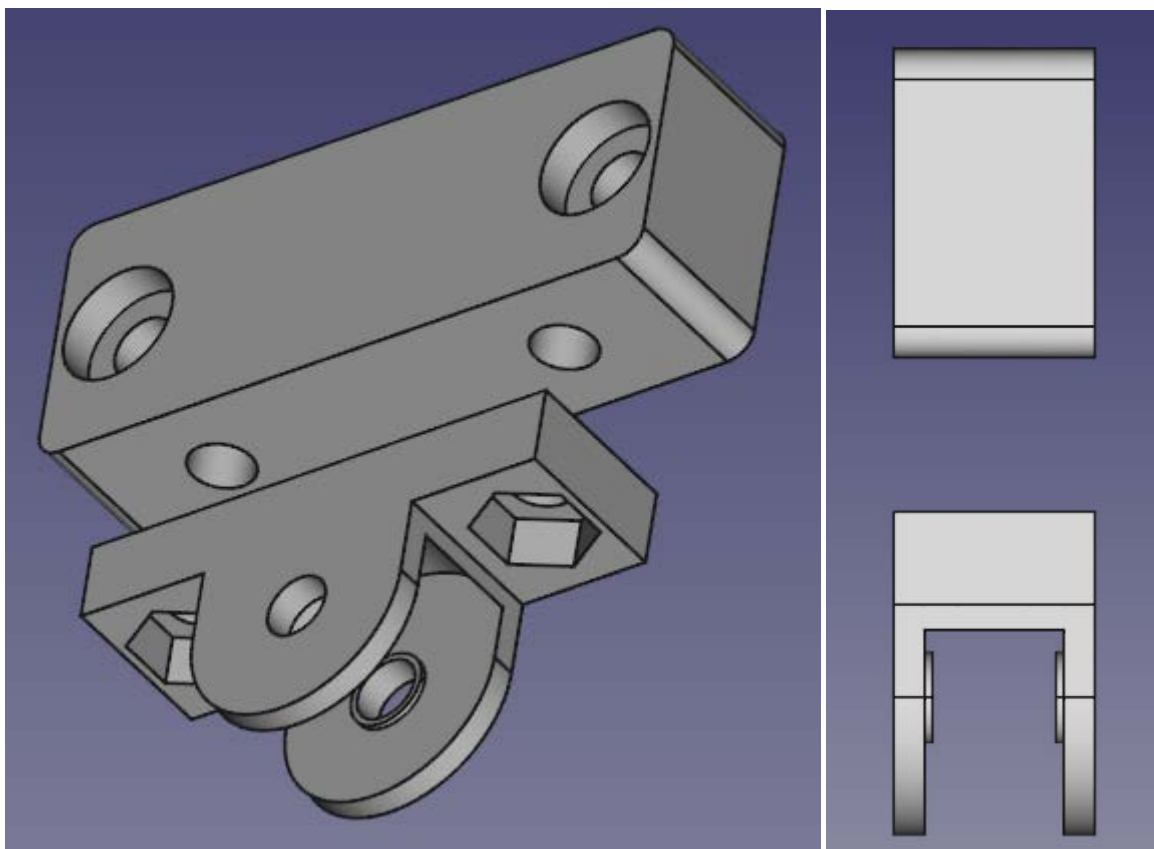
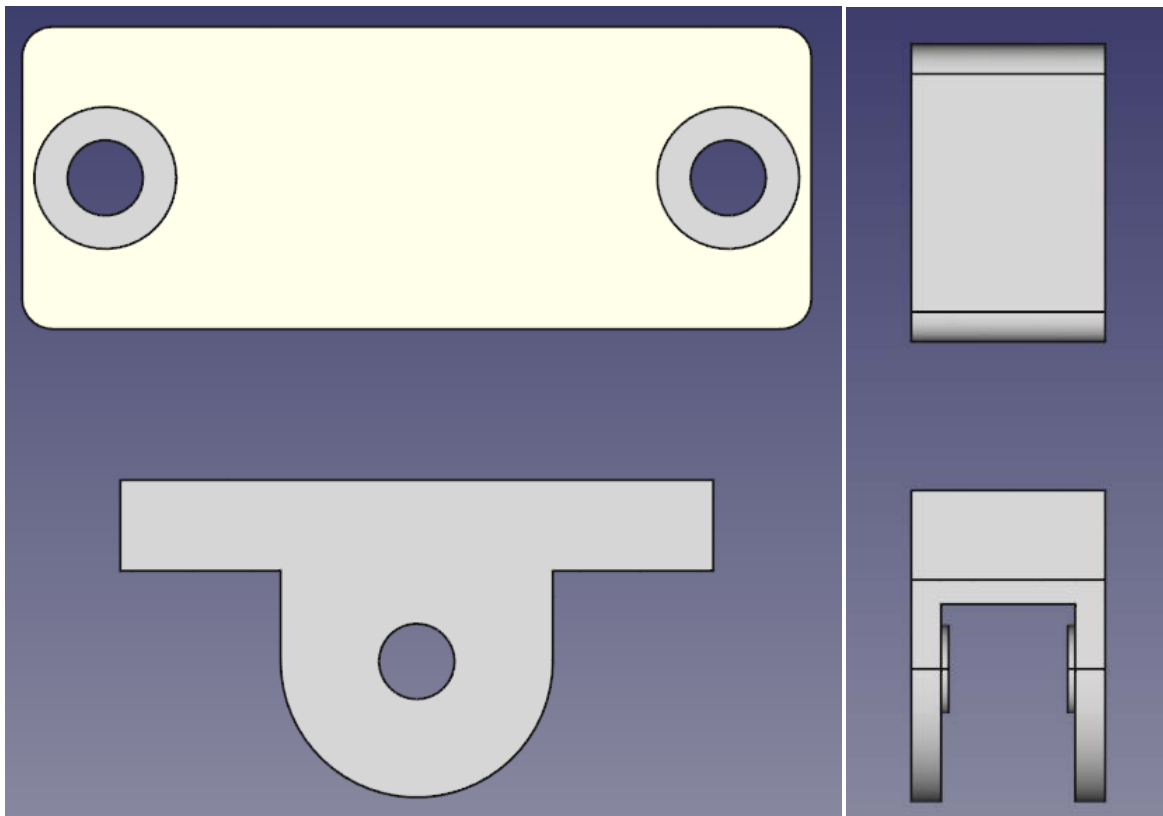
Im Prinzip sieht das Bauteil nun schon so aus wie wir uns das zu Anfang vorgestellt haben. Schauen wir uns aber noch mal kurz das Unterteil an. Die Höhe des Querbalkens können wir noch mit einer Formel versehen. Der Balken muss hoch genug sein damit wir eine Mutter darin versenken können. Damit das stabil wird nehmen wir zusätzlich noch die WallThickness und setzen LowerBarHeight auf:

=Schrauben.M5HexNutHeight+WallThickness

Die Gesamthöhe des Unterteils soll höher sein als der Durchmesser der Zahnriemenscheibe – bzw. höher als der Durchmesser der Aussparung die wir für das Zahnriemenrad konstruiert haben. Damit das Teil oben geschlossen ist vergrößern wir diesen Wert einfach um 1 mm. Damit ergibt sich für LowerHeight:

=PulleyDiameter+3mm

Wir kontrollieren nun nochmal ob wir irgendwo im Spreadsheet noch „Zahlen“ eingetragen haben die von anderen Abmessungen abhängig sind, werden aber nicht fündig und damit ist die Konstruktion abgeschlossen. Schauen wir uns das Teil nochmal aus allen Richtungen an:



Schaut doch ganz gut aus. Da wir die wichtigsten Daten parametrisiert haben können wir das Bauteil nun ganz einfach z.B. für eine andere Zahnriemenscheibe modifizieren. Wenn wir z.B. statt eines 6 mm Riemens einen mit 9 mm verwenden hat die Zahnriemenscheibe eine andere Dicke. Wenn wir diesen Wert im Daten-Spreadsheet auf z.B. 13 mm ändern wird sich die Konstruktion automatisch

ebenfalls ändern. Wir müssen dann nur noch die Länge der Befestigungsschrauben anpassen falls nötig.

So – damit beenden wir auch dieses Tutorial. Vielleicht hilft es ja dem Einen oder Anderen dabei und zeigt das man mit FreeCAD – trotz des noch frühen Entwicklungsstandes – bereits recht ordentlich und professionell arbeiten kann.