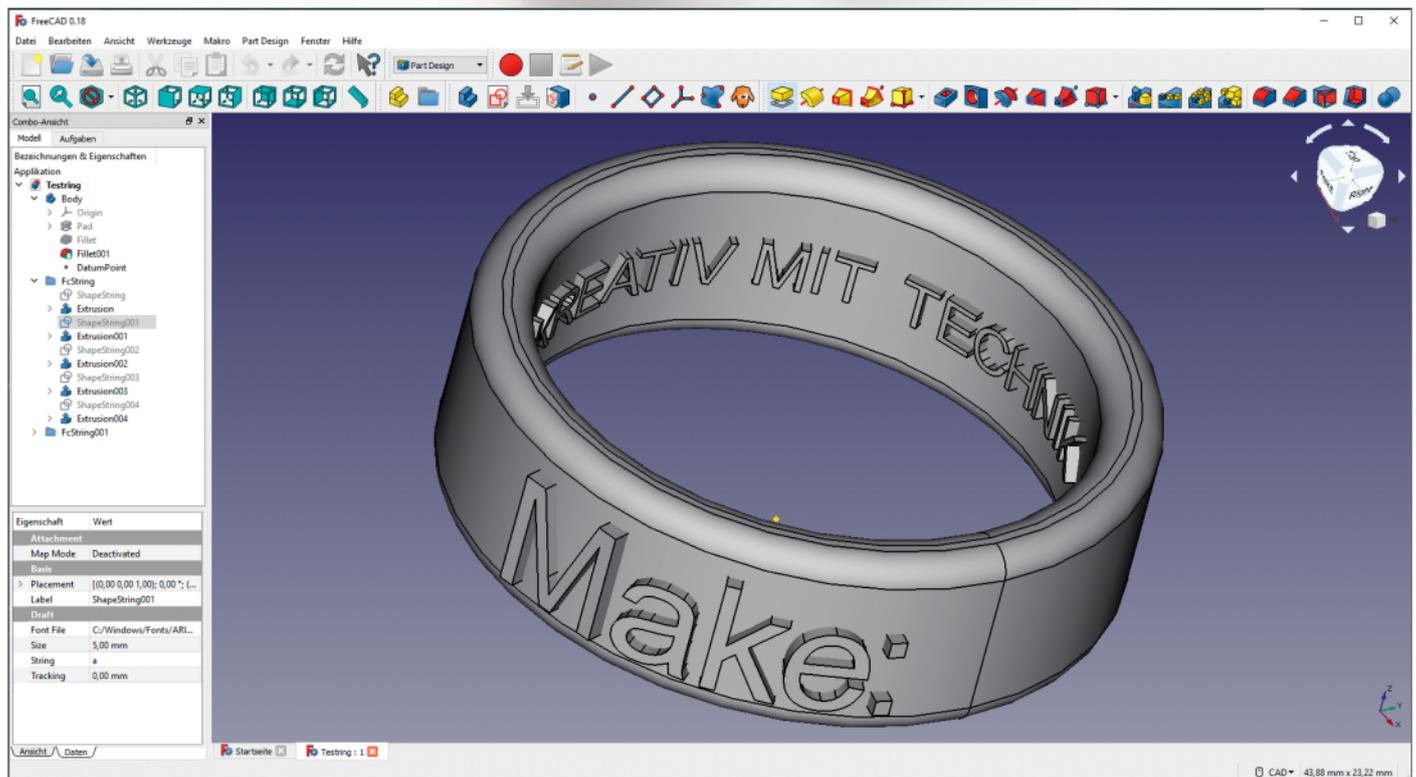


Ring frei für FreeCAD

Der Einstieg in eine neue Software fällt leicht, wenn das Projekt überschaubar ist. Wir bauen deshalb in FreeCAD einen Fingerring mit Beschriftung und lassen ihn einen Dienstleister in massivem Metall 3D-drucken.

von Matthias Mett



FreeCAD ist eine kostenlose Open-Source-Software zur Konstruktion von 3D-Volumenmodellen, die für Windows, macOS und Linux zur Verfügung steht. Trotz der aktuellen Versionsnummer 0.18 ist die Software schon sehr umfassend mit Konstruktionswerkzeugen ausgestattet. Und im Gegensatz zu anderen freien CAD-Programmen wie LibreCAD, mit denen man zweidimensionale technische Zeichnungen anfertigen kann, erzeugt man mit FreeCAD 3D-Modelle. Diese 3D-Modelle lassen sich exportieren, etwa gezielt als STL-Datei für den 3D-Druck.

Wer keinen eigenen 3D-Drucker hat, findet im Internet verschiedene Druckdienstleister, auf deren Webseite man die Datei hochladen und den Druck in einem beliebigen Material bestellen kann. Wir haben in diesem Fall mal ausgenutzt, dass die Dienstleister auch die 3D-Fertigung mit Metallen wie Messing und Stahl beherrschen (manche bieten sogar Silber und Gold an). Deshalb ist das Ende des Artikels auch für Nutzer anderer Software interessant, falls sie gerne mal was in Metall gedruckt haben wollen.

Starthilfe

FreeCAD lässt sich über die Webseite freecadweb.org (siehe auch Link in der Kurzinfo) für die Betriebssysteme Windows, macOS und Linux herunterladen. Nachdem Sie das Programm wie üblich installiert haben, beginnen Sie über das Dashboard mit einem Klick auf *Neu ...* ein neues Dokument. Speichern Sie es zuerst über das Menü *Datei/Speichern unter* mit einem passenden Namen ab.

Auf der linken Seite des Programmfensters befindet sich eine Baumansicht, in der die Dokumentenstruktur dargestellt ist. Sobald man ein neues Objekt erstellt, findet es sich dort wieder. Klickt man es an, öffnet sich unterhalb der Baumansicht das Eigenschaftfenster, in dem sich die Parameter des Objektes anpassen lassen. Noch ist dort alles leer, denn die Datei enthält noch kein Objekt.

Kreisskizze

Jetzt gibt es mehrere Möglichkeiten, wie man einen Ring erstellen kann. Eine klassische ist, in der Software eine zweidimensionale Skizze zu zeichnen, woraus sich ein 3D-Objekt erzeugen lässt. Wechseln Sie dazu in der Drop-Down-Liste in der Symbolleiste oben, wo jetzt noch *Start* steht, zum Arbeitsbereich *Part Design*. In diesem Arbeitsbereich stehen alle Werkzeuge zur Verfügung, um 3D-Objekte zu erstellen. Beginnen Sie eine neue Skizze entweder über das Menü *Part Design/Skizze erstellen* oder mithilfe des entsprechenden Buttons in der neu aufgetauch-

Kurzinfo

- » Konstruieren eines Ringes in FreeCAD
- » Beschriftung auf der Außen- und der Innenseite mit Makros
- » 3D-Druck in Metall beim Online-Dienstleister

Checkliste



Zeitaufwand:
etwa 2 Stunden



Kosten:
ab 10 Euro bis etwa 1000 Euro, je nach Anbieter, Ringgröße, Beschriftung und Material



Lieferzeit:
je nach Druckdienstleister wie Shapeways oder i.materialise etwa 3–4 Wochen



Konstruieren
CAD, aber keine Vorkenntnisse nötig



Computer
Desktop oder Notebook mit Windows, macOS oder Linux

Mehr zum Thema

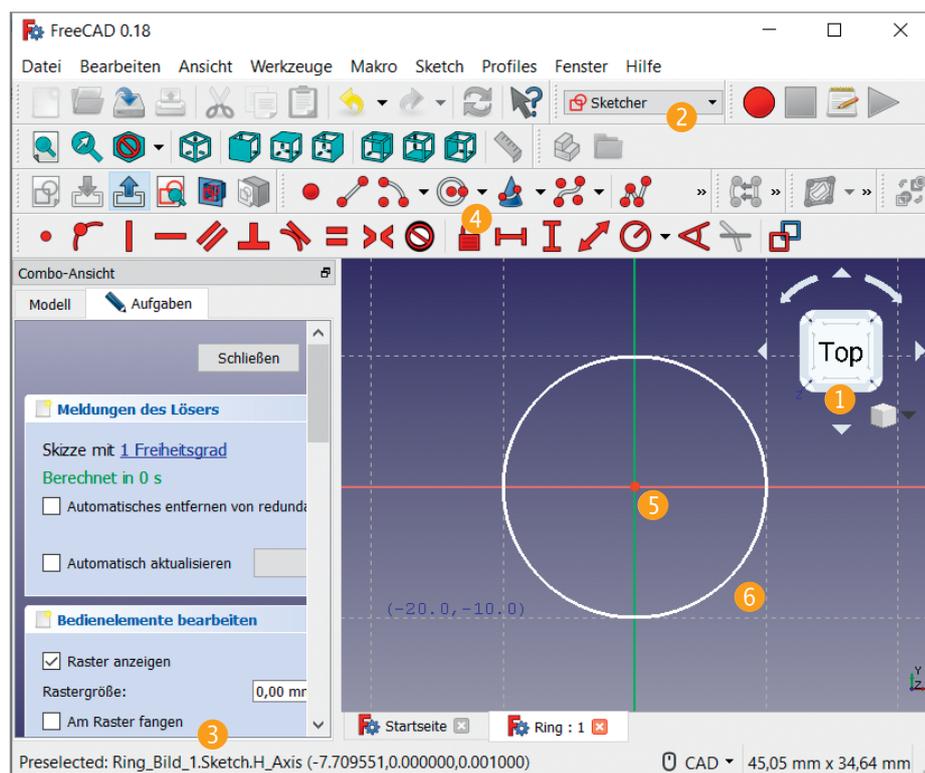
- » Peter König, *Gratis-CAD für Maker*, Make 4/18, S. 90

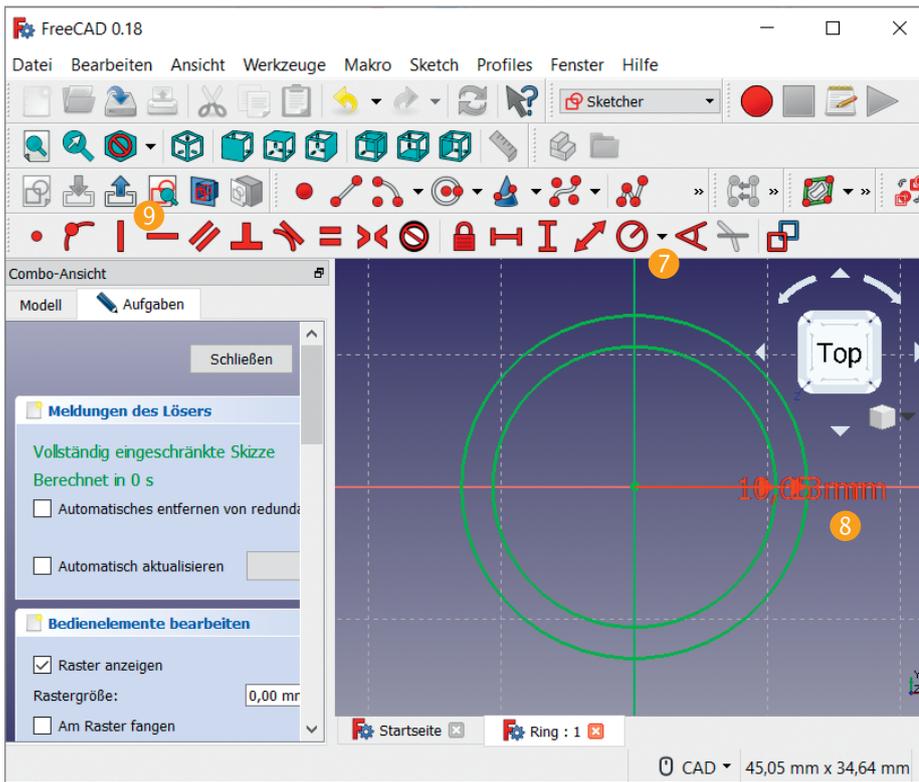
Alles zum Artikel im Web unter make-magazin.de/xekb

ten Werkzeugsymbolleiste (Tooltips zu den Buttons erscheinen beim Drüberfahren mit der Maus neben dem Button und zusätzlich ganz unten im Programmfenster).

Die Skizze startet in der Draufsicht, was Sie am *Navigation Cube* in der rechten oberen Ecke des Zeichenbereichs erkennen können

– der zeigt Ihnen die mit *Top* markierte Seite ①. Bestätigen Sie diese Ansicht, indem Sie auf der linken Seite des Programmfensters bei den angezeigten *Aufgaben* die Ebene *XY_Plane (Basis Ebene)* auswählen und mit *OK* bestätigen. Nun schaltet das Programm in den *Sketcher*-Arbeitsbereich ② und zeigt die





2D-Zeichenwerkzeuge in der Buttonleiste an. Bevor Sie den ersten Kreis zeichnen, setzen Sie auf der linken Seite unter *Bedienelemente bearbeiten* ein Häkchen in das Optionsfeld *Am Raster fangen* 3. Dies bewirkt, dass sich die Zeichenpunkte exakt am Raster ausrichten.

Finden Sie in der Symbolleiste den Button *Einen Kreis in der Skizze erstellen* und klicken Sie darauf 4. Klicken Sie dann einmal auf den Punkt, an dem sich in der Mitte des Zeichenbereichs die rote und eine grüne Linie schneiden 5. Ziehen Sie dann den Kreis etwa 10mm groß auf und klicken Sie nochmals. Das Raster versucht dabei den Kreis auf seine Linien festzulegen 6. Dies ist erst mal vollkommen in Ordnung, da man die exakte Größe erst im folgenden Schritt festlegt.

Auf Größe bringen

Die gewünschte Ringgröße sollte bekannt sein – wie das geht, lesen Sie im Kasten. Wir gehen in diesem Beispiel von einem inneren Ringdurchmesser von 21,3mm und damit einem Radius für den inneren Kreis von 10,65mm aus.

Die exakte Größe des eben skizzierten Kreises legen Sie mit einer sogenannten Einschränkung fest. Finden Sie dazu auf der zweite Symbolleiste des Zeichenbereichs (je nach Bildschirmgröße ist die erst mal versteckt und Sie müssen sie aufklappen) den Button *Ein Bogen oder Kreis beschränken* 7. Betätigen Sie ihn und wählen Sie den Kreis in der Zeichnung aus. Nach dem Drücken der linken Maustaste erscheint ein Popup-Fenster mit der Bezeichnung *Radius ändern*. Ändern Sie den Radius auf 10,65mm, worauf die Einschränkung die Größe des Kreises entsprechend anpasst.

Das Programm stellt die Einschränkungen nun innerhalb des Kreises mit einem Pfeil und einer Beschriftung dar, die sich wiederum per Doppelklick ändern lässt 8. Zeichnen Sie noch einen zweiten Kreis, den Sie auf 13mm einschränken. Verlassen Sie jetzt den Zeichenbereich, indem Sie den Button *Bearbeitung der Skizze beenden* drücken 9. Daraufhin wechselt das Programm wiederum in den *Part Design*-Arbeitsbereich.

Aufpolstern

Wenn Sie jetzt auf der linken Seite der Baumansicht in den Kartenreiter *Modell* wechseln 10, sehen Sie die Zeichnung, die unter *Sketch* zu finden ist. Diese befindet sich unterhalb eines 3D-Objektes mit der Bezeichnung *Body* 11. Markieren Sie das Sketch-Objekt und drücken Sie in der Symbolleiste den Button *Selektierte Skizze aufpolstern* 12 – damit verwandeln Sie die zweidimensionale Skizze in einen dreidimensionalen Ring. Ändern Sie die voreinge-

Ringgröße ermitteln

Für Ringgrößen gibt es international verschiedene Maße. Die für uns wichtigen sind der Durchmesser und das *Wiener Vereinigungsmaß*, das schlicht dem inneren Umfang in Millimetern entspricht. Im Internet finden sich Tabellen zur Umrechnung in andere Ringgrößensysteme.

Falls Sie einen passenden Ring zur Hand haben, können Sie den Durchmesser mit einem Messschieber ermitteln. Die Hälfte dieses Werts ergibt den Radius, den Sie für das Zeichnen des inneren Kreises in FreeCAD benötigen.

Wenn Sie die Ringgröße nicht kennen, können Sie mit einem Papierstreifen den Umfang am Finger ermitteln. Schneiden



Sie dazu aus einem Stück Papier einen Streifen von einem halben bis einem Zentimeter Breite und mindestens 10cm Länge aus. Wickeln Sie ihn um den Finger und markieren Sie die Überlappungspunkte, indem Sie das Papier an dieser Stelle umknicken. Anschließend können Sie das Papier mit einem Lineal ausmessen und die gemessene Größe mit einer Größentabelle vergleichen. Oder Sie berechnen den Durchmesser direkt, indem Sie den Umfang durch die Kreiszahl Pi (3,14159 ...) teilen. Halbieren Sie den Wert, um den Radius zum Zeichnen des inneren Kreises zu erhalten.



stellte Länge von 10mm in 8mm und bestätigen Sie sie mit *OK*. In der Baumansicht erscheint an der Stelle des 2D-Sketch-Objektes ein 3D-*Pad*-Objekt **13**, das 2D-Sketch-Objekt ist eine Hierarchieebene darunter zu finden. Mit Doppelklick auf das 3D-*Pad*-Objekt lassen sich die Eigenschaften nachträglich ändern.

Um den Ring aus allen Blickwinkeln betrachten zu können, halten Sie die Umschalttaste gedrückt und bewegen Sie das Objekt mit gleichzeitig gedrückter rechter Maustaste (zum Verschieben statt der Umschalt- die Steuerungstaste gedrückt halten). Falls das nicht klappt, klicken Sie rechts in den leeren Zeichnungshintergrund und wählen über das Kontextmenü den Navigationsstil *CAD* aus. Die ursprüngliche Draufsicht können Sie wiederherstellen, indem Sie beim *Navigation Cube* auf *Top* klicken **14**. Exakte Seitenansichten lassen sich mit einem Klick auf die Ränder des Würfels auswählen.

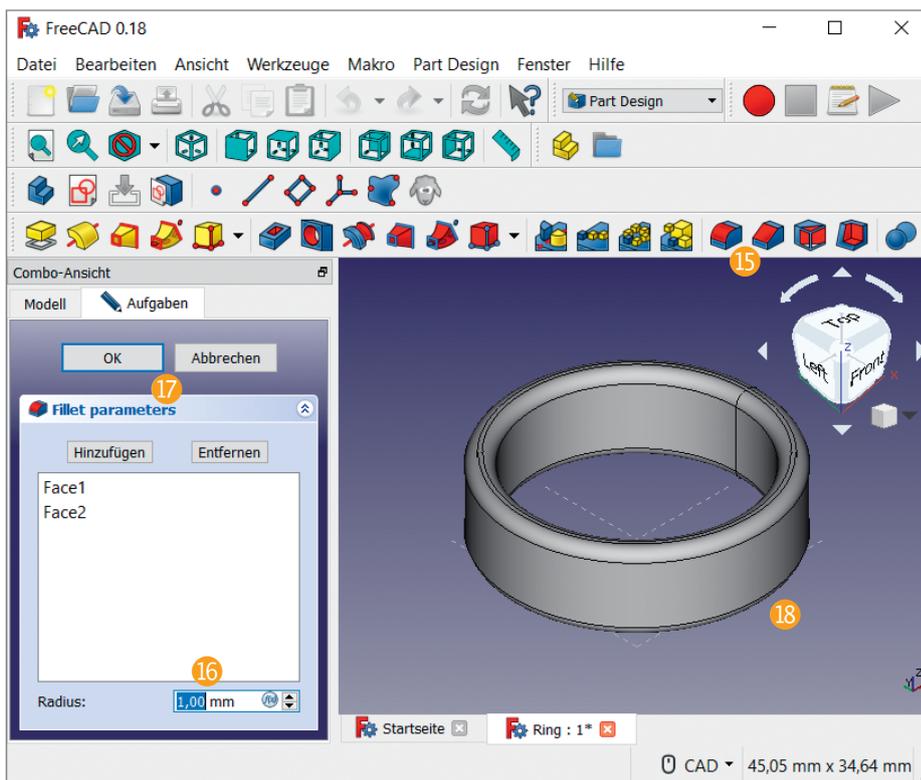
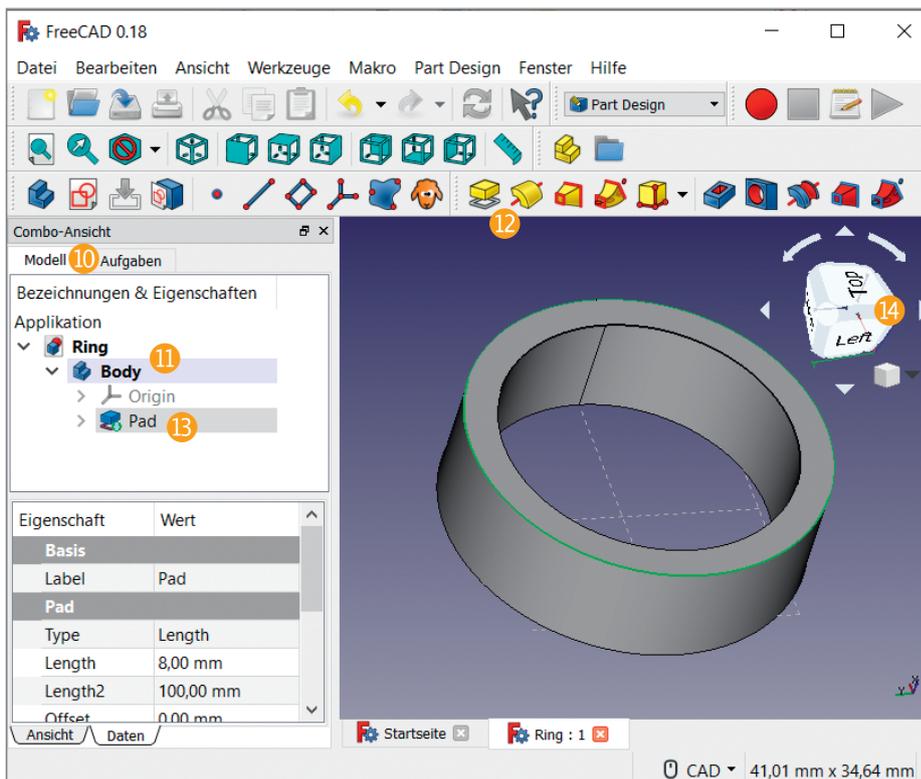
Abrunden

Die scharfen Kanten des Ringes lassen sich mit dem Befehl *Kante, Fläche oder Körper abrunden* abrunden. Wählen Sie dazu eine Kante in der Zeichenansicht aus und klicken Sie dann auf den Button **15**. Der Befehl rundet die Kante direkt in der Zeichenansicht ab, wobei in den Aufgaben auf der linken Seite ein Radius von 1mm voreingestellt ist **16**. Wenn Sie dort den Radius ändern, ändert der Befehl den Radius direkt in der Zeichenansicht. Lassen Sie die Voreinstellung des Radius auf 1mm und bestätigen Sie die Auswahl mit *OK* **17**. Wenn Sie eine Fläche des Ringes auswählen, rundet der Befehl beide Kanten gleichzeitig ab. Fahren Sie mit dem Abrunden fort, bis alle Kanten des Ringes mit dem voreingestellten Radius von 1mm abgerundet sind **18**.

Schrift außen

Der eigentliche Ring ist jetzt schon fertig, soll aber noch mit erhabener Schrift außen und eingepprägter Schrift innen versehen werden. Beim Erstellen der Beschriftung ergibt sich die Herausforderung, den Text um den Ring herum auszurichten. Man könnte jetzt mit dem Text-Objekt einzelne Buchstaben erstellen, die man entsprechend an der Ringform entlang positioniert. Da dies jedoch sehr aufwendig ist, bedienen wir uns zweier Makros, welche die Textausrichtung übernehmen.

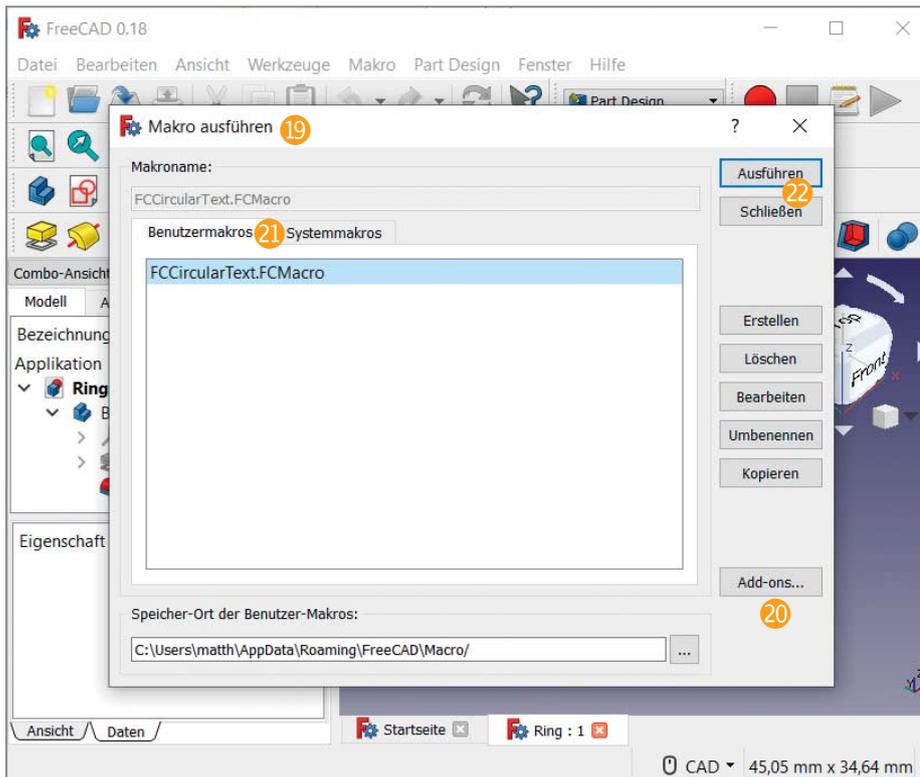
Als Makro bezeichnet man eine Erweiterung, die in der programmeigenen Programmiersprache kodiert ist. Bei vielen Programmen muss man den Makro-Code zuerst in einen Code-Editor kopieren, um ihn benut-



zen zu können. FreeCAD hingegen enthält einen Add-on-Manager, der einem diese Arbeit abnimmt und die gewünschten Makros herunterlädt und installiert.

Für die Installation des ersten Makros klicken Sie im Menü auf *Makro/Makros ...*. Es erscheint das Fenster *Makro ausführen* **19**.

Dort befindet sich rechts unten ein Button mit der Beschriftung *Add-ons* **20**, der den Add-on-Manager startet, nachdem Sie die Warnmeldung abgeknickt haben. Wechseln Sie auf den Kartenreiter *Macros*, klicken Sie in der Liste auf *FCCircularText* und installieren Sie das Makro mit dem Button *Install / up*



funktionieren leider nicht ²⁴. Die Voreinstellung auf die Schriftart Arial kann man erst mal so belassen; ebenso die Option *Outdoor* unter *Choice* ²⁵.

Der zu erzeugende äußere Text soll zur Sicherheit 0,5mm in den Ring hineinragen, um ungewollte Zwischenräume zwischen dem Text und den Ring zu vermeiden. Daher ziehen wir von dem 13mm-Außenradius 0,5mm ab und verwenden einen *Radius of circle* von 12,5. ²⁶.

Size character legt die Schriftgröße fest, hier ist 5 passend ²⁷. Die Einstellungen „Begin angle“ mit 280 und „End angle“ mit 360 bestimmen den Anfang und Ende des Textes sowie den Abstand der einzelnen Buchstaben und passen für unseren Schriftzug – für anderen Text müssen Sie die Werte anpassen und etwas experimentieren ²⁸.

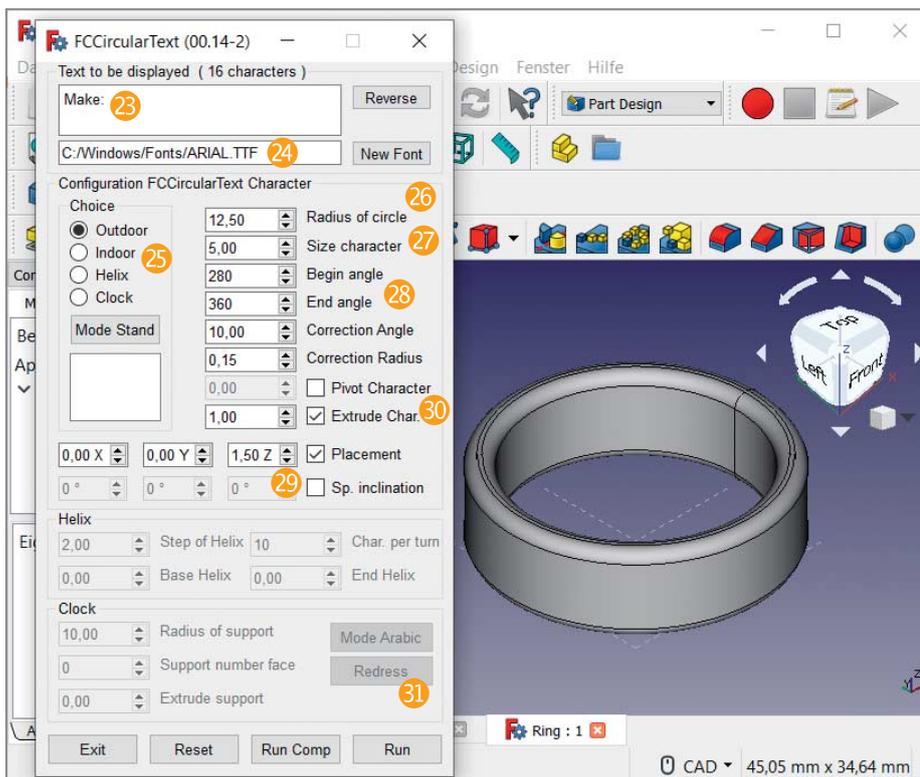
Die Einstellung *Placement* mit 1,50 Z rückt den Text vom unteren Rand weg hin zur Mitte ²⁹. Einen 3D-Buchstaben erhält man, indem man *Extrude char* anhakt und die Einstellungen auf 1,00 belässt. Da wir den Text so angelegt haben, dass er 0,5mm in den Ring hineinragt, ragt er auf der anderen Seite bei einer Buchstabentiefe von 1mm um 0,5mm aus dem Ringkörper heraus ³⁰.

Nach dem Betätigen des Buttons *Run* ³¹ erstellt das Makro ein neues Schriftobjekt in der Baumsicht mit der Bezeichnung *FcString*, außerdem setzt es die Parameter im Eingabeformular bis auf Text und Schriftart auf die Standardwerte zurück. Über das Formular kann man Einstellungen nicht mehr nachträglich ändern.

Falls man das Ergebnis grundlegend ändern möchte, löscht man das komplette Schriftobjekt in der Baumsicht. Klicken Sie dazu im Modellbaum rechts auf den Ordner *FcString* ³² und wählen dann im Kontextmenü *Löschen*. Nun können Sie mit dem Makro ein neues Textobjekt mit geänderten Einstellungen erstellen.

Buchstaben zurechtrücken

Meist sind einzelne Buchstaben unschön zusammen- oder auseinandergeschoben ³³. Diese Probleme lassen sich mit dem Makro *Rotate to Point* lösen, das auf dieselbe Weise wie das erste Makro installiert wird. Um einen Buchstaben verschieben zu können, benötigen Sie einen Bezugspunkt im Zentrum des Ringes. Ein Werkzeug dafür finden Sie im *Part-Design*-Bereich in der Buttonleiste (*Erstellen eines neuen Bezugspunkts* ³⁴). Nachdem Sie es angeklickt haben, bestätigen Sie die Standardeinstellungen mit *OK* und die anschließende kryptische Meldung mit *Ja*. In der Baumsicht ist nun ein neuer Eintrag *DatumPoint* hinzugekommen.



date. Nach der Installation und Schließen des Add-on-Managers findet sich das Makro auf dem Karteireiter *Benutzermakros* im Fenster *Makro ausführen* wieder ²¹. Klicken Sie es an und dann auf *Ausführen* ²².

Nach dem Start des Makros öffnet sich ein Fenster, in dem man einen Text und ver-

schiedene Parameter eingeben kann (alle Angaben sind Millimeter). Geben Sie im Feld oben den gewünschten Text für die Außenseite ein – bei uns war das selbstverständlich „Make“ ²³.

Für den Text lässt sich ein TrueType-Font auswählen, andere Formate wie OpenType

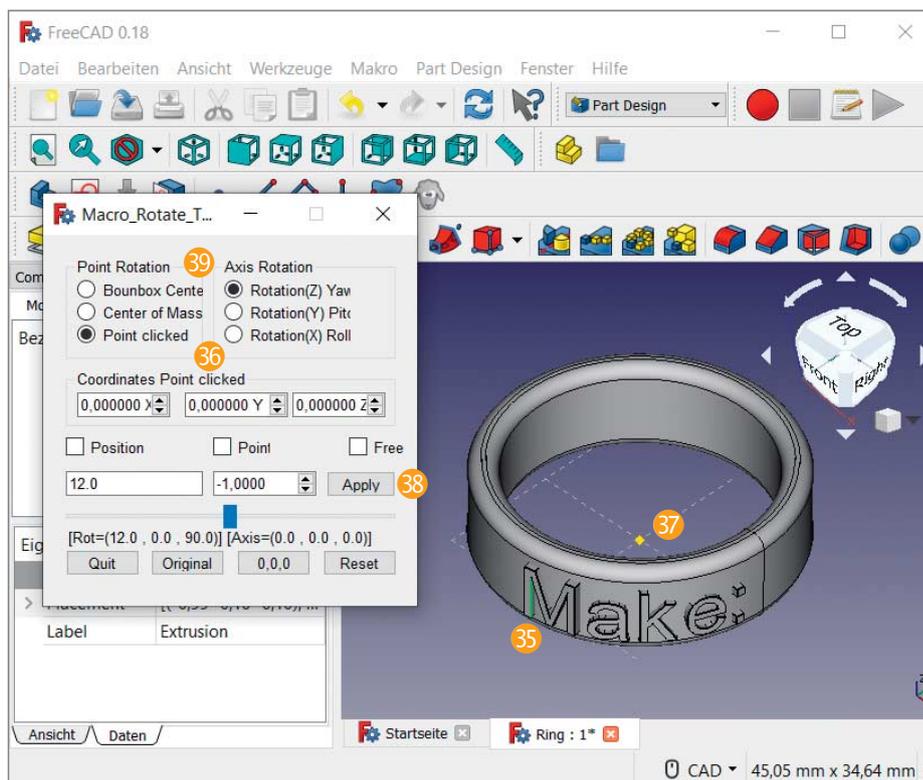
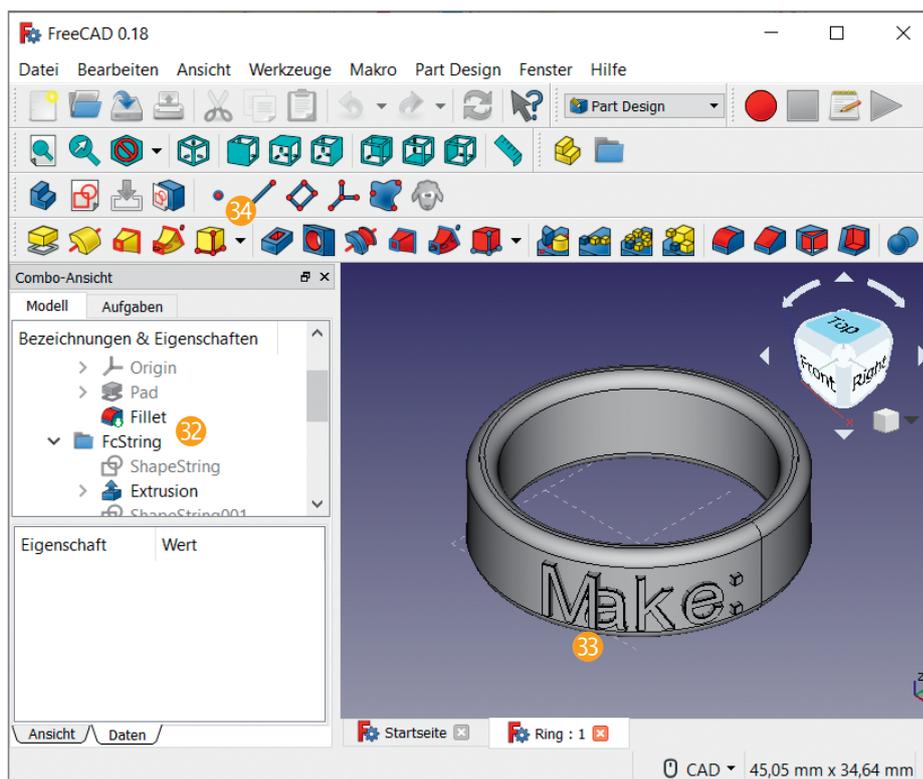
Um einen Buchstaben zu verschieben, rufen Sie das Makro *Rotate to Point.FCMacro* auf (über *Makro/Makros...*). Wählen Sie in der 3D-Ansicht mit Linksklick zuerst einen Buchstaben **35** und dann die Option *Point clicked* **36** bei den Makro-Einstellungen aus. Markieren Sie anschließend mit gedrückter Steuerungstaste den Bezugspunkt (gelbes Viereck in der 3D-Ansicht, das auf der Ecke steht) **37**. Tragen Sie dann in den Makro-Einstellungen neben dem Button *Apply* den Wert $-1,0000$ ein und drücken so oft *Apply* **38**, bis die Position richtig ist. Falls Sie den Buchstaben in die andere Richtung verschieben wollen, geben Sie einen positiven Wert an. Achtung: Wenn der erste Buchstabe sitzt und Sie den nächsten ausgewählt haben, müssen Sie wieder mit gedrückter Steuerungstaste den Bezugspunkt markieren, sonst rotiert der Buchstabe um seine eigene Achse!

Sollten sich Buchstaben versehentlich in sich verschoben haben und etwa in der Draufsicht des Ringes auf einer Seite eingesunken sein, kann man das ebenfalls mit dem Makro korrigieren, indem man zuerst den Buchstaben markiert und die Einstellung *Bounbox Center* auswählt **39**. Arbeiten Sie wie oben beschrieben mit *Apply* und dem Zahlenfeld daneben, bis der Buchstabe wieder richtig sitzt.

Schrift innen

Der Unterschied der inneren zur äußeren Beschriftung ist, dass die Buchstaben nicht nur auf der Innenseite sitzen, sondern auch in den Ring eingraviert sein sollen. Dafür wählt man im erneut aufgerufenen Makro *FCCircularText* als erstes die Option *Indoor* bei *Choice* **40**, ansonsten gehen später einige Werte beim Umschalten verloren. Wir haben außerdem die Schriftart in *Arialbd* geändert, indem wir im entsprechenden Feld *C:\Windows\Fonts\Arialbd.ttf* eingegeben haben – auf anderen Betriebssystemen oder bei abweichenden Installationen ist der Pfad anzupassen **41**.

Damit eine Gravur von 0,5mm Tiefe entsteht, addieren Sie zu dem inneren Radius von 10,65mm weitere 0,5mm hinzu und geben deshalb 11,15 als *Radius of circle* an **42**. Wir erzeugen zunächst wieder einen Text, der dank der Einstellung *Extrude Char. 1,00* um 0,5mm aus dem Ring herausragt **43**. Durch den längeren Text „KREATIV MIT TECHNIK“ startet der Text mit *Begin angle: 50* und endet bei *End angle: 240* **44**. Da der Ring 8mm hoch ist und wir die Schriftgröße *Size character* bei 2mm belassen **45**, benötigt man einen Abstand von 3mm vom Rand, also *Placement: 3,00 Z* **46**. Bei der inneren Beschriftung traten zumindest bei uns ebenfalls eine Reihe von verschobenen und verdrehten Buchstaben auf, die sich

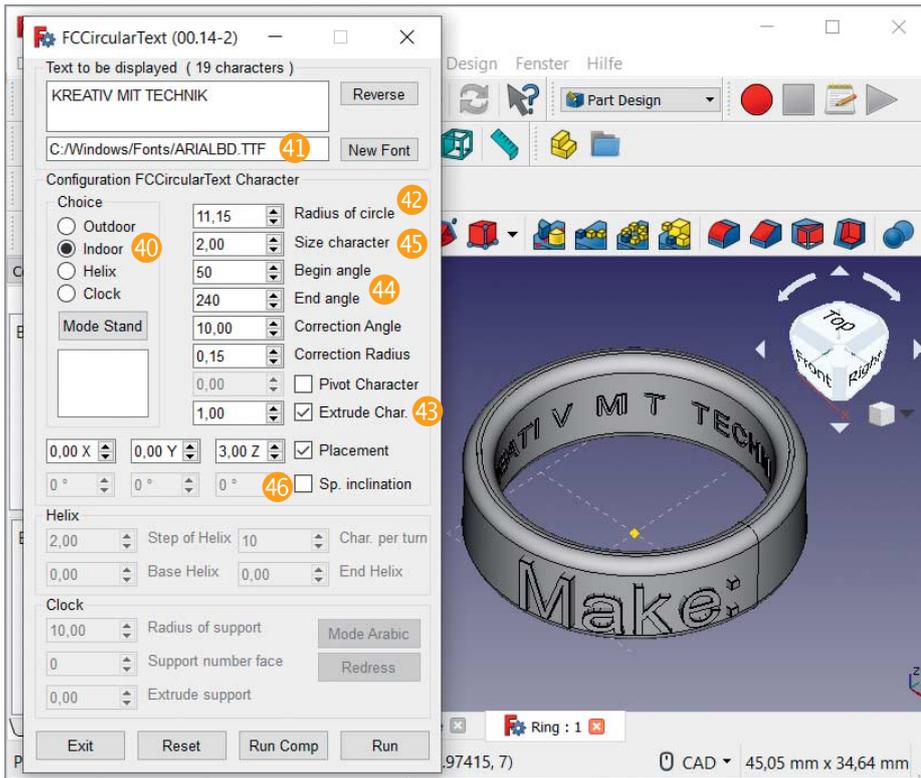


wieder mit dem Makro *Rotate to Point* korrigieren lassen.

Verschmelzen und gravieren

Wenn Sie mit dem Text zufrieden sind, verschmelzen Sie die äußeren Buchstaben mit

dem Ring. Das geschieht mit dem Befehl *Vereinigt mehrere Formen* **47**, für den Sie oben in der Ausklappliste aus dem *PartDesign*-Bereich auf den Bereich *Part* wechseln müssen **48**. Klappen Sie dann zuerst die einzelnen Buchstaben-Objekte in der Baumansicht links unter *FcString* aus **49**. Klicken



Sie als Nächstes das Ring-Objekt *Body* an **50** und außerdem mit gedrückter Steuerungstaste den untersten Buchstaben, bei unserem Text trägt er die Bezeichnung *Extrusion004* **51**. Wenn Sie dann den Button *Vereinigt mehrere Formen* anklicken, verschmilzt der Doppelpunkt mit dem Ringkörper.

An der Stelle des ursprünglichen Ring-Objektes ist jetzt ein Vereinigungsobjekt mit dem Namen *Fusion* entstanden – das alte ist noch da, aber auf eine Hierarchieebene darunter verschoben und diese automatisch zugeklappt worden. Wählen Sie das *Fusion-Objekt* aus und wiederum mit gedrückter Strg-Taste den nächsten Buchstaben mit der Bezeichnung *Extrusion003*, dann wieder auf das Vereinigungswerkzeug klicken. Fahren Sie so weiter fort, bis alle Buchstaben mit dem Ring verschmolzen sind.

Die Gravur der Beschriftung innen geschieht hingegen mit dem Befehl *Schneidet zwei Formen* **52**. Klappen Sie analog zur Verschmelzung der äußeren Beschriftung zuerst die einzelnen Buchstaben-Objekte in der Baumansicht unter *FcString01* aus. Klicken Sie als Nächstes das Ring-Objekt *Fusion004* an und außerdem mit gedrückter Steuerungstaste den untersten Buchstaben mit der Bezeichnung *Extrusion023*. Wenn Sie dann den Button *Schneidet zwei Formen* anklicken, stanzt der Befehl den Buchstaben „K“ aus dem Ringkörper heraus.

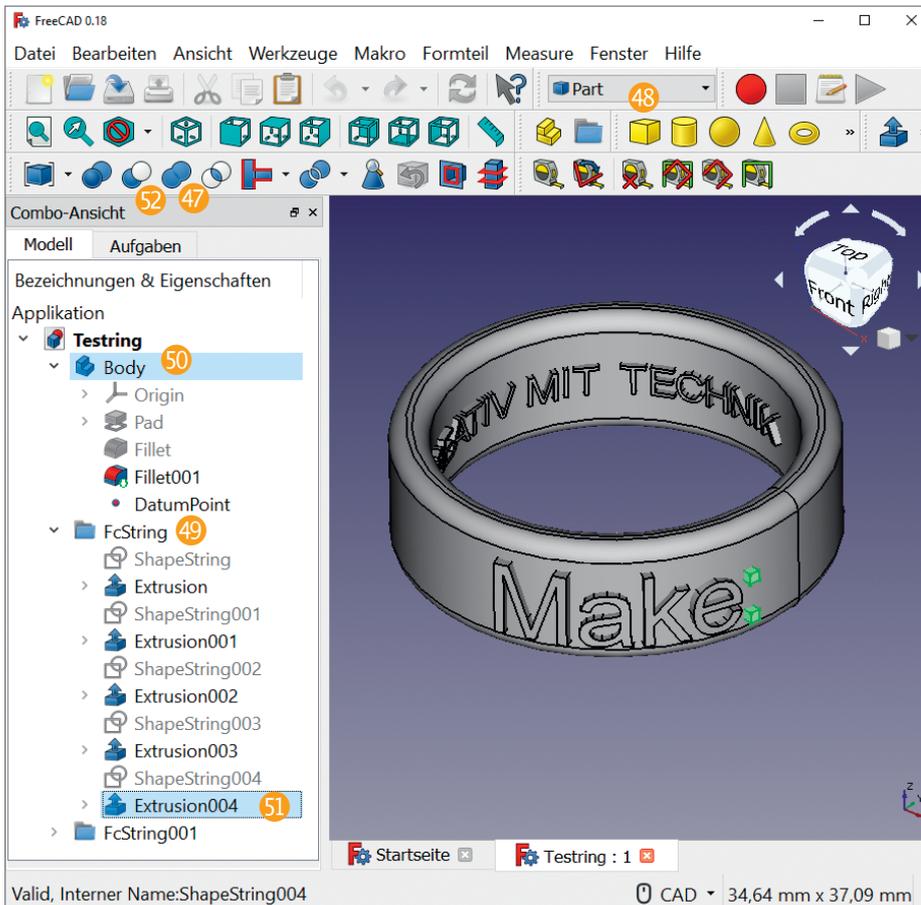
An der Stelle des *Fusion-Objektes* ist jetzt ein Schnitt-Objekt mit dem Namen *Cut* entstanden. Wählen Sie dieses aus und wiederum mit gedrückter Strg-Taste den nächsten Buchstaben mit der Bezeichnung *Extrusion022*, dann wieder auf das Schneidewerkzeug klicken. Fahren Sie so weiter fort, bis alle Buchstaben aus dem Ring herausgestanzt sind. Falls Sie auf ein *Extrusion-Objekt* stoßen, das ein rotes Ausrufezeichen trägt, überspringen Sie dieses – dabei handelt es sich wohl um die Leerzeichen im Beispieltext.

Export

Der Ring ist jetzt fertig modelliert. Löschen Sie vor dem Export den Bezugspunkt *Datum-Point*, damit dieser nicht in die Exportdatei gelangt – dazu müssen Sie in der Baumansicht unter *Cut016* (so heißt Ihr Ring jetzt, wenn Sie genau unseren Text benutzt haben) die einzelnen *Cuts* und *Fusions* so lange aufklappen, bis Sie zum *Body* gelangen, unter dem der Bezugspunkt einsortiert ist.

Markieren Sie in der Baumansicht den Ring (alias *Cut016*) und wählen Sie im Menü *Datei/Exportieren ...* das Exportformat *STL-Mesh (*stl,*ast)*. Wählen Sie einen Dateinamen an und starten Sie den Export.

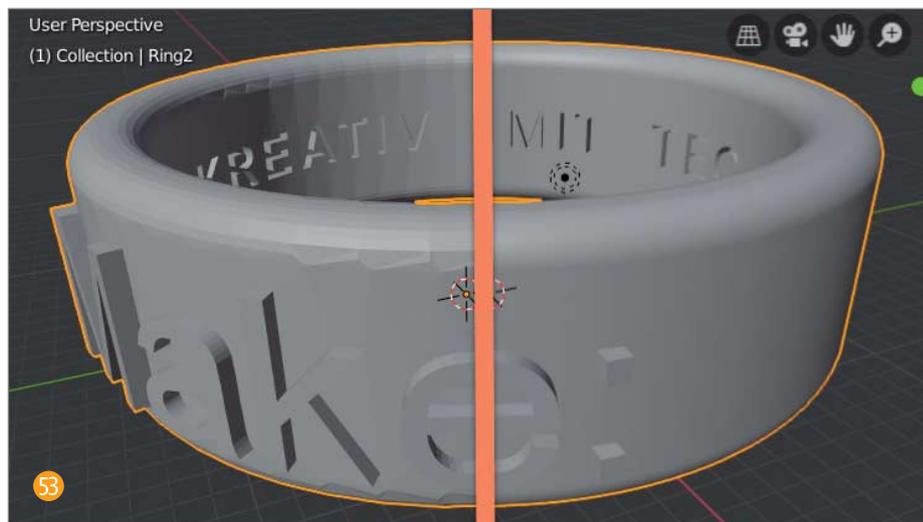
Wenn man diese Datei so bei einem Druckdienstleister importiert, kann man in der Vorschau sehen, dass der Ring nicht rund ist, son-





dem eher einem Vieleck gleicht. Das Dateiformat STL besteht nur aus Punkten, Kanten und Flächen dazwischen (kurz Mesh genannt), deshalb werden runde Körper durch Vielecke ersetzt. Bestehen die aus zu wenigen Punkten, entstehen störende Kanten.

Um die Einstellungen für die Punktdichte des zu exportierenden Objektes zu erhöhen, gehen Sie über das Menü *Bearbeiten/Einstellungen ...* im Bereich *Part design* auf den Kartenreiter *Form-Ansicht*. Ändern Sie den Wert unter *Setzt die maximale Abweichung abhängig von der Modell-Bounding-Box* von *0,5000 %* auf *0,0100 %*. Das erhöht die Mesh-Dichte so weit, dass bei einem so kleinen Objekt keine Ecken und Kanten mehr auftreten.



Wenn Sie jetzt den Ring erneut exportieren, können Sie feststellen, dass sich die STL-Dateigröße mit der höheren Mesh-Dichte vergrößert hat. Bild 53 zeigt den Vergleich der Standard-Exportauflösung von FreeCAD (links) mit der gewünschten hohen Auflösung (rechts).

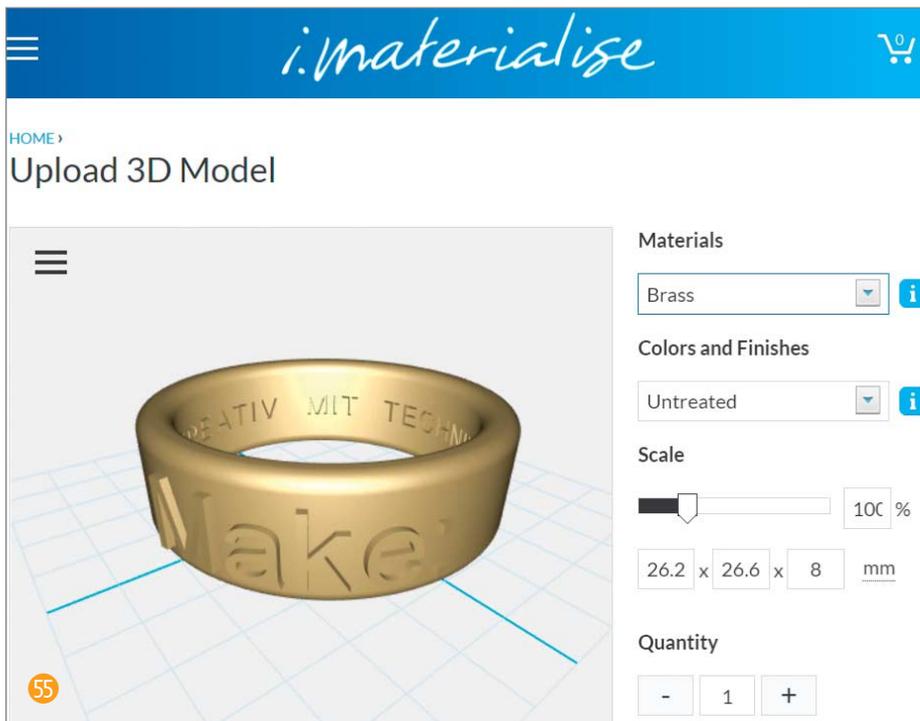
Natürlich können Sie Vorlagen für solche Ringe und andere Metallteile auch mit ande-

ren 3D-Programmen erzeugen – Hinweise siehe Kasten. Die folgenden Abschnitte sind von der verwendeten Software unabhängig.

3D-Druck

Falls man einen handelsüblichen 3D-Drucker zur Hand hat, kann man für einen ersten Größencheck des Ringes einen Probedruck er-

Anzeige



stellen. Wir haben den Ring testweise auf einen Ultimaker 2+ mit einer Düse von 0,4mm Bohrung und einer Schichtdicke von 0,1mm ausgedruckt. Die Auflösung der äußeren Schrift ist gut und die innere Schrift gut lesbar (54).

Bei Online-Dienstleistern wie Shapeways oder i.materialise (55) lassen sich die exportierten 3D-Modelle hochladen. Im Bestellfenster sind dann eine Reihe von Materialien auswählbar, außerdem errechnet die Seite den Preis direkt. Der Preis ist jedoch ohne Umsatzsteuer, diese kommt erst im weiteren Bestellprozess hinzu. Außerdem kommen noch Versandkosten oben drauf. Es gilt ein Mindestbestellwert von 25 US-Dollar bei Shapeways und 30 Euro bei i.materialize.

Zum Drucken in Metall sollte man als Faustregel von einer minimalen Schriftgröße von 2mm Höhe und einer Weite von mindestens 0,8mm ausgehen. Das von uns verwendete Makro macht es einem einfach, da dort die Texthöhe in Millimeter als Maßeinheit angegeben ist. Die Druckbarkeit lässt sich mit Tools der jeweiligen Dienstleister online abschätzen; i.materialize hat nach der Bestellung außerdem eine E-Mail versendet, in der angemerkt war, dass die Linienstärke der inneren Schrift bei Schriftart Arial mit 0,25mm zu schmal ist. Daher haben wir die Schriftart in Arial Fett geändert, um die Mindeststärke der Buchstaben von 0,35mm zu erreichen.

Wir haben die Ringe in Messing und Stahl bestellt. Messing hat laut Website eine minimale Detailgröße von 0,35mm und Stahl von 0,8mm bis 1,00mm. So ist auch das Druckergebnis. Der Messing-Ring ist sehr detailreich mit sehr gut ausgeprägter Schrift (56), beim Stahl-Ring ist die innere Schrift kaum noch lesbar – und er zeigt auch eine reichlich raue Außenseite mit sichtbaren Schichtspuren (57). Die Stahl-Version hat ihren eigenen Charme, aber für schicken Schmuck und präzise Bauteile ist Messing unserer Erfahrung nach die bessere Wahl. —pek

Die beste 3D-Software

Es gibt eine ganze Reihe von 3D-Konstruktionswerkzeugen, die Maker kostenlos nutzen können – in Make 4/18 haben wir ab Seite 90 viele davon vorgestellt. Aber welches ist das beste? Das kommt ganz darauf an, was die eigenen Wünsche und Erwartungen sind. Manchen reicht *TinkerCAD* oder *SketchUp*; ein anderer Favorit ist *Blender*, weshalb wir zu dieser Open-Source-Software auch eine Video-Tutorial-Reihe anbieten (Näheres siehe make-magazin.de/xyeg).

Anderer wünschen sich, kostenlos mit etwas zu arbeiten, das auch ein gestandener Ingenieur als waschechtes CAD-Tool akzeptieren würde. Deshalb zeigen wir hier ein Schnupperprojekt mit *FreeCAD*, das wie viele klassische CAD-Programme parametrisch und mit Bearbeitungshistorie arbeitet – man kann also nachträglich Maße verändern und Modifikationen rückgängig machen. Gleichzeitig steht die Software unter Open-Source-Lizenz und läuft unter Windows, macOS und Linux.

Uns interessiert im Gegenzug aber natürlich, wie gut *FreeCAD* damit bei Ihnen ankommt. Falls Sie gerne mehr zu dieser Software in kommenden Make-Ausgaben lesen würden, bitten wir Sie deshalb um Rückmeldung unter mail@make-magazin.de. Und wer am Ende dann doch lieber mit *Blender* konstruiert, findet in unserem Video-Kurs jetzt eine neue, kostenlos in voller Länge streambare Folge, in der wir den gezeigten Ring zum Vergleich mit *Blender* bauen.