

Zutaten

Google SketchUp 8
3-Tasten-Maus mit Scrollrad

Erfahrung

Grundverständnis 3D-Grafik
Durchhaltevermögen

File Edit View Window Help
Tools
SketchUp 8



Gerald Himmelein

Objekte entwickeln für den 3D-Druck

Fremde Designs in 3D drucken zu lassen, ist zwar ganz nett – die wahre Herausforderung besteht jedoch darin, ein eigenes 3D-Modell zu entwickeln, das sich für den 3D-Druck eignet. Unser Beispielmodell ist ein trojanisches Pferd mit Geheimfach.

Nicht nur weil es kostenlos ist, greifen viele 3D-Grafiker zur Konzeption eines druckbaren Modells zu Google SketchUp. Das Programm ist wesentlich leichter zu erlernen als traditionelle Polygon-Modeller, da sich die Gestaltungswerkzeuge an denen eines Vektorzeichenprogramms orientieren. Bei SketchUp beginnt die Gestaltung mit Linien, Quadraten und Kreisen.

Andererseits unterscheidet SketchUp sich auch in zahlreichen Punkten von einem Vektorgrafikprogramm. Für eine tiefgehende Einführung in die Grundlagen der Bedienung von SketchUp fehlt hier der Platz; zum Umgang mit den einzelnen Werkzeugen seien deshalb die von Google bereitgestellten Video-Tutorials empfohlen sowie die Soforthilfe „Mentor“, die man über das Fenster-Menü der Anwendung aufrufen kann.

Klick statt Drag

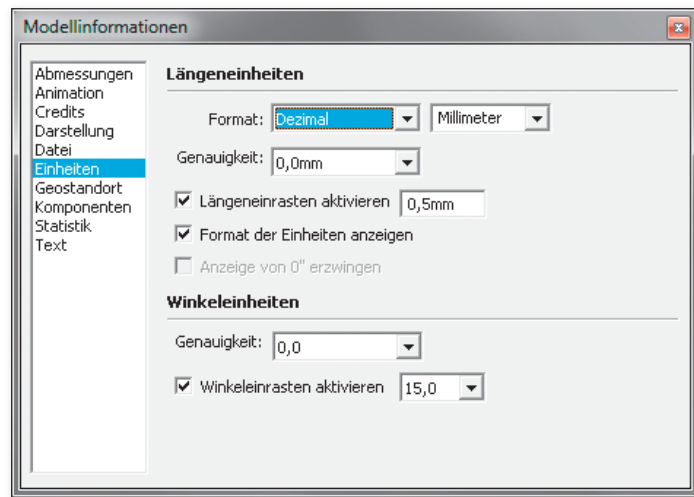
Drag & Drop ist bei SketchUp selten gefragt; „Klick & Klick“ beschreibt die Bedienung wesentlich besser. Beim Rechteck-Werkzeug markiert der erste Mausklick den Ursprungspunkt, der zweite den Endpunkt. Das Drehwerkzeug verlangt noch einen dritten Klick: Hier definiert der erste Klick den Drehpunkt, der zweite den Ausgangswinkel und der dritte das Ziel.

Zahlreiche Automatismen erleichtern die Konstruktion. Sobald sie einander überlagern oder berühren, verschmelzen auf einer gemeinsamen Ebene liegende Formen automatisch. Anschließend kann man innerhalb des Objekts liegende Linien ungestraft löschen. Löcher entstehen nur, wenn man die innerhalb der Linien liegende Fläche löscht. Nur selten muss man berücksichtigen, wie sich diese Formen hinter den Kulissen in Drei- und Vierecke aufteilen.

Kanten und Endpunkte tendieren dazu, aneinander zu kleben. So ist es ein Leichtes, ein Rechteck exakt an den Rand eines anderen zu ziehen: Erstes Rechteck auswählen, mit dem Verschieben-Werkzeug einen passenden Endpunkt anklicken, Endpunkt des zweiten Quaders anklicken, fertig. Das funktioniert auch in der dritten Dimension – ein eigenes Werkzeug zum Ausrichten erübrigt sich.

„Ableitungen“ verhindern, dass man beim Freihandzeichnen versehentlich von der Achse abrutscht. Im Original heißt es „Inference“, dass das Linienwerkzeug versucht, magnetisch auf einer Ebene zu bleiben und Linien im Raum kurz einrasten, wenn der Mauszeiger parallel zu einem anderen Endpunkt steht. Ebenso nützlich ist das Maßband, das beim Messen als Nebenprodukt Führungslinien und Führungspunkte erzeugt. Für präzises Arbeiten sind Führungslinien unverzichtbar: Die Werkzeuge rasten an den Schnittpunkten von Führungslinien auf dieselbe Art ein wie an den Endpunkten normaler Linien.

Die Umschalttaste fixiert die Achse, entlang der ein Werkzeug arbeiten soll. Zusätzlich kann man die Achse mit den Pfeiltasten festlegen: Pfeil nach oben steht für die blaue, Pfeil nach links für die grüne und Pfeil nach rechts für die rote Achse.



Vor Beginn der Konstruktion sollte man die Einheiten des Modells an die Bedürfnisse des 3D-Drucks anpassen.

Für präzise Arbeiten gibt man Längen und Winkel direkt ein. Dazu muss man keine Dialoge aufrufen, man tippt einfach los. Zieht man mit der Maus eine Linie und gibt „8“ ein, verlängert oder verkürzt SketchUp sie auf 8 Einheiten. Gibt man nach dem Aufziehen eines Rechtecks „3;4“ ein, passt SketchUp die Höhe und Breite entsprechend an.

Vor dem Hauptfilm

Bevor es losgehen kann, müssen die Dokumenteigenschaften erst an die Bedürfnisse des 3D-Drucks angepasst werden. 3D-Druckanbieter setzen für ihre Maschinen bestimmte Mindestabstände und Mindestwandstärken voraus, oft in Schritten von 0,5 Millimetern. Um dieses Raster grob einzuhalten, setzen Sie in Fenster/Modellinformationen unter „Einheiten“ die Längeneinheiten auf „Dezimal“ und „Millimeter“, mit einer Genauigkeit von „0,0 mm“. Aktivieren Sie darüber hinaus „Längeneinrasten aktivieren“ und legen Sie hier einen Wert von „0,5 mm“ fest. Für diverse Druckmaterialien geben die Druckdienstleister eine Mindestwandstärke von 1,5 mm an; bei einigen Materialien geht auch weniger.

Zur Kontrolle der Stabilität des Beispielsmodells wurden zwei 3D-Ausdrucke vorgenommen. Ein etwas komplexer modellierter Prototyp wurde von

Kurzinfo



Zeitaufwand:
4–8 Stunden

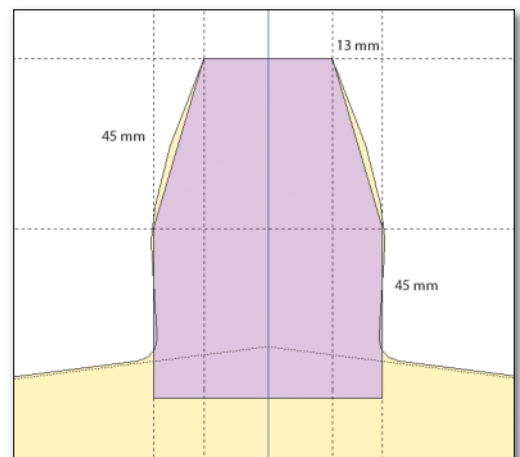


Kosten:
kostenlos



Programmieren:
grundsätzliche SketchUp-Kenntnisse

Beim Nachbauen der vom Plug-in „Involute Gear“ ausgespuckten Zahnradform wird die ursprüngliche Form deutlich vereinfacht.



Essenzielle Erweiterungen

Ein Grund für die Beliebtheit von SketchUp besteht in seiner Ruby-Schnittstelle. Über diese lässt sich das Programm schnell um neue Werkzeuge und Funktionen erweitern: Meist muss man nur eine .rb-Datei ins Plugins-Unterverzeichnis des Programmordners kopieren und SketchUp neustarten, und plötzlich kann es Kung Fu.

Bei der Arbeit an unserem Beispielprojekt kamen mehrere kostenlose Plug-ins zum Einsatz, die das Modeling deutlich beschleunigen und wichtige Funktionen nachrüsten. Die nötigen Download-URLs sind am Ende des Artikels verlinkt.

Es gibt mehrere kostenlose Methoden, um die .skp-Dateien von SketchUp ins von 3D-Druckdienstleistern bevorzugte STL-Format zu konvertieren. Von der Konvertierung über externe Programme wie Meshlab ist generell abzuraten, da sich dabei häufig die Bezeichnung ändert. Von den ausprobierten Plug-ins produzierte „SketchUp to DXF or STL plugin“ von Nathan Bromham und Konrad Shroeder die besten Ergebnisse. Es klinkt sich in das Tools-Menü ein. Beim Export muss man die Maßeinheit sowie das Exportformat auswählen, üblicherweise also „Centimeters“ und „stl“.

„CenterPoint“ von Todd Burch erscheint im „Plug-ins“-Menü und erzeugt im Zentrum der aktuellen Auswahl einen Führungspunkt. Das ist beispielsweise praktisch, um ein Zahnrad um seinen Mittelpunkt zu drehen. Die Erweiterung „Auto Center Point“ von Jim Foltz erzeugt solche Führungspunkte automatisch beim Aufziehen eines Kreises oder Rechtecks; man muss die Funktion aber bei jedem Start von SketchUp manuell reaktivieren.

Zwei Plug-ins kümmern sich um die Korrektur von Inkonsistenzen in den Modellen. Das ist vor allem wichtig, damit alle Bestandteile „wasserdicht“ bleiben: Sonst können die 3D-Druck-

dienstleister das Modell nicht verarbeiten. Das ebenfalls von Todd Burch geschriebene „StrayLines“ entfernt Linien aus der Auswahl, die keine Fläche bilden. Hängen mehrere lose Linien aneinander, ist es mitunter nötig, das Plug-in mehrfach anzuwenden. Die Meldung „There were no Stray Lines in the Selection to Delete“ gibt Entwarnung – dann sind alle verbleibenden Linien miteinander verbunden. Am besten belegt man die Funktion Plug-in/Stray Lines/Delete mit einem Tastenkürzel (siehe Kasten auf S. 132).

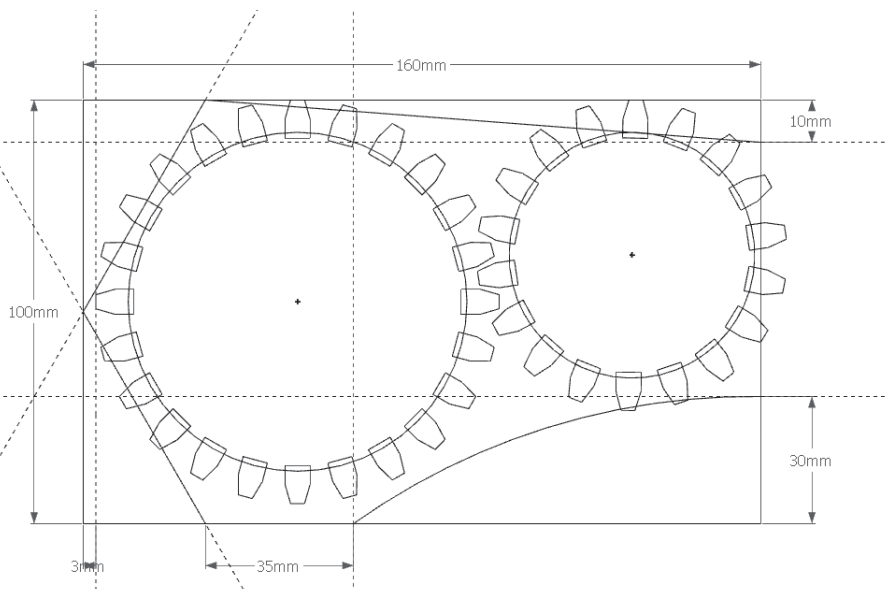
Das Plug-in „fixSolid“ von Guy Wydouw geht noch einen Schritt weiter, um den „Volumenkörper“-Status von Modellen wiederherzustellen: Es entfernt auch überzählige Flächen. Zur Anwendung klickt man mit der rechten Maustaste auf eine Gruppe und wählt aus dem Kontextmenü „FIX SOLID“. Da fixSolid keine Komponenten verarbeitet, muss man den problematischen Modellbestandteil gegebenenfalls erst in ein anderes Dokument kopieren, dort gruppieren, fixSolid anwenden und nach der Korrektur wieder zurück in die ursprüngliche Komponente kopieren. Verwendet man bei der Transplantation in beide Richtungen „An dieser Stelle einfügen“, sollte auch nichts aus dem Lot kommen. Die Option „Risky Fix“ ist mit Vorsicht zu genießen; bei schwerwiegenden Fehlern kann sie das Objekt vollends zerstören – dann ist die Rückgängig-Funktion gefragt. Zum Download von fixSolid muss man sich kostenlos im SketchUp-Anwenderforum „SketchUcation“ anmelden.

„Weld“ von Rick Wilson verschmilzt auf einer Achse liegende Linien unter passenden Bedingungen miteinander – damit kann man Problemen mit dem Versatzwerkzeug vorbeugen. Das zur Zahnraderzeugung extrem hilfreiche Plug-in „Involute Gears“ wird im Haupttext beschrieben.

Materialise im Lasersintern-Verfahren gefertigt. Die sandige Konsistenz des dabei eingesetzten Polyamids bremst die Zahnradmechanik etwas aus – durchaus kein unerwünschter Effekt.

Fabberhouse steuerte einen Ausdruck des endgültigen Modells bei, der im Fused-Deposition-Modeling-Verfahren mit ABS entstand. Bei diesem glatten Material öffnet sich das Geheimfach von selbst, sofern im vorderen Rad kein USB-

Der Körper des Modells beginnt als 10 mm × 160 mm großes Rechteck, das mit dem Linienwerkzeug beschnitten wird.



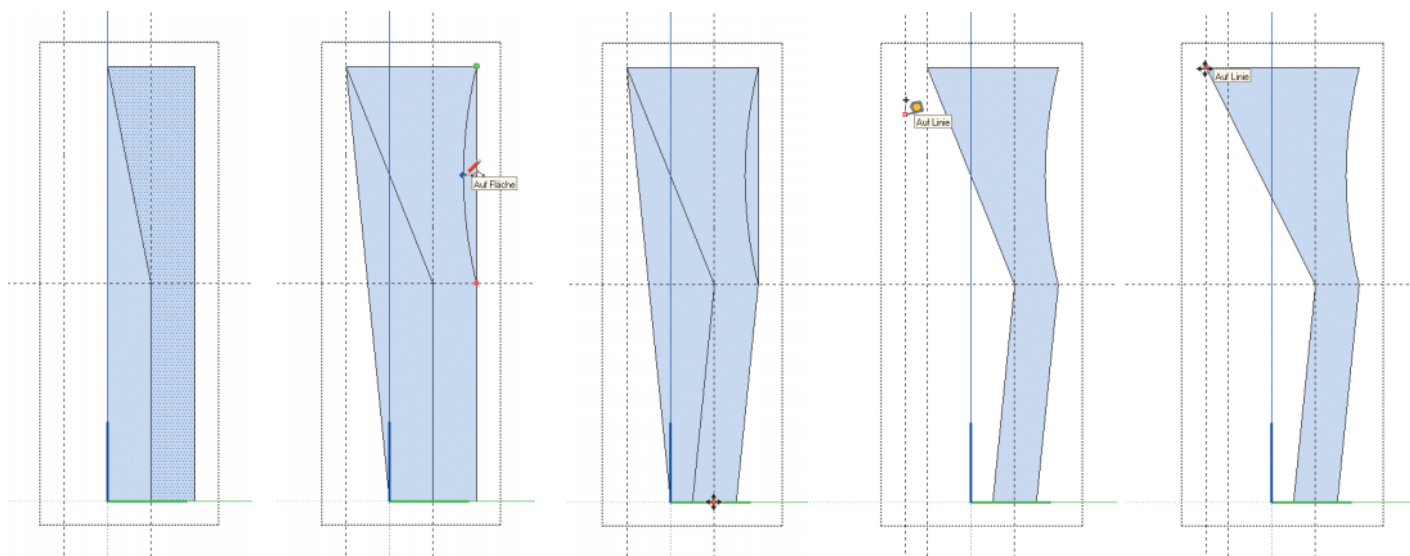
Stick steckt, der ein Gegengewicht bildet. Bei letzterem Druckverfahren empfiehlt es sich somit, die Toleranzen etwas geringer zu setzen: Fabberhouse setzt einen Mindestabstand von 0,3 mm voraus. Das Beispiel geht im Folgenden von 0,5 mm aus.

Skizzieren Sie die Konturen Ihres Modells zuerst in 2D auf einer Ebene. Auf welcher ist grundsätzlich egal; in der Praxis bietet sich aber die Ebene im rechten Winkel zur blauen Achse an. Um automatisch auf dieser Ebene zu bleiben, stellt man die Kamera auf Standardansichten/Rechts und aktiviert die Option „Parallele Projektion“. Wer öfter Modelle für den 3D-Druck gestaltet, der wird diese Einstellungen als Vorlage festlegen wollen (Datei/Als Vorlage speichern).

Liebesgrüße aus Troja

Das diesem Artikel zugrundeliegende Beispielmodell ist ein trojanisches Pferd. Eine einfache Mechanik mit zwei Zahnrädern verbirgt einen 75 mm × 25 mm × 15 mm kleinen Schacht, in den ein USB-Stick passt. Zieht man den Schweif des Pferdes nach unten, kippt vorne der USB-Stick raus.

Das Modell wurde speziell für den 3D-Druck konzipiert: Mit anderen Fertigungsverfahren wäre



eine in einem Durchgang montierte, aber dennoch bewegliche Konstruktion nicht machbar. Die meisten Teile des Modells bestehen aus einfachen Grundformen: Die Zahnräder entstehen aus Kreisen; der Körper aus einem Quader, der anhand von Führungslinien und Ableitungen beschnitten wird. Diese Objekte werden dann nur noch in die dritte Dimension extrudiert. Der c't-Link führt zu einem Download der zugehörigen SketchUp-Dateien in unterschiedlichen Fertigungszuständen.

Verlieren Sie nicht gleich den Mut, wenn etwas nicht beim ersten Anlauf gelingt. Die Rückgängig-Funktion von SketchUp reicht 100 Schritte weit; oft kommt man so wieder zu einem brauchbaren Zustand zurück. Wer das Modell nach jeder großen Änderung unter einem neuen Namen abspeichert, kann später womöglich auf eine ältere Version zurückgreifen, um mit „An dieser Stelle einfügen“ Elemente von einem Zeitpunkt herüberzueretten, als die Welt noch in Ordnung war.

Zähne zeigen

Damit Zahnräder sich beim Drehen nicht ineinander verhaken, muss man entweder detaillierte mathematische Formeln einhalten – oder man benutzt das SketchUp-Plug-in „Involute Gear“ von Doug Herrmann, das präzise zueinander passende Stirnräder generiert.

Der Durchmesser des vorderen Zahnrads wird durch die Maße der Aussparung für den USB-Stick definiert; 80 mm müssen es schon sein. Das zweite Rad sollte nicht allzu viel kleiner ausfallen; 60 mm sind eine gute Lösung. Der Einfachheit halber werden die Räder oben bündig angeordnet.

Im ersten Schritt ziehen Sie also in der rechten Standardansicht zwei Kreise mit 40 mm und 30 mm Radius auf. Damit die Kreise nicht aus Versehen miteinander verschmelzen, sollten Sie beide direkt nach der Entstehung getrennt gruppieren. Da es nur Platzhalter sind, genügt eine Auflösung von 12 Segmenten.

Es sei angemerkt, dass Kreise und Rundungen bei SketchUp nicht aus echten Kurven bestehen, sondern aus geraden Segmenten, deren Anzahl man anpassen kann. Die Übergänge zwischen den

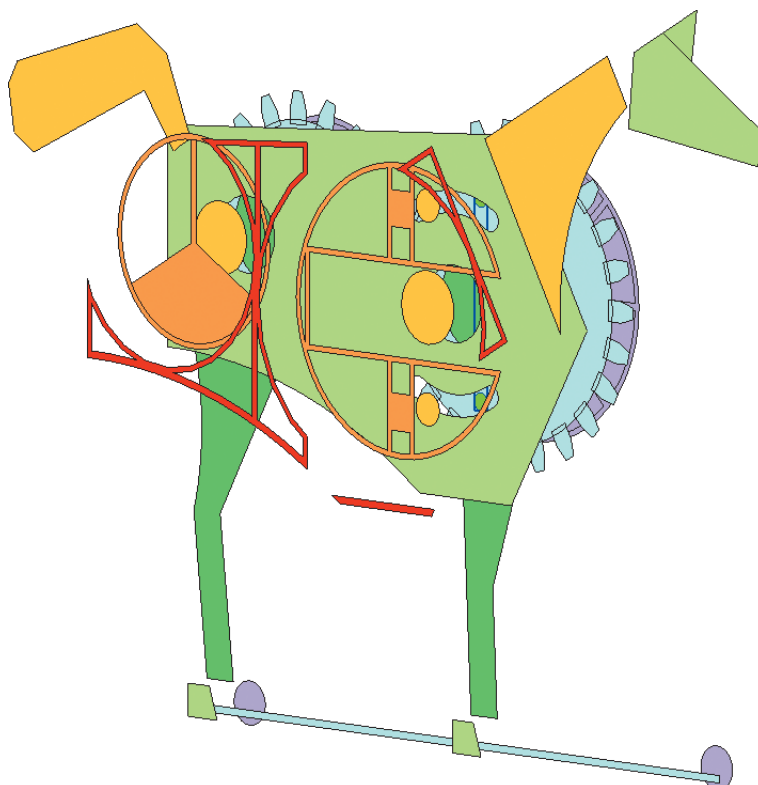
Wie der Körper entstehen auch die meisten Extremitäten des Beispielmodells aus Rechtecken, die mit Linien und Bögen in Form gebracht werden – hier das Hinterbein.

Alle Links im Artikel
auch unter
www.ct.de/cs1120124

Das Modell besteht weitgehend aus per Drücken/Ziehen in die dritte Dimension projizierte 2D-Formen.

Segmenten lassen sich zwar durch „Kanten abmildern“ glätten, das ändert aber nichts an der darunterliegenden Geometrie. Positionieren Sie die zwölfseitigen „Kreise“ per Ableitung so, dass sie oben bündig sind.

Das Plug-in „Involute Gear“ nimmt nur den Radius des Teilkreises entgegen, nicht den Radius des Nutzkreises. Der Teilkreis verläuft auf halber Höhe der Zähne; Nutzkreis heißt der Bereich innerhalb der Zähne. Zudem besteht das Plug-in darauf, seine Räder flach auf den absoluten Nullpunkt des Koordinatensystems zu legen. Die Zahl der Zähne ergibt sich aus dem Größenverhältnis der zu erstellenden Zahnräder. Bei Nutzkreisen mit 80 und 60 Millimeter Durchmesser muss das Verhältnis 4:3 betragen. Bei Rädern mit weniger als 20 Zähnen werden die Zwischenräume so groß, dass die Räder immer wieder haken. Ein guter Kompromiss sind 18 Zähne für das Hinterrad; dementsprechend muss das vordere Rad aus 24 Zähnen bestehen ($18/3 \cdot 4$).



Rotieren Sie mit gedrückter mittlerer Maustaste die Ansicht und drehen Sie die Zahnräder dann auf der grünen Achse um 90 Grad, damit die Ausrichtung wieder stimmt. Um die Zahnräder exakt um den Mittelpunkt zu drehen, kann man entweder die Ableitung nutzen oder einen Führungspunkt mit dem Plug-in „Set Center Point“ (siehe Kasten auf S. 126) setzen. Öffnen Sie mit einem Dreifachklick die jeweilige Gruppe und wählen Sie das darin enthaltene Objekt aus, bevor Sie „Set Center Point“ anwenden: Dann ist der Punkt ein Bestandteil der Gruppe und wandert später bei allen Verschiebungen der Gruppe mit.

In dieser Situation wird es vorkommen, dass sich das Drehwerkzeug bockig weigert, sich entlang der richtigen Achse auszurichten. Erzwingen Sie die gewollte Achse, indem Sie in der isometrischen Ansicht erst auf den Mittelpunkt klicken und dann den Cursor in die Richtung der gewünschten Rotationsachse ziehen, bevor Sie die linke Maustaste loslassen. Ein über den c't-Link aufrufbares Video illustriert das Vorgehen.

„Involute Gear“ erzeugt komplexe Zähne, die schon bei einer einfachen 3D-Extrusion ziemlich viele Polygone ergeben. Relevanter ist aber, dass sich diese Zähne schlecht mit abgeschrägten Kanten versehen lassen. Deshalb sollte man die Zahnräder vereinfacht nachzeichnen. Zuerst muss aber der Output des Plug-ins hochskaliert werden, damit der Kreis im Kern der Räder die erwünschte Größe aufweist. Hier kommen die vorgezeichneten Kreise ins Spiel. Verschieben Sie die Zahnräder erst so, dass ihre Mittelpunkte über denen der Kreise liegen.

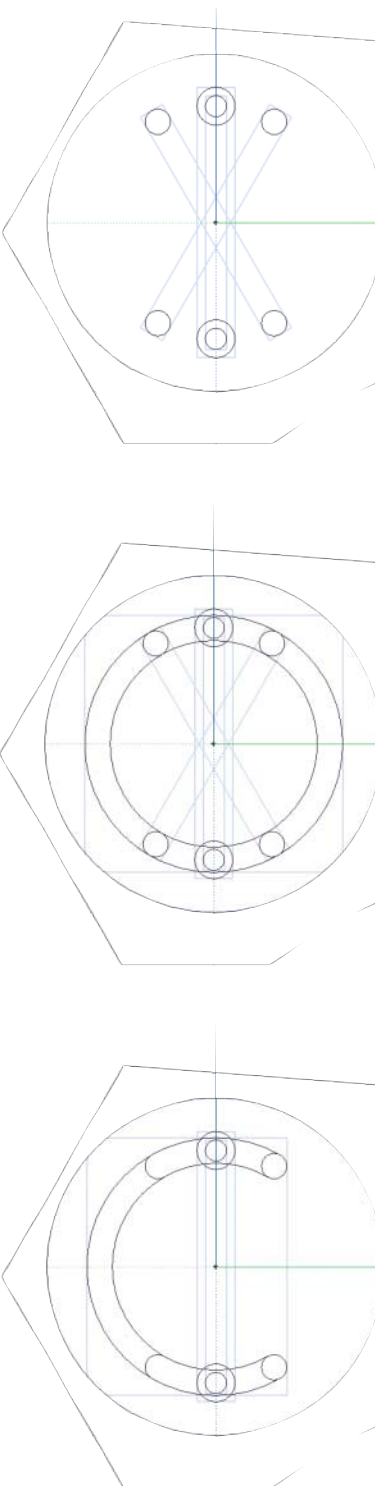
Viele SketchUp-Werkzeuge verändern ihr Verhalten, wenn man zusätzlich die Strg-, Alt- oder Umschalttaste gedrückt hält. Um ein Zahnrad vom Mittelpunkt aus hochzuskalieren, halten Sie die Strg-Taste gedrückt, während Sie es mit dem Skalieren-Werkzeug an einer Ecke größer ziehen. Im Beispiel vergrößert der Faktor 1,1 das große Zahnrad auf die gewünschte Größe; danach wird das kleine um denselben Faktor skaliert.

Beide Zahnräder müssen unbedingt um denselben Faktor skaliert werden, auch wenn der innere Kreis des kleinen Rads nicht ganz den Durchmesser der Vorlage erreicht – sonst passen die Abstände zwischen den Zähnen nicht mehr zueinander. Damit die Zähne wieder auf derselben Höhe liegen, muss das kleine Rad noch einmal nach oben gezupft werden.

Vereinfacht nachgebaut

Jetzt können Sie die beiden Skizzenkreise löschen und die Zahnräder an Ort und Stelle nachbauen. Ziehen Sie dazu in der rechten Standardansicht erst zwei Kreise aus dem Mittelpunkt der vom Plug-in erzeugten Zahnräder aus auf. Sie sollten doppelt so viele Seiten haben wie die Anzahl der Zähne: So besteht der große Kreis aus 48 Seiten, der kleine aus 36. Definieren Sie für den kleinen Kreis einen Radius von 29 mm.

Verkapseln Sie die Kreise einzeln in Komponenten (Bearbeiten/Komponente erstellen...). Generell



Zwei Bolzen verhindern, dass sich die Zahnräder zu weit drehen. Zwei Kreisgruppen werden entlang des Mittelpunkts um 30 Grad nach rechts und links rotiert. Zwei konzentrische Kreise legen den Spielraum der Bolzen fest. Abschließend entfernt man die nicht benötigten Linien mit dem Radiergummi und kopiert sie in die Seitenwände des Pferdebauchs.

empfiehlt es sich, alle mehrfach verwendeten Elemente in Komponenten zu packen, alle temporären oder nur einmal verwendeten Objekte hingegen in Gruppen. Prinzipiell lassen sich Gruppen und Komponenten beliebig ineinander verschachteln.

Als Nächstes muss einer der oberen Zähne nachgezeichnet werden. Ziehen Sie dazu am besten ein 6 mm breites und 5 mm hohes Rechteck auf und verschieben es so, dass sein Mittelpunkt entlang der grünen Achse an derselben Position wie der Mittelpunkt des Zahns liegt. Dann ziehen Sie es auf die Höhe, auf der sich der Zahn in der Vorlage zu verjüngen beginnt. Legen Sie mit dem Maßband drei Führungslinien an: eine um 4,5 mm nach oben, die anderen beiden um 1,3 mm nach innen. Zeichnen Sie den oberen Teil des Zahns anhand der Schnittpunkte dieser Führungslinien nach und entfernen Sie danach die Linie in der Objektmitte.

Bei einer solchen Aufgabe schlägt SketchUp mitunter unerwünschte Ableitungen vor. Will das Linienwerkzeug immer wieder an Endpunkten der Zahnrad-Vorlage einrasten und nicht an den Schnittpunkten der Führungslinien, hilft es, mit dem Mausrad in die Ansicht hereinzuzoomen: Irgendwann rastet der Cursor an der richtigen Position ein.

Löschen Sie die Führungslinien abschließend entweder mit dem Radiergummi oder über „Bearbeiten/Führungen löschen“. Wählen Sie dann den Zahn aus und wandeln ihn in eine Komponente.

Als Nächstes wird der Zahn an dieselbe Position am zweiten Zahnrad kopiert. Drückt man nach Auswahl eines Objekts kurz die Strg-Taste, erzeugt das Verschieben-Werkzeug eine Kopie des ursprünglichen Objekts, statt das Original zu bewegen. Ziehen Sie die kopierte Zahn-Komponente an ihrem oberen Mittelpunkt herüber zum oberen Mittelpunkt des vom Plug-in geschaffenen Zahnrad.

Blenden Sie vorübergehend die vom Plug-in gefertigten Zahnräder aus (Bearbeiten/Ausblenden). Jetzt stehen Sie vor der undankbaren Aufgabe, den Zahn 23-mal entlang des großen und 17-mal entlang des kleinen Kreises kopieren zu müssen. Das geht glücklicherweise viel leichter, als es klingt.

Der schmerzfreieste Weg nutzt das Drehen-Werkzeug. Die Werkzeuge Drehen und Verschieben erzeugen mehrfache Kopien, wenn man nach Druck der Strg-Taste erst eine Entfernung beziehungsweise einen Winkel angibt, die Eingabetaste drückt und dann die Zahl der gewünschten Instanzen angibt. Hier nimmt SketchUp zwei Formate entgegen: „5x“ erzeugt fünf Kopien im festgelegten Abstand oder Winkel; „5/“ erzeugt fünf Kopien, die alle innerhalb des festgelegten Abstands oder Winkels platziert werden.

Wenden Sie auf beide gruppierten Kreise zuerst jeweils „Set Center Point“ an. Wählen Sie dann zuerst den Zahn aus, der das größere Rad überlappt. Klicken Sie mit dem Drehen-Werkzeug auf den Führungspunkt, dann auf den oberen Mittelpunkt des Zahns und betätigen Sie die Strg-Taste, um den Kopieren-Modus zu aktivieren.

Ziehen Sie den kopierten Zahn um einen beliebigen Winkel zur Seite, klicken Sie ins Fenster, geben „360“ ein und betätigen die Eingabetaste.

Auf den ersten Blick scheint die Kopie verschwunden zu sein; in Wirklichkeit liegt sie direkt über dem Original. Tippen Sie „24/“ ein; es erscheinen 23 weitere Kopien. Löschen Sie das Duplikat mit der Entf-Taste. Um das Zahnrad zu gruppieren, umfassen Sie es mit einem Auswahlrechteck und wählen dann die Gruppieren-Funktion. Voilà, das erste Zahnrad ist fertig. Dasselbe widerfährt nun dem anderen Zahn und Kreis, diesmal mit „18/“. In einem Aspekt verhalten sich 3D-Drucker wie SketchUp: Werden die Abstände zu klein, kleben die Objekte zusammen. „Involute Gear“ sieht eigentlich vor, dass die Räder direkt ineinander greifen. 3D-Druckverfahren benötigen jedoch einen Mindestabstand, damit die Objekte getrennt bleiben – wir gehen im Folgenden durchgehend von 0,5 mm aus.

Verschieben Sie das kleinere Rad so entlang der grünen Achse, dass seine linken Zähne die rechten Zähne des großen Zahnrads berühren. Rotieren Sie das kleine Rad dann mal versuchsweise um 1,5 Grad und überprüfen Sie mit dem Maßband, ob die Zähne des einen Rads mindestens 0,5 mm Abstand von denen des anderen haben. Drehen Sie es danach wieder zurück.

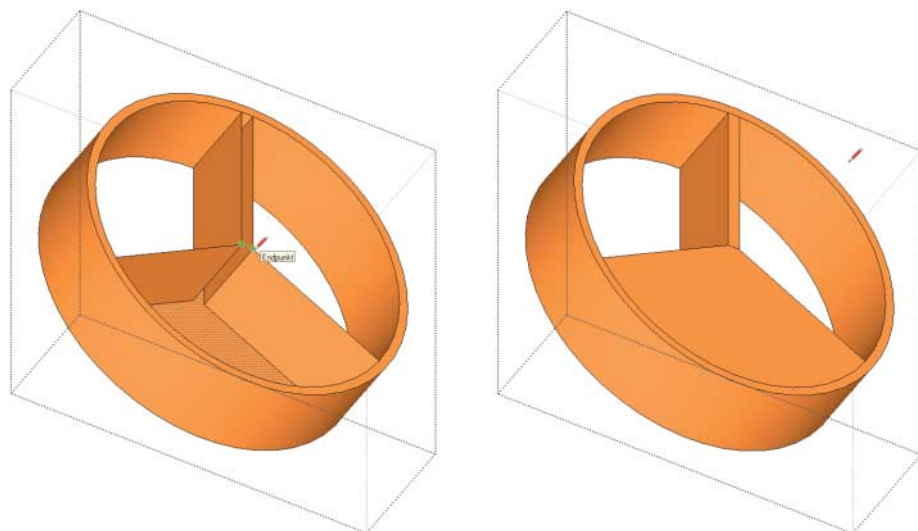
Jetzt fehlt nur noch die Aussparung. Ziehen Sie dazu ein Rechteck mit 25 mm × 75 mm Größe auf und verschieben Sie es so, dass sein linker Mittelpunkt über dem linken Mittelpunkt des großen Rads liegt. Drehen Sie das Rechteck dann entlang des Führungspunkts in der Mitte des Kreises um 30 Grad nach oben. Danach liegt die „Öffnung“ des Rechtecks direkt hinter dem Hals des Pferds.

Verkörperung

Als Nächstes geht es an die Konstruktion des Rumpfs. Hier kann man sich grundsätzlich kreativ austoben; ausschlaggebend sind folgende Faktoren: Der Rumpf muss die inneren Bereiche der beiden Räder unterbringen und das gesamte Modell zusammenhalten; er muss Kontaktpunkte für die Beine und den Hals vorsehen und er muss das Geheimnis des Pferdes bewahren, also die Öffnung für den USB-Stick in der Ausgangsposition.

Das Bild auf Seite 126 zeigt die Eckdaten der Beispielkonstruktion. Die Führungslinien an der Vorderseite wurden mit dem Drehen-Werkzeug um 30 Grad rotiert. Führungslinien lassen sich in SketchUp nämlich genauso drehen wie normale Linien und Objekte: Auswählen und dann entlang des vertikalen Mittelpunkts des Rechtecks um den gewünschten Winkel kippen. Das Rechteck liegt 3 mm vom linken Zahn des großen Rads, damit hier eine Abdeckung der Öffnung im Vorderrad entstehen kann.

Die Maße von Hals, Kopf, Schweif, Hufen und Beinen wurden Pi mal Daumen festgelegt; als Grundlage dienten ein ergoogeltes Pferdefoto und eine Bleistiftskizze. Alle Extremitäten begannen als Rechtecke, die mit den Linien- und Verschieben-Werkzeugen in Form gebracht wurden. Das Verschieben einzelner Endpunkte ist in SketchUp nicht ganz einfach: Hierfür muss man erst mit dem Auswahlwerkzeug an eine leere Stelle innerhalb



Entsteht bei Verwendung des Drücken/Ziehen-Werkzeugs ein Loch im Modell, kann das Linienwerkzeug die Lücke wieder schließen.

der Komponentengrenzen klicken und dann mit dem Verschieben-Werkzeug den Endpunkt auswählen.

Arbeiten Sie während der Gestaltung der Körperteile unbedingt in einer 2D-Standardansicht – oben links im Dokumentfenster muss „Rechts“ oder „Links“ stehen. Beim Arbeiten in einer perspektivischen Ansicht driften Linien und Führungslinien mitunter von den aktiven Achsen weg. Im besten Fall entstehen Phantomlinien, die unverbunden im Raum schweben; im schlimmsten Fall liegen krumme Polygone nicht mehr sauber auf der ausgewählten Ebene.

Fertig gespielt

An dieser Stelle sind alle wesentlichen Entscheidungen gefallen, alle Formen liegen am richtigen Platz – jetzt müssen Sie die Objekte nur noch in die dritte Dimension ziehen und fertig! Ganz so einfach ist es freilich nicht.

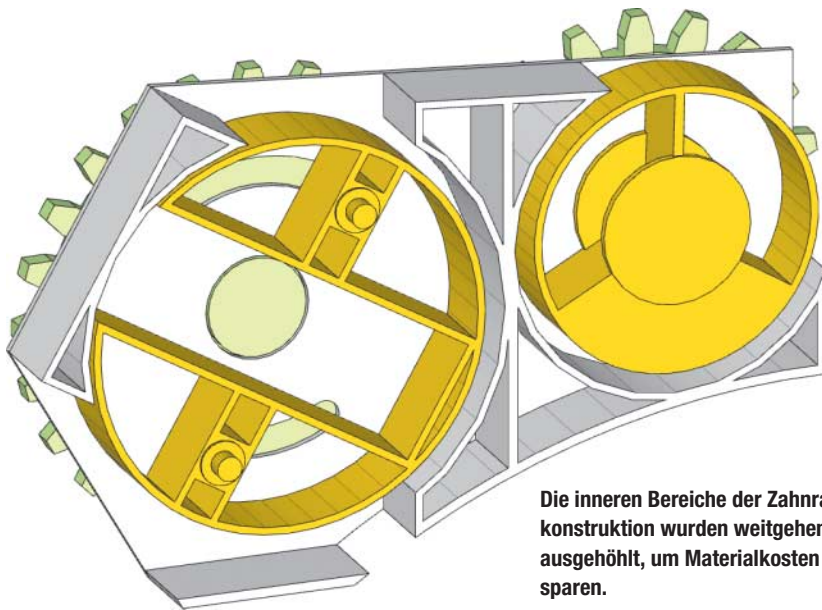
In der Seitenansicht fällt auf, dass einige Flächen weiß sind, andere hingegen blau. Das liegt daran, dass deren Ausrichtung nicht übereinstimmt. Alle Flächen haben grundsätzlich eine Außen- und eine Innenseite. In SketchUp kennzeichnet Blassblau die Innenseite. Besitzen benachbarte Flächen nicht dieselbe Ausrichtung, kommen Werkzeuge wie „Drücken/Ziehen“ und „Äußere Schale“ aus dem Tritt; zudem gibt es Probleme beim 3D-Druck. Vor dem Fortfahren sollten Sie deshalb die Orientierung der verdrehten Flächen angleichen. Öffnen Sie dazu die Gruppen mit den blauen Flächen per Doppelklick, wählen Sie den Inhalt aus (am schnellsten mit Strg+A) und wählen im Kontextmenü „Flächen umkehren“.

Legen Sie nach diesem Schritt unbedingt Kopien aller 2D-Objekte an – insbesondere die Grundformen des Rumpfs und der Zahnräder werden später zur Gestaltung von Aussparungen benötigt. Hierfür gibt es mehrere Ansätze: Man kann die Kopien in einer separaten Datei sichern, alle Objekte auswählen und um einen festen Abstand nach oben kopieren oder die Kopien auf einem

Tipp

2D-Formen sollte man stets in 2D anlegen, also einer der ersten sechs Standardansichten (im Kamera Menü). Das stellt sicher, dass neu gezeichnete Linien in jedem Fall auf der gleichen Ebene bleiben.

Überlappen sich mehrere gruppierte Objekte auf einer Achse, legt SketchUp womöglich dennoch Punkte an der falschen Stelle im Raum an. Hier hilft es, vor der ersten Linie „Ansicht/Komponentenbearbeitung/Rest des Modells ausblenden“ einzuschalten; gegebenenfalls gefolgt von der Option „Ähnliche Komponenten ausblenden“ am selben Ort.



Die inneren Bereiche der Zahnraderkonstruktion wurden weitgehend ausgehöhlt, um Materialkosten zu sparen.

Konstruktions-Layer vorhalten – die Entscheidung ist Geschmackssache.

Nun fehlen noch die 2D-Elemente für die Mechanik im Inneren des Rosses. Zwei Bolzen sollen verhindern, dass sich die Zahnräder zu weit drehen. Zusätzlich verbinden sie die äußeren Zahnräder mit dem im Modellinneren liegenden Rad – eine gemeinsame Achse durch die Mitte geht hier ja nicht, weil dort ja der USB-Stick seinen Platz findet.

Die Bolzen sowie die Aussparung im Körper erzeugt man aus mehreren Kreisen; die Bilder auf Seite 128 illustrieren die zur Konstruktion verwendeten Schritte.

Da viele Druckdienstleister die Preise nach der Menge des verwendeten Baumaterials berechnen; sollte man die Räder so weit wie möglich aushöhlen. Zur Gestaltung dieser Aussparungen kommen gedrehte Führungslinien und das Versatzwerkzeug zum Einsatz. Überstehende Linien entfernt das Plug-in „Stray Lines“ (siehe Kasten).

Im Beispielmodell wurde im Hinterrad ein großer Plastikblock übrig gelassen, um ein Gegengewicht zum daran befestigten Schweif zu bilden. Beim Lasersinter-Verfahren ist diese Vorsichtsmaßnahme unnötig: Die Reibung der spröden Materialoberfläche verhindert, dass das Fach spontan aufklappt. Damit die Reibung nicht allzu groß wird, wurden Unterlegscheiben in die Radteile integriert. Die Kreise hierfür kann man ebenfalls in 2D vorfertigen.

Primär findet die Konstruktion des Körpers später durch eine Kombination der erzeugten 2D-Bausteine statt. Diese überträgt man mit „Kopieren“ und „An dieser Stelle einfügen“ in die Zielkomponenten und Gruppen, woraufhin sie mit diesen Objekten verschmelzen.

Die Datei „Gaulbaukasten.skp“ enthält alle im Pferd verwendeten 2D-Grundflächen. Die Objekte wurden mit 10 mm Versatz zueinander in den Raum gestellt, um sie leichter greifbar zu machen.

Tipp

Der kostenlosen Version von SketchUp fehlen Werkzeuge für Boolesche Operatoren. In der Praxis kann man sich oft mit den vorhandenen Werkzeugen behelfen.

Um beispielsweise aus einer Gruppe oder Komponente eine Kontur auszuschneiden, malt man diese Form auf derselben Ansichtsebene, aber außerhalb der Form, kopiert sie dann in die Zwischenablage, öffnet das Zielobjekt und fügt die Form über „Bearbeiten/An dieser Stelle einfügen“ wieder an derselben Position ein. Berührt die Kontur die Grenzen des Objekts, muss man sie nur noch mit Drücken/Ziehen bis zum Ende des Körpers bewegen. Anderenfalls muss man zuerst zusätzliche Linien ziehen.

Für komplexere Subtraktionen kann man „Bearbeiten/Flächen verschneiden“ verwenden; für Additionen zweckfremdet man „Tools/Äußere Schale“. Der Vorsicht halber erledigt man diese Aufgaben in einem separaten Dokument. Hierfür kopiert man die betroffenen Objekte erst in ein neues Dokument und überträgt das Ergebnis wieder in die ursprüngliche Datei zurück (jeweils mit „An dieser Stelle einfügen“).

Gerüste zu 3D-Körpern

Der Weg in die dritte Dimension beginnt mit den Zahnrädern. Ziehen Sie die zentralen Kreise mit dem „Drücken/Ziehen“-Werkzeug um 5 mm nach außen. Wählen Sie dann einen der Zähne aus und aktivieren Sie im Ansicht-Menü „Komponentenbearbeitung/Rest des Modells ausblenden“. Wird der Zahn um 4 mm nach außen gezogen, blähen sich alle anderen Instanzen gleichzeitig auf.

Wählen Sie mit einem Doppelklick die Vorderseite des Zahns mitsamt seiner Kanten aus, deaktivieren Sie mit Strg+Umschalt+Auswahl die Fläche und die untere Linie und aktivieren Sie dann das Versatz-Werkzeug. Erzeugen Sie einen Versatz von 1 mm nach innen.

Um die innere Fläche jenseits der aktiven Ebene zu verschieben, drücken Sie die Alt-Taste. Sie aktiviert die Funktion „Automatisches Falten“. Dabei erzeugt SketchUp neue Polygone, damit die Fläche mit dem Rest des Objekts verbunden bleibt. Verschieben Sie die Innenfläche entlang der roten Achse um 1 mm – danach haben die Zähne eine Fase, die zum Radinneren bündig ist.

Die Rückseite der Radscheiben wird um 0,5 mm dünne Unterlegscheiben sowie eine Achse ergänzt. Beim großen Rad reicht die Achse mit einer Tiefe von 2 mm nur bis in die Außenwand des Pferdebauchs hinein. Beim kleinen Rad muss die Achse 3 mm tief sein, um ins innere Rad zu greifen. Für die dazu benötigten Konturen zeichnet man entweder Kreise ein oder erzeugt sie mit dem Versatzwerkzeug.

Die Außenseite der Zahnräder lässt sich mit Speichen verzieren – das spart zum einen Material, zum anderen sehen sie dann eleganter aus. Die Speichen entstehen anhand gedrehter Führungslinien mit dem Linienwerkzeug. Danach verschiebt man die tortenstückförmigen Innenbereiche mit Drücken/Ziehen um 3,5 mm nach innen; so bleibt die Mindestwandstärke von 1,5 mm erhalten. Die Mitte der Nabe darf man mit 6 mm etwas tiefer eindrücken – in der Gegenrichtung ragt an dieser Stelle ja die Achse heraus.

Mitunter entstehen beim Drücken/Ziehen an einer Seite ungewollte Löcher – oft liegt das an falsch ausgerichteten Flächen. Meist lassen sich die Löcher mit dem Linienwerkzeug beseitigen: Zeichnen Sie Verbindungen entlang der Ränder, die vorhin bedeckt waren, bis SketchUp die Fläche wieder füllt. Danach kann man die zusätzlichen Linien wieder wegradieren; die Fläche bleibt. Verschwindet die Fläche beim Löschen der Hilfslinien wieder, sind Endpunkte von ihrer gemeinsamen Ebene abgekommen – diese muss man mit dem Verschieben-Werkzeug wieder ins Lot bringen.

Damit die inneren Räder mit den äußeren zusammenfinden, müssen sie miteinander verbunden werden. Beim vorderen Rad ragen die 3,5 mm dicken Bolzen aus dem Innenteil in den Außenbereich hinein. Beim hinteren Innenrad fügt man an beiden Seiten Unterlegscheiben an, die 0,5 mm nach außen ragen und 1 mm nach innen – insgesamt die Mindestwandstärke.

Auch für die Außenwand des Pferdebauchs reichen 1,5 mm Dicke. Verstrebungen vorne, unten und in der Mitte halten die Außenseiten zusammen. Damit sie die Drehung der inneren Räder nicht behindern, sollten die Streben einen Abstand von mindestens 1 mm einhalten. Beim Drücken/Ziehen der Verstrebungen errechnet man die benötigte Tiefe folgendermaßen: Innenräder + Unterlegscheiben + Sicherheitsabstände = 17 mm.

Symmetrische Extremitäten

Hals, Kopf und Schweif entstehen nach Gusto. Da die Objekte symmetrisch sein sollen, arbeitet man am effektivsten mit zwei gespiegelten Komponenten. Kopieren Sie zunächst die flache Komponente des Halses mit dem Verschieben-Werkzeug entlang der roten Achse an die andere Seite des Rumpffinnenbereichs. Wenden Sie die Kopie dann in die Gegenrichtung, indem Sie im Kontextmenü der Komponente „Spiegeln entlang/Rote Komponentenachse“ wählen. Alles, was Sie von nun an an einer Hälfte des Halses bauen, entsteht automatisch auch auf der anderen Seite.

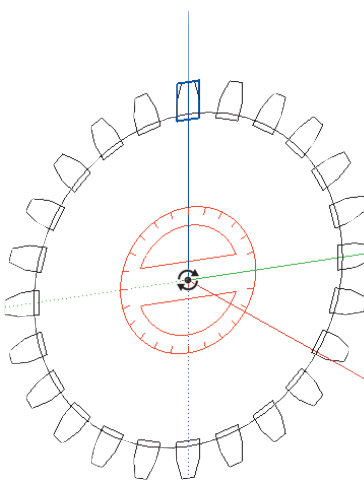
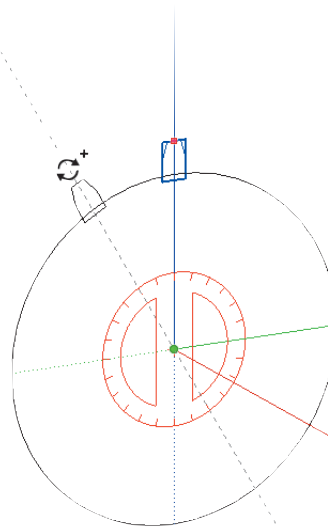
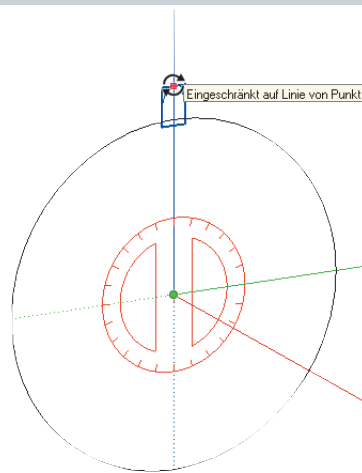
Damit sich der Kopf vom Hals abhebt, wird er geringfügig breiter modelliert. Das Augenlid entsteht im Wesentlichen wie die Zähne der Zahnräder; das Nasenloch nahm seinen Anfang als Parallelogramm, aus dem mit dem Linienwerkzeug unten eine Kerbe herausgeschnitten wurde. Deren mittlere Linie wurde nach außen kopiert und Strich für Strich mit dem Linienwerkzeug mit der Umgebung verbunden.

Der Schweif stellt abermals höhere Anforderungen: Die Abrundung an den Rändern beginnt wieder mit dem Versatzwerkzeug. Die dadurch entstandenen Linien enden jedoch nicht an den Kanten der Flächen; diese Strecke muss man mit dem Linienwerkzeug per Hand ergänzen. Hier helfen abermals Führungslinien. Nach dem Verschieben mit automatischer Faltung werden abermals handgezeichnete Linien nötig; sonst bildet das Objekt keine Volumenkomponente.

Bevor es mit dem Modellieren weitergeht, kann man die bereits vollendeten Komponenten entlang der roten Achse an ihre endgültigen Positionen verschieben. Bei der Gelegenheit erzeugt man auch gespiegelte Kopien der Zahnradkomponenten und des Seitenteils; diese spiegelt man dann wie oben für den Hals beschrieben.

Damit der Versatz aller Teile stimmt, fixieren Sie erst die Achse mit der Pfeil-nach-rechts-Taste, rasten die Komponente dann an einem passenden Endpunkt ein und verschieben sie zuletzt um die nötigen Millimeter weiter.

Die meiste Arbeit bereiten die Beine. Integrieren Sie deren Formen zunächst in den Außenbereich des Pferdebauchs. Dazu öffnen Sie die Gruppe mit der Kontur für das Bein, schneiden ihren Inhalt aus und fügen diesen dann in die Komponente mit den Seitenwänden des Rumpfs. Verdicken Sie die Beine erst nach innen auf die obligatorischen 1,5 mm und erzeugen Sie dann Stützen mit



Mit den richtigen Schritten erstellt das Drehen-Werkzeug perfekt angeordnete Kopien des Urzahns.

einer Zwischenstrebe auf halber Beinhöhe. Hier ist Platz für Verkünstelungen – wobei aber zu beachten ist, dass die Beine nicht in die Zahnräder ragen dürfen.

Die Hufe sind nach hinten und nach unten U-förmig. Sie stehen auf einer Plattform, die nicht viel mehr als ein dünner, langgezogener Quader ist. Die Radachsen bestehen aus Kreisen, die mehrfach mit dem Versatzwerkzeug skaliert und in die Tiefe gezogen werden.

Wasserdichte Körper

Als Nächstes werden die großen Räder so positioniert, dass sie sich möglichst gut drucken lassen und überschüssiges Material einen Weg nach außen findet. Hierfür werden die großen Räder um 30 Grad nach vorn gedreht, die kleinen mitsamt Schweif erst um 60 Grad nach hinten, dann nochmal um weitere 1,5 Grad, damit die Zähne einander nicht berühren.

Abschließend werden alle miteinander verbundenen Objekte miteinander verschmolzen, sodass das Ergebnis wasserdicht ist – das ist beim 3D-Druck eine Grundvoraussetzung. Zum Verschmelzen bietet SketchUp die Funktion „Tools/Äußere Schale“. Diese verarbeitet allerdings nur Volumenkörper und akzeptiert auch keine Verschachtelungen. Zuerst gilt es also zu überprüfen, ob alle verwendeten Gruppen und Komponenten tatsächlich Volumenkörper sind. Diese Information steht im Schwebefenster „Fenster/Elementinformationen“.

Die Wahrscheinlichkeit ist groß, dass beim Modellieren verborgene Linien und innenliegende Polygone übrig bleiben. Auch entstehen immer mal wieder falsch ausgerichtete Flächen. Komplexe Probleme findet man am besten durch einen Export ins STL-Format (siehe Kasten auf S. 132), um die Fehler mithilfe eines externen Programms aufzuspüren.

Das kostenlose Analysewerkzeug „VisCAM View“ gibt sehr anschauliche Ergebnisse aus: Ecken ohne Verbindung und überzählige Flächen erscheinen an Ort und Stelle mit gelben Umrissen. Mit gedrückter linker Maustaste ortet man schnell die genaue Lage des Übeltäters, um anhand dieser Information in SketchUp die nötigen Korrekturen vorzunehmen.

Einfache Probleme kann man auch direkt in SketchUp mit den Plug-ins „Stray Lines“ und „fixSolid“ lösen. „Stray Lines“ entfernt Linien, die keine Fläche abschließen – mehr dazu im Kasten. fixSolid klopft gruppierte Objekte nach bekannten Problemen ab und versucht, sie zu beseitigen. Gelegentlich gelingt es fixSolid erst im zweiten Anlauf, ein Objekt zu reparieren.

Produziert fixSolid unerwartete Ergebnisse oder zerstört das gruppierte Objekt komplett, liegt dies nicht zwingend an schwerwiegenden Geometriefehlern. Achten Sie zunächst darauf, dass im Dialog „Fenster/Kanten abmildern“ der Winkel „zwischen den Normalen“ auf 0,0 Grad steht und die Option „Normale glätten“ inaktiv ist; geglättete Kanten bringen das Plug-in mitunter aus dem Takt. Auch

überstehende Linien können fixSolid aufstoßen – also unbedingt zuerst „Stray Lines“ anwenden.

Wenn sowohl „Äußere Schale“ als auch fixSolid nur destruktiv wirken, muss man den bereits beschriebenen Weg über VisCAM View gehen. Programme wie netfabb Studio Basic bieten zwar die Option, Objektfehler automatisch zu korrigieren, doch müsste man das Ergebnis dann über den Umweg des 3D-Formats in SketchUp zurückimportieren. Händische Korrekturen sind da meist einfacher. Der Flächenstil „Röntgen“ hilft bei der 3D-Forensik: Damit kann man ins Modell hineinsehen, ohne Außenflächen auszublenden.

Steht in den Elementinformationen bei allen Gruppen und Komponenten, es handele sich um eine „Vol.-Körperkomp.“ oder „Vol.-Körpergruppe“, kann man damit anfangen, die Objekte miteinander zu verschmelzen. Zuerst sind die beiden großen Räder dran: Lösen Sie zuerst die Gruppierung der Zähne auf und verbinden Sie dann jeden Zahn einzeln (!) mit dem innenliegenden Rad. Abkürzungsversuche quittiert SketchUp 8 mit bizarren Berechnungsfehlern. Vergeben Sie für „Äußere Schale“ am besten ein Einhand-Tastenkürzel, bewährt hat sich Strg+Umschalt+Q.

Im nächsten Schritt werden die äußeren Zahnräder mit dem dazwischenliegenden Mittelrad verschmolzen. Beim großen Rad geht dabei unglück-

licherweise der Volumenkörper-Status verloren – das liegt an den Verbindungsbolzen. Blenden Sie auf der Speichenseite einige Flächen aus, löschen Sie die Abdeckung der Bolzen per Hand, machen Sie alle Flächen wieder sichtbar und wenden Sie dann fixSolid an.

Die Kopf-, Hals- und Schweißhälfen sollten ohne Probleme verschmelzen. Bei der Kombination komplexer Formen entstehen jedoch immer wieder unbrauchbare Gruppen. Diese muss man mit VisCAM View und viel Geduld und Spucke wieder zu Volumenkörpern machen.

Ist es endlich vollbracht, können Sie das Modell mit dem „Sketchup to DXF or STL plugin“ exportieren. Stellen Sie vorher sicher, dass die Modelleinheiten auf Millimeter oder Zoll gesetzt sind: Die meisten 3D-Druckanbieter unterstützen nur diese beiden Formate. (ghi)



www.ct.de/cs1120124

Schneller modellieren

Die Bedienung von SketchUp setzt eine Tastatur und Maus voraus, wobei die Maus ein Rollrad mit Mittelknopffunktion bieten sollte. In Verbindung mit den Tasten Strg, Alt und Umschalt ändert sich die Wirkung der meisten Funktionen: Bei gedrückter Strg-Taste kopieren die Werkzeuge zum Drehen und Verschieben die ausgewählten Objekte; Alt-Verschieben erzeugt zusätzliche Flächen (SketchUp nennt das „automatisches Falten“). Zur Nutzung der „Ableitung“ (siehe Haupttext) ist die Umschalttaste in jedem Fall unverzichtbar.

Rechtshänder haben bei der SketchUp-Bedienung die Rechte auf der Maus, die andere Hand liegt auf dem linken Drittel der Tastatur. Blind kommen die Finger bis zu 5, t, g und v; für alle Tasten jenseits dieses Bereichs muss man kurz auf die Tastatur gucken. Numerische Angaben erledigt man am besten über den Ziffernblock. Unglücklicherweise positioniert SketchUp einige essenzielle Tastenkürzel außerhalb dieses Bereichs. Andererseits bleiben diverse blind erreichbare Tasten unbelegt.

Die Anpassung der Tastenbelegung findet über Fenster/Voreinstellungen/Tastenkürzel statt. Das Feld „Filter“ reduziert die Zahl der angezeigten Funktionen; „Kame“ führt zum Beispiel zu allen Kamerafunktionen. Jetzt heißt es, Belegungen zu finden, die sich blind bedienen lassen und die man sich mittels Eselsbrücken merken kann. Ein Beispiel: „q“ aktiviert das „Drehen“-Werkzeug. Das merkt man sich am besten anhand des großen Q – dieser Kreis mit einem Strich sieht doch aus wie ein Drehregler.

Bei der Entstehung dieses Modells wurden vor allem die folgenden Funktionen genutzt: Drehen, Verschieben, Drücken/Ziehen, Versatz; Linie, Kreis, Rechteck; Komponente erstellen, Gruppe; Standardkameras: Vorn, Oben, Rechts, Links, Iso. Um nach einem

Fehler nicht ganz von vorn beginnen zu müssen, sollte man neben Speichern auch „Speichern unter“ und „Kopie speichern unter“ mit Kürzeln belegen. Weitere wichtige Funktionen für die 3D-Konstruktion: Ausblenden, Ausgeblendete Geometrie anzeigen, Einblenden/Ausgewählte. Darüber hinaus ist der Röntgenblick extrem nützlich, um sich einen Überblick über das Innenleben der Polygone zu verschaffen (Ansicht/Flächenstil/ Röntgen).

Für all diese Funktionen sollten Sie Tastenkürzel anlegen, die Sie persönlich intuitiv finden. Probieren Sie ruhig unterschiedliche Ansätze aus: Auf Dauer verliert mehr Zeit, wer sich auf die Nutzung der vorgegebenen Kürzel beschränkt – zumal einige Vorgelegungen sehr unpraktisch sind. So zieht SketchUp für Drücken/Ziehen etwa „p“ vor – am rechten Rand der Tastatur, tief im Abseits. „y“ liegt besser. Als Eselsbrücke dient hier, dass ein Y ein V ist, dessen unterer Punkt langgezogen wurde. Auch Verschieben ist mit „m“ suboptimal vorbelegt; eine gute Alternative ist „v“.

Tastenkombinationen können gern auf bestehenden Vorgaben aufbauen. Da Strg+s „Datei speichern“ aufruft, empfehlen sich Strg+Umschalt+s für „Speichern unter“ und Strg+Alt+Umschalt+s für „Kopie speichern unter“. Da „g“ die aktive Auswahl zu einer Komponente macht, bietet sich Strg+g zum Gruppieren an (und Strg+Umschalt+G für „In Einzelteile auflösen“). Analog kann man auch die Kamera-Standardansichten belegen: Wenn Sie Stg+1 für „Vorne“ vergeben, passt Strg+Alt+1 für „Hinten“ usw.

Im c't-Link finden Sie eine Beispielkonfiguration, die sich während der Erstellung des in diesem Artikel beschriebenen Modells bewährt hat.

ct