3D-Modellierungssoftware - Ein Marktüberblick

CEDIFA Arbeitsbericht 6

07.08.2013

Jochen Olbrich, Marco Wirth

Zusammenfassung

Bevor Objekte durch 3D-Druck hergestellt werden können, müssen sie mithilfe einer 3D-Modellierungssoftware erstellt werden. Da es am Markt viele Softwareangebote gibt, die dazu in der Lage sind, müssen diese zunächst verglichen werden. Diese Arbeit erläutert einige Grundlagen zu den Themen 3D-Druck und 3D-Modellierungssoftware. Des Weiteren werden Funktionen der 3D-Modellierungssoftware und Modellierungsmethoden näher erläutert. Nach dem Vorstellen einiger ausgewählter Softwareprodukte werden die Vor- und Nachteile der jeweiligen Produkte gegenübergestellt. Bei der Bewertung der Software ist besonders der Funktionsumfang und die Komplexität der Bedienung entscheidend, sowie die mögliche Qualität der Modellierung. Bei umfangreicher Software kann die Einarbeitungszeit bis zu drei Monate dauern, bis eine produktive Nutzung möglich ist, zudem können die Lizenzen sehr teuer sein. Die vorgestellte Software aus den Bereichen der browserbasierten oder mobilen Anwendungen zeichnen sich durch eine einfache Bedienung aus, erlauben aber nur eine Modellierung mithilfe von Standardobjekten. Der Nutzer muss entscheiden, welche Ansprüche er an die Software stellt. Für einfache 3D-Modellierung reicht Shapesmith aus, aber für genaue 3D-Konstruktionen sollte auf eine Software zurückgegriffen werden, welche die NURBS-Modellierung unterstützt, beispielsweise Maya.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 3
2 3D-Druck 4
2.1 Definition 4
2.2 Grundlagen 4
2.3 Formate 5
3 3D-Modellierungssoftware 6
3.1 Grundlagen 6
3.1.1 Rendern 6
3.1.2 Modellierung 6
3.2 Kostenlose Softwareangebote 9
3.2.1 Blender 9
3.2.2 Autodesk 123D 11
3.2.3 Tinkercad 12
3.2.4 Shapesmith 12
3.3 Kostenpflichtige Softwareangebote 12
3.3.1 3ds Max 12
3.3.2 Maya 14
3.3.3 Cinema 4D 16
4 3D-Druck 18
4.1 Definition 18
4.2 Grundlagen 18
4.3 Formate 19
4.4 Übersicht und Vergleich 20
5 Schlussfolgerung 23
Literaturverzeichnis 25
ber die Autoren 28
Kontakt 29

1 Einleitung

Die neuen Möglichkeiten, mithilfe von 3D-Druckern dringend benötigte Ersatzteile für Maschinen oder sogar menschliche Organe innerhalb weniger Stunden herzustellen, begeistern viele Menschen und lassen die Entwicklung in diesem Bereich weiter voranschreiten.

Damit etwas gedruckt werden kann, muss es zunächst am Computer modelliert werden, dafür wird eine 3D-Modellierungssoftware verwendet. Hierbei steht eine Vielzahl von Softwareprodukten auf dem Markt zur Verfügung. Diese Arbeit soll einen Überblick über die am Markt existierenden Softwarelösungen liefern und ausgewählte 3D-Modellierungssoftware-Produkte gegenüberstellen.

Das Kapitel Zwei beginnt mit einer Definition des Begriffs 3D-Druck und erklärt die Wortherkunft und die ursprüngliche Verwendung. Anschließend werden einige Grundlagen über den 3D-Druck vermittelt. Am Ende des zweiten Kapitels werden unterschiedliche Dateiformate erläutert und es wird hervorgehoben, weshalb die Unterstützung von Standardformaten wie STL für 3D-Modellierungssoftware wichtig ist.

Zu Beginn des dritten Kapitels werden die Funktionen von 3D-Modellierungssoftware und die unterschiedlichen Modellierungsmethoden aufgeführt und erläutert. Eine damit verbundene Gegenüberstellung der Modellierungsmethoden zeigt die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methoden auf. Ab Unterpunkt 3.2 beginnt die eigentliche Marktübersicht, welche in kostenlose und kostenpflichtige Softwareangebote eingeteilt ist. Die Entstehungsgeschichte ist bei vielen Softwareangeboten interessant, da viele dieser Produkte ursprünglich für Animationen in Filmen und Computerspielen konzipiert wurden. Bei der Vorstellung der Produkte wird auf Voraussetzungen und Kosten eingegangen und Meinungen zu Funktionsumfang und Qualität werden wiedergegeben. Eine Übersicht und ein Vergleich der zuvor vorgestellten Softwareprodukte erfolgt in Unterpunkt 3.4. Die in zwei Tabellen aufgeteilten Produkte unterscheiden sich wie folgt: In Tabelle 1 befinden sich Produkte zur 3D-Modellierung, welche über einen hohen Funktionsumfang verfügen, hierbei handelt es sich um Software, welche unter Windows, Linux oder Mac funktionsfähig ist. Die zweite Kategorie sind Produkte, welche für mobile Endgeräte oder für Browser entwickelt wurden, diese werden in Tabelle 2 aufgeführt. Beim Vergleich der Produkte wird deutlich, welche Eigenschaften besonders wichtig sind und wie sich ein hoher Funktionsumfang auf die Komplexität der Bedienung auswirkt. Zuletzt werden die Vor- und Nachteile der Produkte nochmals aufgeführt und die Softwarelösungen miteinander verglichen. Dabei kommt es auch zu einem Vergleich zwischen den beiden Kategorien, beziehungsweise den beiden Tabellen. Mit dem vierten Kapitel wird die Arbeit beendet und eine Schlussfolgerung sowie ein Fazit abgegeben.

2 3D-Druck

In diesem Kapitel wird beschrieben, was unter dem Begriff 3D-Druck verstanden wird und woher dieser kommt. Des Weiteren wird der Verwendungszweck dieser neuen Technologie erwähnt und darauf eingegangen, welche Voraussetzungen für einen erfolgreichen 3D-Druck erfüllt sein müssen. Hierbei liegt der Fokus auf den benötigten 3D-Modellen und deren Anforderungen. Zuletzt werden oft verwendete Formate und deren Vor- und Nachteile behandelt, sowie häufige Fehlerquellen bezüglich der Formate erläutert.

2.1 Definition

Der Begriff 3D-Druck beschreibt ein Fertigungsverfahren, welches auf Basis eines dreidimensionalen Modells Objekte schichtweise fertigen kann. Dabei kann jedes beliebige Objekt gedruckt werden, solange es vorher modelliert wurde, beispielsweise selten genutzte Bauteile. Das Verfahren, welches im Allgemeinen als 3D-Druck bezeichnet wird, ist genau genommen eines von vielen sogenannten „Rapid-Prototyping-Verfahren“. Der Name entstand aus den Anfängen dieser noch jungen Technologie, denn das Verfahren wurde primär für die schnelle und kostengünstige Erstellung von Mustern oder Prototypen genutzt - somit konnten neu entworfene Produkte schon nach wenigen Stunden materialisiert und präsentiert werden. Da alle Rapid-Prototyping-Verfahren auf Basis von Datenmodellen erfolgen, werden sie auch als generative Fertigungsverfahren bezeichnet. Eine weitere Besonderheit dieser Verfahren ist, dass keine zusätzlichen Werkzeuge benötigt werden und keine Gussformen bereitgestellt werden müssen. Aufgrund dessen ist es problemlos möglich, unterschiedliche Bauteile hintereinander zu fertigen, ohne ein Werkzeug oder eine Einstellung am Drucker zu verändern (Fastermann 2012, 4f.; Zäh 2006, 9f.; Bopp 2010, 1).

2.2 Grundlagen

Die Grundlage eines 3D-Drucks ist, wie bereits erwähnt, ein dreidimensionales Datenmodell. Hierbei wird die weit verbreitete CAD-Zeichentechnik genutzt. Für die Erstellung eines 3D-Modells gilt, dass es sich dabei um ein sogenanntes Volumenmodell handeln muss. Ein Volumenmodell besteht nicht nur aus der Beschreibung von Kanten, sondern auch aus einer kompletten Beschreibung der Oberflächen eines Modells. Des Weiteren muss es immer eine klare Innenseite und eine klare Außenseite geben, da das Modell ansonsten für den Drucker nicht logisch erscheint und der Druckvorgang durch eine Fehlermeldung verweigert wird (Fastermann 2012, 7 und 11).

Nach Ansicht von Fastermann (2012, 12) kann ein Volumenmodell mit einem Pullover verglichen werden, welcher mit Wasser gefüllt ist. Solange der Pullover Öffnungen für Ärmel usw. besitzt, werde das Wasser herauslaufen und es gebe keine geschlossene Oberfläche, deshalb existiert auch der Begriff wasserdichtes Modell. Liegt wie in diesem Fall kein gültiges

Volumenmodell vor, kann das Modell nicht gedruckt werden, denn ein 3D-Drucker kann nur die zuvor modellierten Flächen mit Druckmaterial füllen (Fastermann 2012, 12).

Bei einem Druckvorgang wird das digitale Modell zunächst in dünne Scheiben zerteilt und danach materialisiert der Drucker das Modell schichtweise zum vollständigen Objekt; dieser Vorgang wird auch Slicing genannt. Bei diesem Vorgang können Fehler, wie beispielsweise fehlende Außenflächen, zu Problemen führen und das gedruckte Objekt hätte keine gute Qualität. Fehler können nicht nur bei der Modellierung entstehen, sondern auch durch die Übertragung in ein anderes Format. Diese Übertragung ist notwendig, da 3D-Drucker nicht direkt mit den in CAD erstellten Modellen arbeiten können. Eine weit verbreitete Schnittstelle zwischen CAD-Software und 3D-Drucker ist hierbei das STL-Format (Fastermann 2012, 7-11 und 13).

2.3 Formate

Für 3D-Modelle gibt es eine hohe Anzahl von Exportformaten, wie beispielsweise VRML, in denen die modellierten Objekte gespeichert werden. Dabei ist zu beachten, dass 3D-Drucker nur bestimmte und je nach Anbieter verschiedene Formate verwenden können. Hierbei kommt das Format STL zum Einsatz, welches sich mittlerweile als Industriestandard etabliert hat und welches von jedem 3D-Drucker unterstützt wird (Fastermann 2012, 7f.). „Die Abkürzung STL steht – je nach Lesart – entweder für SurfaceTesselationLanguage oder StandardTriangulationLanguage.“ (Fastermann 2012, 7) Diese Bezeichnung lässt bereits vermuten, dass das Format auf Triangulation basiert, das heißt, die zuvor modellierten Flächen werden nun in Dreiecksfacetten umgewandelt. Danach werden die drei Eckpunkte eines jeden Dreiecks gespeichert. Darüber hinaus wird noch eine Flächennormale gespeichert, welche anzeigt, ob es sich um eine Innen- oder Außenseite handelt. Je nach Auflösung kann eine gleich große Fläche in unterschiedlich viele Facetten aufgeteilt werden. Dabei ist zu beachten, dass mit Zunahme der Dreiecke zwar die Qualität steigt, aber gleichzeitig auch der Speicherbedarf zunimmt. Deshalb sollte die Facettenanzahl je nach Anforderung für das Modell angepasst werden. Gerade im Fall von Objekten mit Rundungen oder Krümmungen entstehen bei zu niedriger Auflösung Rundungen mit vielen kleinen Ecken. Auch bei einer Vergrößerung des Modells entstehen bei zu geringer Auflösung Ungenauigkeiten, welche später bei dem gedruckten Objekt vorzufinden sind. Als Alternative gibt es gegenüber der Triangulation auch die Möglichkeit, die Flächen mithilfe von mathematischen Funktionen zu erfassen, wie beispielsweise durch Splines. Zwei bekannte Formate, welche sich dieser Funktionen bedienen sind IGES und STEP. Der Vorteil dieser Formate ist, dass die Qualität der Rundungen selbst beim Vergrößern nicht sinkt (Fastermann 2012, 7ff.).

3 3D-Modellierungssoftware

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundlagen einer 3D-Modellierungssoftware vermittelt und dazu erläutert, über welche Funktionen sie verfügen. Hierbei liegt der Fokus auf den Funktionen für die Modellierung von 3D-Objekten und nicht auf Funktionen zur Erstellung von Effekten. Es werden verschiedene Modellierungsmethoden dargelegt und ihre Vor- und Nachteile gegenübergestellt. Anschließend wird auf einige ausgewählte Softwareprodukte, die am Markt vertreten sind, eingegangen. Dabei wird in kostenlose und kostenpflichtige Software unterschieden. Zuletzt erfolgt eine Übersicht und ein Vergleich der vorgestellten Softwareprodukte.

3.1 Grundlagen

In der heutigen Zeit begegnen uns täglich Bilder, die in der Realität nur schwer oder unmöglich vorkommen können. In fast jeder TV-Produktion und in der Werbung werden mittlerweile Programme zur Erstellung von 3D-Grafiken verwendet (Immler 2004, 23). Die unten angeführten Unterkapitel 3.2 und 3.3 verdeutlichen, dass die meisten 3D-Modellierungsprogramme aus dem Bereich der Filmindustrie oder der Entwicklung von Computerspielen kommen. Eine der wichtigsten Funktionen dieser Programme ist neben der eigentlichen Modellierung die Umwandlung der Objekte in realitätsnahe Bilder, dies wird als Rendern bezeichnet.

3.1.1 Rendern

Das sogenannte Rendern von 3D-Modellen führt durch eine nachträgliche Bearbeitung zu einem Hinzufügen von echteren Farben und Schatten. Auch viele weitere Lichteffekte, Schärfeeinstellungen und Farbübergänge können realitätsnah hinzugefügt werden. Gerade für Kataloge oder im Marketingbereich ist es wichtig, durch gute Render-Funktionen ein beeindruckendes Bild zu bekommen (Sommer 2007, 281). Für einen dreidimensionalen Druck von Modellen ist das Rendern nicht notwendig, da hier, wie in Kapitel 2 beschrieben, ein Volumenmodell benötigt wird und kein Objekt mit Licht- und Schatteneffekten. Die entscheidende Funktion für den 3D-Druck ist folglich die Modellierung.

3.1.2 Modellierung

Für das Modellieren von 3D-Objekten existieren unterschiedliche Ansätze, auf der einen Seite gibt es Techniken, die auf dem Einsatz von mathematischen Funktionen basieren wie NURBS, und auf der anderen Seite Techniken, die auf großen Ansammlungen von Polygonen basieren. Eine Technik namens „HyperNURBS“ ermöglicht es Polygonen einige Vorteile der NURBS-Modellierung zu übernehmen und Nachteile auszugleichen.

3.1.2.1 NURBS

Eine Modellierungsmethode, die nicht nur sehr leistungsfähig, sondern auch relativ einfach funktioniert, ist unter dem Namen NURBS bekannt. NURBS steht für Non-Uniform Rational B-Splines und ist gegenüber der Polygon-Modellierung eine deutlich modernere Technik. Wie schon in Punkt 2.3 behandelt, gibt es mathematische Funktionen, wodurch Objekte mithilfe von Kurven modelliert werden können. Diese Kurven werden als Splines bezeichnet und setzen sich aus Punkten und Tangenten zusammen. „Um nun aus diesen Kurven dreidimensionale Objekte zu erzeugen, werden Generatoren benötigt. Durch Extrusion, Rotation, Morphing und Pfadverschiebung entstehen mittels dieser Generatoren die entsprechenden 3D-NURBS-Objekte.“ (Asanger 2003, 58) Mithilfe von Splines kann ein Nutzer einen Pfad generieren, dieser kann sowohl dazu dienen ein Objekt zu erzeugen, als auch die Ausrichtung eines solchen zu bestimmen. Des Weiteren werden sie auch bei Animationen eingesetzt. Die Punkte am Anfang und am Ende sind farblich markiert und lassen sich somit in ihrer Richtung bestimmen (Asanger 2003, 58). Unter den Splines gibt es viele verschiedene Typen und es wird auch zwischen offenen und geschlossenen Splines unterschieden (Asanger 2003, 58f.; Bricsys NV. 2013a).

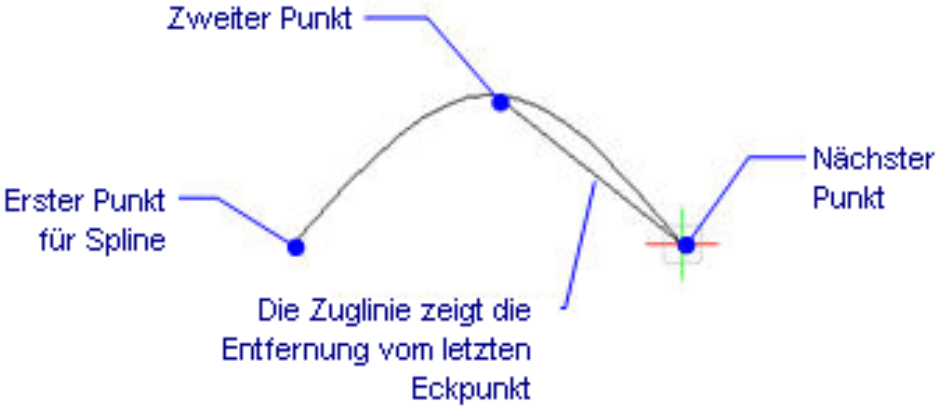

Abbildung 1: Offener Spline (Bricsys NV. 2013b)

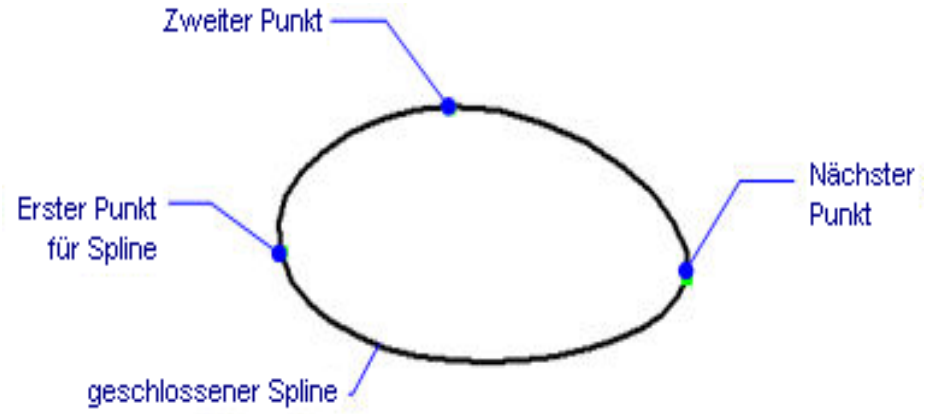

Abbildung 2: Geschlossener Spline (Bricsys NV. 2013c)

Im Gegensatz zu der geschlossenen Spline in Abbildung 2 ist der Anfangspunkt der Kurve in Abbildung 1 nicht mit dem Endpunkt der Kurve verbunden, deshalb handelt es sich hierbei um einen offenen Spline. Ein bekannter Spline-Typ ist der Bézier-Spline, welcher in vielen Grafikprogrammen zum Einsatz kommt. Der Nutzer setzt einen Ankerpunkt und kann dann die Kurven zwischen den Punkten beispielsweise durch Maussteuerung bewegen. Dieser Typ ist für genaue Zeichnungen, beispielsweise bei Konstruktionen, allerdings ungeeignet. Dagegen halten sich kubische Splines genau an die vom Nutzer ausgewählten Punkte und sind damit genauer zu kontrollieren. Modellierungsprogramme bieten dem Nutzer generell eine Auswahl verschiedener Grundobjekte, damit oft verwendete Formen, beispielsweise der Kreis und das Rechteck, nicht bei jedem Arbeitsschritt aufs Neue von Grund auf modelliert werden müssen (Asanger 2003, 58f.).

Die NURBS-Modellierung bietet gerade für Konstrukteure eine besonders präzise Möglichkeit zu modellieren. Des Weiteren ist es, wie in Punkt 2.3 bereits erwähnt, problemlos möglich, die Modelle zu vergrößern ohne Qualitätsverlust zu erleiden, da die mathematischen Funktionen unabhängig von der Auflösung erstellt werden. Ein Nachteil dieser genauen Modellierungstechnik ist, dass es schwieriger ist, raue Oberflächen und ungenaue Strukturen zu erzeugen. Hierbei kann ein zuvor erstelltes NURBS-Objekt vormodelliert werden und später mithilfe von Polygonen nachbearbeitet werden, um eine solche Oberfläche zu erzeugen (Asanger 2003, 73).

3.1.2.2 Polygone

Bei der ältesten Technik der Modellierung werden einfache geometrische Grundobjekte, wie beispielsweise Würfel oder Kugeln verwendet, um daraus ein Objekt zu erzeugen. Es gibt dabei zwei unterschiedliche Vorgehensweisen. Eine Möglichkeit ist der Beginn mit einer leeren Fläche und darin die Erzeugung eines Punkte-Gitters, welches letztendlich zu einem Polygon-Objekt modelliert wird. Die Alternative dazu basiert auf der Auswahl eines vorhandenen Standardobjekts, welches als Grundgerüst genommen wird. Der Nutzer bearbeitet die Polygone, bis das Modell die gewünschte Form angenommen hat. Im Gegensatz zur NURBS-Modellierung ist bei der Polygon-Modellierung viel Übung und abstraktes Denken nötig, um ein Objekt modellieren zu können. Ein Polygon besteht aus drei oder besser vier Punkten und einem gelben Pfeil, welcher angibt, welche Seite die Außenseite ist. Dabei ist zu beachten, dass es besonders bei Drei-Punkt-Polygonen zu einem Wechsel von Außen- und Innenseite kommen kann, wodurch ein Loch im Modell entsteht und das Modell wird fehlerhaft. Weitere Nachteile dieser Technik sind die in Punkt 2.3 aufgeführten Probleme mit der Skalierung, sowie die steigende Datengröße durch die hohe Anzahl der Dreiecke. Ein Polygon aus vier Punkten ist deutlich besser, da dieses nicht nur weniger Speicherplatz benötigt, sondern auch weniger anfällig für Fehler ist. Eine Möglichkeit, Polygone geschickter zu benutzen, ist, zunächst ein Objekt mit niedriger Auflösung zu erzeugen und dieses dann mithilfe von HyperNURBS in ein Objekt mit hoher Auflösung umzuwandeln (Asanger 2003, 74f.).

3.1.2.3 HyperNURBS

Die vom Unternehmen MAXON verwendete Technologie HyperNURBS ist in der Branche oft in verschiedenen Variationen und Namen vertreten. Grundsätzlich ist die Bezeichnung für diese Idee unter dem Namen „Subdivision Surfaces“ bekannt. Dabei handelt es sich um eine Möglichkeit, Polygon-Objekte mithilfe von einem Algorithmus abzurunden. Eine wiederholte Glättung der groben Strukturen führt zu einem weichen und hochauflösenden Modell. Der Vorteil einer schrittweisen Umwandlung von einem groben in ein feines Modell liegt zum einen in der Datenmenge, welche sich gering hält, da nicht alle Bereiche in hoher Qualität vorliegen müssen. Des Weiteren bleibt das Modell übersichtlich und kann falls nötig einfach nachbearbeitet werden. Jedoch ist HyperNURBS kein Vergleich zur richtigen NURBS-Modellierung. Hierbei können keine echten Pfade erstellt werden und daher ist die Genauigkeit des Modells nicht so hoch wie bei der NURBS-Modellierung (Asanger 2003, 86f. und 89).

3.2 Kostenlose Softwareangebote

Am Markt existieren nicht nur teure Softwarelösungen von großen Unternehmen, sondern auch gute kostenlose Angebote, welche in ihrem Funktionsumfang mit kommerzieller Software mithalten können. Als Vertreter der kostenlosen Software wird hier Blender gewählt, da es zu den bekanntesten und besten kostenlosen Angeboten gehört. Des Weiteren existieren auch Softwarelösungen für mobile Endgeräte, hierbei wird die Software Autodesk 123D näher erläutert. Zuletzt sind mit Tinkercad und Shapesmith zwei Vertreter von browserbasierter Software angeführt.

3.2.1 Blender

Blender wurde ursprünglich als firmeneigene Animationssoftware für das niederländische Unternehmen „NeoGeo“ entwickelt. Nachdem das Unternehmen sich im Jahre 1998 aus dem Markt zurückgezogen hatte, gründeten die beiden Programmierer von Blender, Ton Roosendaal und Frank van Beek, das Unternehmen „Not a Number“ und stellten eine kostenlose Version von Blender online zur Verfügung. Diese Version war für den damaligen Markt überraschend, da sie vollkommen funktional genutzt werden konnte. Des Weiteren durften Unternehmen die kostenlose Version auch für ihre kommerzielle Produktion einsetzen. Das Geschäftsmodell von Not a Number sah die kostenpflichtige Freischaltung von Zusatzfunktionen und den Vertrieb eines Handbuchs von Blender vor. Die Entwickler von Blender entschieden sich während der Weiterentwicklung auch die zusätzlichen Funktionen kostenlos zur Verfügung zu stellen. Ab Version 2.x ist es in Blender möglich, dreidimensionale Modelle zu erstellen, hierbei lag der Schwerpunkt allerdings auf der Spieleentwicklung. Nachdem sowohl Not a Number, als auch das Nachfolgeunternehmen NaN, welches 2001 gegründet wurde, insolvent gingen, gründete Ton Roosendaal die „Blender Foundation“. Durch das Sammeln von Spendengeldern in der Blender-Community gelang es, die Rechte am

Quellcode von Blender von der Insolvenzverwaltung für 100.000 Euro abzukaufen. Der seit 2002 veröffentlichte Quellcode kann durch die General Public License nicht nur frei verwendet werden, sondern ermöglicht auch eine Weiterentwicklung der Software durch eine große Community. Durch einige Projekte, wie beispielsweise das Orange-Projekt, welches erstmals mithilfe einer kostenlosen Software einen Film produzierte, wurde Blender weltweit zu einer bekannten Software (Wartmann 2011, 1ff.).

Heute steht Blender zum kostenlosen Download in der aktuellen Version Blender 2.66a bereit. Diese Versionsstufe ist seit dem 6.3.2013 verfügbar und benötigt eine OpenGL-fähige Grafikkarte (Blender Foundation 2013a; Blender Foundation 2013b). Blender wird in einer englischen Version angeboten, welche aber das Umschalten in sehr viele Sprachen unterstützt, darunter auch Deutsch. Da die meisten Übersetzungen noch nicht vollständig sind, wird die Wahl der englischen Sprache empfohlen (Saint-Moulin 2007). Das Umschalten der Sprachen ist nach meiner Erfahrung alles andere als intuitiv, denn die Funktion versteckt sich in den Systemeinstellungen von Blender unter der Checkbox „International Fronts“. Erst nach Aktivierung der Checkbox ist es möglich, eine Sprache auszuwählen, wodurch die Suche nach der Einstellung „Language“ deutlich erschwert wird. Auch nach Auswahl der Sprache muss ausgewählt werden, welcher Teil übersetzt werden soll, dabei stehen die Oberfläche und die Hinweise zur Auswahl. Damit beim nächsten Start von Blender die Spracheinstellungen nicht zurück auf Englisch wechseln, muss nach der Umstellung der Button „Benutzereinstellungen speichern“ betätigt werden. Die Software ist sowohl unter Windows, Linux und Mac, als auch unter FreeBSD funktionsfähig und steht nicht nur als 32-Bit-Version, sondern auch als 64-Bit-Version zur Verfügung (Blender Foundation 2013b).

In einer im Jahre 2010 von cgenie.com durchgeführten Studie, erreicht Blender einen Marktanteil von 5% (foomandoonian 2010). Blender wird von der Industrie nur wenig genutzt und sämtlicher Support wird von der Community geleistet. Zu den größten Nachteilen gehört das Interface, welches nicht intuitiv aufgebaut ist und erwartete Standards wie drag & drop nicht unterstützt. Dies ist auch der Grund, weshalb die Einarbeitungszeit, bis das Programm produktiv genutzt werden kann, auf drei Monate geschätzt wird. Da durch den offenen Quellcode viele Nutzer gleichzeitig daran arbeiten, wird bemängelt, dass die Dokumentationen nicht ausreichend strukturiert seien und nicht zentral an einem Ort zusammenlaufen würden (Saint-Moulin 2007).

Trotz dieser Nachteile wird die Fähigkeit mit dieser Software 3D-Modelle zu erstellen als gut bewertet und die Beliebtheit der Software und deren Community ist vor allem in Europa sehr hoch. Die Technologie der Software gilt als überarbeitet und kann durch den Open Source-Quellcode auch in Zukunft durch jeden interessierten Programmierer modernisiert werden. Die Möglichkeiten des Skriptens in Python und der Modifikation des Quellcodes in C++ gelten als sehr gut. Auch bei der Kompatibilität von Dateiformaten kann Blender mit vielen Formaten, wie beispielsweise 3DS und VRML, gut umgehen (Saint-Moulin 2007). Das für den 3D-Druck wichtige Format STL beherrscht Blender ebenfalls gut und kann STL sowohl importieren, als auch exportieren. Des Weiteren ist es im Gegensatz zu vielen anderen Modellierungs-Programmen möglich, STL-Dateien mithilfe von einfachen Werkzeugen zu verändern. Der

größte Vorteil an Blender ist, dass es durch seine große Community viele Einstiegshilfen und Tutorials gibt, wodurch der Einstieg in diese Software deutlich erleichtert wird. Darüber hinaus existieren sogar ganze Modelle, die frei verfügbar im Internet angeboten werden und als Vorlage oder zum Üben mit der Software dienen können. Aufgrund der eigentlichen Konzipierung für Animationen, fehlen einige Werkzeuge, die für die Erstellung von technischen Zeichnungen nützlich wären. Trotz dieser Einschränkung kann Blender für alle möglichen Zwecke eingesetzt werden; es handelt sich hierbei um ein All-Around-Talent (Fastermann 2012, 23).

3.2.2 Autodesk 123D

Mit 123D hat das Unternehmen Autodesk eine kostenlose Software zur 3D-Modellierung auf den Markt gebracht, welche auch in Form einer mobilen Applikation für das iPad erhältich ist. Den nötigen Support bieten einige Support-Foren, welche auch kostenlose Designvorlagen anbieten. Des Weiteren wird der Anwender durch viele Video-Tutorials beim Erlernen der Software unterstützt. Die Bedienung gilt als einfach und kann durch die intuitive Oberfläche der Software schnell vom Benutzer verstanden werden. Die iPad-Version der Software trägt den Namen Autodesk 123D Sculpt und steht ebenfalls kostenlos zur Verfügung. Die Bedienung erfolgt auf dem iPad mithilfe des Touchpads und bietet dem Nutzer eine Erstellung von Objekten durch Fingerberührungen (Fastermann 2012, 22).

Aktuell steht die Applikation im App-Store von Apple in Version 1.02 in englischer Sprache zur Verfügung. Autodesk 123D Sculpt bietet zwar eine einfache Möglichkeit vorgegebene Formen auszuwählen und anzupassen, aber es lassen sich keine Modelle von Grund auf erstellen. Ein Export des 3D-Modells ist nur im OBJ-Format möglich und steht erst nach einer Zahlungsfunktion innerhalb der Applikation zur Verfügung. Die Kosten für diese Funktion belaufen sich auf 9,99 $ (Apple Inc. 2013b).

Eine weitere Anwendung für mobile Endgeräte ist Autodesk 123D Catch, welche sich momentan noch in der Entwicklung befindet. Mit mehreren Fotos eines Objektes ermöglicht diese Applikation dem Nutzer, das Objekt in ein dreidimensionales Modell zu überführen. Dabei ist zu beachten, dass die Bilder aus unterschiedlichen Blickwinkeln geschossen werden müssen, nur so kann ein möglichst detailgetreues Modell erstellt werden. Mithilfe der Cloud kann Autodesk 123D Catch die Fotos einfach zwischen mehreren Geräten tauschen und zu einem 3D-Objekt umwandeln. Dieses Modell kann anschließend noch weiter bearbeitet werden, um eventuelle Ungenauigkeiten anzupassen oder Modifikationen vorzunehmen (Fastermann 2012, 22f.). Aktuell ist die Anwendung in Version 1.03 verfügbar und wird in englischer Sprache vom Apple App-Store angeboten. Ein kostenloser Export des 3D-Modells im OBJ-Format ist allerdings nur für eine begrenzte Zeit möglich (Apple Inc. 2013a; Fastermann 2012, 22f.).

3.2.3 Tinkercad

Die kostenlose Software Tinkercad ist besonders interessant, da sie browser-basiert arbeitet und daher plattformunabhängig ist. Hierbei wird ein aktueller und verbreiteter Browser empfohlen, wie beispielsweise Chrome oder Firefox. Die Bedienung gilt als sehr intuitiv und basiert auf dem Zusammenbau eines Objektes mithilfe von Standardelementen, wie beispielsweise Würfeln oder Kugeln. Modellierte Objekte können von anderen Nutzern über die Community bewertet und verändert werden. Des Weiteren ist es möglich, die Objekte im STL-Format zu exportieren oder direkt an einen Dienstleister zu senden, welcher das Modell druckt (Fastermann 2012, 26). Der Mitgründer und CEO von Tinkercad Inc. Kai Backman bezeichnet seine Software als die erste Cloud-basierte Anwendung für die Modellierung von dreidimensionalen CAD-Modellen. Die seit dem Jahr 2011 verfügbare Anwendung Tinkercad wird am 20.4.2013 den Dienst einstellen. Der Grund dafür ist die Entscheidung der Gründer, an einem anderen Projekt namens Airstone mitzuwirken (Backman 2013).

3.2.4 Shapesmith

Ähnlich wie Tinkercad ist auch Shapesmith eine browserbasierte Anwendung zur Erstellung von 3D-Objekten. So wie alle browserbasierten Anwendungen ist sie plattformunabhängig und funktioniert in Browsern wie Firefox, welche WebGL fähig sind. Im Gegensatz zu Tinkercad ist diese Software noch nicht lange am Markt und befindet sich noch in Entwicklung. Die Bedienung der Anwendung gilt ebenfalls als intuitiv und basiert auf dem Einfügen von Grundkörpern, welche anschließend durch Funktionen, wie beispielsweise Drehen, angepasst werden können. Trotz der noch laufenden Entwicklung ist die Software in der Lage, die erstellten Objekte im STL-Format zu speichern (Fastermann 2012, 26). Der Autor von Shapesmith ist Benjamin Nortier, der auf seiner Homepage viele Lehrvideos zu seiner Anwendung präsentiert. Darüber hinaus gibt es ein Wiki, welches Anleitungen zum Umgang mit Shapesmith beinhaltet (Nortier 2013).

3.3 Kostenpflichtige Softwareangebote

Die zum Teil sehr teuren Softwarelösungen verfügen über sehr viele Funktionen und werden derzeit von der Industrie bevorzugt genutzt. Den höchsten Marktanteil haben hierbei zwei Lösungen von Autodesk: 3ds Max und Maya. Neben den beiden großen Programmen von Autodesk ist außerdem Cinema 4D interessant, da diese deutsche Software einen guten Ruf besonders bei kleinen Anwendern genießt.

3.3.1 3ds Max

Das Programm 3ds Max ist nach Meinung von Christian Immler, „[…]das weltweit am meisten verbreitete Programm für 3d-Modelling, 3D-Visualisierung, Animation und

Characteranimation.“ (Immler 2004, 21) In einer im Jahre 2010 von cgenie.com durchgeführten Studie erreicht 3ds Max mit 42% den höchsten Marktanteil (foomandoonian 2010). Die Ansicht von Immler (2004, 21) wird weiter durch die Tatsache unterstützt, dass 3ds Max bei vielen weltberühmten Filmprojekten, wie beispielsweise Last Samurai oder Panic Room, eingesetzt wird. Der hohe Bekanntheitsgrad der Software führt zu einem hohen Angebot von Literatur oder Schulungen, welche den Einstieg in die Software erleichtern können. 3ds Max kann nicht nur für Filmprojekte, sondern auch in sämtlichen Bereichen der 3D-Bearbeitung verwendet werden (Immler 2004, 21).

Ursprünglich wurde die Software 3D Studio von der Yost Group programmiert und von Autodesk für das DOS-Betriebssystem veröffentlicht. Eine überarbeitete Version, welche für Windows NT veröffentlicht wurde, bekam eine Namensänderung und hieß 3D Studio MAX. Vertrieben wurde sie ab diesem Zeitpunkt von der Autodesk Sparte Kinetix. Autodesk übernahm nach der zweiten Version die Rechte an der Software und ließ sie unter dem Namen 3ds max vom übernommenen Unternehmen Discreet weiterentwickeln. Mit Version Acht wurde die Software wieder direkt von Autodesk übernommen und trägt seitdem den Namen „Autodesk 3ds Max“, hierbei wird sowohl die Marke in das Produkt übernommen, als auch die Schreibweise von max wieder zu Max geändert. Dank des breiten Angebots von Funktionen für sämtliche Bereiche und der ständigen Weiterentwicklung durch Autodesk steht dem Anwender eines der umfangreichsten Programme der Branche zur Verfügung. Des Weiteren wird die Software von Beginn an für Intel-Prozessoren optimiert und nicht wie die meisten Konkurrenzprodukte für Unix Plattformen. Wenn ein Anwender dennoch Funktionen vermissen sollte, können sie mithilfe von Plug-Ins einfach nachgerüstet werden. Hierbei kann sowohl selbst programmiert, als auch auf Drittanbieter zurückgegriffen werden. Der große Vorteil der Plug-In-Programmierung ist der Quellcode, welcher durch ein SDK Developmentkit zu etwa 60% zur Verfügung steht. Darüber hinaus kann die bereits intuitive Oberfläche komplett nach den Wünschen des Anwenders angepasst werden, hierbei kann die Skriptsprache von 3ds Max genutzt werden (Immler 2004, 21; Faxin 2010, 25).

Heute bietet Autodesk die Software in zwei Versionen an: als Autodesk 3ds Max und als Autodesk 3ds Max Design. Die beiden Versionen unterscheiden sich im Bereich der Zielgruppe, denn während Autodesk 3ds Max für Spieleentwickler und Filmproduzenten konzipiert ist, ist Autodesk 3ds Max Design, speziell für Architekten und Konstrukteure (Autodesk 2013a). Die neusten Versionen von Autodesk 3ds Max 2013 und Autodesk 3ds Max Design 2013 werden nur für Windows-Betriebssysteme ab Windows XP angeboten. Hierbei unterstützt die Software sowohl 32-Bit-Architekturen als auch 64-Bit-Architekturen. Mithilfe von Emulatoren, wie beispielsweise Boot Camp für MAC, kann die Software auch unter anderen Betriebssystemen genutzt werden. Für die Systemvoraussetzungen sind je nach Umfang der Modelle 4 GB bis 8 GB RAM vorgeschrieben und es wird ein Prozessor benötigt, der die SSE2-Technologie unterstützt. Des Weiteren sollte eine Grafikkarte verwendet werden, welche Direct3D oder OpenGL unterstützt (Autodesk 2013c).

Die Kosten für eine Lizenz betragen bei beiden Versionen 4.485,00 € inkl. MwSt. Falls das Produkt nicht auf elektronischem Weg heruntergeladen werden soll, wird die Software auch

als Versandprodukt für 4.641,00 € inkl. MwSt. angeboten. Ein Upgrade auf die neuste Version ist für 3.139,50 € inkl. MwSt. möglich. Sollen neben der Lizenz auch noch der technische Support und regelmäßige Updates zur Verfügung stehen, muss ein Abonnement für jährlich 764,75 € inkl. MwSt. abgeschlossen werden. Die Software steht hauptsächlich in englischer Sprache zur Verfügung, kann aber ab Windows 7 auch in Deutsch und Französisch genutzt werden (Autodesk 2013c). Autodesk bietet außerdem eine kostenlose Studentenversion an, welche allerdings nicht kommerziell genutzt werden darf. Dazu muss sich ein Student lediglich auf dem zugehörigen Downloadportal registrieren und dort die neuste Version der Software gebührenfrei herunterladen (Autodesk 2013b).

Bei der Unterstützung von Dateiformaten gehört 3ds Max zu den Programmen der Oberklasse. Es kann 3DS, VRML, die für 3D-Drucker genutzte Schnittstelle STL und noch viele weitere Formate sowohl importieren als auch exportieren. Das Interface wirkt übersichtlich und stark CAD-orientiert. Es liegen gute Dokumentationen und Trainingsmaterialien bereit und ermöglichen eine relativ zügige Einführung in die komplexe Software (Saint-Moulin 2007). Bis die Software produktiv genutzt werden kann, werden nach Meinung von Saint-Moulin (2007) etwa zwei Monate benötigt. Die Qualität der Modellierung wird als ausgezeichnet bewertet und auch der Export in das STL-Format funktioniert sehr gut. Das Scripting zur Anpassung der Software wird im Gegensatz zu Maya nur gut bewertet, allerdings wird diese Schwäche durch die besser bedienbare Oberfläche wieder ausgeglichen (Saint-Moulin 2007).

Im Bereich der NURBS-Modellierung kann 3ds Max nur wenig bieten und ist in diesem Bereich gegenüber Maya stark unterlegen. Die Technologie der Software gilt als eher veraltet und mit neuen Versionen kämen nach Meinung der Communities keine neuen Funktionen hinzu. Mit Bezug zu dem beträchtlichen Preis einer Lizenz und dem nötigen Abonnement für den technischen Support, wird hier der größte Nachteil der Software deutlich. Vor allem die Unterstützung für kleinere Anwender wird hierbei nur als mittelmäßig bewertet, wodurch die Eignung besonders für selbständige Anwender infrage gestellt werden könnte. Für die Industrie wird die Software auch weiterhin mit Abstand die meistgenutzte und bekannteste Software bleiben (Saint-Moulin 2007).

3.3.2 Maya

Eine weitere sehr bekannte Software für die 3D-Modellierung ist unter dem Namen Maya vertreten. Im Jahre 1995 schlossen sich die Unternehmen Alias und Wavefront zusammen und entwickelten eine Software, welche heute unter dem Namen Maya bekannt ist. Sie setzt sich hauptsächlich aus dem Explorer von Wavefront und dem PowerAnimator von Alias zusammen. Des Weiteren übernahm Wavefront zuvor im Jahre 1993 das französische Unternehmen Thomson Digital Images, wodurch ihnen die Möglichkeit der NURBS-Modellierung ermöglicht wurde. Alias hatte bereits 1993 einen ersten Erfolg mit PowerAnimator, als es bei der Visualisierung von Steven Spielbergs Film Jurassic Park zum Einsatz kam. Noch im selben Jahr startete Alias mit der Entwicklung einer neuen Software mithilfe der Technologie von Wavefront; heute trägt sie den Namen Maya. Die Software ist

vorwiegend im Bereich der Filmindustrie vertreten, aber auch im Bereich der Computerspielentwicklung ist Maya vorzufinden. Im Jahre 2003 bekam die Software eine Auszeichnung, weil sie nahezu jede Funktion, welche zur Modellierung von 3D-Objekten benötigt wird, enthält (Faxin 2010, 25; Carlson 2013). Die ursprünglich für IRIX-Betriebssysteme entwickelte Software ist mittlerweile für Windows, Linux und Mac OS X erhältlich. Seit Oktober 2005 hat das Unternehmen Autodesk, welches auch 3ds Max besitzt, die Rechte an Maya (Faxin 2010, 26).

Die aktuelle Version ist Autodesk Maya 2013 und wird sowohl als Versandprodukt, als auch in Form eines elektronischen Downloads über die Autodesk Website vertrieben. Eine neue Lizenz kostet für alle Betriebssysteme 4.485 € als Versandprodukt und 4.641 € als elektronischen Download, jeweils inkl. MwSt. Des Weiteren gibt es auch die Möglichkeit eines Upgrades auf die neuste Version, hierbei liegt der Preis für die elektronische Version allerdings auch bei 3.139,50 € inkl. MwSt. Wer über die Lizenz hinaus zusätzlichen Service wie Upgrades, Cloud-Dienste und technischen Support genießen möchte, muss ein Abonnement für 765,75 € inkl. MwSt. im Jahr abschließen (Autodesk 2013d). Wie andere Produkte von Autodesk kann auch Maya mithilfe einer Studentenversion kostenlos heruntergeladen werden - die einzige Voraussetzung ist die Registrierung auf dem entsprechenden Portal. Eine kommerzielle Nutzung ist auch bei dieser Version nicht gestattet (Autodesk 2013b).

Ein großer Vorteil von Maya ist die hohe Anpassungsfähigkeit der Oberfläche und die Offenheit für Software von Drittanbietern. Einige große Unternehmen haben Maya mithilfe der eigenen Skriptsprache Maya Embedded Language für ihre Zwecke angepasst und erweitert. Hierbei kann die komplette Oberfläche, wie beispielsweise Toolbars, komplett angepasst werden. Der Kernel selbst ist in C++ geschrieben und erlaubt durch eine Speicherung im Dateiformat .ma eine Bearbeitung in einem Texteditor. Durch diese simple Bearbeitung ist es einfacher möglich, den Code zu ändern und in andere Software zu integrieren. Des Weiteren können auch Funktionsabfolgen des Nutzers aufgenommen und auf einer Toolbar abgelegt gespeichert werden. Dies führt zu einer Automatisierung von häufig genutzten Arbeitsschritten und erhöht das Arbeitstempo. Mithilfe der Aufnahmefunktion ist es auch Anwendern, die über keinerlei Programmierkenntnisse verfügen, möglich, neue Funktionen hinzuzufügen (Faxin 2010, 26).

Bei der Unterstützung von Dateiformaten gehört Maya zu den am besten kompatibelsten und kann beispielsweise 3DS, VRML und auch STL sowohl importieren als auch exportieren. Die Qualität der Modelle und deren Export als STL-Datei werden als sehr gut bewertet. Die Oberfläche gelte als flexibel und durch die ausgezeichneten Möglichkeiten durch die Skriptsprache könne die Software sehr gut angepasst werden. Zum Erlernen der Software seien sehr gute Trainingsmaterialien vorhanden. Die Software könne auch sehr gut die NURBS-Modellierung anwenden, wodurch sehr genaue Modelle ermöglicht würden (Saint-Moulin 2007). Wer sich für Maya entscheidet, hat mit Sicherheit eine der komplexesten und umfangreichsten Softwarelösungen am Markt, denn die Dokumentation und die Literatur sind sehr umfangreich. Nicht nur die Masse an Dokumentation, sondern auch die Qualität ist bei den Maya Dokumentationen gegeben, denn sie „[…]sind für ihre Kompetenz und

Vollständigkeit bekannt. Viele Befehle werden darin nicht nur erläutert, sondern auch mit Mini-Tutorials Schritt für Schritt erklärt.“ (Schönherr 2006, 5)

Trotz der guten Dokumentation inklusive Suchfunktion hat der Benutzer es besonders am Anfang schwer, sich mit der Software zurecht zu finden, da diese bis zu eintausend Befehle beinhaltet. Darüber hinaus ist das Produkt von Autodesk nur in englischer Sprache erhältlich und verwendet eine Vielzahl von Fachwörtern, wie beispielsweise „Loft“. Um die Sprachbarriere zu überwinden, die Funktionen nutzen zu können und die Software produktiv zu nutzen, benötigt ein Benutzer nach Meinung von Saint-Moulin (2007), bis zu drei Monate (Schönherr 2006, 5; Autodesk 2013d). Dies ist der größte Nachteil der Software, denn durch die zwar mächtige aber nicht intuitive Oberfläche und die enorme Anzahl der Funktionen ist das Erlernen der Software trotz guten Trainingsangeboten und einer hervorragenden Dokumentation sehr mühsam. Die Technologie und der Kern der Software sind zwar seit Jahren ausgereift, aber gelten mittlerweile auch als veraltet. Abschließend ist festzuhalten, dass dieses Programm zwar sehr leistungsfähig und bekannt bei professionellen Anbietern ist, jedoch für kleinere Anwender etwas überdimensioniert erscheint, daher wir die Unterstützung seitens des Unternehmens für kleinere Anwender nur mit gut bewertet (Saint-Moulin 2007).

3.3.3 Cinema 4D

Die Software Cinema 4D ist eine von vielen professionellen Anwendern verwendete Software für den Umgang mit 3D-Grafiken. Dabei umfasst das Programm sowohl die Modellierung von 3D-Grafiken, als auch die Animation und die Verarbeitung von dreidimensionalen Szenen. Der deutsche Hersteller MAXON hat seinen Hauptsitz in Friedrichsdorf bei Frankfurt am Main und wurde bereits 1986 von den Geschäftsführern Harald Egel, Harald Schneider und Uwe Bärtels gegründet. Das mittlerweile international vertretene Unternehmen bietet Cinema 4D in mehreren Produktvarianten an, welche auf spezielle Zielgruppen ausgerichtet sind. Cinema 4D Broadcast ist beispielsweise für die Filmindustrie konzipiert und bietet dem Anwender dafür benötigte Funktionen (MAXON Computer GmbH 2013b; Fasterman 2012, 27f.).

Die Anfänge der Software wurden bereits im Jahre 1989 mit einer Version namens „Raytracers Fastray“ gemacht, welche rein auf Textdaten beschränkt war. Bereits 1991 gelang es dem Hersteller, eine grafische Oberfläche unter dem Namen „Fastray Editor“ nachzuliefern. Die erste Version unter dem heutigen Namen Cinema 4D wurde im Jahre 1993 für den Amiga veröffentlicht, welche damals die führende Plattform für 3D-Grafik war. Nach der Insolvenz von Amiga veröffentlichte MAXON im Jahre 1996 die erste Version der Software, welche unter Windows und Mac kompatibel war (Lechner 2007; Asanger 2003, 14).

Aktuell bietet MAXON die Software in vier unterschiedlichen Ausführungen an. Neben der Broadcast-Version für 1.547 € gibt es noch eine Visualize-Version für 1.904 €, welche für Architekten und Designer ausgelegt ist. Des Weiteren wird eine Prime-Version für 833 € angeboten, welche als günstige Einstiegsversion konzipiert ist. Wird der volle

Funktionsumfang genutzt, sollte die Studio-Version für 3.570 € verwendet werden, da hier alle Funktionen enthalten sind. MAXON bietet darüber hinaus zwei Studentenversionen an, hierbei wird zwischen einer reinen Studentenversion und eine Lehrerversion, welche über mehr Funktionen verfügt, unterschieden. Die Studentenversion ist komplett kostenlos und für achtzehn Monate gültig. Für die gleiche Nutzungsdauer kostet die Lehrerversion 178,50 € und bietet die Möglichkeit, nach dem Studium vergünstigt in eine Vollversion umgewandelt zu werden. Alle Preise sind inkl. MwSt. und beinhalten noch nicht die Versandgebühren (MAXON Computer GmbH 2013a, MAXON Computer GmbH 2013c, MAXON Computer GmbH 2013d). Bis heute wird Cinema 4D nur für Windows- und MAC-Betriebssysteme hergestellt und ist in vielen Sprachen erhältlich, darunter auch Deutsch (Saint-Moulin 2007).

Den Import und Export wichtiger Dateiformate unterstütze Cinema 4D sehr gut und könne neben 3DS und VRML auch sehr gut mit dem STL-Format arbeiten (Saint-Moulin 2007). Die Software ist nach Meinung von Asanger (2003, 15) für seine Stabilität und Benutzerfreundlichkeit bekannt. Der Großteil der Software basiert auf der eigenen Skriptsprache C.O.F.F.E.E. und ist daher nicht plattformgebunden. Des Weiteren können mithilfe der Skriptsprache Plugin-ins für das Programm geschrieben werden. Die Benutzeroberfläche ist vollständig anpassbar und gilt als aufgeräumt und intuitiv. Daher wird, obwohl wenig offizielle Lernmaterialien zur Verfügung stehen, die Einarbeitungszeit auf einen Monat geschätzt. Die Unterstützung der Kunden durch das Unternehmen wird als sehr gut eingestuft und leistet im Gegensatz zu Autodesk auch ohne Abonnement Support. Die Möglichkeiten für die Modellierung werden als sehr gut bewertet und die Technologie der Software gilt als modernisiert. Eine Besonderheit der Software ist der Einsatz von HyperNURBS. HyperNURBS bringt, wie in Unterpunkt 3.1.2.3 erläutert, den Vorteil, dass grobe Polygonobjekte abgerundet werden können und in ein hochauflösendes Objekt umgewandelt werden (Asanger 2003, 15).

Die Software unterstütze allerdings keine NURBS-Modellierung und erschwere es daher, genaue Objekte zu modellieren. Ein weiterer Nachteil sei die noch zu geringe Bekanntheit dieser Software (Saint-Moulin 2007). In einer im Jahre 2010 von cgenie.com durchgeführten Studie erreicht Cinema 4D einen Marktanteil von 5% (foomandoonian 2010). Demnach ist der Bekanntheitsgrad von Cinema 4D, einer seit Jahren etablierten Software eines großen Softwarehauses, mit dem von Blender, einer noch jungen und kostenlosen Software ohne offiziellen Support, zu vergleichen.

4 3D-Druck

In diesem Kapitel wird beschrieben, was unter dem Begriff 3D-Druck verstanden wird und woher dieser kommt. Des Weiteren wird der Verwendungszweck dieser neuen Technologie erwähnt und darauf eingegangen, welche Voraussetzungen für einen erfolgreichen 3D-Druck erfüllt sein müssen. Hierbei liegt der Fokus auf den benötigten 3D-Modellen und deren Anforderungen. Zuletzt werden oft verwendete Formate und deren Vor- und Nachteile behandelt, sowie häufige Fehlerquellen bezüglich der Formate erläutert.

4.1 Definition

Der Begriff 3D-Druck beschreibt ein Fertigungsverfahren, welches auf Basis eines dreidimensionalen Modells Objekte schichtweise fertigen kann. Dabei kann jedes beliebige Objekt gedruckt werden, solange es vorher modelliert wurde, beispielsweise selten genutzte Bauteile. Das Verfahren, welches im Allgemeinen als 3D-Druck bezeichnet wird, ist genau genommen eines von vielen sogenannten „Rapid-Prototyping-Verfahren“. Der Name entstand aus den Anfängen dieser noch jungen Technologie, denn das Verfahren wurde primär für die schnelle und kostengünstige Erstellung von Mustern oder Prototypen genutzt - somit konnten neu entworfene Produkte schon nach wenigen Stunden materialisiert und präsentiert werden. Da alle Rapid-Prototyping-Verfahren auf Basis von Datenmodellen erfolgen, werden sie auch als generative Fertigungsverfahren bezeichnet. Eine weitere Besonderheit dieser Verfahren ist, dass keine zusätzlichen Werkzeuge benötigt werden und keine Gussformen bereitgestellt werden müssen. Aufgrund dessen ist es problemlos möglich, unterschiedliche Bauteile hintereinander zu fertigen, ohne ein Werkzeug oder eine Einstellung am Drucker zu verändern (Fastermann 2012, 4f.; Zäh 2006, 9f.; Bopp 2010, 1).

4.2 Grundlagen

Die Grundlage eines 3D-Drucks ist, wie bereits erwähnt, ein dreidimensionales Datenmodell. Hierbei wird die weit verbreitete CAD-Zeichentechnik genutzt. Für die Erstellung eines 3D-Modells gilt, dass es sich dabei um ein sogenanntes Volumenmodell handeln muss. Ein Volumenmodell besteht nicht nur aus der Beschreibung von Kanten, sondern auch aus einer kompletten Beschreibung der Oberflächen eines Modells. Des Weiteren muss es immer eine klare Innenseite und eine klare Außenseite geben, da das Modell ansonsten für den Drucker nicht logisch erscheint und der Druckvorgang durch eine Fehlermeldung verweigert wird (Fastermann 2012, 7 und 11).

Nach Ansicht von Fastermann (2012, 12) kann ein Volumenmodell mit einem Pullover verglichen werden, welcher mit Wasser gefüllt ist. Solange der Pullover Öffnungen für Ärmel usw. besitzt, werde das Wasser herauslaufen und es gebe keine geschlossene Oberfläche, deshalb existiert auch der Begriff wasserdichtes Modell. Liegt wie in diesem Fall kein gültiges

Volumenmodell vor, kann das Modell nicht gedruckt werden, denn ein 3D-Drucker kann nur die zuvor modellierten Flächen mit Druckmaterial füllen (Fastermann 2012, 12).

Bei einem Druckvorgang wird das digitale Modell zunächst in dünne Scheiben zerteilt und danach materialisiert der Drucker das Modell schichtweise zum vollständigen Objekt; dieser Vorgang wird auch Slicing genannt. Bei diesem Vorgang können Fehler, wie beispielsweise fehlende Außenflächen, zu Problemen führen und das gedruckte Objekt hätte keine gute Qualität. Fehler können nicht nur bei der Modellierung entstehen, sondern auch durch die Übertragung in ein anderes Format. Diese Übertragung ist notwendig, da 3D-Drucker nicht direkt mit den in CAD erstellten Modellen arbeiten können. Eine weit verbreitete Schnittstelle zwischen CAD-Software und 3D-Drucker ist hierbei das STL-Format (Fastermann 2012, 7-11 und 13).

4.3 Formate

Für 3D-Modelle gibt es eine hohe Anzahl von Exportformaten, wie beispielsweise VRML, in denen die modellierten Objekte gespeichert werden. Dabei ist zu beachten, dass 3D-Drucker nur bestimmte und je nach Anbieter verschiedene Formate verwenden können. Hierbei kommt das Format STL zum Einsatz, welches sich mittlerweile als Industriestandard etabliert hat und welches von jedem 3D-Drucker unterstützt wird (Fastermann 2012, 7f.). „Die Abkürzung STL steht – je nach Lesart – entweder für SurfaceTesselationLanguage oder StandardTriangulationLanguage.“ (Fastermann 2012, 7) Diese Bezeichnung lässt bereits vermuten, dass das Format auf Triangulation basiert, das heißt, die zuvor modellierten Flächen werden nun in Dreiecksfacetten umgewandelt. Danach werden die drei Eckpunkte eines jeden Dreiecks gespeichert. Darüber hinaus wird noch eine Flächennormale gespeichert, welche anzeigt, ob es sich um eine Innen- oder Außenseite handelt. Je nach Auflösung kann eine gleich große Fläche in unterschiedlich viele Facetten aufgeteilt werden. Dabei ist zu beachten, dass mit Zunahme der Dreiecke zwar die Qualität steigt, aber gleichzeitig auch der Speicherbedarf zunimmt. Deshalb sollte die Facettenanzahl je nach Anforderung für das Modell angepasst werden. Gerade im Fall von Objekten mit Rundungen oder Krümmungen entstehen bei zu niedriger Auflösung Rundungen mit vielen kleinen Ecken. Auch bei einer Vergrößerung des Modells entstehen bei zu geringer Auflösung Ungenauigkeiten, welche später bei dem gedruckten Objekt vorzufinden sind. Als Alternative gibt es gegenüber der Triangulation auch die Möglichkeit, die Flächen mithilfe von mathematischen Funktionen zu erfassen, wie beispielsweise durch Splines. Zwei bekannte Formate, welche sich dieser Funktionen bedienen sind IGES und STEP. Der Vorteil dieser Formate ist, dass die Qualität der Rundungen selbst beim Vergrößern nicht sinkt (Fastermann 2012, 7ff.).

4.4 Übersicht und Vergleich

Name	Blender	3ds Max	Maya	Cinema 4D
Hersteller	Blender Foundation	Autodesk	Autodesk	MAXON
Plattform	Win, Linux, MAC	Win	Win, Linux, MAC	Win, MAC
Lizenz/Kosten	GPL	Ab 4.485,00 € inkl. MwSt.	4.485,00 € inkl. MwSt.	Ab 833 €
Studenten Version	-	Kostenlos	Kostenlos	Kostenlos
Formate	STL, VRML, 3ds und viele weitere	STL, VRML, 3ds und viele weitere	STL, VRML, 3ds und viele weitere	STL, VRML, 3ds und viele weitere
Funktionen	Mittel	Hoch	Sehr hoch	Mittel
Komplexität	Hoch	Hoch	Sehr hoch	Mittel
Qualität für die Modellierung	Gut	Ausgezeichnet	Sehr gut	Sehr gut
Dokumentationen	Gut	Gut	Ausgezeichnet	Sehr gut
Lernmaterial	Große Community mit Tutorials	Gut	Sehr gut	Gut
Vorteile	Kostenlos, große Community	Höchste Bekanntheit, Hoher Funktionsumfang	Höchster Funktionsumfang, hohe Anpassungsmöglichkeiten, NURBS	Preis-Leistungsverhältnis, guter Support, einfache und intuitive Bedienung
Nachteile	Nicht intuitiv, keine einheitlichen Dokumentationen	Preis, keine neuen Funktionen	Einarbeitungszeit, Preis	Relativ unbekannt

Tabelle 1: Übersicht 3D-Modellierungssoftware (Eigene Darstellung in Anlehnung an (Saint-Moulin 2007))

Die Tabelle 1 dient dem Überblick der in dieser Arbeit behandelten Softwareprodukte für die 3D-Modellierung. Zum Vergleich werden hier zunächst die vier Softwareangebote mit entsprechend hohem Funktionsumfang aufgeführt. Neben dem Hersteller und den kompatiblen Plattformen werden außerdem die Kosten für eine Lizenz und eine mögliche Studentenversion angegeben. Anschließend wird der Umgang mit wichtigen Formaten bewertet und der Funktionsumfang der Software wird eingestuft. Abhängig von Funktionsumfang und Komplexität der Bedienung ergibt sich die Zeit, die benötigt wird, um

den Umgang mit der Software zu erlernen. Hierbei verschlechtert sich Blender aufgrund der nicht intuitiven Bedienung. Der für die 3D-Modellierung wichtigste Aspekt ist die Qualität für die Modellierung, hierbei hat 3ds Max mit Ausgezeichnet die Höchstnote erreicht. Die nächste Zeile bewertet die Dokumentationen der Softwareprodukte, hierbei liegt Maya in der Bewertung vorne. Die Bewertung des Lernmaterials ergibt sich entweder aus dem vom Hersteller zur Verfügung gestellten DVD-Training oder durch die Bereitstellung von Inhalten durch die Community. Hierbei kann die Bewertung nur schwer vorgenommen werden, da es viele inoffizielle Angebote in Foren oder auf Videoplattformen, wie YouTube, gibt.

Name	123D Sculpt	Tinkercad	Shapesmith
Hersteller	Autodesk	Tinkercad Inc.	Benjamin Nortier
Plattform	iPad	Browser	Browser
Lizenz/Kosten	Kostenlos	Kostenlos	Kostenlos
Formate	OBJ (kostenpflichtig)	STL	STL
Komplexität	Niedrig	Mittel	Mittel
Funktionen	Nur Anpassung vorgegebener Formen	Modellierung mithilfe von Standardelementen	Modellierung mithilfe von Standardelementen
Lernmaterial	Video-Tutorials, Community	Video-Tutorials	Video-Tutorials, Wiki
Vorteile	Nutzung auf mobilen Endgeräten, einfache Bedienung	Plattformunabhängig, einfache Bedienung	Plattformunabhängig, einfache Bedienung
Nachteile	Modellierungsformen sind vorgegeben, kein STL-Format	Stellt Betrieb zum 30.4.2013 ein	Es stehen nur wenige Standardelemente zur Verfügung

Tabelle 2: Übersicht 3D-Modellierungssoftware (Eigene Darstellung in Anlehnung an (Saint-Moulin 2007))

Tabelle 2 dient im Gegensatz zu Tabelle 1 dem Überblick über Anwendungen, die für mobile Endgeräte oder Browser entwickelt wurden. Für den Vergleich mit den vier in Tabelle 1 aufgeführten Produkten haben diese drei Anwendungen zu wenige Funktionen und können nicht mit denen in Tabelle 1 mithalten.

Bei Autodesk 123D wird hier nur auf die iPad Version Sculpt eingegangen und nicht auf die Windows- oder Catch-Version, denn nur bei Sculpt handelt es sich um eine Anwendung, die eine relativ freie Modellierung auf mobilen Geräten ermöglicht. Sculpt ist besonders einfach zu bedienen hat aber deutliche Einschränkungen bei der Modellierungsfreiheit und unterstützt im Gegensatz zu den anderen beiden Produkten keinen Export in das STL-Format. Die Verwendung von Tinkercad und Shapesmit ist nach eigener Meinung trotz intuitiver Bedienung anfangs etwas knifflig, deshalb wird die Komplexität der Bedienung hier als mittelmäßig bewertet. Bei den Funktionen sind sich beide Anwendungen ähnlich und basieren auf dem Einsatz von Standardelementen. Das Lernmaterial von Sculpt besteht aus Video-Tutorials und einer Community, welche es ermöglicht 3D-Modelle auszutauschen. Tinkercad

wird zwar in naher Zukunft nicht mehr angeboten, dennoch existieren noch viele Lehrvideos zu dieser Software. Shapesmith bietet neben guten Lehrvideos auch ein Wiki, welches Anleitungen zur Erstellung von 3D-Modellen enthält.

Ein Vorteil dieser drei Produkte ist die Unterstützung mobiler Endgeräte, beziehungsweise die komplette Plattformunabhängigkeit. Ein weiterer Vorteil ist die einfache Bedienung, welche einen Nutzer bereits nach kurzer Zeit eigene 3D-Modelle erstellen lässt. Der Nachteil gegenüber den vier Produkten aus Tabelle 1 ist, dass diese drei Produkte keine freie Modellierung ermöglichen. Es können lediglich 3D-Modelle erzeugt werden, indem Standardobjekte wie Kugeln zum Gesamtmodell hinzugefügt oder davon weggenommen werden. Es gibt zwar Funktionen, um weitere Anpassungen vorzunehmen, jedoch sind die Möglichkeiten im Gegensatz zu den in Tabelle 1 beschriebenen Produkten weitaus geringer. Die Qualität der Dokumentation wird hier nicht bewertet, da es noch nicht sinnvoll ist, eigene Erweiterungen für diese Produkte zu erstellen, da sich diese Produkte noch in der Entwicklung befinden. Auch eine Bewertung der Qualität für die Modellierung ist hier nicht möglich, da die Produkte noch nicht lange genug am Markt sind, um ausreichend Meinungen von Nutzern auszuwerten.

5 Schlussfolgerung

In dieser Arbeit wird der Bereich 3D-Druck angerissen und die Notwendigkeit von 3D-Modellen erklärt. Des Weiteren werden die Voraussetzungen für ein druckbares 3D-Modell aufgeführt und die Unterschiede der Dateiformate veranschaulicht. Anschließend werden wichtige Funktionen und Modellierungsmethoden von 3D-Modellungssoftware vorgestellt. Da es sehr viele 3D-Modellierungssoftware auf dem Markt gibt, ist es nicht möglich jede noch so unbekannte Lösung zu untersuchen. Die Marktübersicht beinhaltet einen groben Ausschnitt von bekannter Software am Markt und die wichtigsten Vertreter der jeweiligen Kategorie.

Wichtig bei der Auswahl einer geeigneten Softwarelösung ist hierbei die Komplexität der Bedienung, das heißt, wie lange es voraussichtlich dauert, den Umgang mit der Software zu erlernen. Die zum Teil sehr hohen Kosten der Lizenzen und eventuellen Abonnements sind zu beachten, wobei es bei vielen Anbietern kostenlose Studentenversionen gibt. Wichtig ist auch eine gute Kompatibilität gegenüber den wichtigen Formaten, wie besonders dem STL-Format, welches im Bereich 3D-Druck als Industriestandard zählt. Besonders wichtig ist die Qualität der Modellierung, sowie die Unterstützung verschiedener Modellierungsmethoden. Hilfreich für die Erlernung können gute Dokumentationen und Lernmaterialien sein.

Je nach Aufgaben des Nutzers eignen sich einige Programme besser und einige schlechter. Mit Blender steht dem Nutzer ein kostenloses Programm zur Verfügung, welches gute Modellierungsmöglichkeiten liefert, Außerdem existiert eine Community, die Fragen beantworten kann. Doch die Bedienung und das Erlernen der Software sind mühsam. Das Programm Maya bietet vor allem im Bereich des sehr genauen Modellierens die NURBS-Modellierungsmethode und ist, den Funktionsumfang angehend, ungeschlagen. Doch auch hier ist die Erlernung des Umgangs schwierig und zudem auch noch sehr kostspielig, sofern keine Studentenlizenz erhältlich ist. Eine weniger komplexe und umfangreiche Software wie 3ds Max wird zwar von einem Großteil der Unternehmen, besonders im Bereich der Filmbranche und bei der Entwicklung von Computerspielen, verwendet, ist aber für kleinere Anwender weniger zu empfehlen. Im Gegensatz zu 3ds Max bietet Cinema 4D gerade für kleine Anwender einen guten Support und ist auch bezüglich der Kosten weitaus günstiger als die großen Programme von Autodesk. Jedoch ist die Software trotz der einfachen Bedienung recht unbekannt. Das kann zur Folge haben, dass es schwieriger ist, gute Lernvideos oder Ähnliches zu bekommen. Neben den meist auf Windows kompatiblen, aber auch auf MAC und Linux funktionierenden Programmen, gibt es noch Anwendungen, die für mobile Endgeräte konzipiert sind. Diese sind zwar einfach und intuitiv zu bedienen und können die Vorteile der mobilen Geräte nutzen, sind aber, bezüglich des Funktionsumfangs, bei weitem nicht so umfangreich wie andere Produkte. Zuletzt gibt es noch 3D-Modellierungssoftware, die browserbasiert arbeitet und somit nicht an ein Betriebssystem gebunden ist. Hierbei kann der Nutzer bisher nur mithilfe von Standardobjekten ein 3D-Modell erstellen.

Jede Software hat ihre Vor- und Nachteile, der Nutzer muss die Funktionen mit seinen Anforderungen abgleichen, um die für ihn passende Software zu finden. Für einfache 3D-Modellierung reicht Shapesmith aus, aber für genaue 3D-Konstruktionen sollte auf eine Software zurückgegriffen werden, welche die NURBS-Modellierung beherrscht, beispielsweise Maya. Der Nutzer könnte zunächst eine kostenlose Software, wie Blender, oder eine browserbasierte Anwendung nutzen, um sich einen ersten Eindruck zu verschaffen und zu überprüfen, ob die Software seine Anforderungen erfüllt. Hierbei können öffentliche Beispieldateien hilfreich sein, die beispielsweise von der Blender Community bereitgestellt werden. Mit deren Hilfe kann ein Nutzer ohne großes Vorwissen ein 3D-Modell bearbeiten und mit dazugehörigen Tutorials erste Erfahrungen sammeln.

Literaturverzeichnis

Apple Inc.: 123D Catch: By Autodesk Inc. In: https://itunes.apple.com/us/app/123d-catch/id513913018?mt=8, zugegriffen am 2.04.2013.

Apple Inc.: 123D Sculpt: By Autodesk Inc. In: https://itunes.apple.com/app/123d-sculpt/id446119510?mt=8#, zugegriffen am 2.04.2013.

Asanger, A. (2003): Cinema 4D 8 Studio: Mit BodyPaint 3D und Dynamics – 100% neue Beispiele, Galileo Press GmbH, Bonn.

Autodesk: Autodesk 3ds Max-Produkte. In: http://www.autodesk.de/adsk/servlet/pc/index?siteID=403786&id=14689506, zugegriffen am 21.03.2013.

Autodesk: Autodesk: Download Center. In: http://students.autodesk.com/?nd=download_center, zugegriffen am 22.03.2013.

Autodesk: Autodesk Online-Shop. In: http://store.autodesk.de/store/adsk/de_DE/buy/Autodesk_3ds_Max_2013/productID.251720300, zugegriffen am 22.03.2013.

Autodesk: Autodesk Online-Shop. In: http://store.autodesk.de/store/adsk/de_DE/buy/Autodesk_Maya_2013/productID.245517100, zugegriffen am 19.03.2013.

Backman, K. (2013): Announcing Airstone and the closure of Tinkercad. In: https://tinkercad.com/tour/, zugegriffen am 3.04.2013.

Blender Foundation: Education & Help. In: http://www.blender.org/education-help/, zugegriffen am 23.03.2013.

Blender Foundation: Get Blender. In: http://www.blender.org/download/get-blender/, zugegriffen am 23.03.2013.

Bopp, F. (2010): Rapid Manufacturing: Zukünftige Wertschöpfungsmodelle durch generative Fertigungsverfahren, Diplomica Verlag GmbH, Hamburg.

Bricsys NV.: Spline (spline). In: http://www.bricsys.com/bricscad/help/de_DE/V13/CmdRef/source/S/Spline.htm, zugegriffen am 8.04.2013

Bricsys NV.: Spline (spline). In: http://www.bricsys.com/bricscad/help/de_DE/V13/CmdRef/source/image342.jpg, zugegriffen am 6.04.2013.

Bricsys NV.: Spline (spline). In: http://www.bricsys.com/bricscad/help/de_DE/V11/CmdRef/source/image343.jpg, zugegriffen am 6.04.2013.

Carlson, W.: Animation Software Companies and Individuals. In: https://design.osu.edu/carlson/history/tree/ani-software.html, zugegriffen am 19.03.2013.

Fastermann, P. (2012): 3D-Druck/Rapid Prototyping: Eine Zukunftstechnologie - kompakt erklärt, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

Faxin, Y. et al. (2010): Three-Dimensional Model Analysis and Processing, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.

foomandoonian (2010): 3ds Max vs. Blender: Revealing results of a CG software user survey. In: http://halfblog.net/2010/02/24/3ds-max-vs-blender-revealing-results-of-a-cg-software-user-survey/, zugegriffen am 3.04.2013.

Immler, C. (2004): 3ds max 6 Kompendium: Visualisierung und Animation, Markt+Technik Verlag, München.

Lechner, G. (2007): Maxon CINEMA 4D R10. In: http://www.camgaroo.com/nc/artikel/details/maxon-cinema-4d-r10/, zugegriffen am 23.03.2013.

MAXON Computer GmbH: CINEMA 4D – ERSTE WAHL FÜR AUSBILDUNG IN 3D-GRAFIK UND ANIMATION. In: http://www.maxon.net/de/products/general-information/general-information/student-versions.html, zugegriffen am 27.03.2013.

MAXON Computer GmbH: DIE GESCHICHTE VON MAXON. In: http://www.maxon.net/de/about/history.html, zugegriffen am 23.03.2013.

MAXON Computer GmbH: Produkte: CINEMA 4D. In: http://www.maxonshop.de/epages/es10565932.sf/de_DE/?ObjectPath=/Shops/es10565932/Categories/CINEMA_4D, zugegriffen am 27.03.2013.

MAXON Computer GmbH: STUDENT / TEACHER LIZENZ BESTELLUNG. In: http://www.maxon.net/fileadmin/maxon/order/Student_Order_DE.pdf, zugegriffen am 28.03.2013.

Nortier, B.: Shapesmith: Parametric, Open-Source 3D Modeling in your browser. In: http://shapesmith.net/, zugegriffen am 3.04.2013

Saint-Moulin, B. (2007): 3D softwares comparisons table. In: http://www.tdt3d.com/articles_viewer.php?art_id=99, zugegriffen am 19.03.2013.

Schönherr, M. (2006): Maya 7. Die Referenz, Addison-Wesley Verlag, München.

Sommer, W. (2007): Das AutoCAD 3D Praxisbuch: Modellieren und Visualisieren, ab AutoCAD 2007, Markt+Technik Verlag, München.

Wartmann, C. (2007): Das Blender-Buch: 3D-Grafik und Animation mit freier Software. 3. Auflage, dpunkt Verlag, Heidelberg.

Zäh, M. F. (2006): Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid-Technologien: Anwender-Leitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren, Carl Hanser Verlag, München, Wien.

Über die Autoren

Jochen Olbrich studiert an der Universität Würzburg und befindet sich im dritten Semester des Studiengangs Master Wirtschaftsinformatik.

Marco Wirth, M.Sc. studierte Informatik mit Nebenfach Wirtschaftswissenschaften an den Universitäten Paderborn und Helsinki. Seit 2012 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Systementwicklung der Universität Würzburg tätig. Im Rahmen seines Engagements im Kompetenzzentrum CEDIFA beschäftigt er sich mit Fragestellungen rund um das Gebiet der additiven Fertigung.

Kontakt

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Systementwicklung
Julius-Maximilians-Universität Würzburg
Josef-Stangl-Platz 2
D-97070 Würzburg

T +49 (0)931 3180242
F +49 (0)931 3181268
E kontakt@cedifa.de
W http://www.cedifa.de