

# Praktikum Computeranimation und -Visualisierung

Dipl.-Inf. (FH) Mathias Jung

Wintersemester 2003/2004

Praktikum zur Vorlesung  
*Computeranimation und -Visualisierung*  
im Studiengang *Digitale Medien*  
bei Prof. Dr. Michael Bender und Prof. Dr. Manfred Brill

Dipl.-Inf. (FH) Mathias Jung (jung@informatik.fh-kl.de)  
Fachbereich Informatik und Mikrosystemtechnik  
Fachhochschule Kaiserslautern  
Wintersemester 2003/2004

# Einleitung

## Vorwort

Dieses Dokument beinhaltet die Unterlagen für das Praktikum Computeranimation und -Visualisierung. Ab Kapitel 1 stellt jedes Kapitel einen Praktikumstermin mit dazugehörigen Übungsaufgaben dar.

Wir erwarten, dass Sie das jeweilige Kapitel vor dem Praktikumstermin zu Hause vorbereitet haben. Am Praktikumstermin selbst bearbeiten Sie dann die Übungsaufgaben, die am Ende jedes Kapitels stehen. Nur wenn Sie mit den Unterlagen vertraut sind, können Sie die Übungsaufgaben in der vorgesehenen Zeit bearbeiten. Je besser Sie vorbereitet sind um so mehr werden sie von diesem Praktikum profitieren. Stellt sich zu Beginn des Praktikumstermins heraus, dass Sie sich nicht vorbereitet haben, müssen Sie den Termin wiederholen.

Zur erfolgreichen Absolvierung des Praktikums müssen alle Praktikumstermine erfolgreich bearbeitet werden. Eine Bearbeitung der Übungsaufgaben zu Hause ist nicht möglich.

## Wie diese Unterlagen zu lesen sind

Folgende Inhalte werden in diesen Unterlagen zur besseren Kennzeichnung besonders dargestellt:

- Befehle und Funktionen aus Anwendungen: *Datei* → *Öffnen*
- Dateinamen und Pfade: *C:\Programme*
- Tasten oder Tastenkombinationen: *Shift-Taste*
- Geschützte Namen und Eigennamen: *discreet 3ds max*
- Fachbegriffe und Erklärung von Abkürzungen: *Szenengraph*
- Abbildungen die z.B. mehrere Icons enthalten werden, wenn nicht anders angegeben, zeilenweise von links nach rechts und von oben nach unten durchnummeriert.
- Quellcode:

```
Group {
  children [
    Cylinder {
    }
  ]
}
```

## Empfohlene Literatur

Zu Beginn jedes Kapitels finden Sie eine Angabe von theoretischem Wissen, welches Sie benötigen, um die jeweiligen Übungsaufgaben sinnvoll bearbeiten zu können. Je besser Sie an dieser Stelle vorbereitet sind, desto größer wird der Lerneffekt im Praktikum sein.

Dieses Wissen erhalten Sie durch den Besuch der Vorlesung und die Lektüre der dazu gehörigen Vorlesungsunterlagen. Zusätzlich dazu sind folgende Bücher zu empfehlen (nähere Informationen zu den Büchern finden Sie im Anhang):

**Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch [BB03]** Auf diesem Buch basiert die Vorlesung zu diesem Praktikum.

**3D Computer Graphics [Wat99]** Ein oft zitiertes Standardwerk, das alle Themen der Computergrafik, die Sie für dieses Praktikum brauchen, behandelt. Auch in der deutschen Übersetzung erschienen [Wat01].

**Computer Graphics using OpenGL [Hil01]** Ein gelungenes Buch zur Computergrafik, mit Betonung auf *OpenGL*.

**Computer Graphics: A Visual Approach [Wol00]** Ein überraschend dünnes Buch, das einen recht guten, wobei auch kurzen Überblick über die Themen dieses Praktikums liefert. Wer mehr in die Tiefe gehen will ist mit [Wat99] oder [FDFH91] besser bedient.

**Computer Graphics - Principles and Practice [FDFH91]** Ein Nachschlagewerk mit viel Tiefgang. Für den Fall, dass Sie etwas sehr genau und detailliert wissen wollen.

**Mathematik für Informatiker [Bri01]** Was Sie für dieses Praktikum an Mathematik benötigen finden Sie in diesem Buch.

**Tip:**

In der Bibliothek des Standorts Zweibrücken finden Sie Bücher zum Thema Computergrafik unter der Signatur I800. Bücher speziell zu *3ds max* finden Sie unter I851, zu *Maya* unter I852.

## Das Labor

Das gesamte Praktikum findet im Visualisierungslabor des Standorts Zweibrücken, dem sog. *Vis-Lab* (Raum O-210) statt. Das VisLab verfügt über 10 Arbeitsplatzrechner mit folgender Ausstattung: *Athlon XP 1600+*, 768 MB RAM, *GeForce3 Grafikkarte*. Die Rechner laufen unter *Windows XP Professional* und gehören zur Domäne *DS* des Standorts Zweibrücken. Sie benötigen also kein zusätzliches Login und haben auch Zugriff auf ihr Verzeichnis auf dem Studenten-Fileserver.

Folgende Richtlinien sind im VisLab zu beachten:

- Essen, trinken und rauchen ist im VisLab untersagt.
- An jedem Rechner arbeiten zwei Studierende. Sollten bei einem Termin noch Rechner frei sein oder ein Student übrig bleiben, kann auch alleine an einem Rechner gearbeitet werden. Dreier-Teams sind nicht erlaubt.
- Die Rechner bleiben immer angeschaltet, schalten Sie jedoch die Monitore nach dem Praktikumstermin aus.

## Server und Verzeichnisse

Während dem Praktikum arbeiten Sie meist lokal auf den Rechnern im VisLab. Außerdem hat das VisLab einen eigenen Server für den Lehrbetrieb (`zwo210-gauss`).

Sie arbeiten in Laufe des Praktikums immer mit folgenden Verzeichnissen:

### ■ Aufgabenstellung

Es kann vorkommen, dass Sie zur Bearbeitung der Aufgaben bestimmte Dateien benötigen (Details hierzu entnehmen Sie der jeweiligen Aufgabenstellung). Diese Daten finden Sie immer unter:

```
\\zwo210-gauss\public\cav\...\Aufgabenstellung
```

### ■ Lokales Laufwerk

Während des Praktikumtermins sollten Sie lokal auf dem Rechner arbeiten, an dem Sie gerade sitzen. Hierzu steht Ihnen das Laufwerk `D:` zur Verfügung (schreiben Sie keine Daten in Laufwerk `C:`!). Am Ende des Termins verschieben Sie alle ihren Daten in Ihr Homeverzeichnis (mehr dazu weiter unten). Stellen Sie sicher, dass das lokale Laufwerk `D:` leer ist, wenn Sie den Rechner verlassen!

### ■ Home-Verzeichnis

Zu Beginn jedes Semesters wird für jeden Praktikumssteilnehmer ein sog. *Home-Verzeichnis* auf `zwo210-gauss` angelegt. In diesem Verzeichnis sollen Sie am Ende des Praktikumtermins alle Daten ablegen, die während dem Praktikum entstanden sind. Ihnen stehen dazu 100 MB zur Verfügung. Speichern Sie keine privaten Daten oder Daten anderer Lehrveranstaltungen in dieses Verzeichnis ab! Sie finden Ihr Homeverzeichnis unter:

```
\\zwo210-gauss\Ihrem Login in der Domäne DS
```

### ■ Abgabe

Am Ende jedes Praktikumtermins müssen Sie in der Regel etwas abgeben. Damit sind nicht alle Daten gemeint, die Sie während des Praktikums erzeugt haben (dafür haben Sie Ihr Home-Verzeichnis), sondern meist nur die Endergebnisse (Details hierzu entnehmen Sie der jeweiligen Aufgabenstellung). Dieses Verzeichnis hierzu finden Sie unter:

```
\\zwo210-gauss\public\cav\...\Abgabe
```

# Kapitel 1

## Einführung in moderne Modellierungswerkzeuge

### 1.1 Lernziele

Nach dieser Übung sind Sie mit der grundlegenden Bedienung von drei im Praktikum eingesetzten Modellierungswerkzeugen vertraut. Dies ist sehr wichtig, da Sie in späteren Übungen mit diesen Werkzeugen konkrete Aufgaben bearbeiten werden und Sie dann mit den Grundfunktionen der einzelnen Werkzeuge vertraut sein müssen.

### 1.2 Werkzeuge dieser Übung

**discreet 3ds max** - Im Praktikum im Wintersemester 2003/2004 verwenden wir die Version 5.1 . Weitere Informationen finden Sie unter der URL des Herstellers:

<http://www.discreet.com>

Für das praktische Üben zu Hause empfehlen wir Ihnen *gmax*. Hierbei handelt es sich um eine freie, im Funktionsumfang eingeschränkte Version von *3ds max*. Zwar können Sie mit ihr keine Bilder rendern, trotzdem sind alle grundlegenden Funktionen vorhanden und das Interface ist mit dem von *3ds max* identisch. Sie können *gmax* unter folgender URL herunterladen:

<http://www.discreet.com/products/gmax/>

**AliasWavefront Maya** - Im Praktikum im Wintersemester 2003/2004 verwenden wir Maya Complete, Version 5. Weitere Informationen finden Sie unter der URL des Herstellers:

[www.aliaswavefront.com](http://www.aliaswavefront.com)

Für das praktische Üben zu Hause empfehlen wir Ihnen die *Maya Personal Learning Edition*. Hierbei handelt es sich um eine freie, im Funktionsumfang eingeschränkte Version von *Maya*. Sie können die *Maya PLE* unter folgender URL herunterladen:

[http://www.alias.com/eng/products-services/maya/maya\\_ple/index.shtml/](http://www.alias.com/eng/products-services/maya/maya_ple/index.shtml/)

**Rhinoceros** - Im Praktikum im Wintersemester 2003/2004 verwenden wir die Version 2.0. Weitere Informationen finden Sie unter der URL des Herstellers:

[www.Rhino3d.com](http://www.Rhino3d.com)

Für das praktische Üben zu Hause empfehlen wir Ihnen die *Rhino Evaluation*. Hierbei handelt es sich um eine freie, voll funktionsfähige Version von *Rhino*. Einzige Einschränkung ist, dass Sie nur 25 mal speichern können. Danach bleibt sie aber weiterhin funktionsfähig. Sie können die *Rhino Evaluation* unter folgender URL herunterladen:

<http://download.mcneel.com/rhino/3.0/eval/>

Sollten Sie über keinen schnellen Internetzugang verfügen, können Sie die Werkzeuge auch im Praktikum auf CD zum Kopieren ausleihen. Generell wird für 3D-Grafikwerkzeuge eine 3-Tasten-Maus empfohlen. Viele Funktionen, die das Arbeiten enorm erleichtern können, nutzen eine mittlere Maustaste.

### 1.3 Vorausgesetztes Wissen

Für die erste Übung benötigen Sie nur wenig theoretisches Vorwissen. Trotzdem sollten Ihnen folgendes bekannt sein:

- Sicherheit im Umgang mit *Microsoft Windows XP*.
- Sicherheit und Erfahrung im Bedienen von *Windows* -Applikationen.
- Was ist ein Koordinatensystem?
- Was sind Transformationen?
- Was bedeutet der Begriff „Rendern“?

## 1.4 Einführung in 3ds max

3ds max ist ein vollständiges Modellierungs- und Animationswerkzeug und gehört zu den führenden Anwendungen in diesem Sektor. 3ds max ist nur für Windows (NT, 2K, XP) verfügbar.

Wenn sie 3ds max im VisLab starten und beenden erscheinen einige Fehlermeldungen, da Sie kein uneingeschränktes Schreibrecht auf den VisLab-Rechnern haben. Sie können diese Meldungen einfach ignorieren.

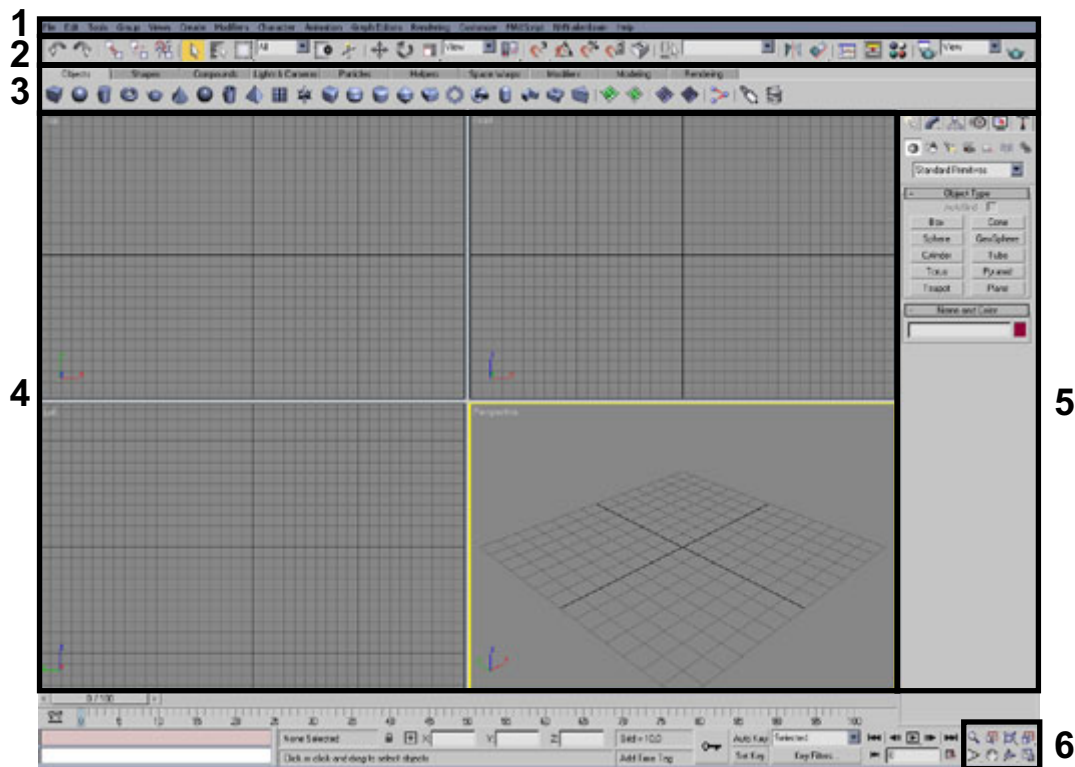


Abbildung 1.1: Die Benutzeroberfläche von 3ds max

- 1 Menu Bar
- 2 Main Toolbar
- 3 Tab Panel (wird mit der y-Taste ein-/ und ausgeblendet)
- 4 Viewports
- 5 Command Panels
- 6 Viewport navigation controls

### 1.4.1 Besonderheiten von 3ds max

Bei 3ds max können sich hinter einem Icon weitere Icons verbergen; man spricht von *flyouts*. Diese Icons sind mit einem kleinen, schwarzen Dreieck am rechten unteren Rand des Icons gekennzeichnet. Wenn sie ein solches Icon mit der linken Maustaste anklicken und diese halten, erscheinen weitere Icons für ähnliche Funktionen wie die das Icons. Ein Beispiel hierfür sehen sie in Abbildung 1.2.



Abbildung 1.2: Beispiel für ein *Flyout*-Icon

### 1.4.2 Szenen in 3ds max

Eine Datei, die Sie in einem Modellierungswerkzeug erstellt haben nennt man in der Regel *Szene* oder *scene*. Wenn Sie in *3ds max* ein Objekt erstellt haben und dies abspeichern, speichern Sie nicht nur das Objekt, sondern die ganze Szene ab (im *.max*-Format). Eine solche Szene enthält die „Welt“ in der sich die Objekte befinden, Materialien, Lichtquellen, Kameras, Animationen usw. Alle diese Dinge werden sie im weiteren Verlauf dieses Praktikums noch kennen lernen. Im Gegensatz dazu enthalten einige Teile einer Szene nur Verknüpfungen zu Dateien, die nicht mit der Szene abgespeichert werden (z.B. Texturen), dazu aber später mehr.

Es ist auch möglich ein einzelnes Objekt abzuspeichern bzw. zu laden, dies ist meist nötig um ein Objekt in einem anderen Modellierungswerkzeug weiter zu bearbeiten. Hier spricht man von *Import* bzw. *Export*. *3ds max* bietet hierzu eine ganze Reihe von verschiedenen Dateiformaten an. Oft müssen die hierzu benötigten *Import*- bzw. *Export-Filter* aber erst als Plug-in geladen werden (*Menu Bar* → *Customize* → *Plug-in Manager*...).

### 1.4.3 Viewports in 3ds max

Standardeinstellung beim Start sind vier gleichgroße Viewports. Die Fenster lassen sich mit der Maus durch „Ziehen“ verändern. Vordefinierte Layouts finden Sie unter: *Menu Bar* → *Customize* → *Viewport Configuration*... → *Layout*.

Um einen einzelnen Viewport zu verändern, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf die Bezeichnung des Viewports (z.B. *Top*). Im erscheinenden Menü können Sie dann die gewünschte Darstellungsform (*Smooth* oder *Wireframe*) und unter *Views* eine andere Sicht wählen. Um einen Viewport zu aktivieren, klicken Sie einfach mit der linken Maustaste hinein. Der aktive Viewport wird farbig umrandet.

### 1.4.4 Die Command Panels von 3ds max

Sie können unter 6 Panels wählen, die nach Aufgabengebieten sortiert sind. Sehen Sie hierzu Abbildung 1.3.

### 1.4.5 Viewport navigation controls/Camera Viewport Controls in 3ds max

Hier finden Sie Funktionen um in den einzelnen Viewports zu navigieren (siehe Abbildung 1.4). Alle Veränderungen die Sie hier tätigen verändern nur die Sicht in den Viewports und nicht die einzelnen Objekte!

Stellt der aktive Viewport eine Kamerasicht dar, dann verschwinden einige Icons und an deren Stelle erscheinen die *Camera Viewport Controls* (siehe Abbildung 1.5).



Abbildung 1.3: Die 6 *Command Panels* von 3ds max

- 1 *Create panel* - Zum Erzeugen von Objekten
- 2 *Modify panel* - Zum Modifizieren von erzeugten Objekten
- 3 *Hierarchy panel* - Hierarchien und Kinematik
- 4 *Motion panel* - Animation
- 5 *Display panel* - Bildschirmanzeige
- 6 *Utilities panel* - Spezielle Funktionen und Plug-Ins



Abbildung 1.4: Die *Viewport Navigation Controls* von 3ds max

- 1 *Zoom* – Um in den aktiven Viewport hinein bzw. hinaus zu zoomen.
- 2 *Zoom All* – Um in alle Viewports hinein bzw. hinaus zu zoomen.
- 3 *Zoom Extents* – Um alle Objekte im aktiven Viewport anzuzeigen.
- 4 *Zoom Extents All* – Um alle Objekte in allen Viewports anzuzeigen.
- 5 *Region Zoom* – Um in eine ausgewählte Region hinein zu zoomen.
- 6 *Pan* – Um die Ansicht zu verschieben.
- 7 *Arc Rotate* – Um die Ansicht zu rotieren.
- 8 *Min/Max Toggle* – Um den aktiven Viewport zu vergrößern bzw. zu verkleinern.



Abbildung 1.5: Die *Camera Viewport Controls* von 3ds max

- 1 *Dolly Camera* – Um die Kamera entlang der Sichtlinie zu bewegen.
- 2 *Perspective* – Um die Kameraperspektive zu verändern.
- 3 *Roll Camera* – Um die Kamera entlang der Sichtlinie zu rotieren.
- 4 *Field of View* – Um den Blickwinkel der Kamera zu verändern.
- 5 *Truck Camera* – Um die Kamera seitlich bzw. nach oben und unten zu bewegen.
- 6 *Orbit Camera* – Um die Kamera um ein Objekt zu bewegen.

### 1.4.6 Die Maussteuerung von 3ds max

Die drei wichtigsten Funktionen zur Navigation in den Viewports lassen sich auch schnell mit der Maus aufrufen:

- *Pan* – Strg-Taste und mittlere Maustaste
- *Arc Rotate* – Alt-Taste und mittlere Maustaste
- *Zoom* – Strg-Taste und Alt-Taste und mittlere Maustaste

### 1.4.7 Einfache Objekte erstellen in 3ds max

Es gibt in *3ds max* mehrere Wege Objekte zu erstellen:

- *Menu Bar* → *Create*
- *Command Panel* → *Create*
- *Tab Panel* → *Objects*

Hat man den Objekttyp gewählt, den man erzeugen möchte, kann man das Objekt auf zwei Arten erzeugen:

- **Mit der Maus**  
Klicken Sie mit der linken Maustaste in einen Viewport, halten Sie die linke Maustaste und „ziehen“ sie das Objekt auf. Hat das Objekt mehrere Parameter, werden diese nach dem Loslassen der Maustaste eingestellt.
- **Mit der Tastatur**  
Nach dem Auswählen des gewünschten Objekts erscheint im *Create Panel* der Rollout *Keyboard Entry*. Hier können Sie die Objektparameter mit der Tastatur eingeben. Nach dem Klicken auf *Create* wird das Objekt erzeugt.

### 1.4.8 Objekte auswählen und Parameter verändern in 3ds max



Abbildung 1.6: Objekte auswählen in *3ds max*

- 1 *Select* - Um ein Objekt auszuwählen mit der linken Maustaste auszuwählen. Mit Hilfe der Strg-Taste können so auch mehrere Objekte nacheinander ausgewählt werden. Sie können auch eine Auswahlregion um mehrere Objekte ziehen.
- 2 *Select by Name* - Bei sehr vielen Objekten sollten Sie diese Funktion zu Hilfe nehmen. Diese gibt ihnen eine Auflistung aller Objekte in der Szene.
- 3 *Selection Region* - Hier können Sie einstellen, welche Form die Auswahlregion (siehe *Select*) hat.

Um die Objektparameter zu verändert, müssen Sie zu *Command Panel* → *Modify* wechseln. Dort finden Sie dann ganz oben ein Eingabefeld für den Objektnamen und die Farbe, mit der das Objekt dargestellt wird. Weiter unten finden Sie das Rollout *Parameter*.

Um ein Objekt zu löschen, wählen Sie es an und drücken die Entf-Taste.

### 1.4.9 Transformationen in 3ds max

Im *Main Toolbar* findet man folgende Icons zu den 3 Transformationen Translation, Rotation und Skalierung:

Wenn Sie eine Transformation ausgewählt haben, können Sie die gewünschten Werte nach Drücken der F12 auch per Tastatur eingeben. Alternativ können die Transformationen auch über das *Quad Menu* (Rechtsklick auf ein Objekt) oder mit den Hotkeys *w*, *e* und *r* aufgerufen werden.



Abbildung 1.7: Die Transformationen *Move*, *Rotate* und *Scale* in *3ds max*

- 1 *Move* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt in die gewünschte Richtung verschieben. Auch die Kombination zweier Richtungen ist möglich.
- 2 *Rotate* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt um die gewünschte Achse rotieren.
- 3 *Scale* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt entlang der gewünschte Achse skalieren. Auch die Kombination zweier Achsen ist möglich. Das Zentrum der *Handles* dient zur gleichförmigen Skalierung anhand aller 3 Achsen.

### 1.4.10 Snaps in 3ds max

Zum Transformieren von Objekten bietet Ihnen *3ds max* praktische Hilfen, die sog. *Snaps* an. Diese können Sie jeweils einzeln an- und ausschalten.



Abbildung 1.8: Snaps in *3ds max*

- 1 *2D/2.5D/3D Snap* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten am eingestellten Grundraster, indem es immer bei ganzen Werten „einrastet“.
- 2 *Angle Snap* - Erleichtert das Rotieren von Objekten, indem es nur um einen bestimmten Wert rotiert.
- 3 *Percent Snap* - Erleichtert das Arbeiten mit Prozentzahlen (z.B. beim gleichförmigen Skalieren, da es nur das Erhöhen/Erniedrigen in frei wählbaren Schritten zulässt).
- 4 *Spinner Snap* - Erleichtert das Arbeiten mit den sog. Spinnern (z. B. in den *Command Panels*), da es hier nur ganze Werte zulässt.

Wie groß diese Raster und Werte sind und weitere Einstellungen finden Sie unter *Menu Bar* → *Customize* → *Grid and Snap Settings...* oder durch einen Rechtsklick auf das jeweilige Icon.

### 1.4.11 Objekte ausrichten, spiegeln und kopieren in 3ds max

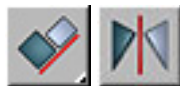
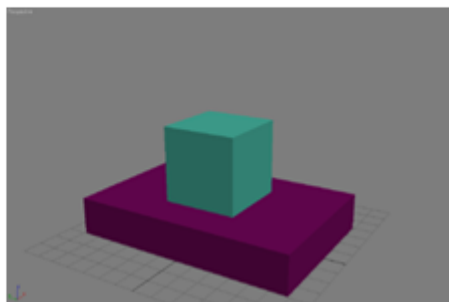
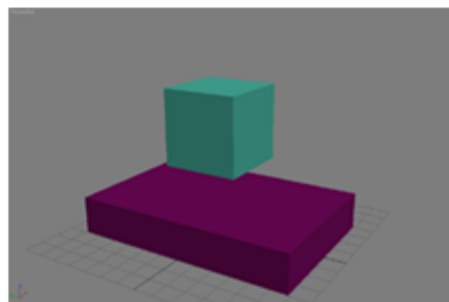
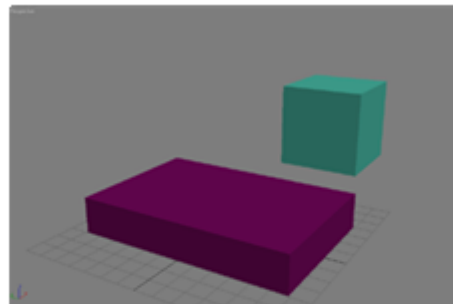


Abbildung 1.9: *Align* und *Mirror* von *3ds max*

Um Objekte aneinander auszurichten, wählen Sie zunächst das Objekt, das ausgerichtet werden soll und klicken dann auf das Icon *Align*. Danach wählen Sie das Objekt aus, an dem Sie ausrichten wollen. Darauf hin öffnet sich das *Align*-Fenster.

Unter Abbildung 1.11 sehen sie ein Beispiel für das Arbeiten mit *Align*. Ein Würfel soll genau bündig und zentriert auf einem Quader sitzen. Mit der Funktion *Align* ist dies schnell und exakt möglich.

Abbildung 1.10: Das *Align*-Fenster von *3ds max*Abbildung 1.11: Ein Beispiel für die Funktion *Align*

Mit der Funktion *Mirror* können Sie ein Objekt spiegeln, d.h ein spiegelverkehrte Kopie des Objekts erstellen. Beachten Sie dabei, das Sie mit *Offset* die Entfernung angeben, die das neue Objekt zum Ausgangsobjekt hat (gemessen von der Objektmittle).

Wenn Sie ein Objekt mit der Maus verschieben und dabei die Shift-Taste gedrückt halten können Sie Kopien des Objekts erstellen.

### 1.4.12 Der Modifier Stack von 3ds max

Mit dem Erzeugen eines Objekts legt *3ds max* einen sog. *Modifier Stack* für das Objekt an. In diesem werden die Erstellungsparameter und alle auf das Objekt angewandte Modifier gespeichert (Modifier lassen wir in diesem Praktikum außer Acht, mehr dazu später). Die Reihenfolge im Stack entspricht von unten nach oben der Reihenfolge, wie die Modifikationen getätigt wurden. Ganz unten steht der Objekttyp mit den Erstellungsparameter. Sie können einzelne Modifikationen herauslöschten oder nachträglich verändern. Sie finden den Modifier Stack ganz oben im *Modify panel*.

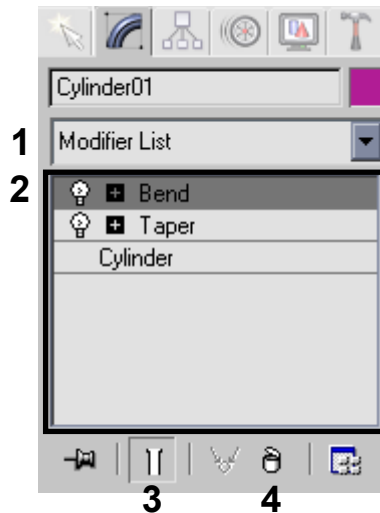


Abbildung 1.12: Modifier Stack von 3ds max

- 1 *Modifier List* - Eine Liste der Modifikatoren, die auf das Objekt angewendet werden können.
- 2 *Modifier Stack* - Die Modifikatoren, die bisher auf das Objekt angewandt wurden, Reihenfolge von unten nach oben.
- 3 *Show end result* - Um das Endergebnis aller Modifikatoren zusammen anzuzeigen.
- 4 *Remove modifier from the stack* - Löscht den ausgewählten Modifikator aus dem Stack.

### 1.4.13 Rendern in 3ds max

Um ein zweidimensionales Bild von einer Szene zu erzeugen benötigen Sie die Funktion *Rendern* (oder auch *Bildsynthese*). Auf das Thema Rendern wird im späteren Verlauf des Praktikums noch weiter eingegangen. Um ein Bild von einer Szene zu *rendern* wählen Sie eine der folgenden Funktionen:

- *Menu Bar* → *Rendering* → *Render...*
- *Main Toolbar* → *Render Scene*



Abbildung 1.13: Rendern in 3ds max

■ *Tab Panel* → *Rendering* → *Render Scene*

■ F10-Taste

Im erscheinenden *Render*-Window können Sie unter anderem folgende Einstellungen vornehmen:

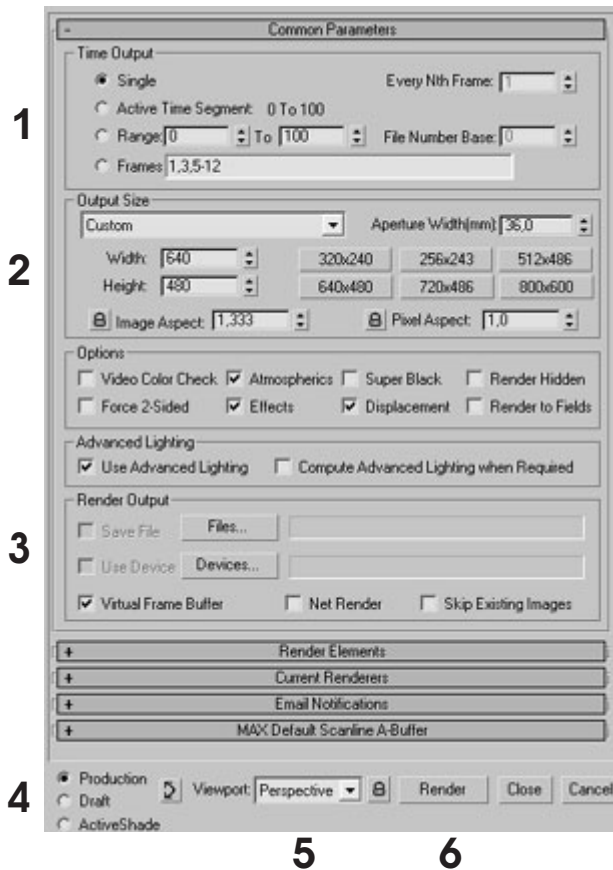


Abbildung 1.14: Das *Render*-Window in *3ds max*

- 1 *Time Output* - geben Sie an, ob Sie nur ein Bild/Frame (*Single*) oder eine Animation (mehrere Frames) ausgeben wollen.
- 2 *Output Size* - Die Größe der ausgegebenen Frames in Pixel.
- 3 *Render Output* - Hier stellen Sie ein, ob das Bild im Arbeitsspeicher (*Virtual Frame Buffer*) erzeugt wird oder ob Sie die Ausgabe direkt in eine Datei erzeugen wollen. Das Format und die Dateiablage geben sie unter *Files...* an.
- 4 *Renderer* - Hier können sie die Rendermethode auswählen. Im Zweifelsfall lassen Sie hier die Standardeinstellung.
- 5 *Viewport* - Hier geben Sie an, welchen Viewport (also welche Ansicht der Szene) sie rendern möchten.
- 6 *Render* - Hier starten Sie den Render-Prozess.

## 1.5 Einführung in Maya

Maya ist ein vollständiges Modellierungs- und Animationswerkzeug und gehört zu den führenden Anwendungen in diesem Sektor. Maya ist für folgende Plattformen verfügbar: *Windows* (NT, 2K, XP), *LINUX*, *IRIX*.

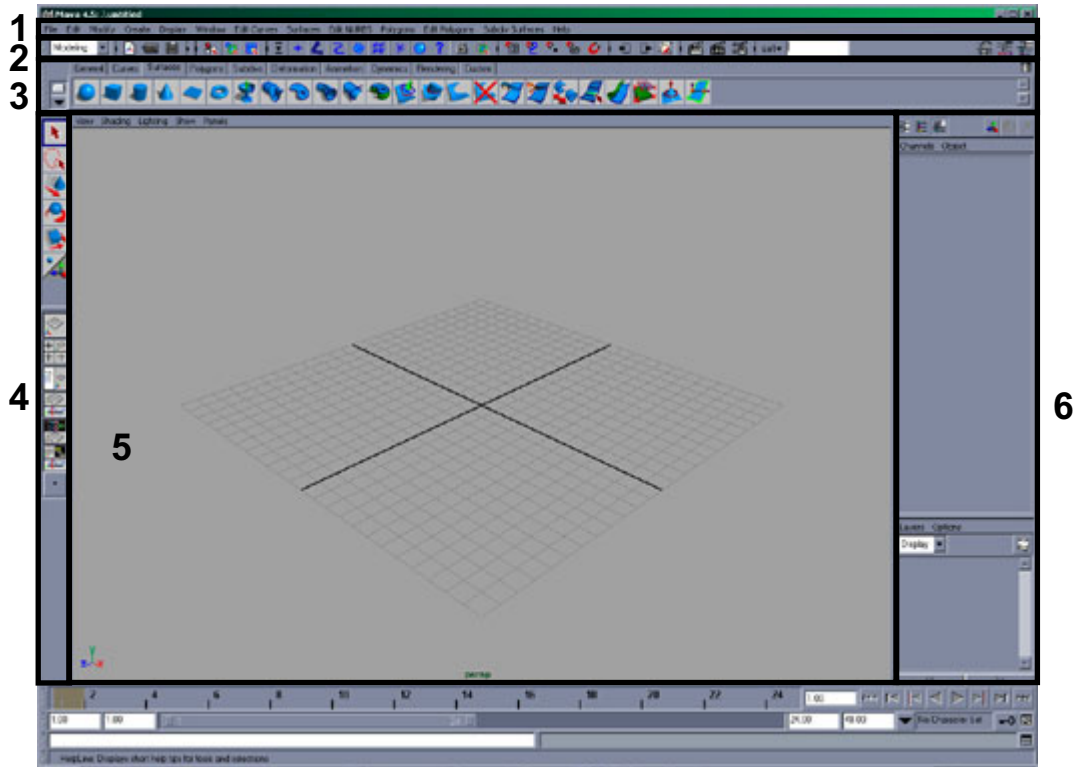


Abbildung 1.15: Die Benutzeroberfläche von Maya

- 1 *Menu Bar*
- 2 *Status Line*
- 3 *Shelf*
- 4 *Toolbox*
- 5 *Viewports*
- 6 *Attribute Editor* bzw. *Tool Settings* bzw. *Channel Box / Layer Editor*

### 1.5.1 Besonderheiten von Maya

Beim Auswählen von Funktionen über den *Menu Bar* taucht oft das unter Abbildung 1.16 gezeigte Icon auf:



Abbildung 1.16: Die *Options* - Funktion in Maya

Wenn Sie dieses Icon auswählen, wird die Funktion nicht direkt ausgeführt, sondern Sie können zunächst Parameter mit der Tastatur eingegeben. Diese Funktion wird im weiteren mit dem Icon  dargestellt.

## 1.5.2 Szenen und Projekte in Maya

Wie *3ds max* arbeitet auch *Maya* mit Szenen. Allerdings ist in *Maya* eine Szene immer Teil eines Projekts. Ein Projekt ist ein Verzeichnis mit einer festen Orderstruktur. Wenn Sie kein eigenes Projekte anlegen erzeugt *Maya* standardmäßig ein Projekt names `default` unter `...\Eigene Dateien\maya\projects\`. Zu Beginn sind zunächst der Ordner `scenes` für die Szenen, sowie der Ordner `images` für die gerenderten Bilder für Sie relevant.

Diese strenge Verwaltung der Dateien hat einige Vorteile. So einen findet sich der Benutzer auch bei Szenen die er nicht selbst erstellt hat schnell zurecht. Wie Sie schon gehört haben, kann eine Szene auch Verknüpfungen zu Dateien enthalten. Dies hat den Nachteil, dass wenn man die verknüpften Dateien verschiebt, die Verknüpfung nicht mehr stimmt und Texturen beim Rendern beispielsweise nicht mehr gefunden werden. Die Verwaltung der Dateien in Projekten mit festgelegten Ordnern beispielsweise für die Texturen soll dies unterbinden.

Natürlich bietet auch *Maya* den Import bzw. Export von Objekten in verschiedene Dateiformate an. Oft müssen die hierzu benötigten *Import-* bzw. *Export-Filter* aber erst als Plug-in geladen werden (*Menu Bar* → *Window* → *Settings/Preferences* → *Plug-in Manager...*).

## 1.5.3 Der Menu Bar von Maya

Direkt am Anfang der *Status Line* finden Sie ein Pull-Down Menü, mit dem sich der *Menu Bar* an die jeweiligen Aufgabenbereiche anpassen lässt. Diese Bereiche sind:

- *Animation*
- *Modeling*
- *Dynamics*
- *Rendering*

Viele Funktionen aus der *Status Line* stehen Ihnen im *Shelf* auch in Form von Icons zur Verfügung.

## 1.5.4 Die Status Line Bar von Maya

Neben dem eben erwähnten Pull-Down Menü finden Sie am Ende der *Status Line* drei Icons, mit denen Sie den *Attribute Editor*, die *Tool Settings* und die *Channel Box* einblenden können.

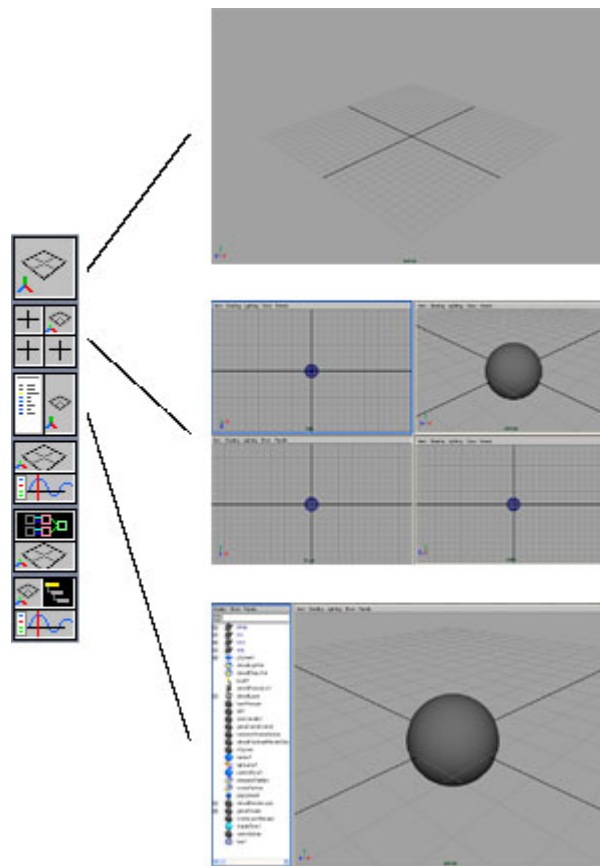


Abbildung 1.17: *Attribute Editor*, *Tool Settings* und *Channel Box* in Maya

## 1.5.5 Viewports in Maya

Standardeinstellung beim Start ist ein Viewport mit einer räumlichen Ansicht wie unter Abbildung 1.15 gezeigt. Im unteren Teil der *Toolbox* finden Sie weitere vordefinierte Layouts (siehe Abbildung 1.18).

Um einen einzelnen Viewport zu verändern, finden Sie an seiner oberen Kante weitere Einstellungsmöglichkeiten wie die gewünschte Darstellungsform (*Smooth* oder *Wireframe*) unter *Shading* oder vordefinierte *Views* (*View* → *Predefined Bookmarks*). Um einen Viewport zu aktivieren, klicken Sie einfach hinein. Der aktive Viewport wird farbig umrandet.



**Abbildung 1.18:** Drei nützliche vordefinierte Layouts von Maya: Perspektivische Ansicht, Vier Ansichten, Perspektivisch mit *Outliner*

### 1.5.6 Die Maussteuerung von Maya

Die drei wichtigsten Funktionen zur Navigation in den Viewports lassen sich mit der Maus aufrufen. Beachten Sie, dass alle Veränderungen die Sie hier tätigen nur die Sicht in den Viewports und nicht die einzelnen Objekte verändern!

- *Pan* – Alt-Taste und mittlere Maustaste
- *Arc Rotate* – Alt-Taste und linke Maustaste
- *Zoom* – Alt- und linke und mittlere Maustaste

### 1.5.7 Einfache Objekte erstellen in Maya

Um ein Objekt zu erzeugen, wählen Sie über *Menu Bar* → *Create* oder über das *Shelf* das gewünschte Objekt aus. Das Objekt wird direkt mit Default-Parametern im Ursprung der Szene erstellt. Mit dem □-Icon können Sie, wenn gewünscht, zuvor Parameter angeben.

### 1.5.8 Objekte auswählen und Parameter verändern in Maya

Um ein Objekt auszuwählen, aktivieren Sie die Funktion *Select* und klicken Sie dann auf das gewünschte Objekt. Mit Hilfe der Shift-Taste können so nacheinander auch mehrere Objekte ausgewählt werden. Sie können auch eine Auswahlregion in Form eines Rechtecks um mehrere



Abbildung 1.19: Auswahlwerkzeuge in Maya

Objekte ziehen. Mit dem *Lasso Tool* können ebenfalls mehrere Objekte auf einmal ausgewählt werden.

Bei sehr vielen Objekten sollten Sie den *Outliner* zu Hilfe nehmen. Sie finden ihn unter *Menu Bar* → *Window* oder sie nutzen das vordefinierte Viewport-Layout (siehe Abbildung 1.18). Dieser gibt ihnen eine Auflistung aller Objekte in der Szene.

Um die Objektparameter zu verändern, müssen Sie über die *Status Line* oder durch die Tastenkombination *Strg-A* zum *Attribute Editor* wechseln.

Um ein Objekt zu löschen, wählen Sie es an und drücken die *Entf*-Taste.

### 1.5.9 Transformationen in Maya

In der *Tool Box* findet man folgende Icons zu den 3 Transformationen Translation, Rotation und Skalierung:



Abbildung 1.20: Die Transformationen *Move*, *Rotate* und *Scale* in Maya

- 1 *Move* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt in die gewünschte Richtung verschieben. Auch die Kombination zweier Richtungen ist möglich.
- 2 *Rotate* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt um die gewünschte Achse rotieren.
- 3 *Scale* - Mit Hilfe der auftauchenden *Handles* lässt sich das Objekt entlang der gewünschte Achse skalieren. Auch die Kombination zweier Achsen ist möglich. Das Zentrum der *Handles* dient zur gleichförmigen Skalierung anhand aller 3 Achsen.

Alternativ können Sie die Transformationen auch mit den Hotkeys *w*, *e* und *r* aufrufen. Wenn sie ein Objekt ausgewählt haben, können Sie die exakten Werte auch per Tastatur in der *Channel Box* eingeben.

### 1.5.10 Snaps in Maya

Zum Transformieren von Objekten bietet Ihnen Maya praktische Hilfen, die sog. *Snaps* an. Diese können Sie jeweils einzeln an- und ausschalten.

Wie groß das Grundraster (*Grid*) ist und weitere Einstellungen finden Sie unter *Menu Bar* → *Display* → *Grid* .



Abbildung 1.21: Snaps in Maya

- 1 *Snap to grids* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten am eingestellten Grundraster, indem es immer bei ganzen Werten „einrastet“.
- 2 *Snap to curves* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten an einer Kurve.
- 3 *Snap to points* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten an bestimmten Punkten.
- 4 *Snap to view planes* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten an einer Viewplane.

### 1.5.11 Objekte ausrichten und kopieren in Maya

Um Objekte aneinander auszurichten, wählen Sie zunächst die Objekte, die zueinander ausgerichtet werden sollen mit Hilfe der Shift-Taste aus (zuerst das Objekt, das ausgerichtet werden soll, dann das Objekt, an dem ausgerichtet werden soll) und klicken Sie dann auf *Menu Bar*→*Modify*→*Snap Align Objects*→*Align Tool*. Um die Objekte erscheinen nun mehrere Symbole, mit denen Sie ganz intuitiv die Objekte ausrichten können. Unter Abbildung 1.22 sehen sie ein Beispiel für das Arbeiten mit *Align*. Wieder soll ein Würfel genau bündig und zentriert auf einem Quader sitzen. Mit der Funktion *Align* ist dies wieder schnell, einfach und exakt möglich.

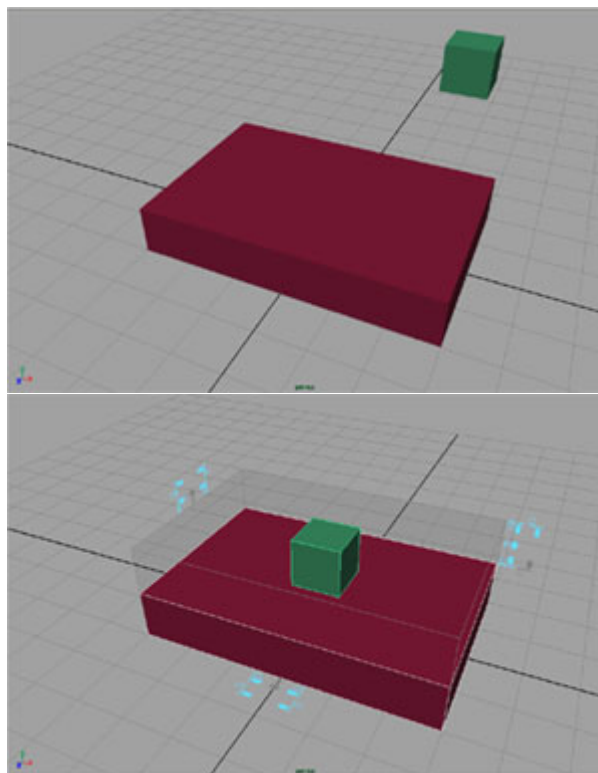


Abbildung 1.22: Die Funktion *Align* in Maya

Um ein Objekt zu kopieren, wählen Sie es an und wählen *Menu Bar*→*Edit*→*Duplicate*. Hierbei liegt die Kopie allerdings genau über dem Originalobjekt. Wenn sie die Funktion *Duplicate*  wählen, können Sie noch weitere Parameter wie z.B. die Anzahl der Kopien oder Transformationen angeben.

## 1.5.12 Rendern in Maya

Um ein Bild oder auch einen Film einer Szene zu erzeugen, stellen Sie das Pull-Down Menü links auf der Status Line auf *Rendering* und wählen Sie dann *Menu Bar*→*Render*→*Render Current Frame*. . . . Der aktive Viewport wird sofort gerendert.



Abbildung 1.23: Rendern und die Render Globals in Maya

In den *Render Globals* können Sie Einstellungen zum Rendern vornehmen. Sie finden die *Render Globals* im geöffneten *Render View* - Fenster unter *Options*→*Render Globals* oder unter *Status Line*→*Render Globals*.

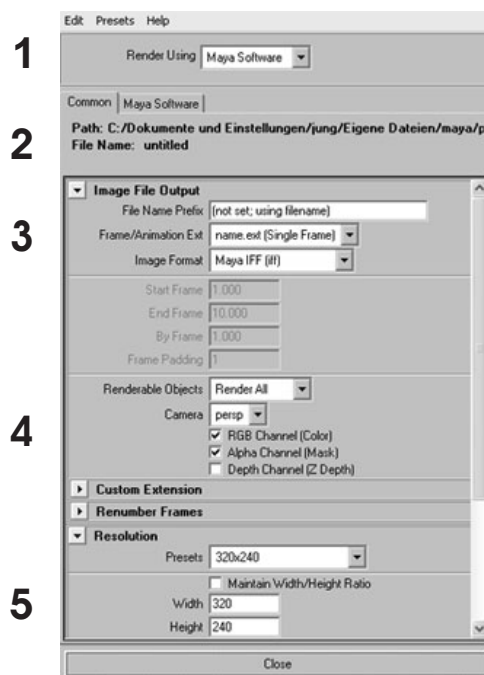


Abbildung 1.24: Die Render Globals in Maya

- 1 *Render Using* - Hier können Sie auswählen, welchen Renderer sie benutzen wollen (für den Anfang lassen sie die Standardeinstellung).
- 2 *Path* - Ausgabepfad (siehe auch Kapitel 1.5.2).
- 3 *File Output* - Name und Format der Ausgabe.
- 4 *Camera* - Hier geben Sie an, welchen Sicht der Szene sie rendern möchten.
- 5 *Resolution* - Ausgabegröße in Pixel.

## 1.6 Einführung in Rhinoceros / Rhino

*Rhino* ist ein reines Modellierungswerkzeug. Animieren ist nicht möglich, Rendern ist begrenzt möglich. *Rhino* ist hierbei mehr an Konstruktionswerkzeugen (*CAD*) orientiert und hat seinen Schwerpunkt auf der *NURBS*-Modellierung. *Rhino* ist nur für *Windows* verfügbar.

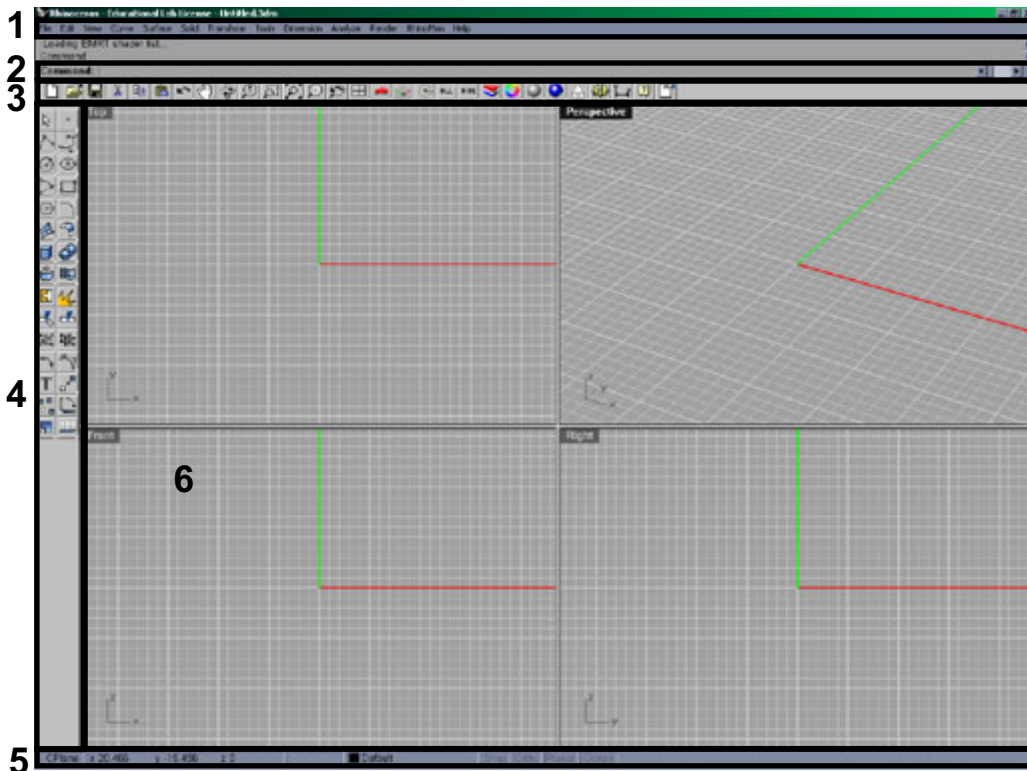


Abbildung 1.25: Die Benutzeroberfläche von *Rhino*

- 1 Menu Bar
- 2 Command Window
- 3 Docked Toolbar
- 4 Cascading Toolbar
- 5 Status Bar
- 6 Viewports

### 1.6.1 Besonderheiten von *Rhino*

- Durch das *Command Window* kann *Rhino* größtenteils mit Tastatureingaben gesteuert werden. Teilweise müssen hier Eingaben erfolgen oder Eingaben (auch die, die mit der Maus erfolgt sind) mit der Enter-Taste bestätigt werden. Zum Abbrechen einer Funktion dient die Esc-Taste.
- Bei *Rhino* können hinter einem Icon zwei Befehle stecken, die dadurch aufgerufen werden, indem Sie das Icon mit der linken oder rechten Maustaste anklicken. Die Funktionen der Icons werden beide angezeigt, sobald sie den Mauszeiger kurz über dem Icon stehen lassen.
- Wollen Sie in *Rhino* ein Objekt auswählen, über oder hinter dem ein anderes Objekt liegt, wird ein kleines Auswahlfenster angezeigt, in dem das gewünschte Objekt ausgewählt werden kann.

## 1.6.2 Szenen in Rhino

Die Szenen in *Rhino* unterscheiden sich von denen, wie Sie sie von *3ds max* und *Maya* kennen. Bei *Rhino* handelt es sich um ein reines Modellierungswerkzeug, was Funktionen wie Animation oder verschiedenartige Lichtquellen, Texturen nicht oder nur sehr begrenzt anbietet. Je nach Dateiformat, das Sie beim abspeichern einer Szene wählen, werden Komponenten einer Szene mit gespeichert oder auch nicht. Die Funktionen Import bzw. Export nutzen Sie nur für einzelne Objekte aus einer Szene.

## 1.6.3 Das Command Window von Rhino

Hier können Sie Befehle direkt mit der Tastatur eingeben. Es erscheinen ständig Meldungen, was *Rhino* gerade tut oder welche Eingaben es benötigt. Mit der F2-Taste können Sie hierzu ein eigenes Fenster öffnen.

## 1.6.4 Viewports in Rhino

Standardeinstellung beim Start sind vier gleich große Viewports. Die Fenster lassen sich mit der Maus durch „Ziehen“ verändern. Jeder Viewport hat in der linken oberen Ecke einen sog. *Viewport Title Bar*. Mit einem Doppelklick auf diesen können Sie den jeweiligen Viewport auf vergrößern und die anderen Ausblenden. Mit einem Rechtsklick auf die *Viewport Title Bar* können Sie Einstellungen für den Viewport vornehmen. Um einen Viewport zu aktivieren, klicken Sie einfach hinein. Der aktive Viewport wird farbig umrandet.

## 1.6.5 Viewport navigation controls in Rhino

Im *Docked Toolbar* finden Sie Funktionen um in den einzelnen Viewports zu navigieren. Alle Veränderungen, die Sie hier tätigen, verändern nur die Sicht in den Viewports und nicht die einzelnen Objekte!



Abbildung 1.26: Die *Viewport Navigation Controls* von *Rhino*

- 1 *Pan* – Um die Ansicht zu verschieben.
- 2 *Rotate* – Um die Ansicht zu rotieren.
- 3 *Zoom Dynamic* – Um in den aktiven Viewport hinein- bzw. hinaus zu zoomen.
- 4 *Zoom Window* – Um in eine ausgewählte Region zu vergrößern.
- 5 *Zoom Extents* – Um alle Objekte im aktiven Viewport vollständig anzuzeigen.
- 6 *Zoom Selected* – Um das ausgewählte Objekt im aktiven Viewport vollständig anzuzeigen.
- 7 *Undo View Change* – Um die letzte Änderung rückgängig zu machen.

## 1.6.6 Die Maussteuerung von Rhino

Die drei wichtigsten Funktionen zur Navigation in den Viewports lassen sich auch schnell mit der Maus aufrufen. Hier hängt es jedoch davon ab, in welchem Viewport man sich gerade befindet.

Im *Perspective-Viewport*:

- *Rotate* – rechte Maustaste

- *Zoom* – Strg-Taste und rechte Maustaste

In allen anderen Viewports:

- *Pan* – rechte Maustaste
- *Zoom* – Strg-Taste und rechte Maustaste

### 1.6.7 Einfache Objekte erstellen in Rhino

Einfache Objekte finden Sie unter *Menu Bar* → *Solid*. Für manche Objekte werden Ihnen verschiedene Methoden zur Erzeugung angeboten. Nachdem Sie sich für eine entschieden haben, können Sie das Objekt dann in einem Viewport mit der Maus erzeugen. Im *Command Window* werden Sie jeweils zur Eingabe des jeweiligen Parameters aufgefordert. Beachten Sie, dass dies jeweils mit der Maus oder auch durch Tastatureingabe in das *Command Window* geschehen kann.

### 1.6.8 Objekte auswählen und Parameter verändern in Rhino

Um ein Objekt auszuwählen, aktivieren Sie die Funktion *Select* und klicken dann auf das gewünschte Objekt. Mit Hilfe der Shift-Taste oder der Strg-Taste können so nacheinander auch mehrere Objekte ausgewählt werden. Sie können auch ein Auswahlrechteck um mehrere Objekte ziehen. Weitere Auswahlmöglichkeiten finden Sie unter *Menu Bar* → *Edit* → *Select*.

Die Objektparameter finden Sie unter:

- *Docked Toolbar* → *Object Properties*
- *Menu Bar* → *Edit* → *Object Properties*
- F3-Taste



Abbildung 1.27: *Select* und *Object Properties* in Rhino

Um ein Objekt zu löschen, wählen Sie es aus und drücken die Entf-Taste.

### 1.6.9 Transformationen in Rhino

Die drei Transformationen Translation, Rotation und Skalierung führen Sie folgendermaßen durch:

- *Move* - Klicken Sie das Objekt an, halten Sie die linke Maustaste gedrückt und ziehen Sie das Objekt an die gewünschte Position.
- *Rotate* - Klicken Sie auf *Menu Bar* → *Transform* → *Rotate*. Danach müssen Sie zuerst die Rotationsachse durch zwei Punkte angeben und danach den Winkel.
- *Scale* - Klicken Sie auf *Menu Bar* → *Transform* → *Scale*. Nachdem Sie eine Skalierung ausgewählt haben, müssen Sie zuerst die Skalierungsachse durch zwei Punkte angeben und danach den Skalierungswert.



Abbildung 1.28: Snaps in Rhinos

- 1 *Snap* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten am eingestellten Grundraster, indem es immer bei ganzen Werten „einrastet“.
- 2 *Ortho* - Erleichtert das Ausrichten von Objekten, da es nur Transformationen zulässt, die parallel oder orthogonal zum jeweiligen Koordinatensystem sind.
- 3 *Planar* - Legt fest, dass alle erzeugten Objekte in der gleichen Ebene liegen.
- 4 *Osnap* - Steht für *Objekt Snap* und erleichtert das Ausrichten von Objekten an anderen Objekten.

### 1.6.10 Snaps in Rhino

Zum Transformieren von Objekten bietet Ihnen *Rhino* praktische Hilfen, die sog. *Snaps* an. Diese können Sie jeweils einzeln an- und ausschalten.

Wie groß das Grundraster (*Grid*) ist und weitere Einstellungen finden Sie unter *Menu Bar* → *File* → *Properties...* → *Grid*.

### 1.6.11 Objekte spiegeln und kopieren in Rhino

Um ein Objekt zu spiegeln, wählen Sie zunächst das Objekt aus und dann *Menu Bar* → *Transform* → *Mirror*. Danach müssen Sie die Spiegelungsachse durch zwei Punkte angeben.

Um ein Objekt zu kopieren, wählen Sie es an und wählen *Menu Bar* → *Transform* → *Copy*.

### 1.6.12 Rendern in Rhino

Die Funktion, um ein Bild von einer Szene zu erzeugen, finden Sie unter:

■ *Menu Bar* → *Render* → *Render*

■ *Docked Toolbar* → *Render*



Abbildung 1.29: Rendern in *Rhino*

Der aktive Viewport wird sofort gerendert. Um die Render-Einstellungen zu verändern, klicken Sie mit der rechten Maustaste auf das *Render*-Icon in der *Docked Toolbar* oder klicken Sie auf *Menu Bar* → *Render* → *Properties*. Hier können Sie die Auflösung, den Namen und die *Output Directory* des gerenderten Bildes festlegen.

## 1.7 Aufgaben

### 1.7.1 Zur Vorbereitung vor dem Praktikum

Wir erwarten, dass Sie sich mit diesen Unterlagen auf das Praktikum vorbereitet haben, damit Sie direkt mit dem praktischen Teil anfangen können.

### 1.7.2 Während des Praktikums

Folgende Aufgaben sollen für jedes Werkzeug nacheinander bearbeitet werden. Bearbeiten Sie jeweils alle Aufgaben, bevor Sie mit dem nächsten Werkzeug beginnen.

**WICHTIG!!!** Beachten Sie bitte, dass die Bearbeitung im Praktikum erfolgen muss, vorbereitete Aufgaben werden nicht anerkannt!

1. Gehen Sie die Einführung zu jedem Werkzeug noch einmal durch und probieren Sie alle genannten Funktionen praktisch mit dem Werkzeug aus.
2. Erzeugen Sie einen Würfel, einen Zylinder, eine Kugel (*Sphere*) und einen Torus (jeweils nur ein Objekt!) und benennen Sie diese sinnvoll. Die Farbgebung ist ihrem Geschmack überlassen. Versuchen Sie mit diesen Körpern das unter Abbildung 1.30 abgebildete Objekt zu modellieren. **WICHTIG:** Setzen Sie dazu die in der Einführung vorgestellten Funktionen wie Kopieren und Ausrichten sinnvoll ein!
3. Speichern Sie die erstellten Szenen als

`modellierungswerkzeuge-max.max`, `modellierungswerkzeuge-maya.mb` bzw.  
`modellierungswerkzeuge-rhino.3dm`  
und jeweils ein geredertes Bild als  
`modellierungswerkzeuge-max.jpg`, `modellierungswerkzeuge-maya.jpg` und  
`modellierungswerkzeuge-rhino.jpg`

in Ihrem Home-Verzeichnis auf `gauss`.

4. Sollten Sie früher mit allen Aufgaben fertig sein, dann nutzen Sie die Zeit, um sich näher mit den Werkzeugen vertraut zu machen.

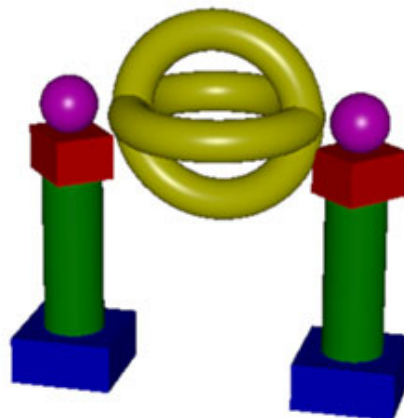


Abbildung 1.30: Übungsobjekt

### 1.7.3 Abgabe

Erstellen Sie unter

```
\\gauss\public\cav\Modellierungswerkzeuge\Abgabe
```

einen Ordner (als Namen nehmen Sie die Nachnamen der Teammitglieder, getrennt durch ein „&“) und speichern Sie dort die drei von Ihnen erstellten Szenen (nur die Endversion) und Bilder ab.

### 1.7.4 Nachbereitung

Nach dem Praktikumstermin sollte Ihnen die grundlegende Bedienung der drei Modellierungswerkzeuge klar sein. Es ist zu empfehlen, mit den freien Versionen der Werkzeuge zu Hause etwas zu experimentieren um noch etwas vertrauter mit der Bedienung der Werkzeuge zu werden.

Zur Nachbereitung beantworten Sie bitte folgende Fragen und geben diese in schriftlicher Form auf einem DIN A4 Blatt am nächsten Praktikumstermin im VisLab ab. Benutzen Sie hierzu die Vorlage, den Sie mit diesen Unterlagen erhalten haben.

1. Nennen Sie die Gemeinsamkeiten der drei Modellierungswerkzeuge im Bereich
  - (a) Bedienung
  - (b) Oberflächengestaltung
  - (c) Arbeitsweise.
2. Nennen Sie die Unterschiede der drei Modellierungswerkzeuge, im Bereich
  - (a) Bedienung
  - (b) Oberflächengestaltung
  - (c) Arbeitsweise.

# Literaturverzeichnis

- [ANM97] AMES, ANDREA L., NADEAU, DAVID R. und MORELAND, JOHN L.: *VRML 2.0 sourcebook*. Wiley, 1997.
- [BB03] BENDER, MICHAEL und BRILL, MANFRED: *Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch*. Hanser, 2003.
- [BC97] BELL, GAVIN und CAREY, RIKK: *The annotated VRML 2.0 reference manual*. Addison-Wesley, 1997.
- [Bri01] BRILL, MANFRED: *Mathematik für Informatiker*. Hanser, 2001.
- [FDFH91] FOLEY, JIM, DAM, ANDRIES VAN, FEINER, STEVEN und HUGHES, JOHN: *Computer Graphics – Principles and Practice*. Addison-Wesley, 1991.
- [Has97] HASE, HANS-LOTHAR: *Dynamische virtuelle Welten mit VRML 2.0*. dpunkt, 1997.
- [Hil01] HILL, FRANCIS: *Computer Graphics using OpenGL*. Prentice Hall, 2001.
- [Wat99] WATT, ALAN: *3D Computer Graphics*. Addison-Wesley, 1999.
- [Wat01] WATT, ALAN: *3D Computergrafik*. Pearson Education, 2001.
- [Wol00] WOLFE, ROSALEE: *Computer Graphics – A Visual Approach*. Oxford University Press, 2000.