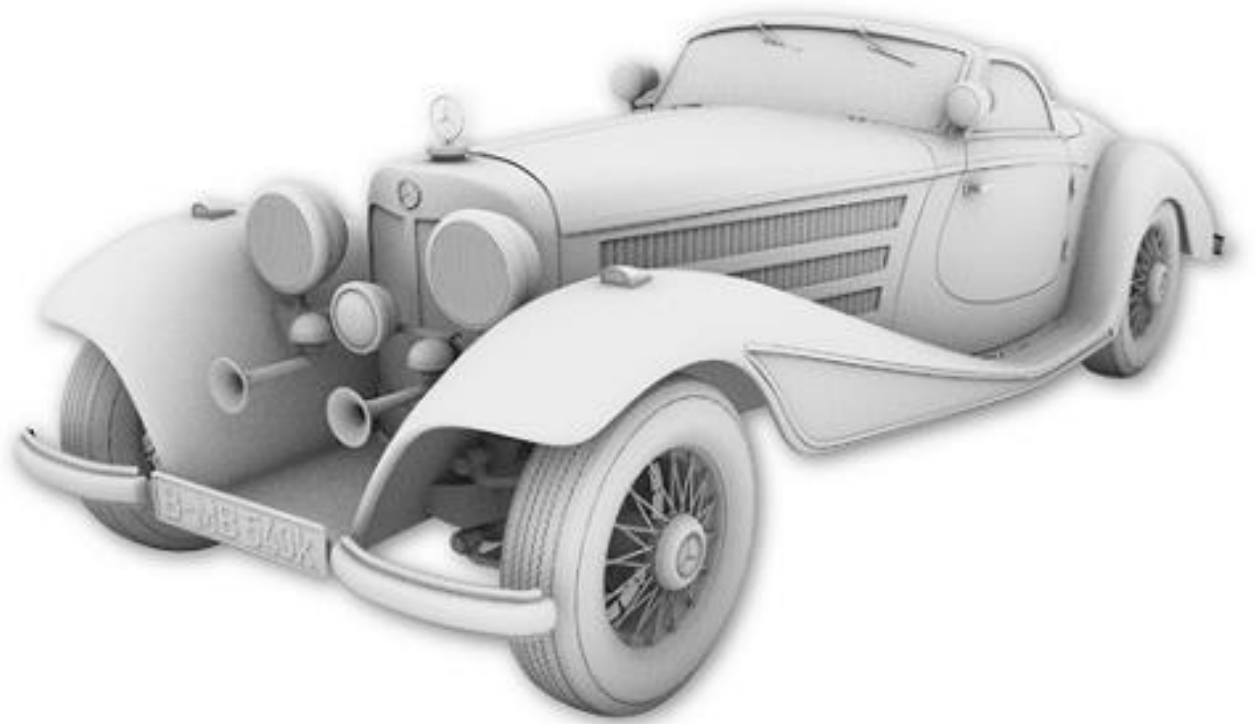


3D Modellierung



1 Motivation/Anwendungsgebiete für 3D-Visualisierungen

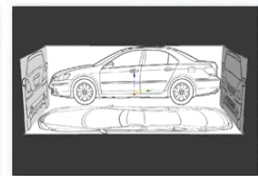
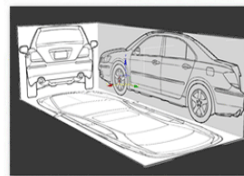
Ein kleiner Auszug, wo überall 3D-Visualisierungen eingesetzt werden:

- Virtual Reality
- Augmented Reality
- 3D-Druck
- Filmindustrie
- Entertainment/Spiele
- Neue Medien: Internet, Intranet, Online-Systeme, E-Commerce
- Scientific Visualisation: Wetterdaten, etc.
- Simulationen und Tests
- Visualisierungen von CAD-Techniken, Produktdaten, Architektur
- Prozessvisualisierung techn. Anlagen: Monitoring und Visualisierung
- Medizin, Bioinformatik
- Qualitätskontrolle Bildverarbeitung
- Geographische Informationssysteme: Katasterdaten, Verkehrsinformationen, Facility Management,

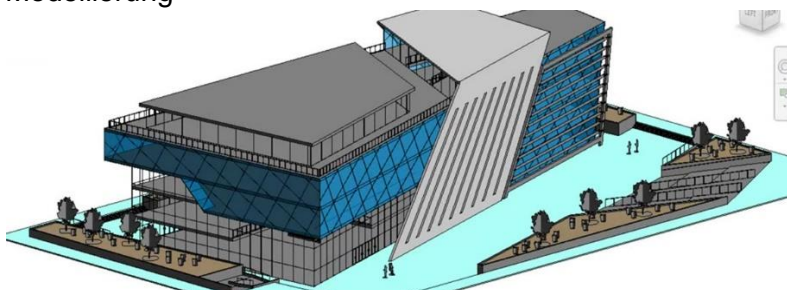
2 Ablauf eines 3D-Projektes

Jedes 3D-Modellierungsprojekt kann in folgende allgemeine Schritte eingeteilt werden:

1. Planung und Vorbereitung der 3D-Szene. Bereitstellung aller benötigten Assets (Hintergrundbilder, Texturen, etc.)
2. Einrichten der Scene (Einheiten festlegen, Aufbau des Grundgerüsts mit Ebenen für die Hintergrundbilder)



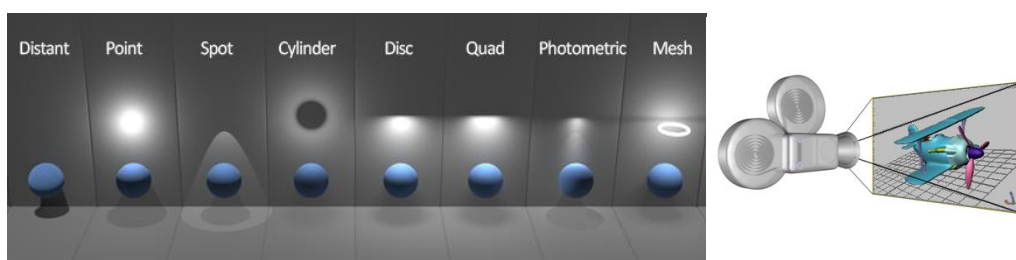
3. Modellierung



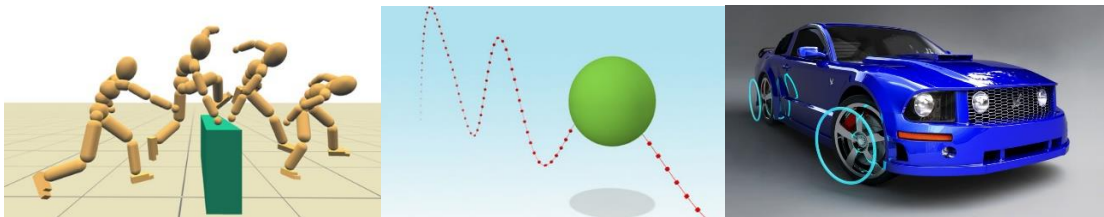
4. Materialentwurf



5. Lichtquellen und Kameras



6. Animation von Figuren



7. Rendering und Export





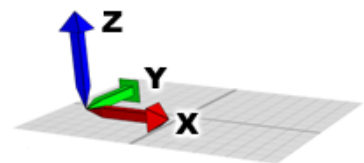
8. Post Processing – Feintuning (Ergebnis des Renderings wird - mithilfe verschiedener Bildbearbeitungsverfahren verändert: Farbanpassungen, Unschärfe, ...)
9. Motion Tracking – VFX (Virtuelle Effekte). Verschmelzung der Renderings mit realen Videos
10. Video Editing – Film schneiden und finalisieren

3 Allgemeine Grundlagen

In diesem Kapitel werden allgemeine Aspekte wie Voreinstellungen, Arbeitsweisen, Tipps und Richtlinien für den Bereich Modellierung behandelt

3.1 Koordinatensysteme

Koordinatensysteme definieren die drei Hauptachsen und Richtungen eines dreidimensionalen Raumes X, Y und Z.

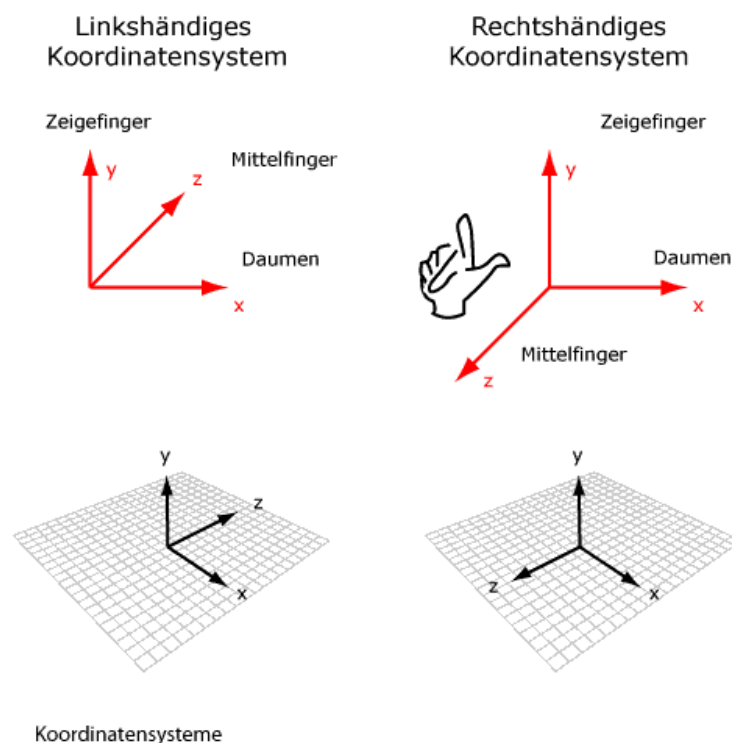


Die meisten Objekte können über Punktkoordinaten in einem Koordinatensystem beschrieben werden. So ist ein Würfel eindeutig durch die Angaben der Koordinaten seiner 8 Eckpunkte und eine Kugel durch die Angabe des Mittelpunktes und des Radius definiert.

In der 3d-Computergrafik werden allgemein **rechtshändige** und **linkshändige** Koordinatensysteme eingesetzt.

Der Unterschied zwischen den beiden Systemen besteht in der Z-Achse. Je nachdem welches System benutzt wird, zeigt der Mittelfinger nach der Rechten-Hand-Regel in eine andere z-Richtung.

Anmerkung: 3dsMax und Blender verwenden das rechtshändige Koordinatensystem.



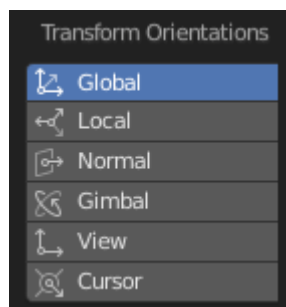
Die Rechte-Hand-Regel kann bei der Orientierung helfen: Die ersten drei Finger der rechten Hand werde, wie in der oberen Abbildung dargestellt, ausgestreckt. Nach der Rechten-Hand-Regel wird der Daumen zur x-Achse, der rechtwinklig zum Daumen abstehende Zeigefinger zur y-Achse und der Mittelfinger zur Z-Achse. Von entscheidender Bedeutung ist die Stellung des Mittelfingers. Dieser zeigt in die positive z-Richtung. Wie auch immer die rechte Hand mit den gespreizten Fingern verdreht wird, durch die Rechte-Hand-Regel ist immer die positive Richtung der z-Achse eindeutig bestimmt.

Wird die rechte Hand an den Bildschirm positioniert, dass das Gelenk zwischen Daumen und Zeigefinger im Bereich der linken unteren Bildschirmecke liegt und dabei der Daumen parallel zur unteren und der Zeigefinger parallel zur linken Bildschirmkante liegen, kann die Ausrichtung der der z-Achse im verwendeten

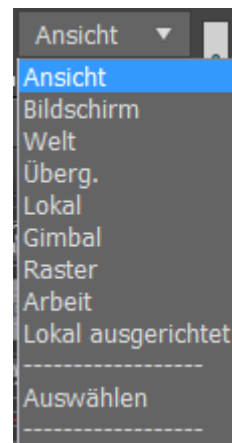
Koordinatensystem abgelesen werden. Unweigerlich wird der Mittelfinger der rechten Hand, die positive z-Achse, aus dem Bildschirm heraus zeigen. Wird die linke Hand in der gleichen Weise an den Bildschirm gelegt, zeigt der Mittelfinger in den Bildschirm hinein.

3.2 Referenz-Koordinatensysteme von 3D-Programmen

3D-Programme bieten normalerweise eine Vielzahl von verschiedenen Referenz-Koordinatensysteme.



Blender

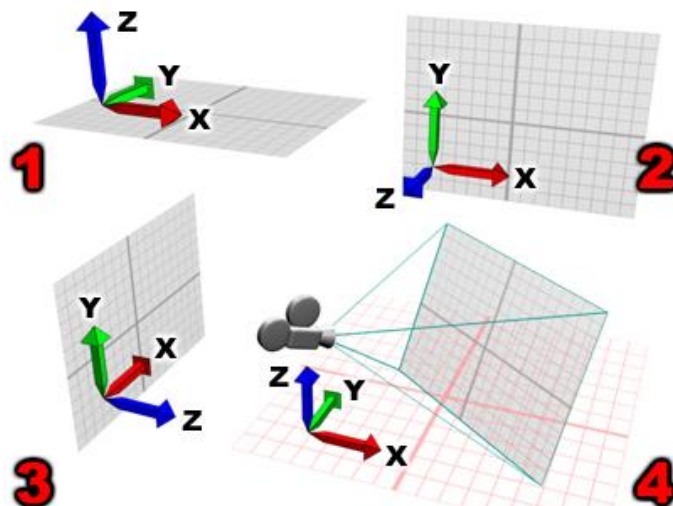


3ds Max

Ansicht

Im Koordinatensystem der Standardansicht sind die X-, Y- und Z-Achsen in allen orthogonalen Ansichtsfenstern gleich. Wenn Sie ein Objekt mit diesem Koordinatensystem verschieben, bewegen Sie es relativ zum Raum des Ansichtsfensters.

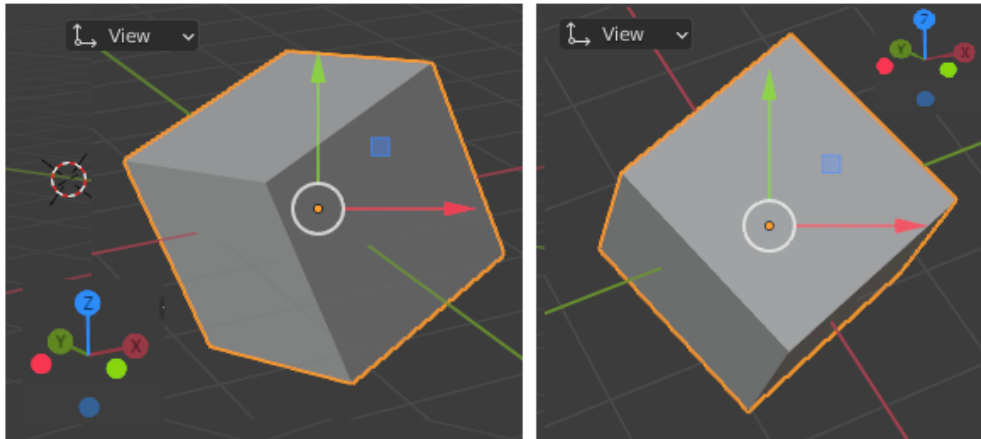
- X zeigt immer nach rechts.
- Y zeigt immer nach oben.
- Z zeigt immer aus dem Bildschirm heraus auf Sie zu.



Verschiedene Ausrichtungen im Koordinatensystem "Ansicht":

1. Ansichtsfenster von oben.
2. Ansichtsfenster von vorn.
3. Ansichtsfenster von links.
4. Perspektiv-Ansichtsfenster.

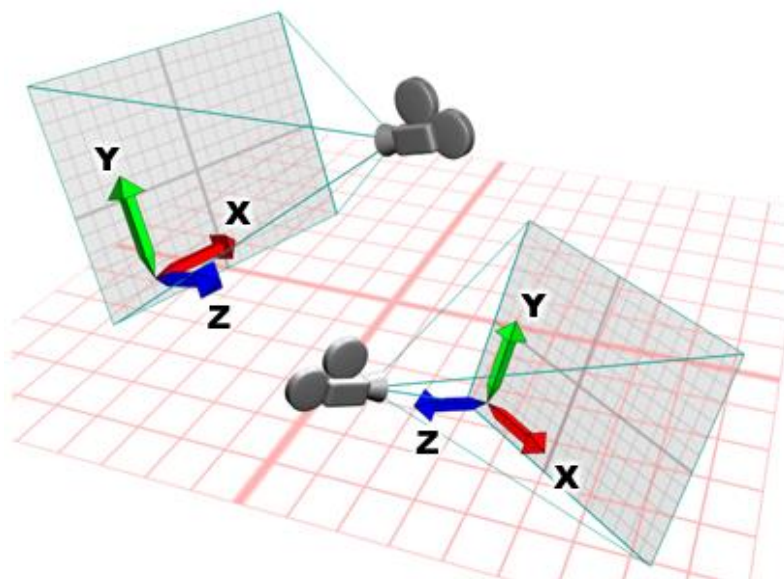
Beispiel Cube in Blender



Bildschirm/Kamera

Verwendet den Bildschirm des aktiven Ansichtsfensters als Koordinatensystem.

- X ist horizontal und verläuft in positiver Richtung nach rechts.
- Y ist vertikal und verläuft in positiver Richtung nach oben.
- Z ist die Tiefe und verläuft in positiver Richtung auf Sie zu.

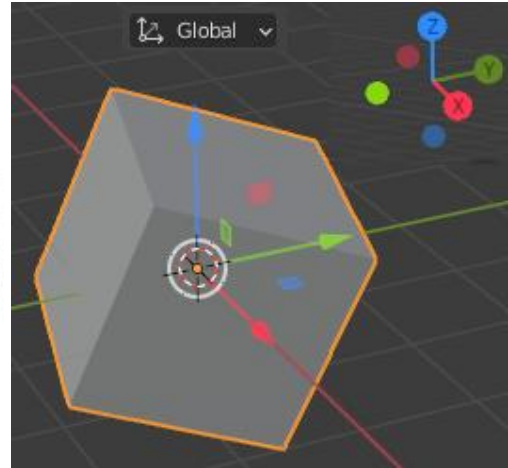
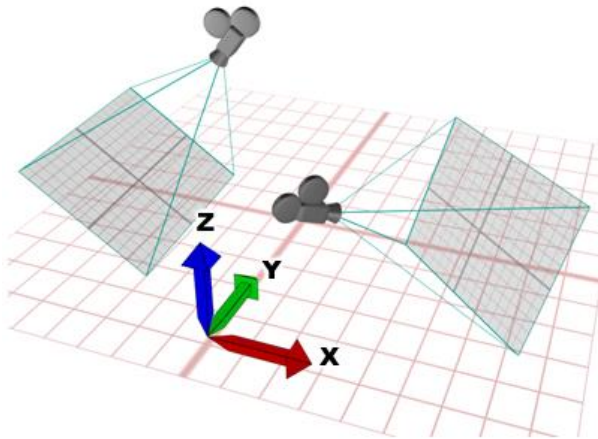


Das Koordinatensystem im Modus "Bildschirm" hängt immer vom Blickpunkt ab.

Welt

Verwendet das Weltkoordinatensystem. In der Ansicht von vorn gilt:

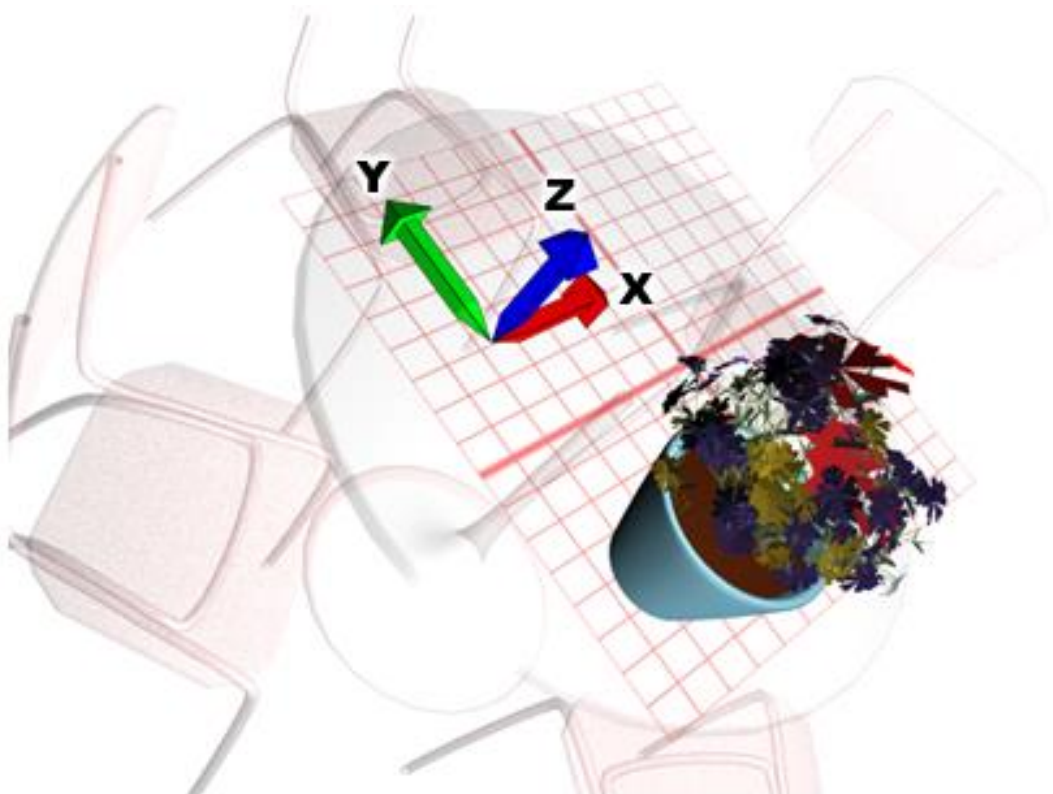
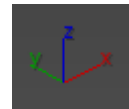
- X verläuft in positiver Richtung nach rechts.
- Z verläuft in positiver Richtung nach oben.
- Y verläuft in positiver Richtung von Ihnen weg.



Das Weltkoordinatensystem ist immer fest. Die Weltachse zeigt die Ausrichtung des aktuellen Ansichtsfensters an.

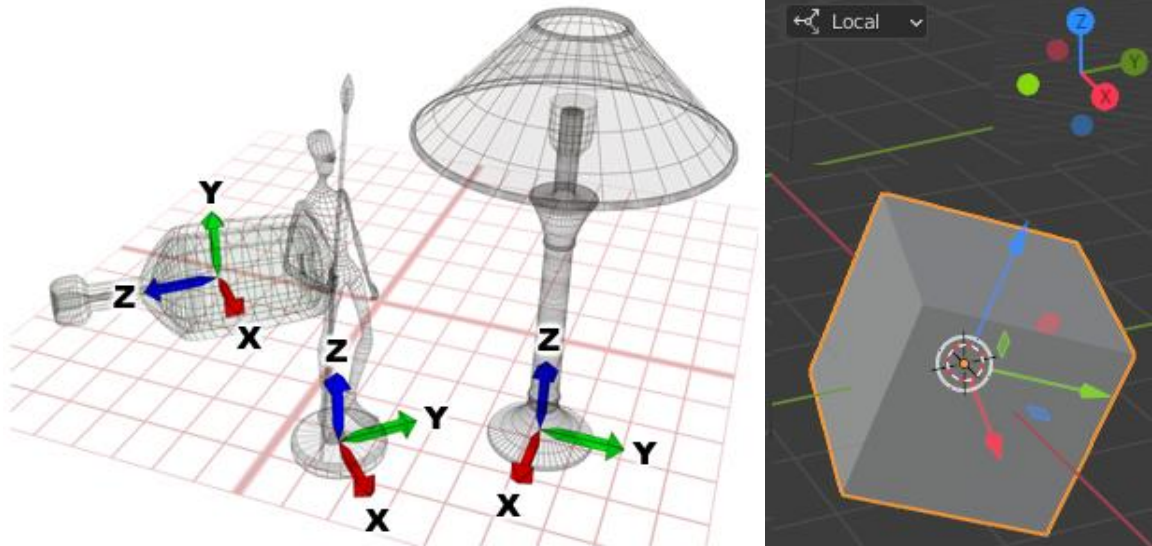
Übergeordnetes Objekt

Verwendet das Koordinatensystem des Objekts, das dem ausgewählten Objekt übergeordnet ist. Wenn das Objekt nicht mit einem bestimmten Objekt verknüpft ist, ist es ein untergeordnetes Objekt der Welt, und das Koordinatensystem "Übergeordnet" entspricht dem Weltkoordinatensystem.



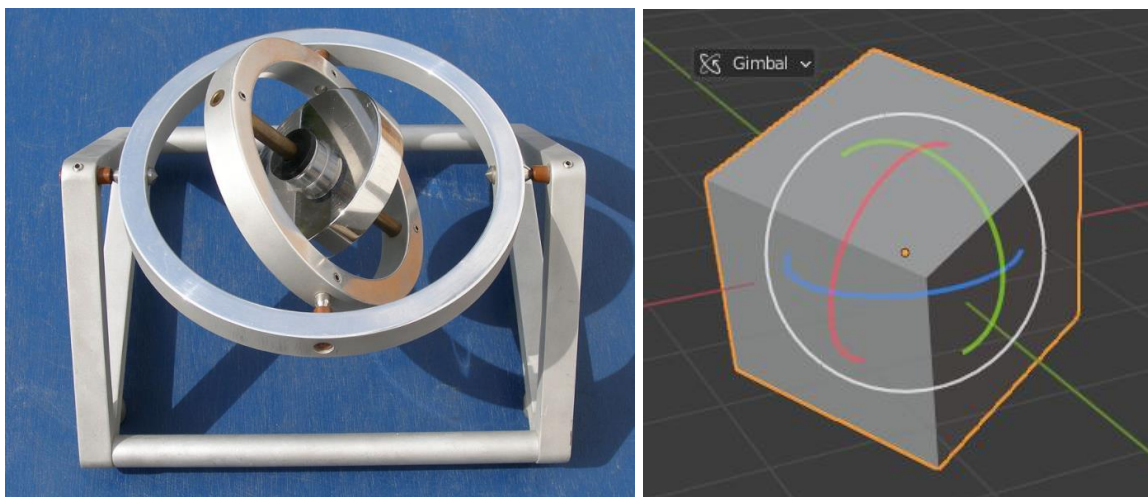
Lokal

Verwendet das Koordinatensystem des ausgewählten Objekts. Das lokale Koordinatensystem eines Objekts wird durch seinen **Drehpunkt/Pivot (Hierarchie)** bestimmt.



Gimbal/Kardanische Drehung

Im äußeren Teil sind zwei Ringe – die Achsen jeweils um 90 Grad gegeneinander versetzt – ineinander drehbar gelagert. Das zu lagernde Objekt ist am innersten Ring befestigt.

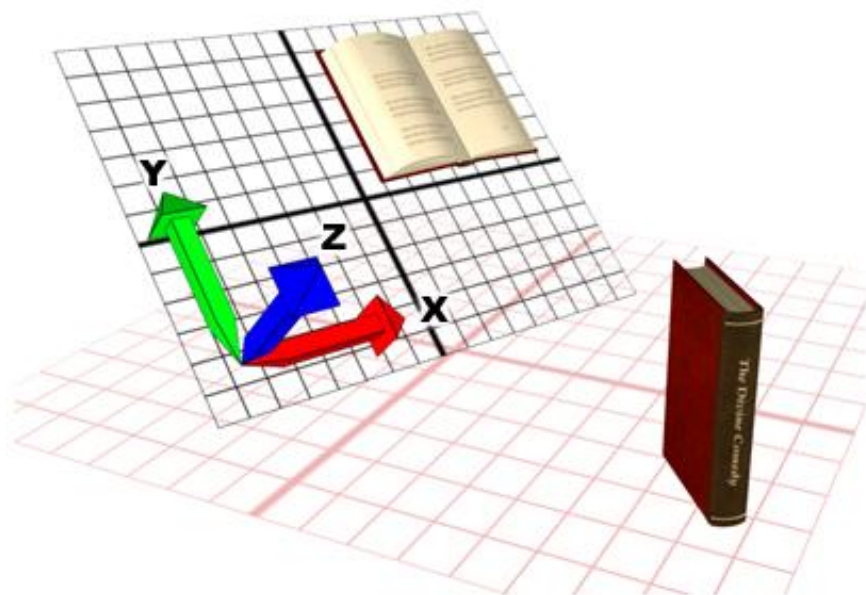


Beispiel Anwendung Gimbal:

In Schwebestativen (Steadycam) für Film- und Fotokameras werden kardanische Aufhängungen zur Bildstabilisierung genutzt. Hier wird die englische Bezeichnung *Gimbal* verwendet.

Raster (3ds max)

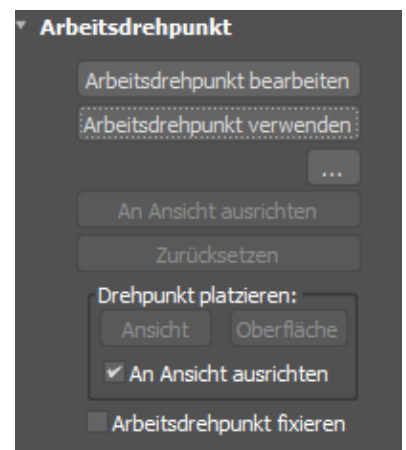
Verwendet das Koordinatensystem des aktiven Rasters.



Arbeit (3ds max)

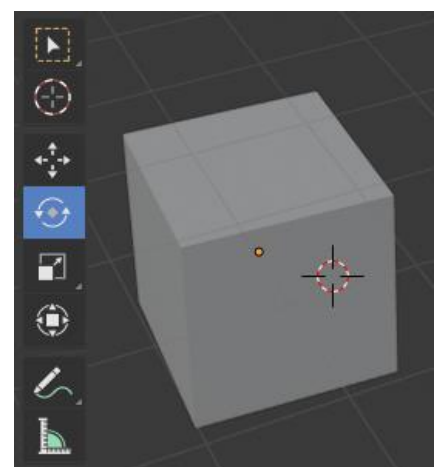
Verwendet das Koordinatensystem des **Arbeitsdrehpunkts (Hierarchie)**. Sie können dieses Koordinatensystem jederzeit verwenden, unabhängig davon, ob der Arbeitsdrehpunkt aktiv ist.

Wenn die Option **Arbeitsdrehpunkt verwenden** aktiviert ist, ist dies das Standard-Koordinatensystem.



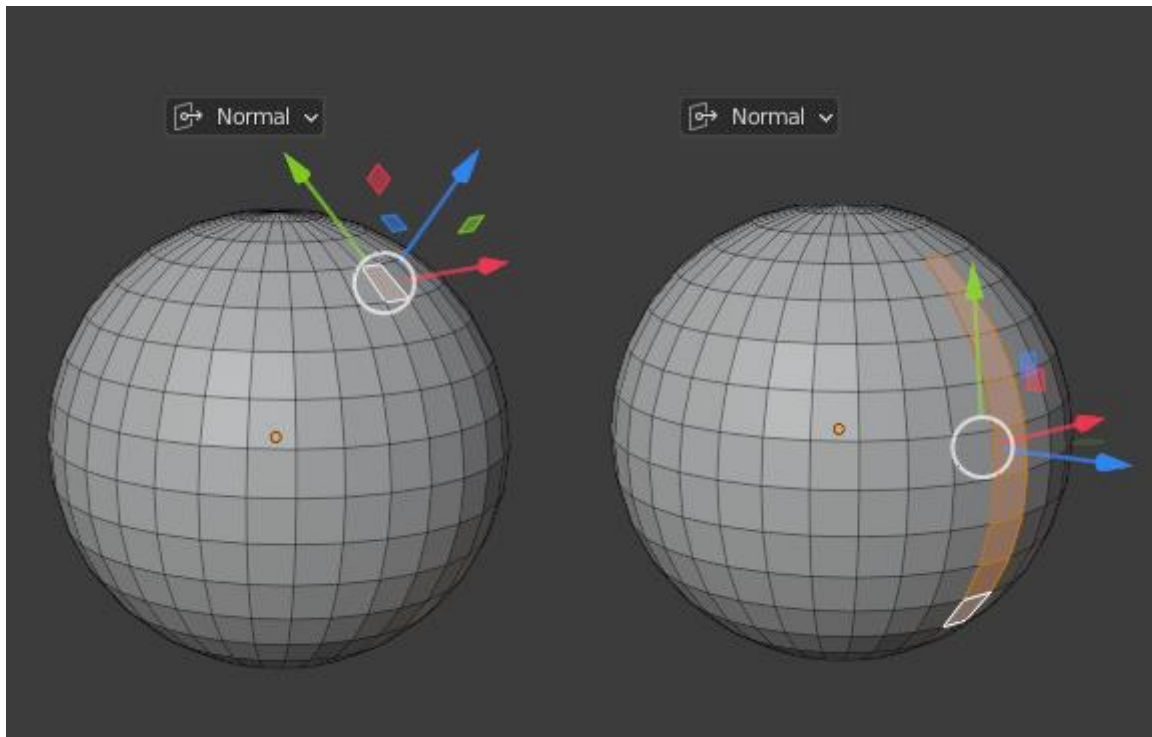
3D Cursor (Blender)

Blender bietet einen zusätzlichen 3D Cursor an. Richten die Transformationsachsen am 3D-Cursor aus. Dieser kann auch als Pivot-Point verwendet werden.



Normal (Blender)

Richten die Transformationsachsen an den Durchschnittnormalen der ausgewählten Elemente aus.



3.3 Einheiten und Raster-Einstellungen

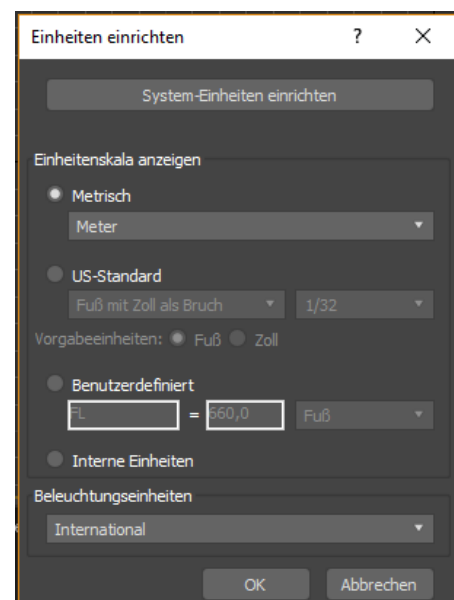
Bevor man mit der Modellierung beginnt, sollten die gewünschten Einheiten eingerichtet werden.

Je nach 3D-Programm werden unterschiedliche Einstellungen angeboten.

3dsMax:

Anpassen -> Einheiten einrichten:

- **Metrisch**
- **US-Standard**
- **Benutzerdefiniert**
- **Interne Einheiten**



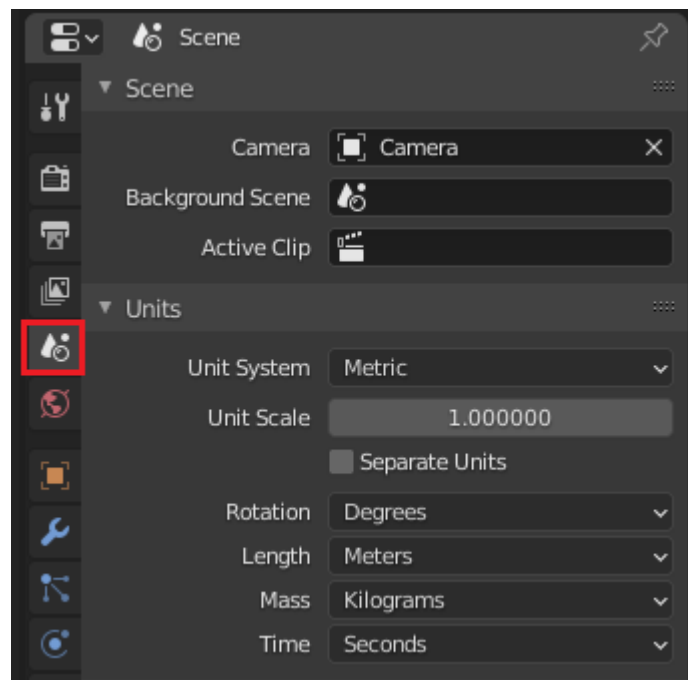
Scene -> Blender:

Im Bereich Units können die Standardeinheiten für die aktuelle Szene eingestellt werden.

Camera: Aktive Kamera mit der die Szene gerendert wird.

Background Scene: Es kann eine eigene Szene in den Hintergrund gelegt werden. Dies ist nützlich, wenn man sich auf die Animation im Vordergrund konzentrieren möchte, ohne die Hintergrundelemente zu verändern.

Active Clip: Hier kann ein Video als Hintergrund festgelegt werden.

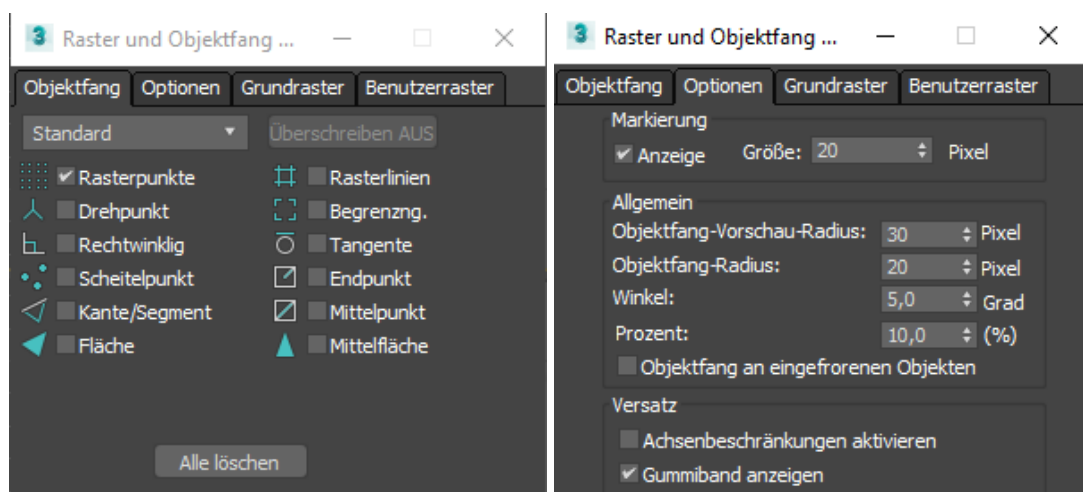


3.4 Objektfang ein/aus

Eine der wichtigsten Hilfsmittel ist der 3D-Objektfang. Mit diesem kann man einfach Vertices/Scheitelpunkt etc. auswählen und dadurch exakt modellieren.



Objektfangfunktionen können permanent verwendet, oder nur für eine einmalige Verwendung aktiviert werden. Im Dialogfenster Objektfang können mehrere permanente Objektfangfunktionen eingestellt werden. Alle Objektfangfunktionen haben ähnliche Verhaltensweisen, fangen aber verschiedene Teile einer bestehenden Geometrie.





2D-Objektfang

Der Cursor wird nur am aktiven Konstruktionsraster (2-Achsen) ausgerichtet; das gleiche gilt für sämtliche Geometrie auf der Ebene dieses Rasters.



2,5D-Objektfang

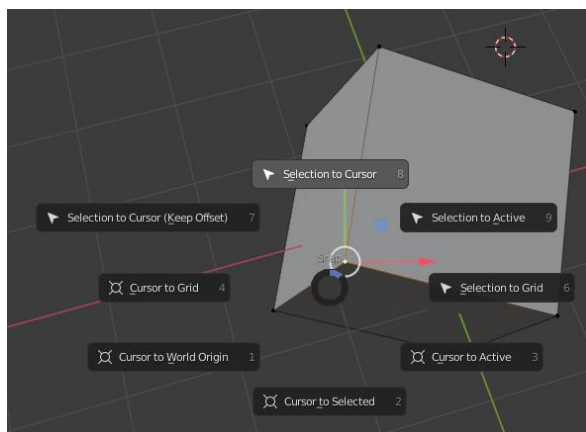
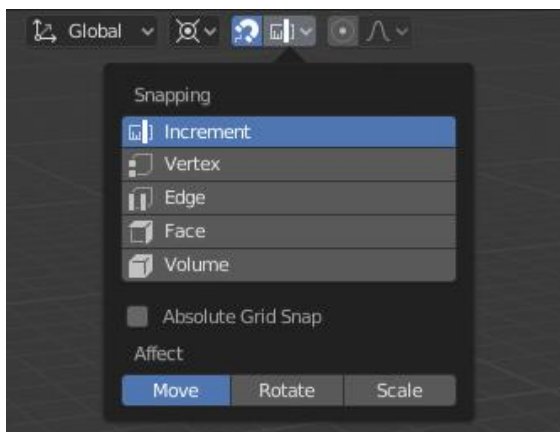
Der Cursor wird nur an den Scheitelpunkten oder Kanten der Projektion eines Objekts auf dem aktiven Raster ausgerichtet.



3D-Objektfang

Der Cursor wird direkt an der Geometrie im dreidimensionalen Raum ausgerichtet. Mit 3D-Objektfang können Sie Geometrie unabhängig von der Konstruktionsebene in allen Dimensionen erstellen und verschieben.

Snapping Blender



Shortcut: SHIFT + S

Selection to Grid	Fängt die aktuell ausgewählten Objekte am nächsten Gitterpunkt.
Selection to Cursor	Verschiebt jedes der aktuell ausgewählten Objekte an die Cursorposition.
Selection to Cursor (Offset)	Platziert die Auswahl an der Position des 3D-Cursors. Wenn mehrere Objekte ausgewählt sind, werden sie nicht einzeln an der Cursorposition verschoben. Stattdessen werden sie um den 3D-Cursor zentriert und behalten ihre relativen Abstände bei.
Selection to Active	Verschiebt die Auswahl an den Ursprung des aktiven Objekts.
Cursor to Selected	Platziert den Cursor in der Mitte der aktuellen Auswahl, sofern nicht anders angegeben.
Cursor to Grid	Platziert den Cursor auf den nächsten Gitterpunkt.

Cursor to Active	Platziert den Cursor auf den Ursprung des <i>aktiven</i> (zuletzt ausgewählten) Objekts.
Cursor to Center	Platziert den Cursor auf den Ursprung der Welt (Position 0, 0, 0).

3.5 Transformations-Gizmos

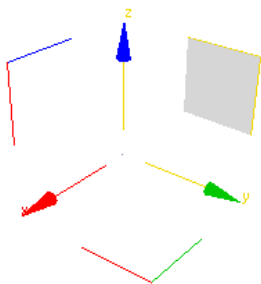
Jedes Achsensymbol besteht aus drei Linien, die mit X, Y und Z beschriftet sind, und gibt Folgendes an:

- Die Ausrichtung des Symbols zeigt die Ausrichtung Ihres aktuellen Referenz-Koordinatensystems an.
- Die Stelle, an der sich die drei Achsenlinien schneiden, ist der aktuelle Transformationsmittelpunkt.
- Die markierten Achsenlinien zeigen die aktuellen Achsenbeschränkungen.

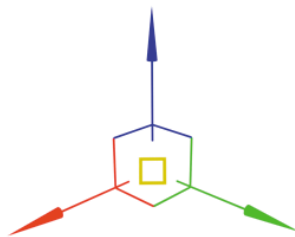
Verschiebe-Gizmo

Der Verschiebe-Gizmo bietet Ebenenhaltepunkte und die Option, einen Mittelpunktrahmen-Haltepunkt zu verwenden.

Sie können jeden dieser Achsenhaltepunkte auswählen, um die Verschiebung auf diese Achse zu beschränken. Zusätzlich können Sie die Verschiebung mit den Ebenenhaltepunkten auf die XY-, YZ- oder XZ-Ebene beschränken. Der Auswahl-Hotspot liegt innerhalb des von den Ebenenhaltepunkten geformten Quadrats.



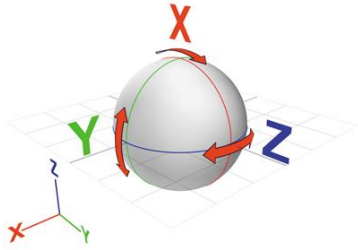
Der Verschiebe-Gizmo mit ausgewählter YZ-Achse.



Versatz beschränken durch ziehen mit dem Mittelpunktrahmen

Dreh-Gizmo

Der Dreh-Gizmo basiert auf dem Konzept eines virtuellen Trackballs. Sie können ein Objekt frei um die X-, Y- oder Z-Achse oder um eine rechtwinklig zum Ansichtsfenster angelegte Achse drehen.

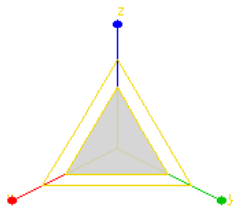


Die Achsenhaltepunkte werden als Kreise um den Trackball herum dargestellt. Ziehen Sie an einem dieser Haltepunkte, um das Objekt um diese Achse zu drehen. Bei der Rotation um die X-, Y- oder Z-Achse wird die Richtung und der Grad der Rotation mit einem transparenten Segment optisch dargestellt.

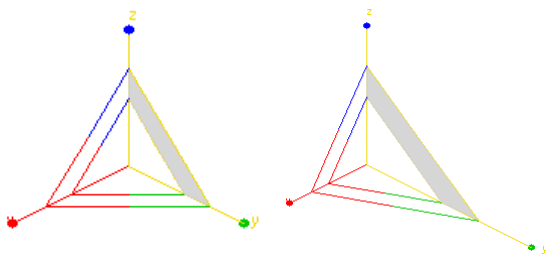
Skalierungs-Gizmo

Mit den Ebenenhaltepunkten können Sie gleichmäßige und nicht gleichmäßige Skalierungen durchführen, ohne die Auswahl im Haupt-Werkzeugkasten ändern zu müssen:

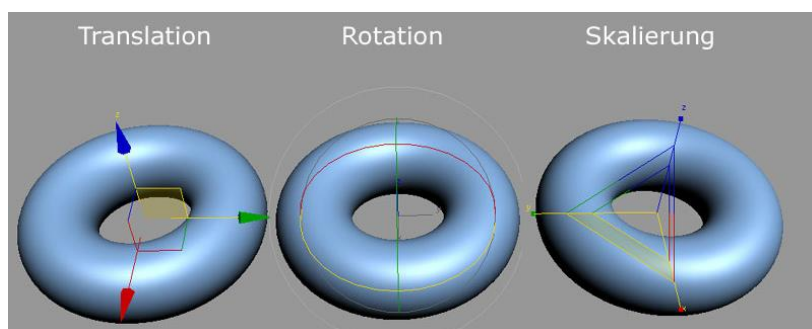
Um eine gleichmäßige Skalierung durchzuführen, ziehen Sie in der Mitte des Gizmos.



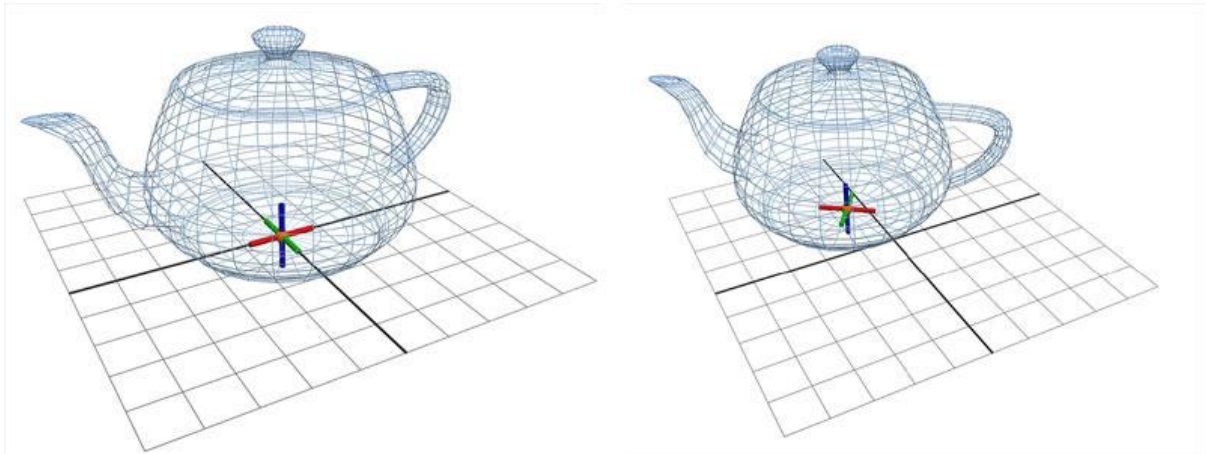
Um eine nicht gleichmäßige Skalierung durchzuführen, ziehen Sie an einem Achsen- oder Ebenenhaltepunkt.



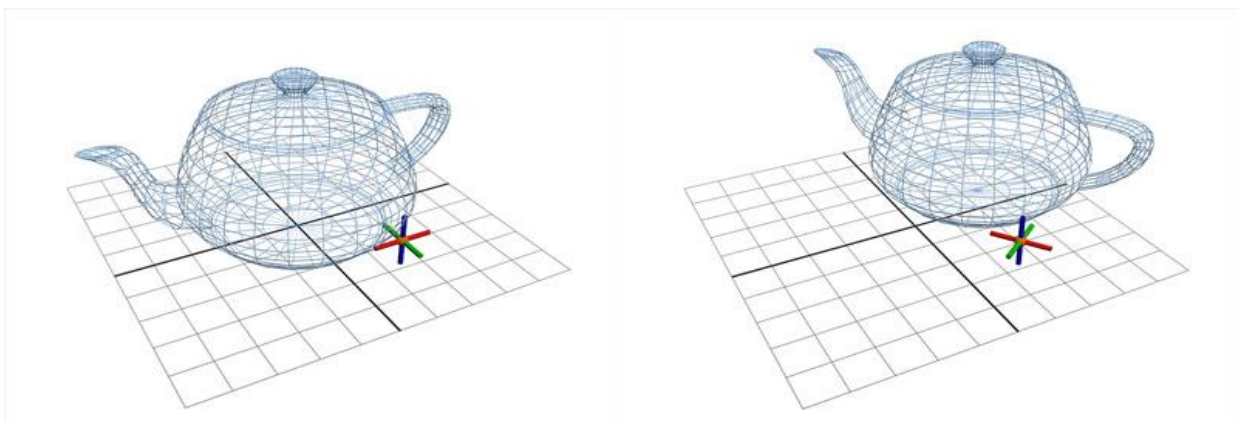
Zusammenfassung der Transformations-Gizmos



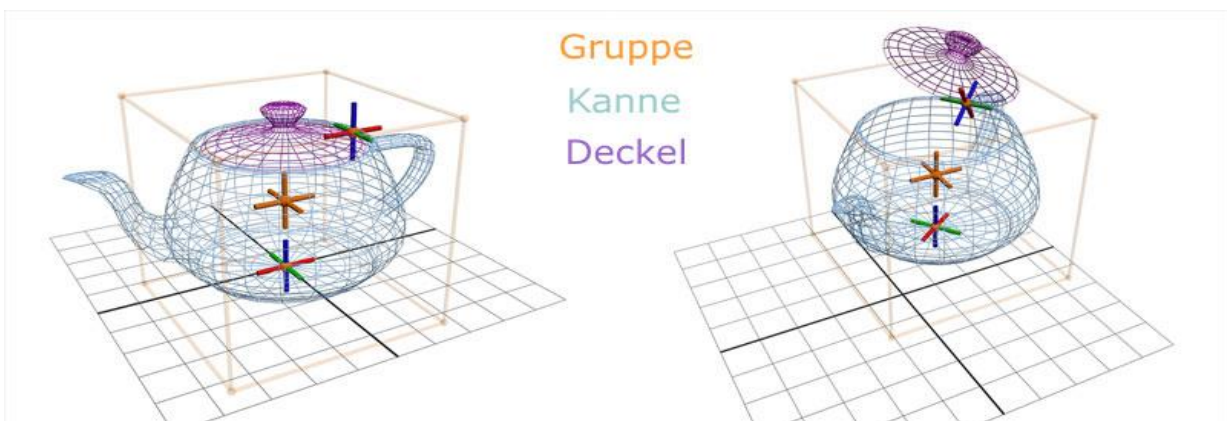
3.6 Pivot/Drehpunkt 3ds max



Der Pivot Punkt bezeichnet den Modifikationsmittelpunkt eines Objektes im dreidimensionalen Raum. Dieser Punkt ist standardmäßig mit dem Objekt verbunden. Transformationen beziehen sich auf diesen Punkt.



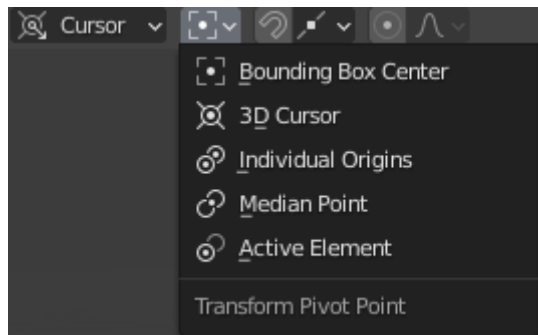
Der Pivot selbst kann auch vom Objekt getrennt verschoben und rotiert werden. Nachfolgende Transformationen des Objekts können sich wiederum auf den Pivot beziehen.



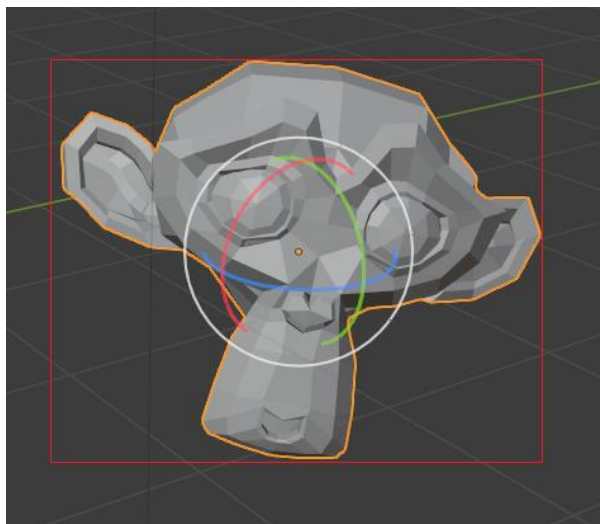
Gruppen besitzen ebenfalls einen Pivot, der normalerweise dem geometrischen Mittel aus allen Pivots der enthaltenen Geometrie entspricht.

Pivot Point Blender

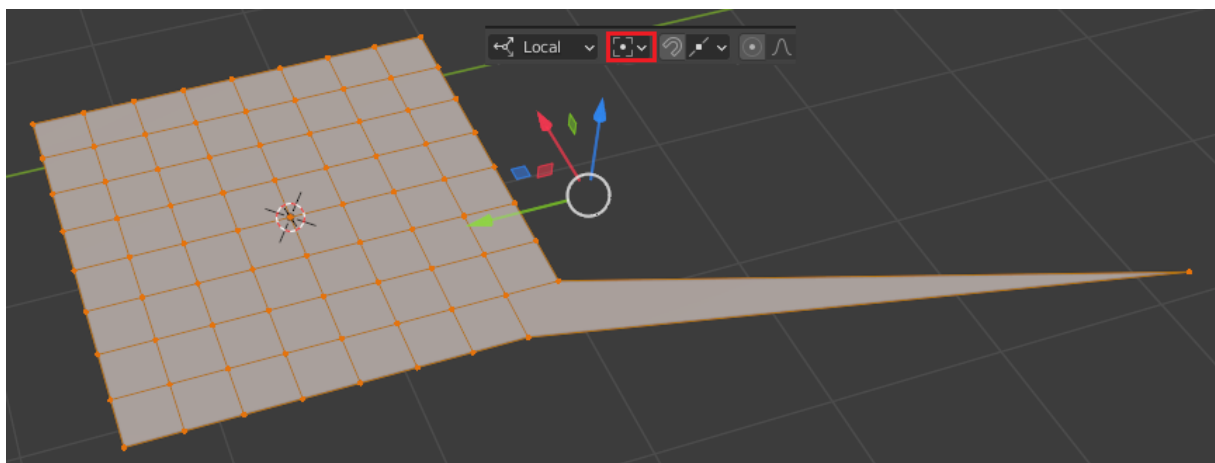
In Blender kann der Pivot Punkt auf verschiedene Arten gesetzt werden.



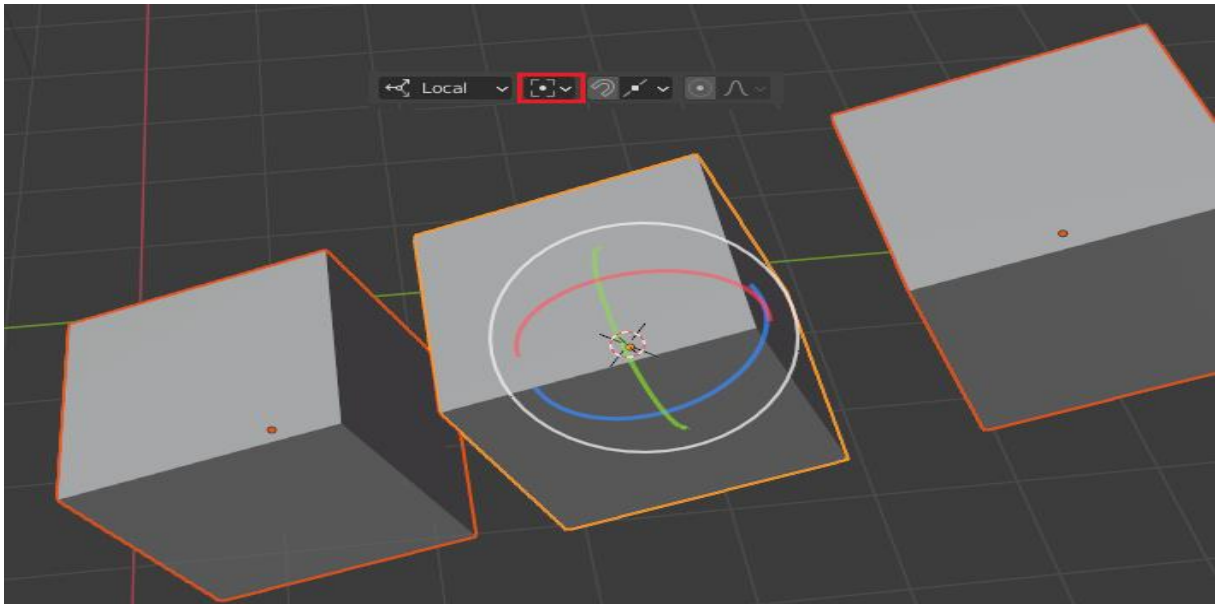
Bounding Box Center: Für jedes Objekt wird die Bounding Box bestimmt. Daraus wird der Pivot Point ermittelt.



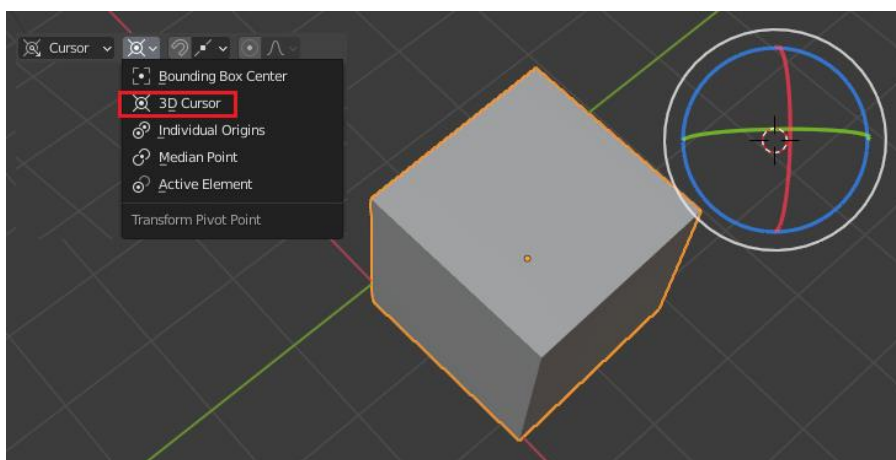
Bounding Box Center im EditMode berechnet.



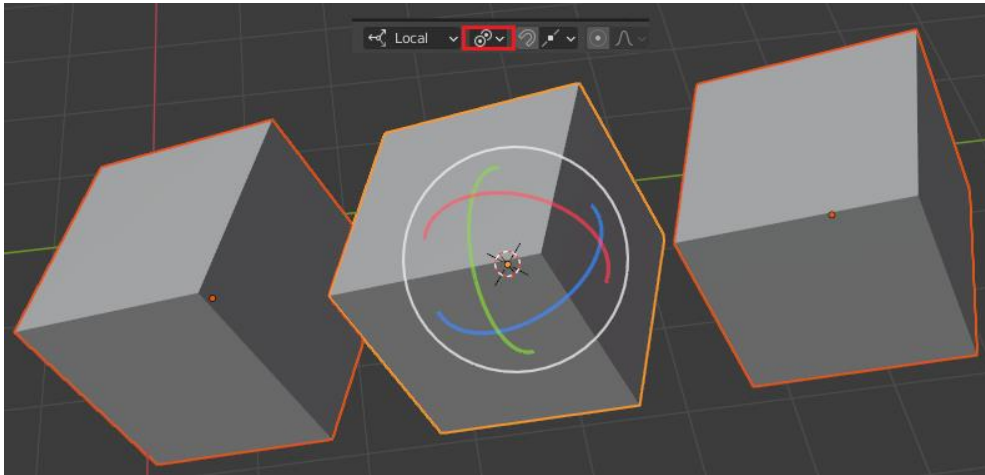
Bounding Box Center: Mehrere Objekte sind hier ausgewählt.



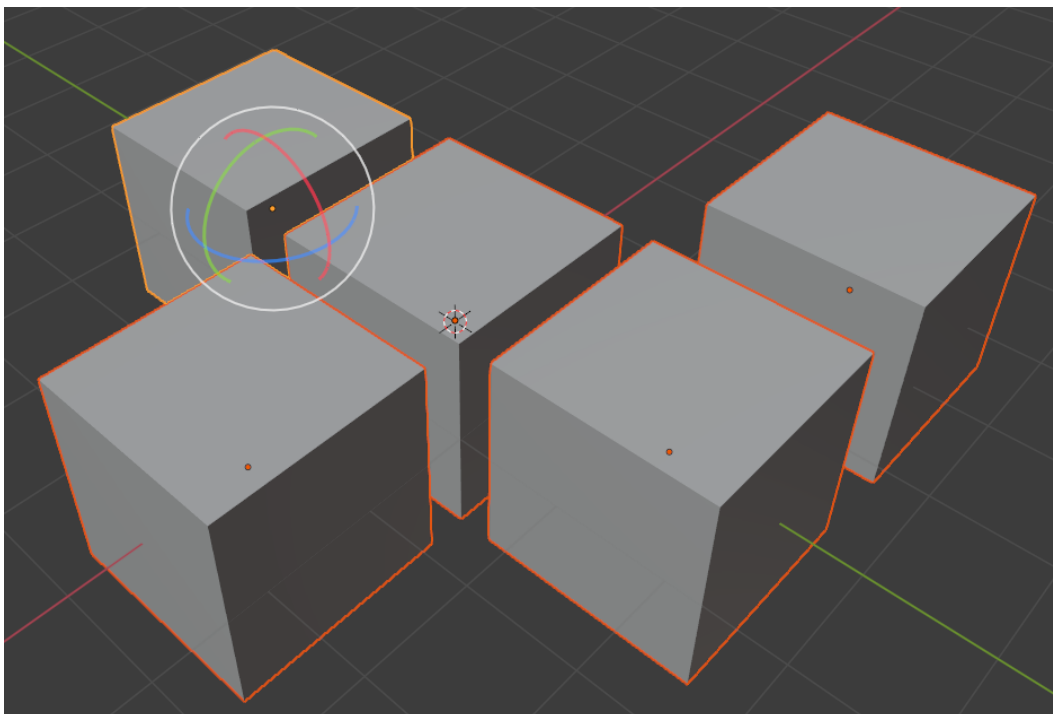
3D-Cursor als Drehpunkt: Es wird um den 3D-Cursor rotiert.



Individual Origins: Jeder Körper wird um seinen eigenen Pivot Point rotiert.

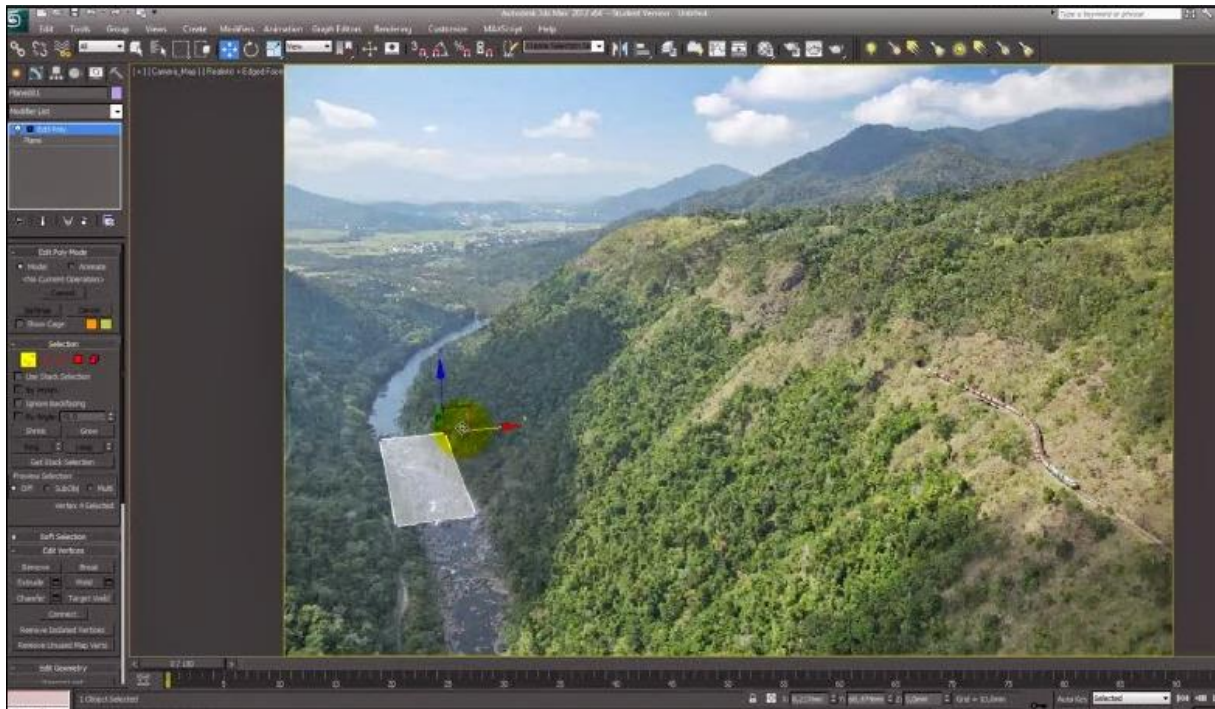


Active Element: Das aktive (orange) Element bestimmt den Pivot Point.

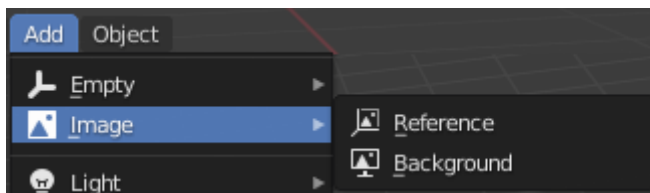


3.7 Hintergrundbitmaps

Hintergrundbitmaps oder Imageplanes sind Hintergrundbilder, die als Vorlage zur Modellierung eingesetzt werden. Meist werden mehrere Ansichten geladen. Die Imageplanes sind mit einer Kamera verbunden und können ggf. im Ansichtsfenster ein- bzw. ausgeblendet werden.

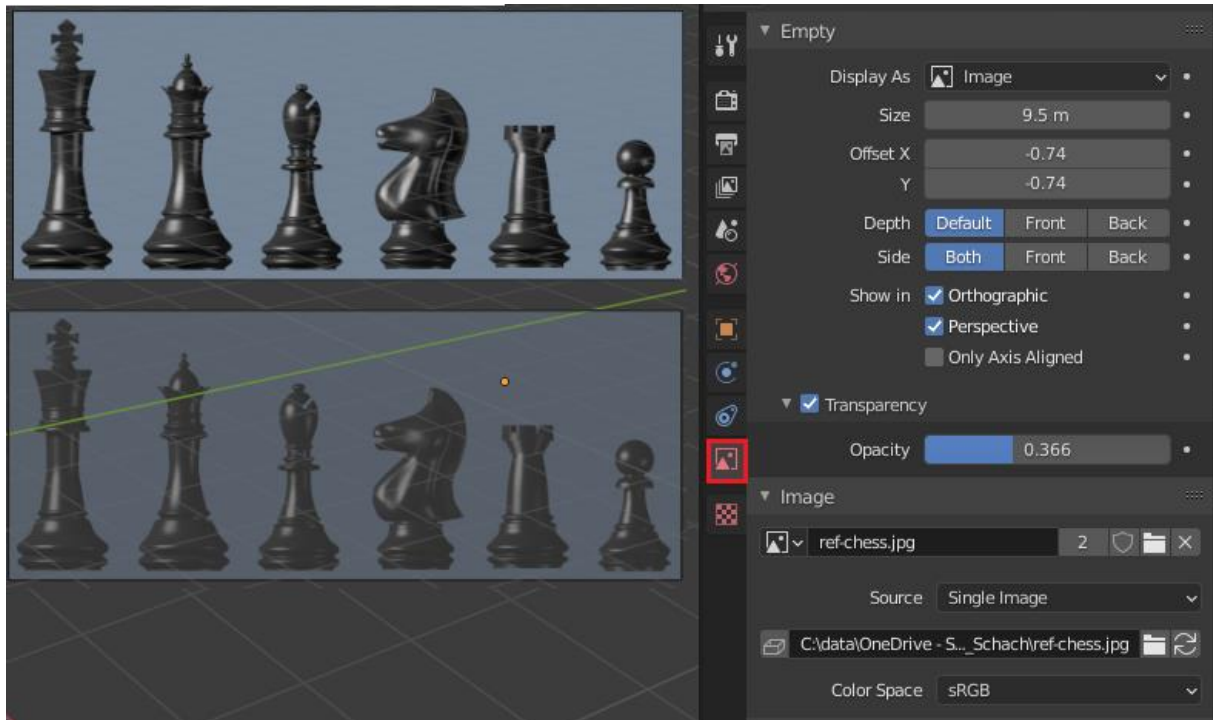


In Blender kann ein Bild über das Menü Add ein Image eingefügt werden. Grundsätzlich wird zwischen **Hintergrundbilder** und **Referenzbilder** unterschieden.



Hintergrundbilder werden hinter Objekten angezeigt, unabhängig davon, aus welcher Ansicht Sie sie sehen.

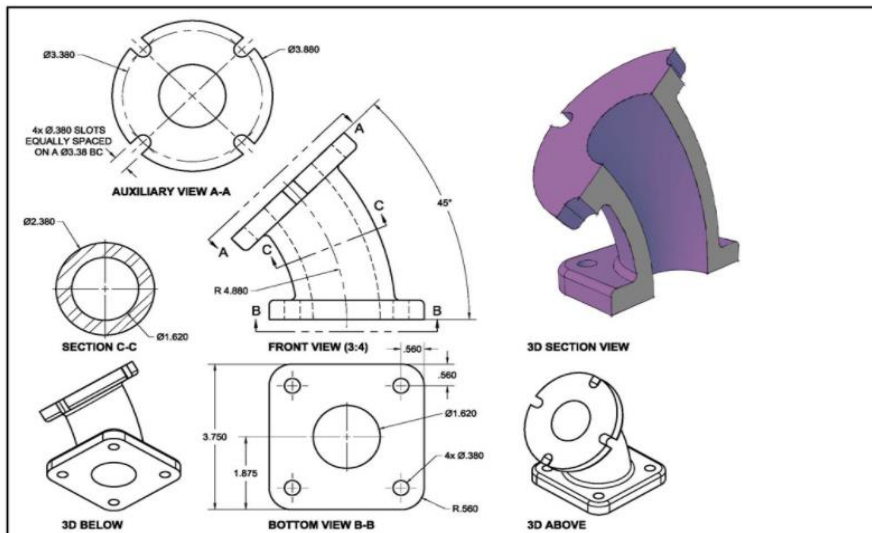
Referenzbilder sind undurchsichtig und von beiden Seiten sichtbar. Sie können Objekte verdecken.



Weitere Eigenschaften:

- Sowohl Referenzbilder als auch Hintergrundbilder werden in Drahtgitter- oder Vollbildansicht angezeigt.
- Hintergrundbilder verwenden Backface Culling. D.h. die Rückseiten sind nicht sichtbar.

Hintergrundbild für technische Produkte



3.8 Objekte gruppieren (3ds max)

Durch Gruppieren können Sie ein oder mehrere Objekte zu einem einzelnen gruppierten Objekt kombinieren. Das **gruppierte Objekt erhält einen Namen** und wird dann wie alle anderen Objekte behandelt.



Das Objekt auf der rechten Seite ist eine Gruppe und wird als einzelnes Element behandelt.

Gruppennamen ähneln Objektnamen, werden jedoch dem Gruppenobjekt zugewiesen.

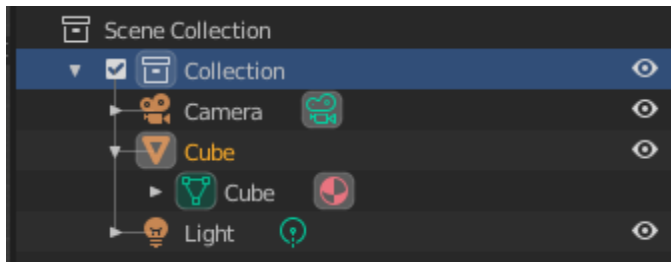
Allgemeine Eigenschaften von Gruppen

- Gruppen können wie einzelne Objekt behandelt werden
- Jede Gruppe hat einen eigenen Mittelpunkt/Drehpunkt.
- Gruppen können verschachtelt werden (Gruppe in Gruppe möglich)
- Gruppen können transformiert werden
- Gruppen können wieder aufgelöst werden.

Collections in Blender

Ab Blender 2.8 wurden Gruppen durch Collections ersetzt. In diesen können wieder

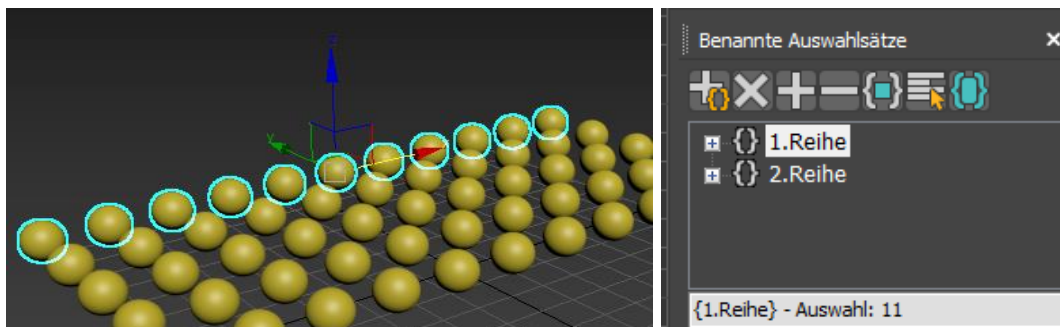
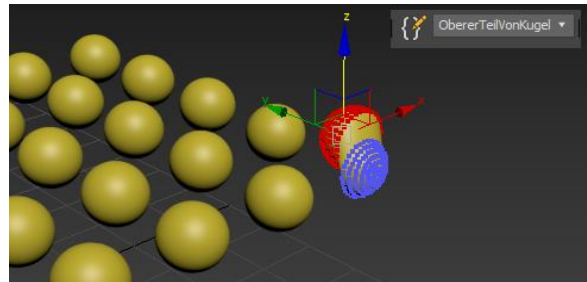
beliebige Objekte mit unterschiedlichen Materialien und Eigenschaften zusammengefasst werden.



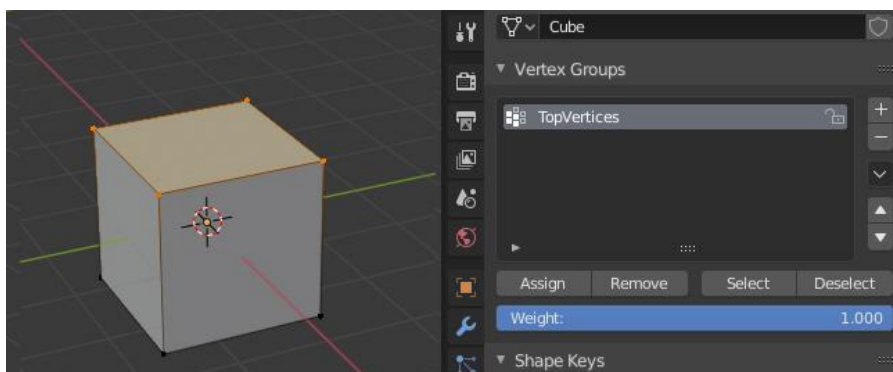
3.9 Selection Sets (3ds max) / VertexGroups (Blender)

SelectionSets / VertexGroups sind Auswahlmengen, die jedoch nicht als Objekte behandelt werden. Sie können abgespeichert und wieder geladen werden.

SelectionSets / VertexGroups können auch auf einzelne Bereiche (z.B. Vertices oder Kanten eines Polygons) angewandt werden. Sie bieten über die Gruppierung hinaus eine sehr gute Möglichkeit Szenen zu organisieren. Selection Sets besitzen keinen eigenen Mittelpunkt/Pivotpunkt.

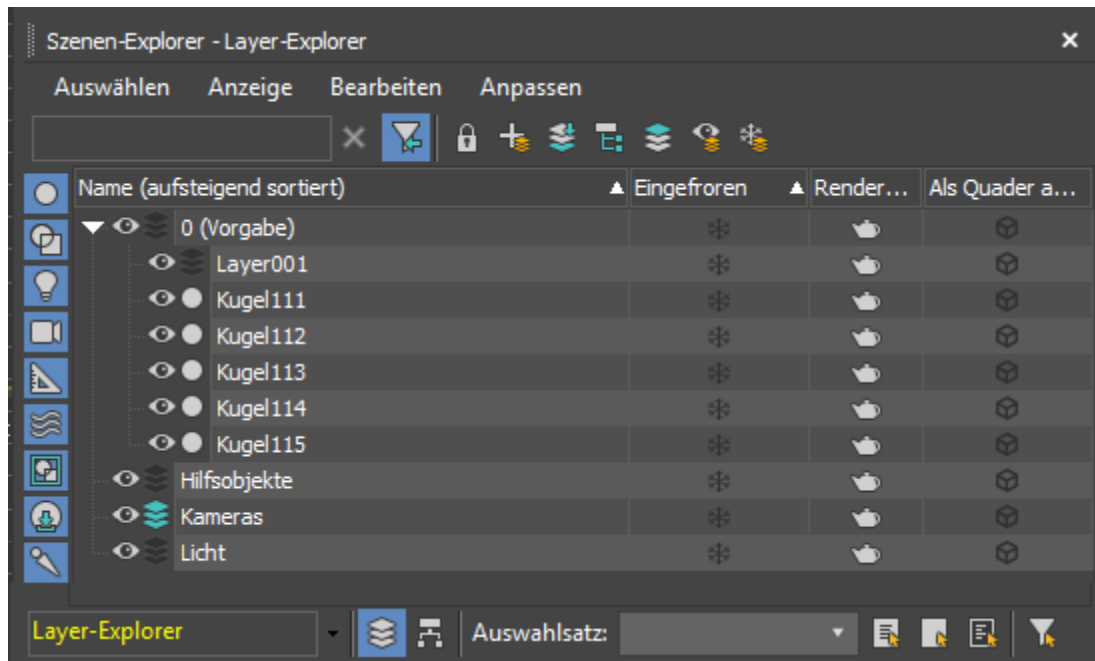


Blender Vertex Groups:



3.10 Layer/Ebenen-Explorer

Layers bieten eine weitere und sehr übersichtliche Art, Objekte in Szenen zu verwalten. Layers können Objekte jeglicher Art beinhalten. Sie werden mit eigenen Managern verwaltet.



3.11 Objekthierarchien

Eines der nützlichsten Hilfsmittel beim Erstellen von Computer-Animationen ist die Fähigkeit, Objekte zu einer *Kette* zu verknüpfen. Wenn Sie ein Objekt mit einem anderen verknüpfen, stellen Sie eine Beziehung zwischen unter- und übergeordnetem Objekt her. Transformationen, die auf das übergeordnete Objekt angewendet werden, werden auch an das untergeordnete Objekt weitergegeben. Eine Kette wird auch als **Hierarchie** bezeichnet.



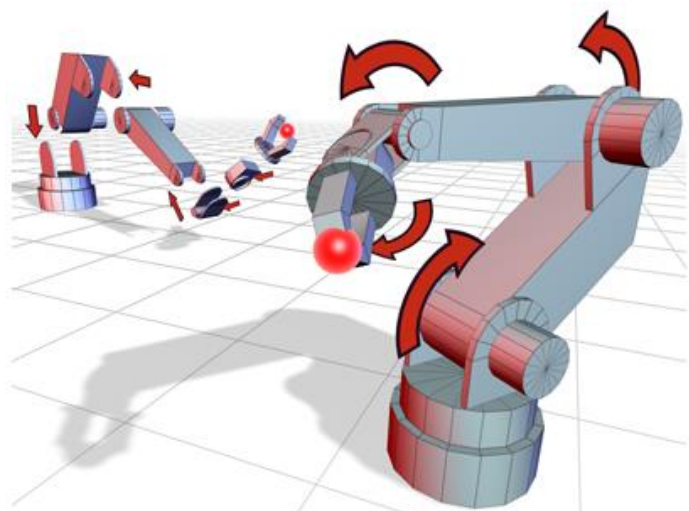
Auswählen und Verknüpfen



Verknüpfung aufheben

Links: Eine aufgelöste Baugruppe eines Roboterarms ist mit einer Hierarchie verbunden.

Rechts: Die erstellte Baugruppe des Roboterarms verwendet Drehgelenke.

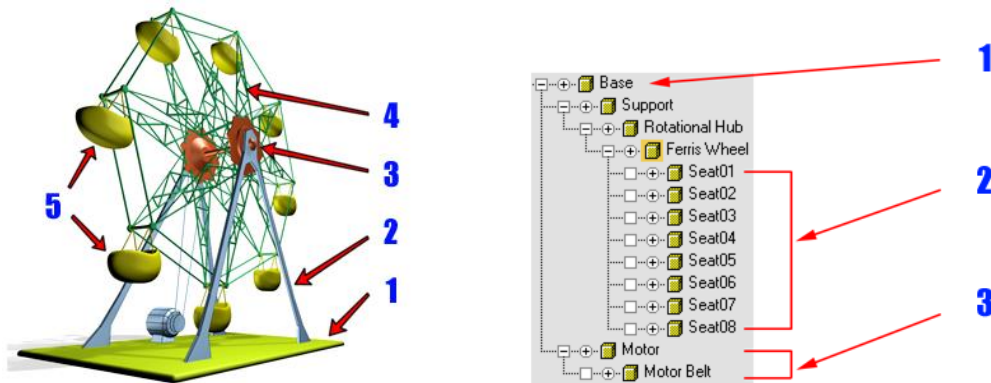


Übergeordnetes Objekt

Ein Objekt, dem ein oder mehrere Objekte untergeordnet sind. Ein übergeordnetes Objekt kann wieder von einem anderen übergeordneten Objekt gesteuert werden.

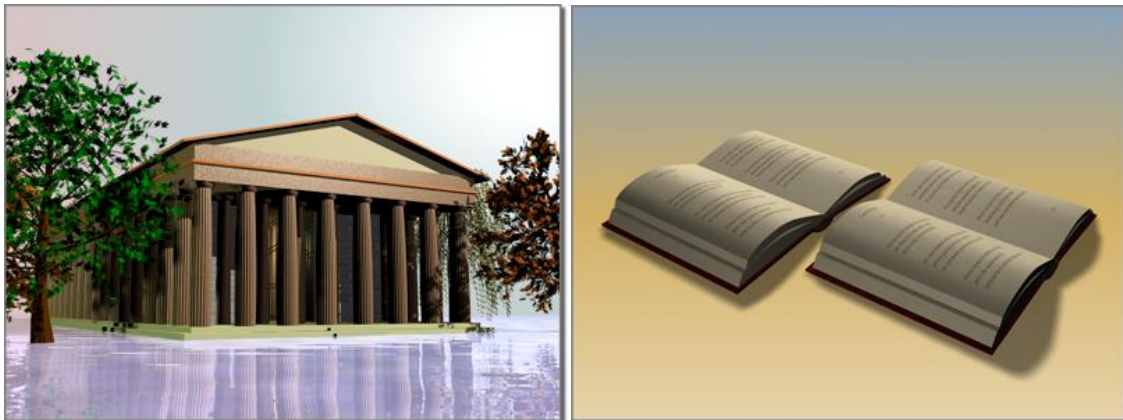
Untergeordnetes Objekt

Ein Objekt, das durch ein übergeordnetes Objekt gesteuert wird. Ein untergeordnetes Objekt kann für andere untergeordnete Objekte auch das übergeordnete Objekt sein.



3.12 Erstellen von Kopien, Instanzen und Referenzen (3ds max)

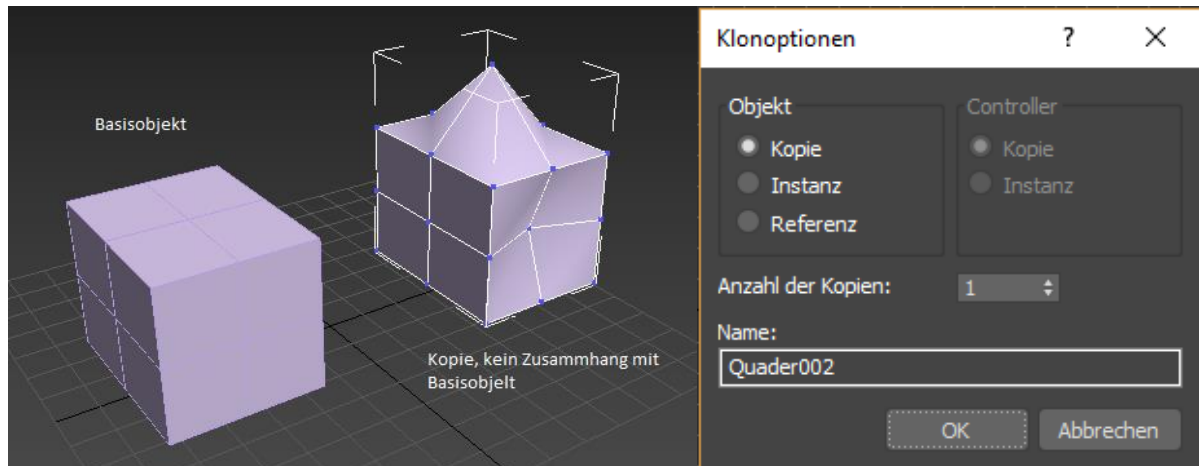
Das Vervielfältigen von Objekten ist wohl eine sehr häufig genutzte Funktion in 3D-Programmen. Dadurch kann bei der Modellierung eine beachtliche Zeitersparnis erreicht werden.



Grundsätzlich unterscheidet man zwischen folgenden Vervielfältigungsmethoden:

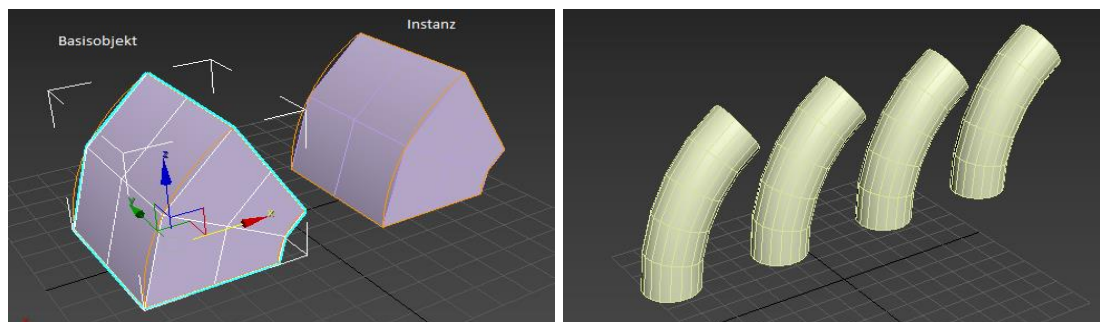
- **Kopie**
- **Instanz**
- **Referenz Kopien**

Kopie: Erstellt einen vom Original vollkommen **separaten Klon**. Änderungen am Original haben keine Auswirkungen auf den Klon und umgekehrt. Auf die Kopie werden alle Daten übertragen, über die das Originalobjekt zum Zeitpunkt des Kopierens verfügt. Zwischen der Kopie und dem Originalobjekt besteht keinerlei Verbindung.



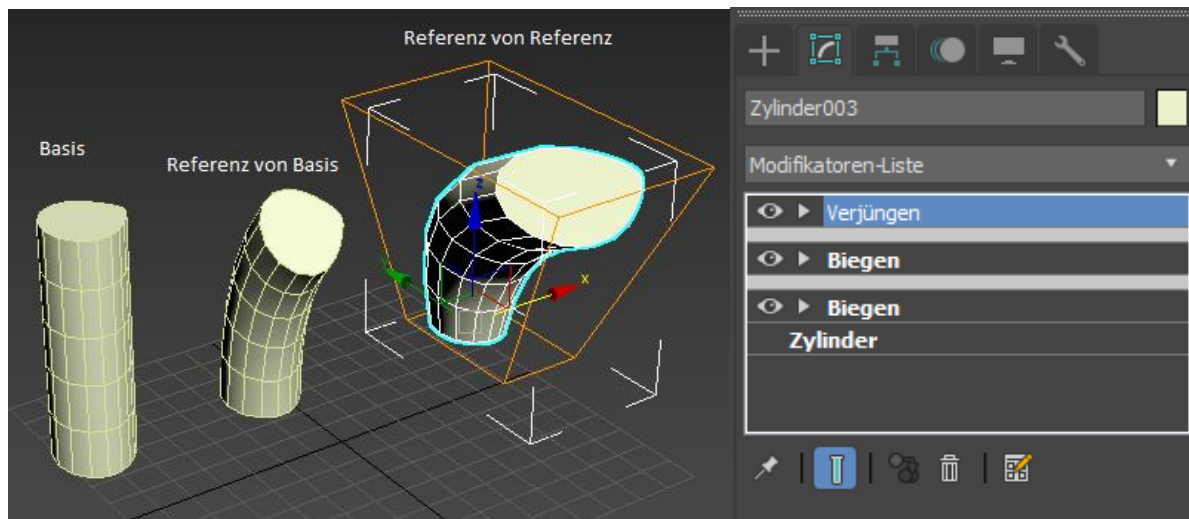
Änderungen auf Kopie hat keine Auswirkung auf Original

Instanz: Erstellt einen vollkommen **auswechselbaren Klon** des Originals. Das Ändern eines Instanzobjekts hat die gleiche Wirkung wie das Ändern des Originals. Die Instanziierung eines Objekts führt zu mehreren benannten Objekten, die auf einem einzigen Master-Objekt basieren. Jede benannte Objektinstanz verfügt über einen eigenen Satz an Transformationen, Space Warp-Bindungen und Objekteigenschaften, nutzt jedoch die Objektmodifikatoren und das Master-Objekt gemeinsam mit den anderen Instanzen.



Referenz: Erstellt einen **bis zum Zeitpunkt des Klonens** vom Original abhängigen Klon. Wenn Sie Parameter für Modifikatoren ändern, die vor dem Verweis auf das Objekt angewendet wurden, werden beide Objekte geändert. Wenn jedoch ein neuer Modifikator auf eines der Referenzobjekte angewendet wird, wirkt sich dieser nur auf das betroffene Objekt aus.

Beim Erstellen von Referenzen zeigt 3ds Max im oberen Bereich des Modifikatorstapels für alle Klone eine graue Linie, die *Linie für abgeleitete Objekte*, an. Alle unterhalb dieser Linie vorgenommenen Änderungen werden an andere Referenzen und das ursprüngliche Objekt weitergegeben. Neue Modifikatoren, die oberhalb der Linie hinzugefügt werden, werden nicht an andere Referenzen weitergegeben. Änderungen am Originalobjekt, wie z. B. an seinen Erstellungsparametern, werden an die Referenzen dieses Objekts weitergegeben.



Zylinder3 ist eine Referenz auf die Referenz von Basis 😊.

Abhängig von ihrer Erstellungsmethode werden geklonte Objekte als **Kopien**, **Instanzen** oder **Referenzen** bezeichnet.

Anmerkung:

In Blender werden nur Kopien und ~~Referenzen~~^{Instanzen} unterstützt. Dazu stehen die Befehle **Duplicate** (erzeugt Kopie) und **Linked Duplicates** (erzeugt Instanz) zur Verfügung.

4 Polygon Modellierung

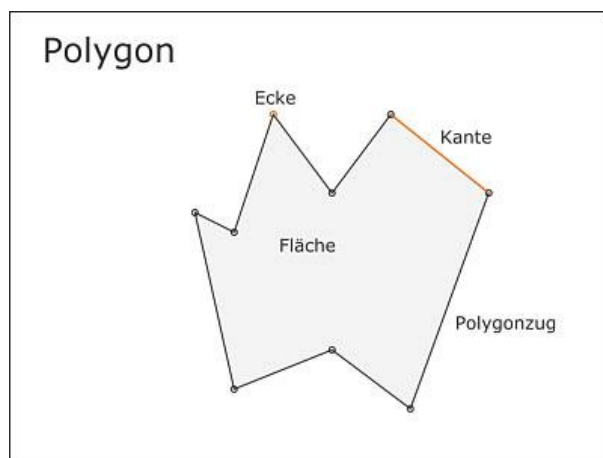
4.1 Vorbemerkung

Polygone sind die eigentlichen Bausteine von 3d-Geometrien. Durch ihre Eigenschaft, Vektoren als Flächen darzustellen, wird es erst möglich, dreidimensionale Daten zu visualisieren bzw. zu rendern. Das Dreieck, auch Face oder Triangle genannt, ist dabei das kleinste Flächenelement.

Polygone werden mit den unterschiedlichsten Tools bzw. Flächenoperationen erzeugt. Egal, ob mit Nurbs, Beziér-Patches oder Subdivisions gearbeitet wird, beim Rendern werden alle 3d-Daten in Polygone umgewandelt. In sehr vielen Fällen ist der endgültige Geometrie-Output ein Polygon-Netz. Je nach Verwendungszweck wird entschieden, ob polygonsparend modelliert wird, um Low-Polygon Modelle für z.B. Echtzeitanwendungen zu erzeugen, oder ob High-Resolution Modelle für Animationen benötigt werden.

4.2 Das Polygon 2d - Definition 2d

Das Wort **Polygon** setzt sich aus den griechischen Worten "**poly**" (viele) und "**gonia**" (Winkel) zusammen. Polygone sind zweidimensionale, planare, geschlossene Linienzüge mit n -Seiten inklusive dem vom Polygonzug eingeschlossenen Gebiet



(Linienzüge, Edges) und der Polygonfläche (Fläche, Face(s)).

Ecken **sind Punkte**, in denen sich zwei Kanten eines Polygonzuges treffen.

Kanten **sind Segmente** des Polygonzuges zwischen zwei Ecken.

Polygonfläche ist die vom Polygonzug eingeschlossene Fläche

Polygone **bestehen aus** Ecken (**Knotenpunkte, Vertices**) und Kanten

4.2.1 Einfache Polygone

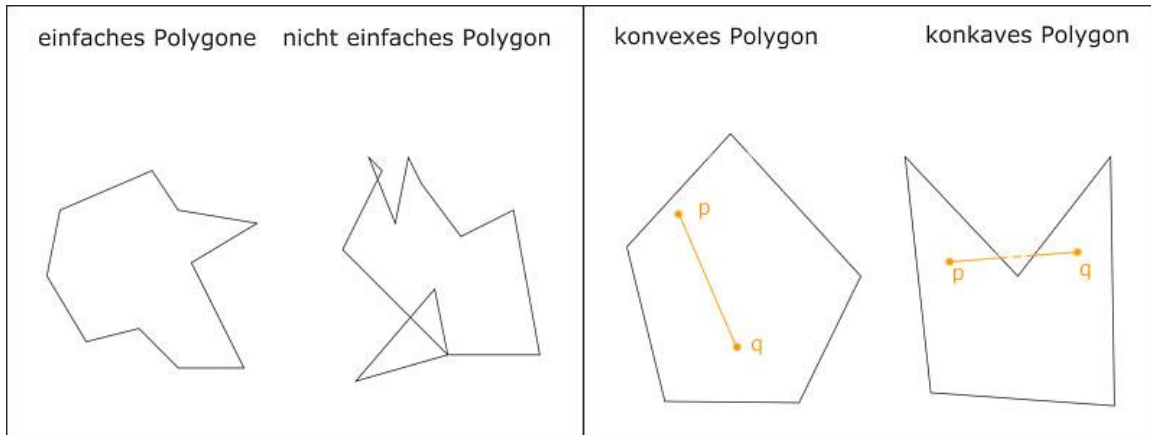
Ein Polygonzug wird dann als **einfacher Polygonzug** bezeichnet, wenn seine Ecken verschieden sind und je zwei Kanten außer den gemeinsamen Ecken keine Punkte gemeinsam haben.

4.2.2 Nicht Einfache Polygone

Polygonzüge werden als **nicht einfach** bezeichnet, wenn sich Kanten überlappen und/oder Kanten schneiden und/oder Kanten berühren und/oder Ecken mehrfach durchlaufen werden.

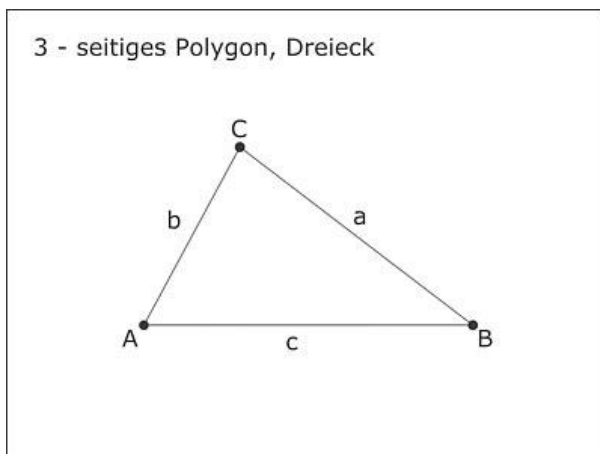
4.2.3 Konkave Polygone - Konvexe Polygone

Ein Polygon bezeichnet man als **konvex**, wenn von jedem seiner Punkte aus alle Punkte des Polygons sichtbar sind. Ist dies nicht erfüllt, spricht man von **konkaven** Polygonen.



4.2.4 Einfachste Polygon – Das Dreieck

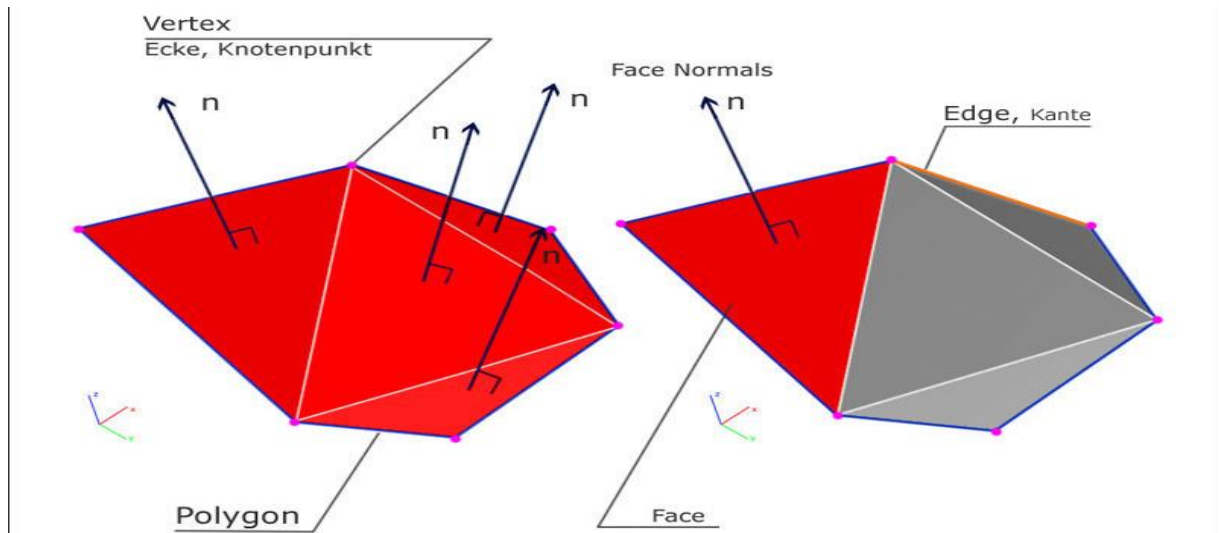
Das Polygon mit der kleinsten Anzahl an Knotenpunkten, welche bereits eine Fläche definiert, ist das **dreiseitige Polygon** oder **Dreieck**.



4.3 Das Polygon 3d - Definition 3d

Ein Polygon im dreidimensionalen Raum besteht aus folgenden Komponenten:

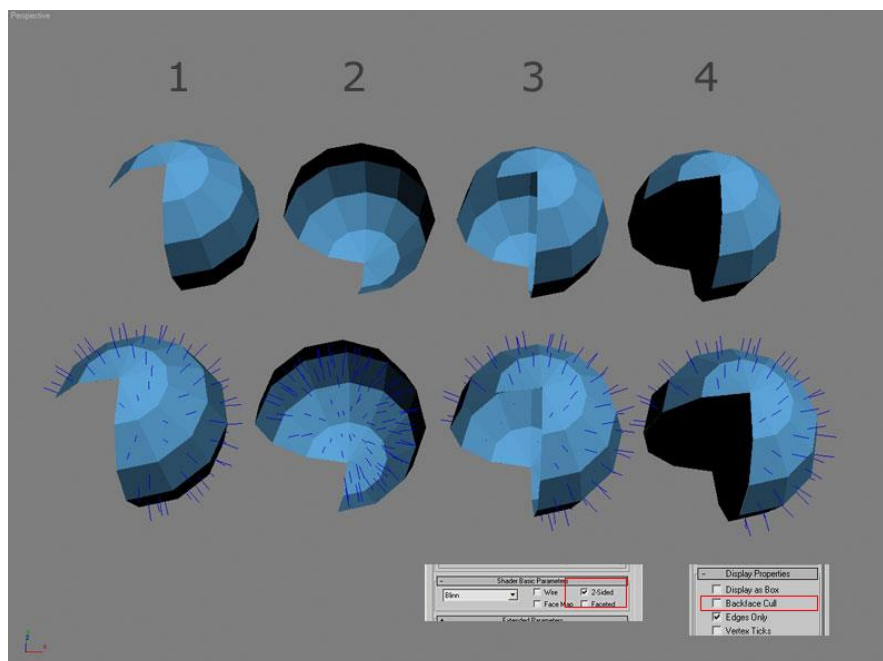
- Polygon:** konvexer Polygonzug, bestehend aus Edges, und die Polygonfläche bestehend aus Faces.
- Face:** kleinste Flächeneinheit eines Polygons.
- Edge:** Kante
- Vertex:** Punkt im Raum, den sich normalerweise zwei oder mehrere Kanten teilen.
- Face Normal:** Rechtwinkliger Vektor bezogen auf ein Face.



4.3.1 Polygone und ihre Darstellung - Sichtbarkeit

Ein Face hat grundsätzlich eine sichtbare und eine nicht-sichtbare Seite. Die **Sichtbarkeit** im Viewport und im Rendering hängt in erster Linie von den **Flächennormalen der Faces** ab. Diese definieren mit ihrer Richtung die Sichtbarkeit. Faces, die nicht sichtbar sind, erlauben auch eine Durchsicht (siehe Fall 1 und Fall 2).

In der folgenden Abbildung wird jeweils die gleiche Geometrie abgebildet:



Fall 1: Normalen weisen nach außen. Die äußere Kontur des Kugelsegmentes ist sichtbar.

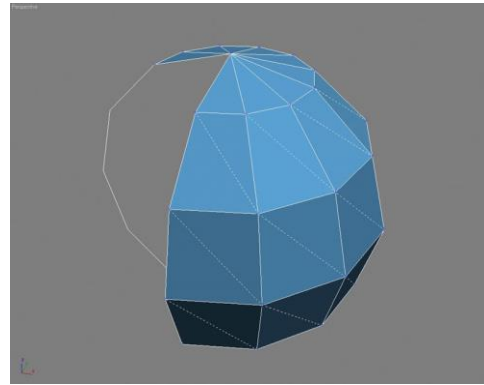
Fall 2: Normalen weisen nach innen. Die innere Kontur des Kugelsegmentes ist sichtbar.

Fall 3: Normalen weisen nach außen. Das zugewiesene Material (Shader) ist auf eine zweiseitige (2-sided) Darstellung eingestellt.

Fall 4: Normalen weisen nach außen. Das Backface-Culling für dieses Objekt wurde abgeschaltet.

Darstellung:

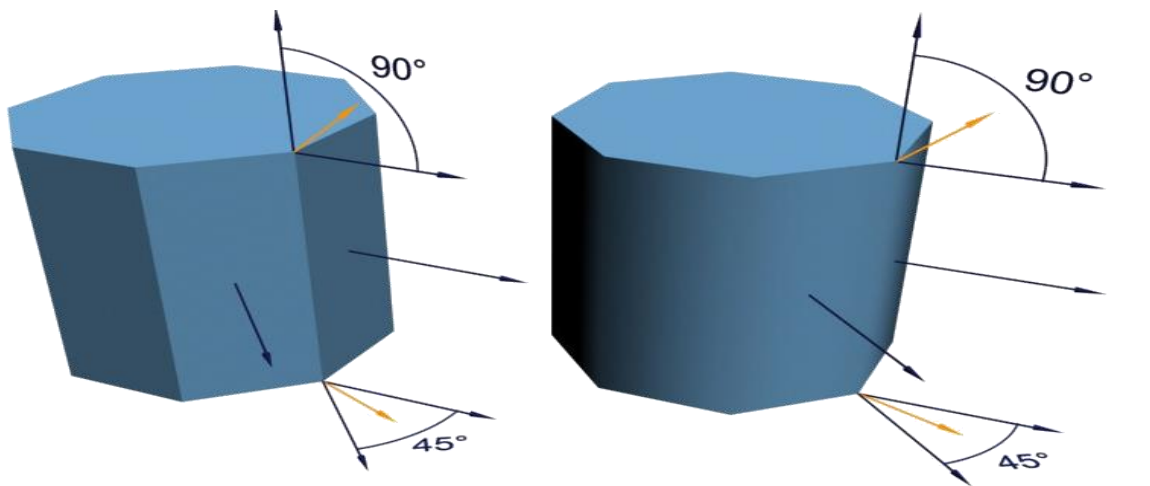
der Polygone,
der Polygon Edges,
der Triangulation und
der Knotenpunkte (als Kreuze).



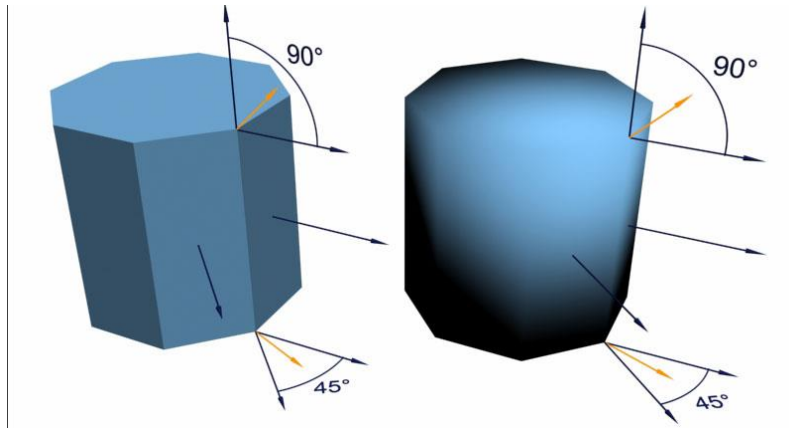
4.4 Smoothing / Schattierung

Das **Smoothing** von Polygonen bestimmt deren Darstellung. Für die Berechnung werden die **Flächennormalen** herangezogen. (Aus zwei benachbarten Flächennormalen wird ein Normalvektor errechnet, der an die Kante der beiden Faces verschoben wird.)

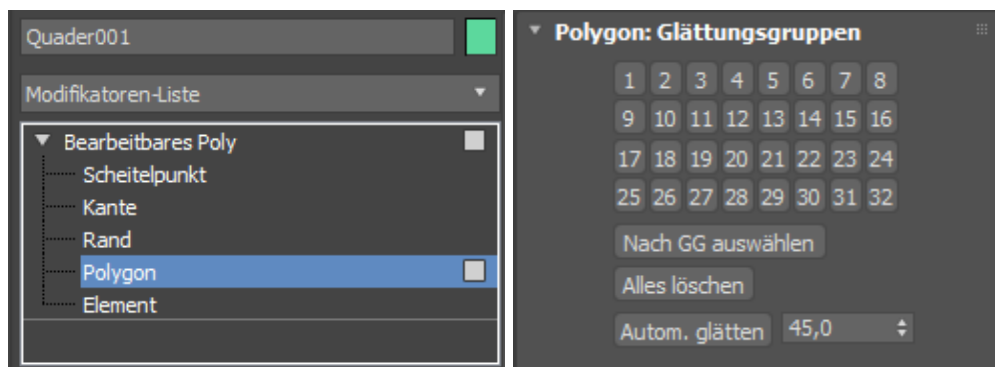
Durch Eingabe eines Schwellenwertes, der mit dem Winkel zwischen zwei benachbarten Faces verglichen wird, kann das **Smoothing** beeinflusst werden. Liegt ein Winkel unter dem Schwellenwert, werden die betroffenen Polygone weich/smooth dargestellt, liegt der Winkel über dem Schwellenwert, werden die Flächen facettiert/flat dargestellt. Der Schwellenwert wird auch häufig als **smoothing-angle** bezeichnet.



Links liegt der smoothing angle bei 0, alle Faces werden flach (flat) schattiert dargestellt. rechts liegt der smoothing angle bei 45.1, daher werden die Seitenflächen des 8-seitigen Zylinders weich (smooth) dargestellt.



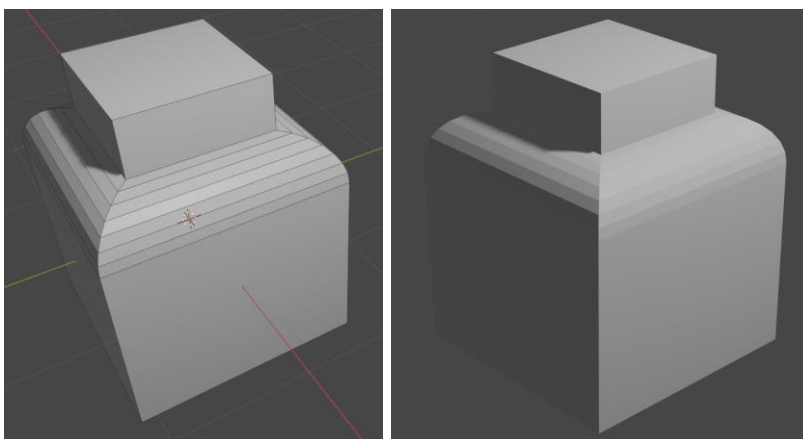
Links liegt der smoothing angle bei 0, alle faces werden flach (flat) schattiert dargestellt. rechts liegt der smoothing angle bei 90.1, daher werden alle faces des Zylinders weich (smooth) dargestellt. In 3ds max kann man zusätzlich zu den Smooth-Modifizieren die verschiedenen Glättungsgruppen manuell anpassen.



Smooth-Shading in Blender

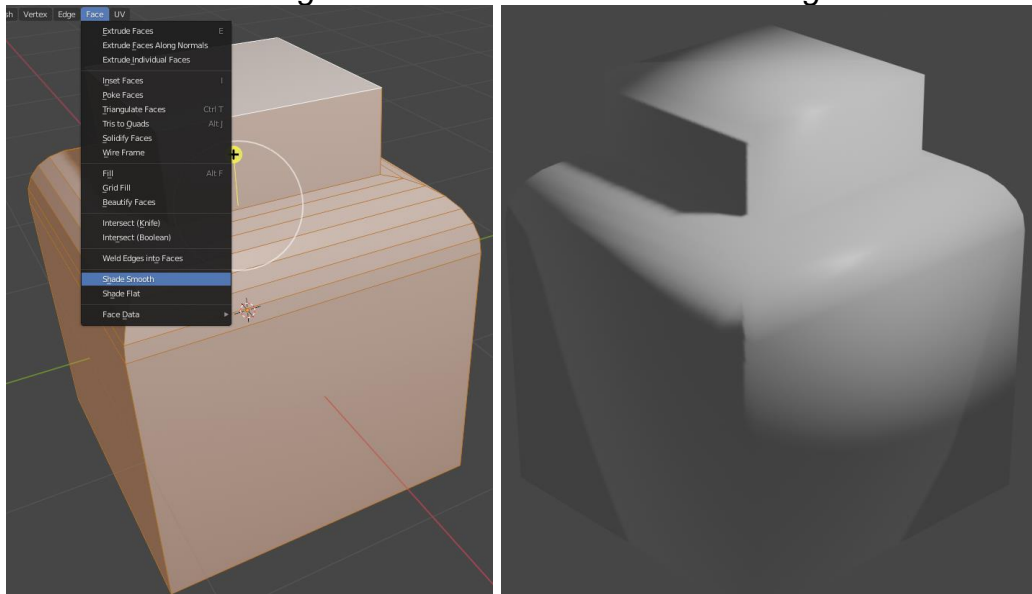
In Blender funktioniert die Smooth-Schattierung nach demselben Prinzip. Zu diesem Zweck wird ein einfacher Körper erstellt.

Standardmäßig ist kein Smooth-Shading eingestellt. Auf der linken Seite ist die Modellierungssicht und rechts das fertige Rendering zu sehen.

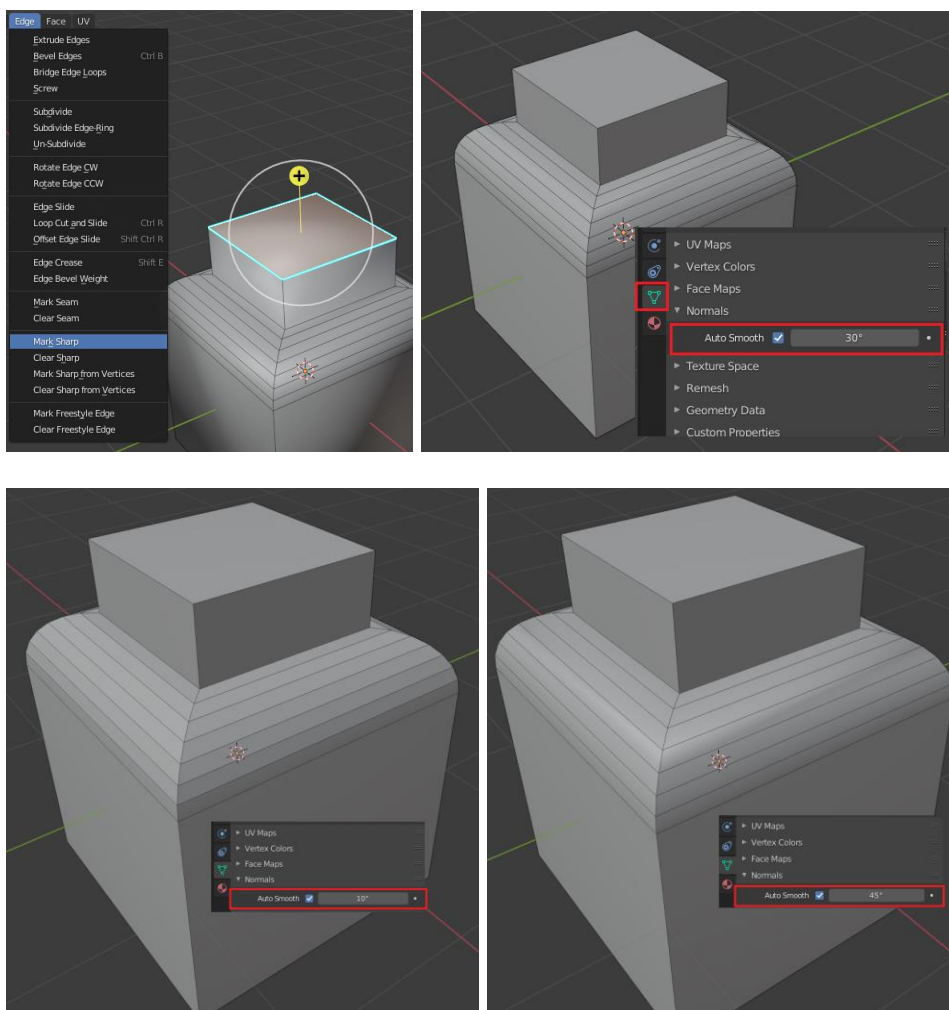


Ohne Smooth-Shading

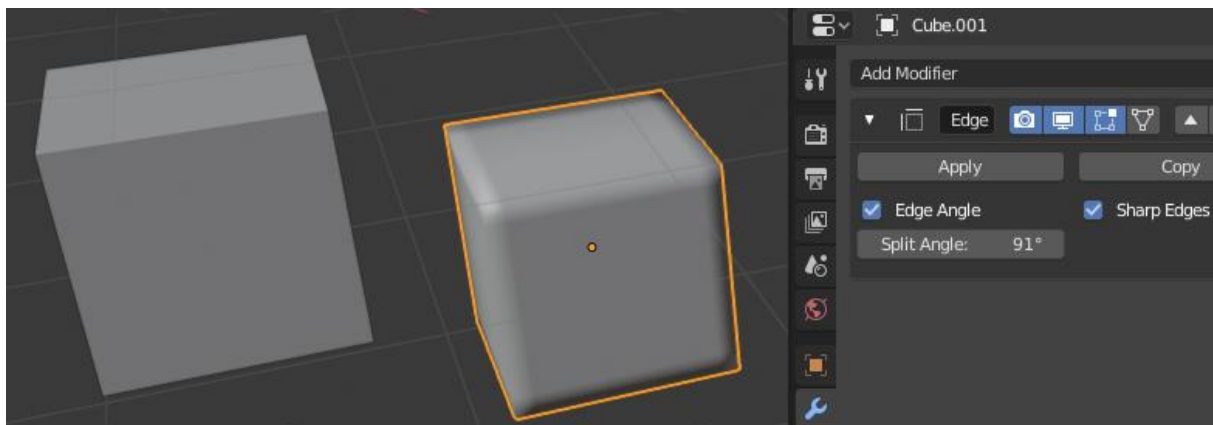
m EditMode -> Face -> Shade Smooth können selektierte Fläche geglättet werden. Im rechten Rendering sieht man die entstanden Rundungen.



Im **Menü Edge -> Mark Sharp** können Kanten als kantig eingestellt werden. In den Eigenschaften kann man auch für das ganze Objekt die Option Auto Smooth mit zugehörigen Grenzwinkel einstellen.



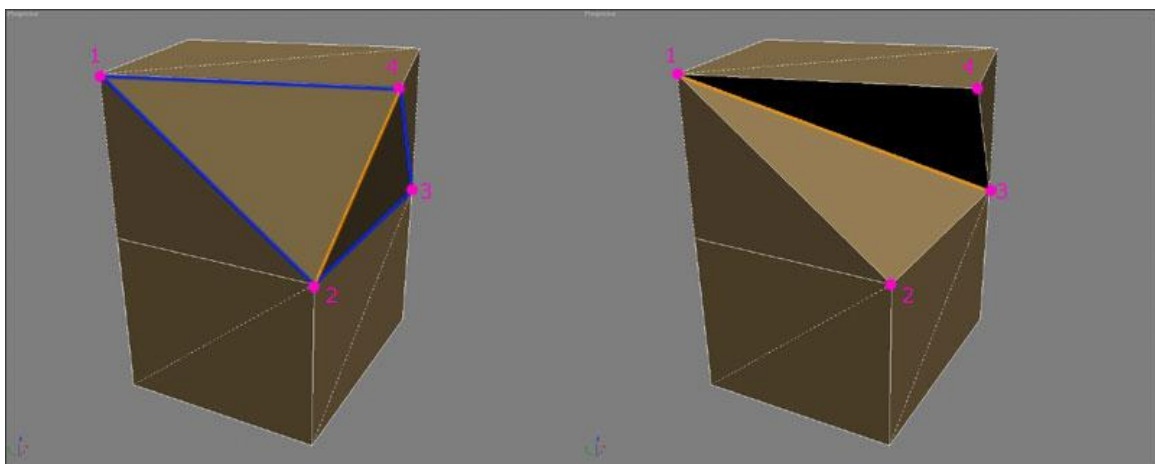
In Blender kann man neben den Smooth-Modifier auch den EdgeSplit-Modifier benutzen. Dieser ermöglicht die genaue Einstellung der Grade für die Schattierung.



4.5 Triangulation von Poygonen

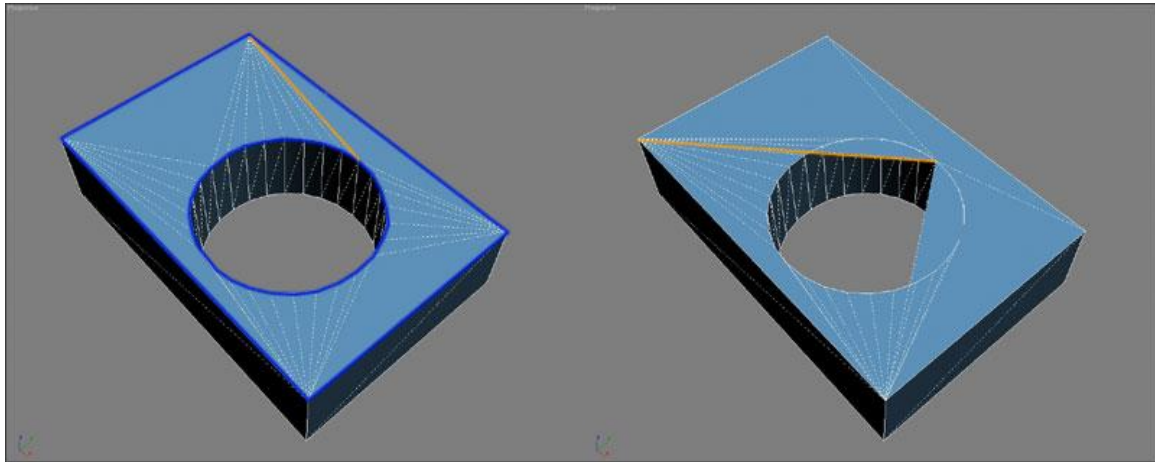
Als **Triangulation** wird die Zerlegung von Polygonflächen in einfache dreieckige Polygone (Triangles, Faces) bezeichnet. Diese erfolgt nach gewissen **mathematischen Algorithmen**, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Für die Modellierer ist besonders die Auswirkung der Triangulation auf die Geometrie und deren Darstellung interessant:

Beispiel 1: Eine erhebliche Auswirkung auf die Geometrie hat die Triangulierung auf non-planare Polygone. Der folgende dargestellte Fall tritt sehr häufig beim **low-polygon Modellieren** auf. Solche "Fehler" können auch bewusst eingesetzt werden, um z.B. Kanten oder Brüche zu modellieren.



Links das Polygon nach dem Modellieren, das gemeinsame Edge verläuft zwischen den Vertices 2 und 4. Rechts ist das Edge "gedreht" (flip edge, trune edge) worden, es verläuft nun zwischen den Vertices 1 und 3.

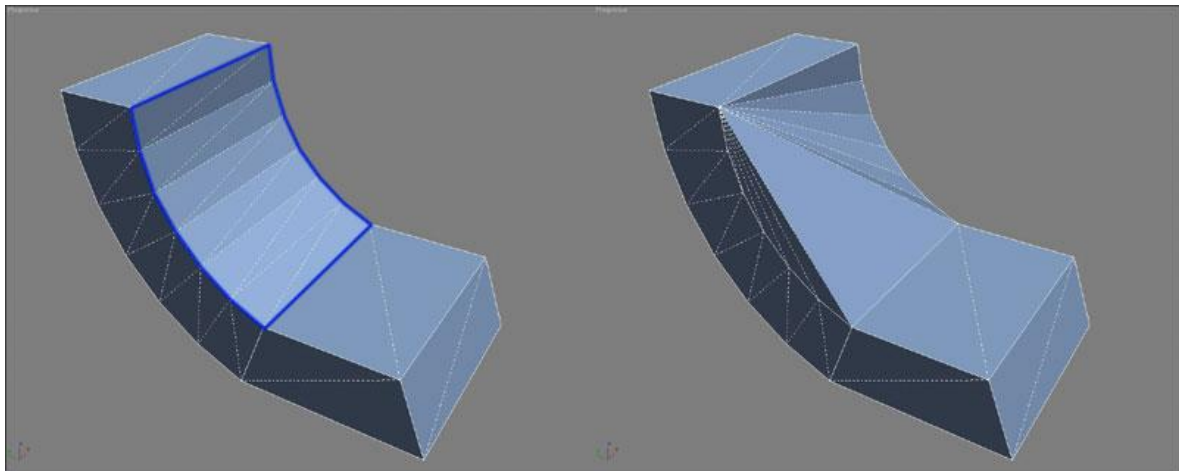
Beispiel 2: Aber auch bei planaren Polygonen können durch falsch verlaufende **edges** schwerwiegende Geometriefehler auftreten. Manchmal entstehen solche fehlerhaften Triangulierungen durch eine Konvertierung der Geometrie aus anderen 3d Formaten.



Links das korrekt aufgebaute Polygon.

Rechts treten "falsche" Kanten auf.

Beispiel 3: In diesem Fall überlagern sich keine Faces, jedoch wurde die ursprüngliche Form des Bauteils vollkommen zerstört. Die Behebung solcher Fehler kann nur manuell geschehen, indem alle Kanten der linken Abbildung entsprechend "gedreht" werden.



Links das korrekt aufgebaute Polygon. - Rechts die fehlerhafte Triangulation.

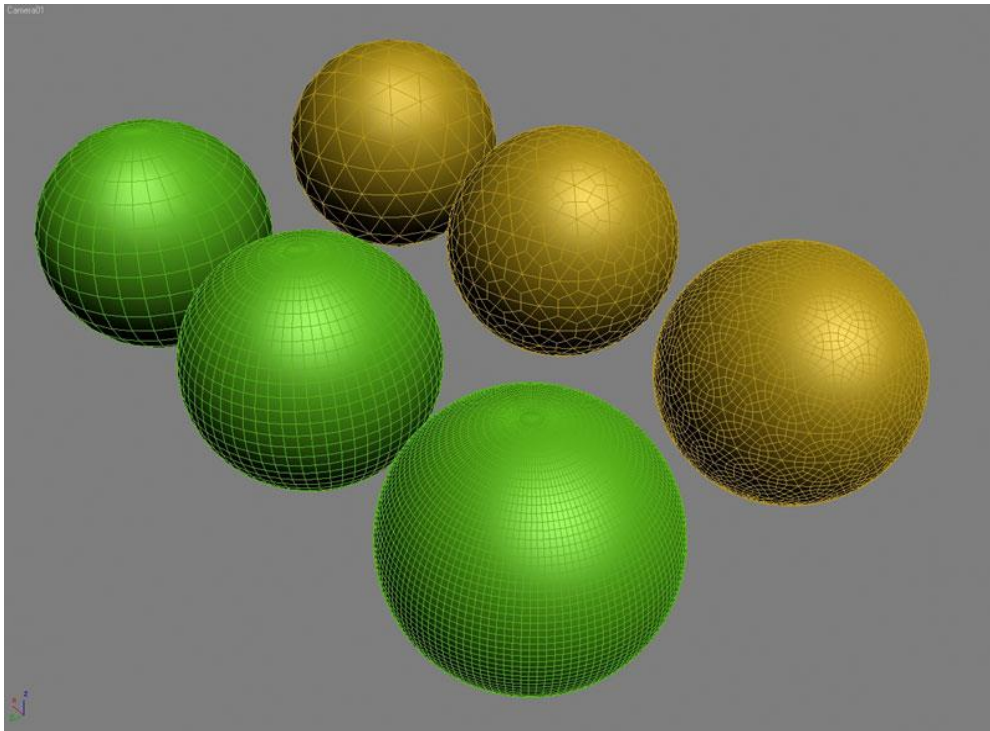
4.6 Triangles, Quads & Co.

Triangles sind dreieckige Polygone.

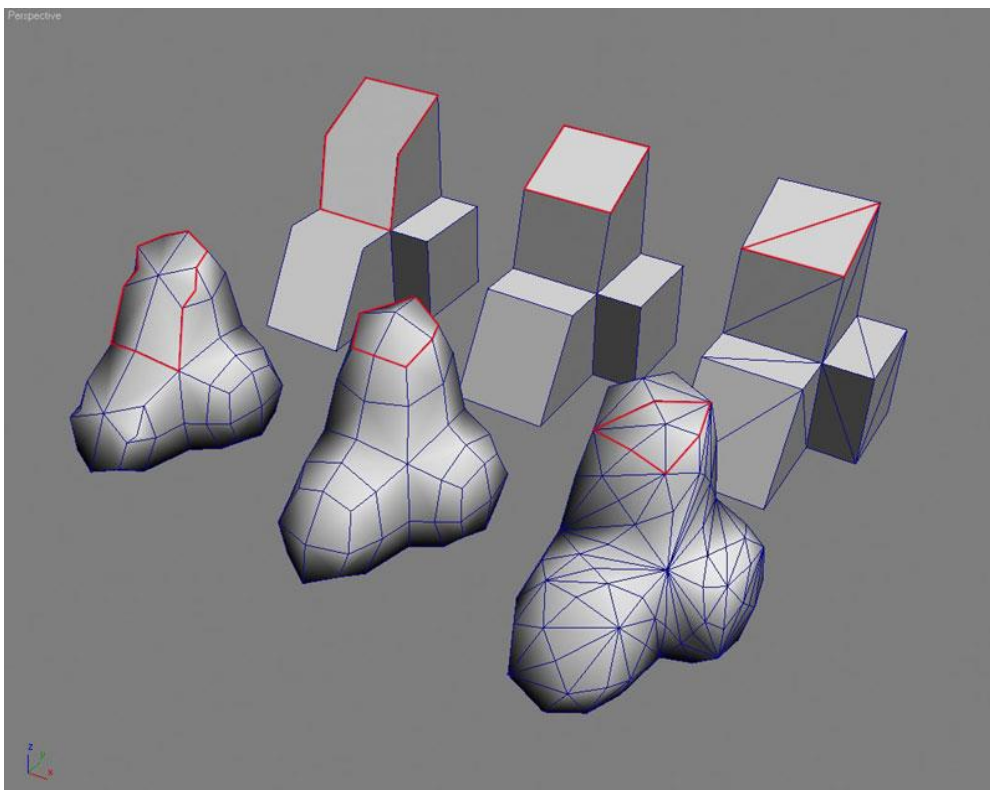
Quads sind viereckige Polygone. (Meist sind diese Polygone auch planar).

Heute werden die meisten Polygonmodelle ausschließlich aus **Quads** aufgebaut. Der Hauptvorteil von Quads zeigt sich in deren konsistenten Subdivision-Verhalten.

Triangles zeigen eine für die Weiterbearbeitung nur sehr schwer nachvollziehbare Geometrie. Man erkennt die bessere Unterteilung bei Quads gegenüber Triangles.

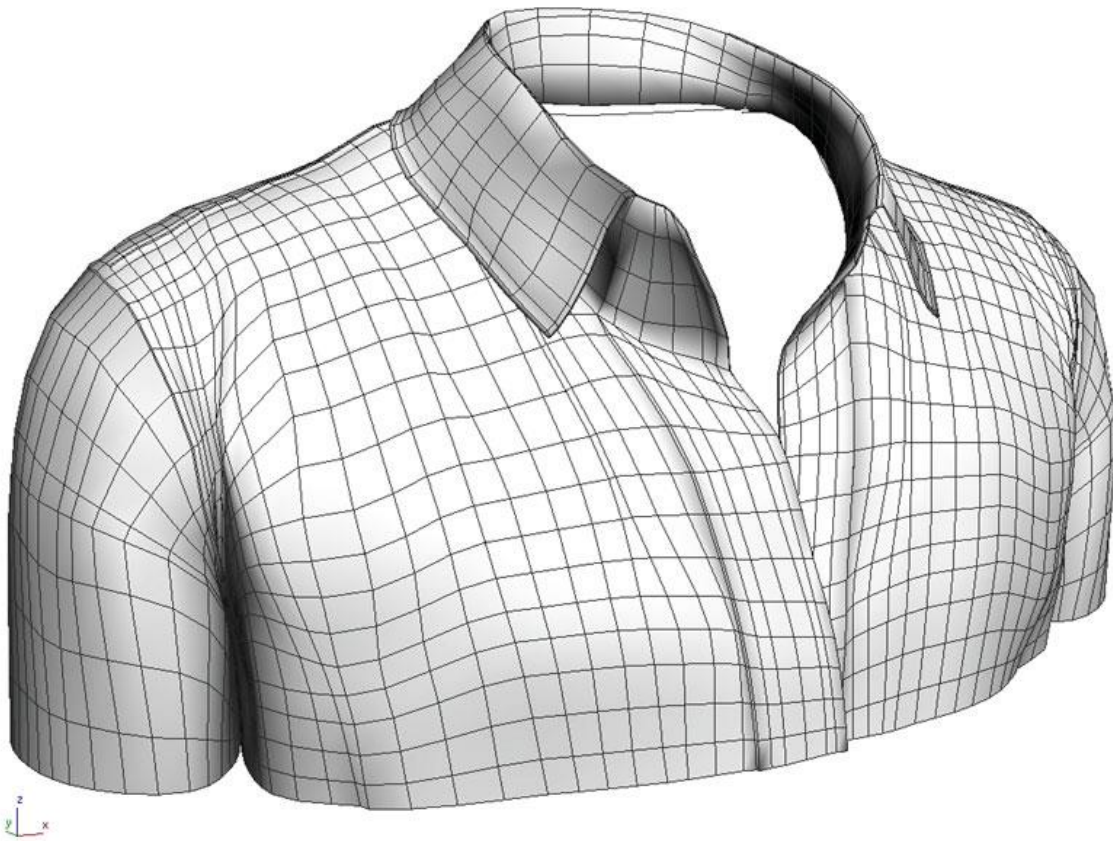


Aus Quads aufgebaute Geometrien weisen die beste Formkonsistenz auf.
Vergleich: N-Gon, Quad und Triangle



Quads gewähren Übersichtlichkeit und vor allem eine bessere Kontrolle der Geometrie.

Perspective/Disabled



Typische Quad-Geometrie