

11. Computergrafik und Virtuelle Realität

- 11.1 Grundlagen der 2D-Computergrafik
- 11.2 2D-Vektorgrafik mit XML: SVG
- 11.3 Grundlagen der 3D-Computergrafik
- 11.4 3D-Computergrafik: VRML



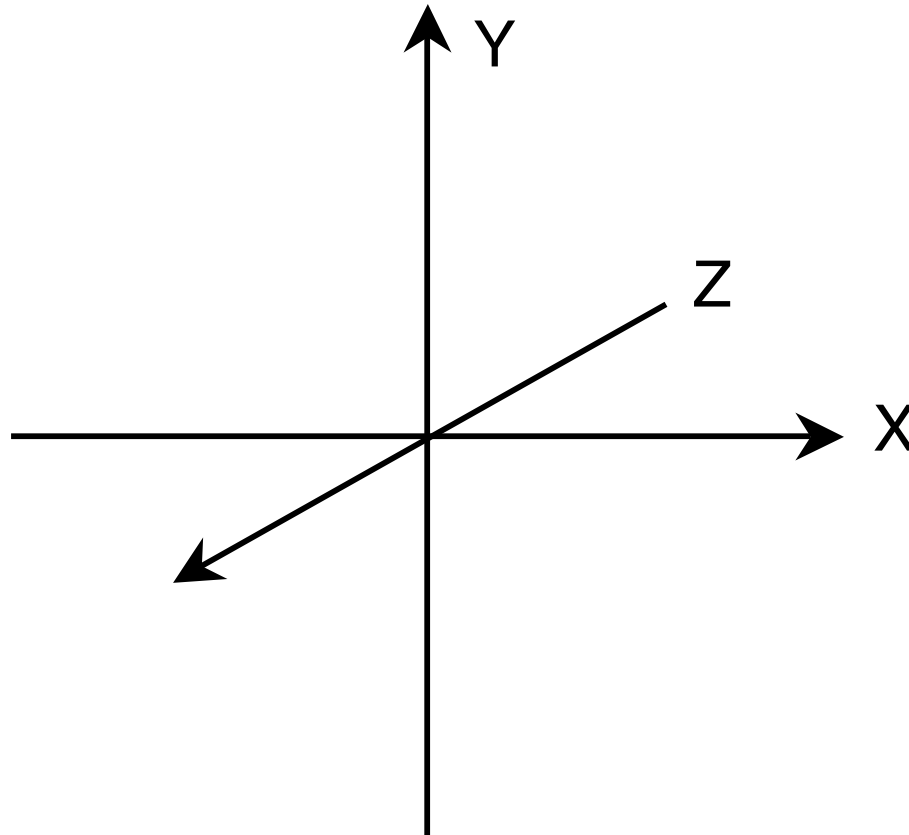
Literatur:

Alan Watt: 3D Computergrafik, 3. Auflage, Pearson Studium 2002

Dreidimensionale Darstellung

- Dimensionenkonflikt:
 - Die reale Welt ist dreidimensional
 - Bilddarstellungen (wie bisher betrachtet) sind zweidimensional
 - » Verdeckte Ansichten und Details
- Dreidimensionale Darstellung:
 - Setzt Modell mit den Informationen in allen drei Dimensionen voraus
 - » Alle möglichen Ansichten ohne Informationsverlust
- Anwendungsbereiche für dreidimensionale Darstellung:
 - Virtuelle Welten, „Cyberspace“
 - Ingenieur Anwendungen:
 - » CAD (z.B. Maschinenbau)
 - » Designmodelle von Produkten
 - » (Interaktive) Architekturmodelle
 - Produktpräsentation
 - Geovisualisierung
 - Animation im Film (Trickfiguren in Spielfilm, Vollanimation)

3D-Koordinatensystem

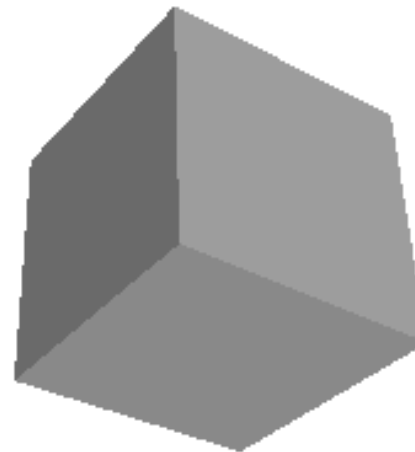
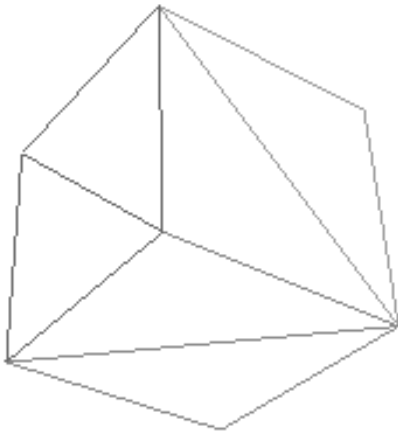


Kartesisches Koordinatensystem

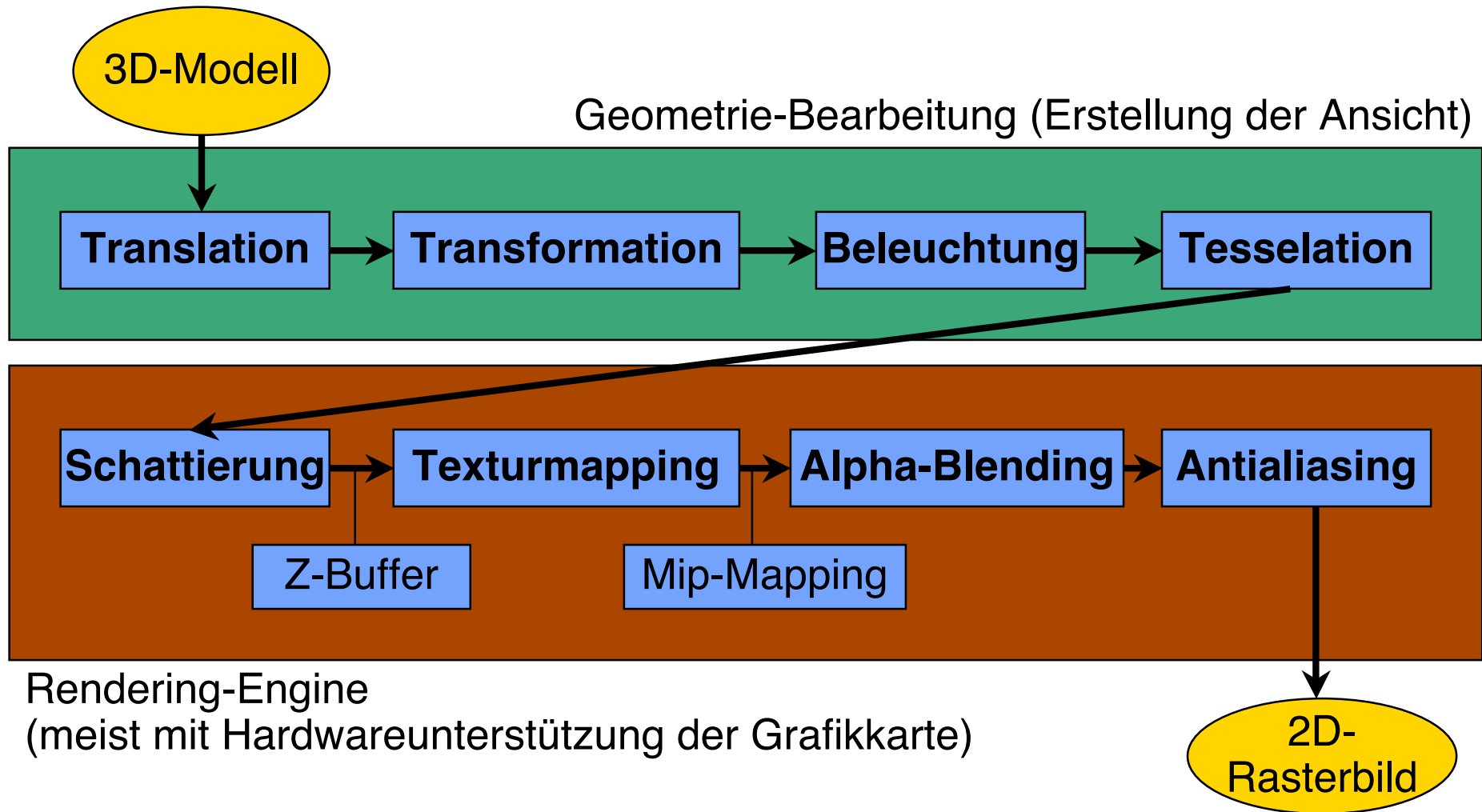
Merkhilfe: „Rechte-Hand-Regel“

Grundidee der 3D-Modellierung

- Gegenstände:
 - Punktwolken im 3-dimensionalen Raum
 - Zusatzinformationen z.B. zur Oberflächenstruktur
- Verbindung der Punkte in definierter Weise:
 - » Rendering als *Drahtmodell*
- Anpassung des Rendering an visuelle Wahrnehmung:
 - Perspektive, Verdeckung



3D-Rendering-Pipeline



Translation

- Übersetzung der Modellkoordinaten in den zum Rendering benutzten Koordinatenraum
 - Integration von Modellen aus verschiedenen Quellen, z.B. verschiedenen Entwicklungssystemen
 - Häufig: *Weltkoordinatensystem*
- *Clipping*
 - Abschneiden von Objektteilen außerhalb des Blickwinkels des Beobachters

Transformation

- Änderung der Objektposition
 - Verschieben (oft auch *translation* genannt)
 - In 3 Freiheitsgraden
- Änderung der Objektausrichtung
 - Rotation
 - In 3 Freiheitsgraden
- Änderung der Objektgröße
 - Skalierung
 - 1 Freiheitsgrad bei Erhaltung der Proportionen
 - 3 Freiheitsgrade bei Verzerrung
- Bewegung der Betrachterposition in einer virtuellen Welt:
 - Obige Operationen treten (kombiniert) extrem häufig auf
 - Schnelle Implementierung wichtig

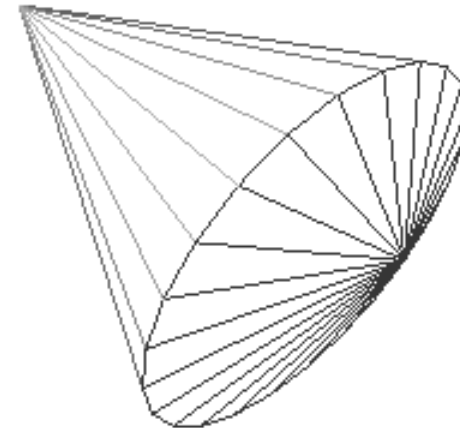
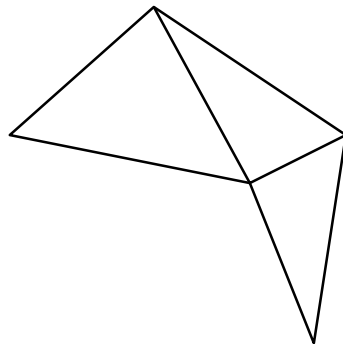
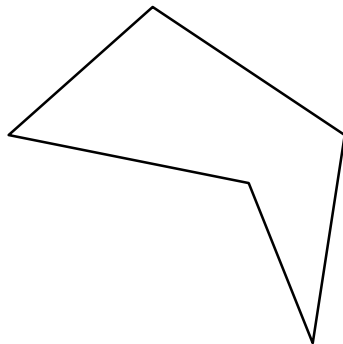
Beleuchtung

- Einfluss von Lichtquellen auf das Erscheinungsbild einer 3D-Szene
 - Ganz ohne Lichtquellen: Schwarz!
- Abhängig von:
 - Standort und Art von Lichtquellen
 - Spezialfall einer Standard-Lichtquelle:
 - » „Headlight“ aus der Richtung des Betrachters
 - Standpunkt und Blickrichtung des Betrachters



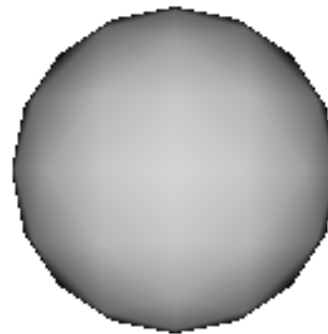
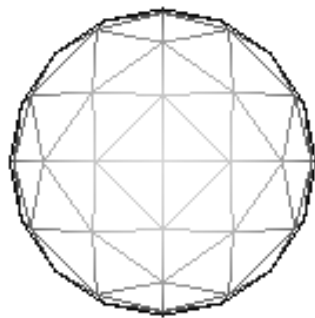
Tesselation

- Durch 3D-Rendering nur Polygone darstellbar!
 - Komplexe Szenen aus extrem vielen (Millionen) von Polygonen zusammengesetzt
- Darzustellendes Objekt wird in einfache Polygone (meist Dreiecke) zerlegt
- Tesselation = Zerlegung komplexer Polygone in Dreiecke



Schattierung (*shading*)

- *Flat-Shading*:
 - Berechnet für jedes Flächenelement (Polygon) der 3D-Szene einen Helligkeitswert
 - Bestimmt sich aus der Winkeldifferenz zwischen einfallendem Licht und dem Normalenvektor des Polygons
 - Einfach zu berechnen
 - Nachteil: Homogener Farbwert je Polygon
- Verfeinerte Schattierungsverfahren:
 - Z.B. Gouraud-Shading, Phong-Shading
 - Interpolation der Farbwerte mit benachbarten Polygonen
 - Erreicht relativ gute optische „Glättung“



Z-Buffer

- Z-Buffer speichert für jeden Bildpunkt des 2D-Bildes die niedrigste Entfernung zu einem Objekt
- Beschleunigung des Rendering:
 - Offensichtlich verdeckte Objekte bzw. Objektteile müssen nicht berechnet werden
- Größere Wahlfreiheit bei der Abarbeitung des Rendering
 - Hintergrundbild muss nicht unbedingt zeitlich vor den Vordergrundobjekten gerendert werden
- Hardwareunterstützung in Grafikkarten

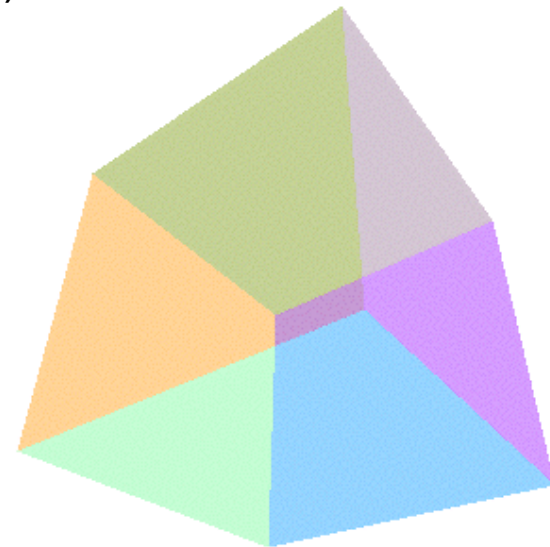
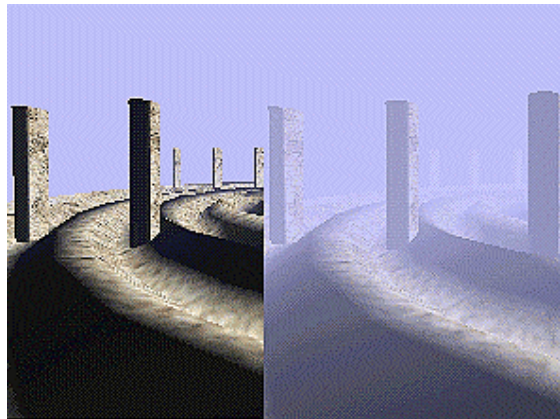
Textur-Mapping

- Textur:
 - Muster oder Bild, das auf Oberflächen von 3D-Objekten gelegt wird
 - Kann oft Anzahl der benötigten Polygone drastisch reduzieren
- Textur-Mapping:
 - Darstellung der Flächen eines Objekts mit Textur
 - Erweiterung: Perspektivische Korrektur der Textur
- Mip-Mapping:
 - Textur in mehreren Auflösungen verfügbar (und automatisch passende Fassung ausgewählt)



Alpha-Blending

- Kontrolle der Transparenz eines Objekts
 - Analog zu 2D-Rendering
- Bei 3D-Grafik:
 - Tiefeneindruck durch „Verwischen“ von Details bei grösserer Entfernung
 - Nebeneffekt (*fogging*)
 - „Depth cueing“ (Überblendung ins Schwarze)



11. Computergrafik

- 11.1 Grundlagen der 2D-Computergrafik
- 11.2 2D-Vektorgrafik mit XML: SVG
- 11.3 Grundlagen der 3D-Computergrafik
- 11.4 3D-Computergrafik: VRML



Literatur:

Henning, Taschenbuch Multimedia, Kap. 13

Rolf Däßler: VRML - 3D-Welten im Internet, bhv Verlag 2002

<http://www.web3d.org>

Mark Pesce: Vrml - Browsing and Building Cyberspace, New Rider 1995

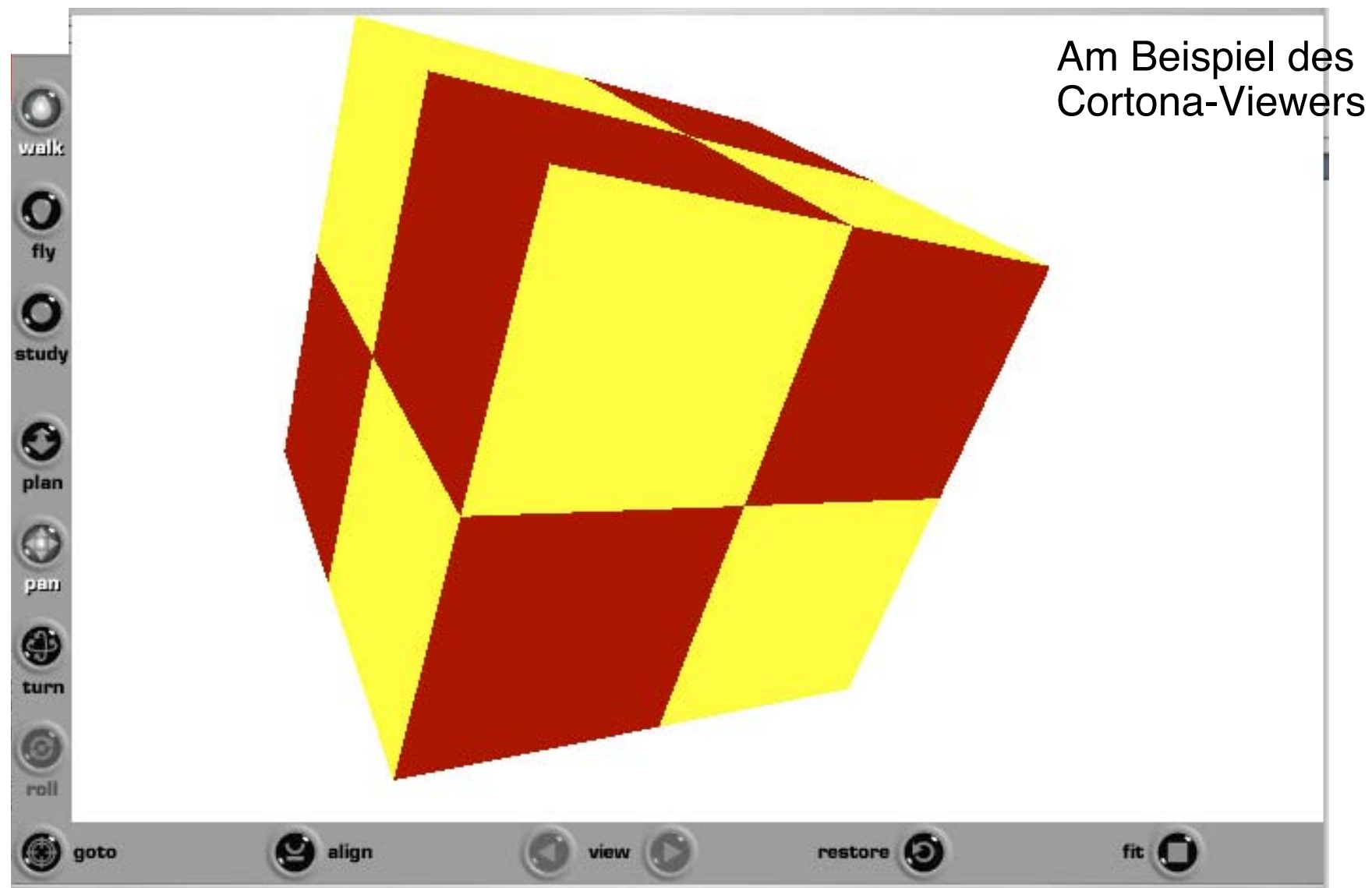
Virtual Reality Modeling Language VRML

- Skriptsprache und Austauschformat zur Beschreibung von 3D-Welten
 - Auf den Einsatz im Internet ausgelegt
 - Vektor-Grafikformat
- VRML hat *keine* XML-Syntax!
 - Nachfolger von VRML: „X3D“ ist XML-Sprache
- Geschichte:
 - Basiert auf Grafikstandard „OpenInventor“ von Silicon Graphics
 - Marc Pesce, Toni Parisi, 1994: Erster 3D-Browser, Entwurf VRML 1.0
 - April 1995: VRML Version 1.0 verabschiedet
 - 1996: Internet-Abstimmung über konkurrierende Vorschläge für VRML 2.0, gewonnen von *MovingWorlds*-Standard (Silicon Graphics & Sony), VRML 2.0 verabschiedet
 - 1997: VRML wird Internationaler Standard ISO-14772
 - » Meist als „VRML 97“ bezeichnet, weitgehend identisch zu VRML 2.0
- Dateierweiterung:
 - .wrl (wie „world“) und .wrz (= .wrl.gz komprimierte Variante)

Softwarewerkzeuge für VRML

- Anzeigeprogramme (*viewer*)
 - Meist als „Plug-In“ für Web-Browser
 - Bekannte Produkte:
 - » *CosmoPlayer* (Silicon Graphics)
 - » *Cortona* (Parallel Graphics)
 - » *FreeWRL* (OpenSource-Aktivität)
- Autorenwerkzeuge:
 - Einfache syntaxunterstützende Editoren (z.B. VrmlPad)
 - Spezielle 3D-Editoren
 - Aufwändige 3D-Modellierungs- und Animationswerkzeuge mit VRML-Exportfunktion
 - » Z.B. 3d studio max, SoftImage, Maya, Cinema4D

Bedienungselemente eines VRML-Viewers



Navigationsmodi

- Grundmodi:
 - Walk: Bewegung des Betrachters nur in der horizontalen Ebene
 - Fly: Bewegung des Betrachters auch in der vertikalen Ebene
 - Study: Bewegung der Welt um das Zentrum des Objekts
- Optionen (in Kombination mit den Grundmodi):
 - Plan: Bewegungseingaben beziehen sich auf Verschiebung in der horizontalen Ebene
 - Pan: Bewegungseingaben beziehen sich auf Verschiebung in der vertikalen Ebene
 - Turn: Bewegungseingaben beziehen sich auf Drehung in der horizontalen Ebene
 - Roll: Bewegungseingaben beziehen sich auf Drehung in der vertikalen Ebene
- Bewegungseingaben erfolgen z.B. durch Pfeiltasten oder Mausgesten

Syntax von VRML

- Bezeichner empfindlich gegen Gross- und Kleinschreibung!
- Knoten:
 - *Knotentypbezeichner { Felder }*
 - Knotentypbezeichner beginnt immer mit Grossbuchstaben
 - Z.B. `sphere { radius 1.0 }`
- Felder:
 - Folgen von Paaren *Feldtypbezeichner Feldwert*
 - Feldtypbezeichner beginnt immer mit Kleinbuchstaben
 - Z.B. `radius 1.0`, z.B. `skyColor 1.0 1.0 1.0`
- Wert: Tupel aus mehreren Einzelwerten, meist 1 bis 3
- Listen von Werten:
 - Z.B. `[0, 1, 2, 3, 4]`, z.B. `[-1.0 1.0 1.0, -1.0 -1.0 1.0]`
- Datentypen:
 - Ganze Zahlen, reelle Zahlen, Zeichenketten, Boolesche Werte u.v.a.
- Einheiten:
 - VRML-Einheiten müssen extern interpretiert werden, z.B.
Längeneinheit = Meter, Winkeleinheit = rad, Zeiteinheit = Sekunde

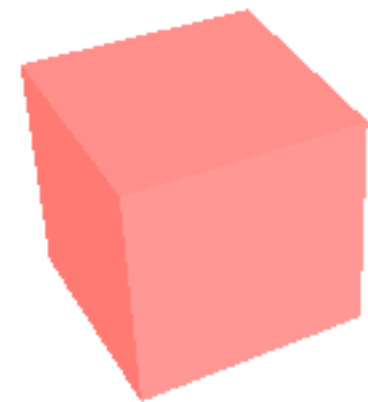
VRML-Beispiel: box0.wrl

```
#VRML V2.0 utf8
Background { skyColor 1.0 1.0 1.0 }

Shape {

    appearance Appearance {
        material Material {
            emissiveColor 1.0 0 0
        }
    }

    geometry Box {
        size 2.0 2.0 2.0
    }
}
```



Shape-Knoten

- Knotentyp **Shape**
 - Benötigt Felder **appearance** und **geometry**
- Feldtyp **appearance**
 - Enthält in der Regel einen Knoten vom Typ **Appearance**
 - » Angabe diverser Materialeigenschaften (Farbe, Schattierung, ...)
- Feldtyp **geometry**
 - Enthält Geometrieknoten
- Übersicht wichtiger Geometrieknotentypen:
 - **Box:** Quader (**size**)
 - **Cone:** Kegel (**bottomRadius, height**)
 - **Cylinder:** Zylinder (**radius, height**)
 - **Sphere:** Kugel (**radius**)
 - **Text:** 3D-Text
 - ...

Hintergrund

- Grundkonzept:
 - Kreis mit unendlichem Radius als Boden (*ground*)
 - Halbkugel mit unendlichem Radius als Himmel (*sky*)
- **Background-Knoten:**
 - Spezifikation der Boden- und Himmelfarben
 - » `groundColor`, `skyColor`
 - Möglichkeit der Beschreibung von Abstufungen
 - » Liste von Farben und Winkel, in denen sie angewandt werden
 - Möglichkeit der Einbindung von Texturen

Appearance- und Material-Knoten

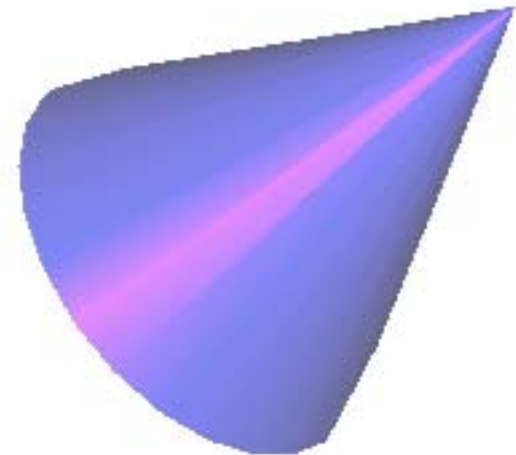
- Knotentyp **Appearance**
 - Optionale Felder **material**, **texture** und **textureTransform**
- Feldtyp **material**
 - Enthält in der Regel einen Knoten vom Typ **Material**
- Feldtyp **texture**
 - Enthält einen Texturknoten (siehe unten)
- Feldtypen im Materialknoten:
 - (Werte immer zwischen 0.0 und 1.0)
 - **ambientIntensity**: Reflexion für Umgebungslicht
 - **diffuseColor**: Reflektierende (nicht leuchtende) Farbe
 - **emissiveColor**: Selbstleuchtende Farbe
 - **shininess**: Stärke von Glanzlichtern
 - **specularColor**: Farbe von Glanzlichtern
 - **transparency**: Durchsichtigkeit
- Spezifikation von Farben:
 - als RGB-Wert (Zahlentripel)

Beispiel: Materialeigenschaften

```
#VRML V2.0 utf8
Background { skyColor 1.0 1.0 1.0 }

Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 0.2 0.2 1.0
      shininess 1.0
      specularColor 1.0 0 0
      transparency 0.3
    }
  }

  geometry Cone {
    bottomRadius 1.0
    height 2.0
  }
}
```



Texturen

- Knotentyp **ImageTexture**
 - Benötigt Feldtyp **url** zur Angabe einer Datei mit 2D-Grafik (JPEG, PNG, GIF)
 - Achsen des Texturbildes mit S (horizontal) und T (vertikal) bezeichnet
 - Feldtypen **repeatT**, **repeats** (Boolean) zur Steuerung der Wiederholung
- Knotentyp **PixelTexture**
 - Direkte Angabe einer Textur als Pixelfeld in VRML
- Knotentyp **MovieTexture**
 - Analog zu **ImageTexture**, aber mit Bewegtbild (MPEG-1)
 - Zusätzliche Feldtypen:
loop, **speed**, **startTime**, **stopTime**

Beispiel: Quader mit Textur

```
#VRML V2.0 utf8

Background { skyColor 1.0 1.0 1.0 }

Shape {

    appearance Appearance {
        texture ImageTexture {
            url "textur0.gif"
        }
    }

    geometry Box { }

}
```

Szenegraphen: Group- und Transform-Knoten

- Ein *Szenegraph* ist eine Baumstruktur (genauer: DAG), die alle in einer 3-dimensionalen virtuellen Welt enthaltenen Objekte mit ihren Eigenschaften enthält
- Wurzel des Szenegraphen: **Group-Knoten**
 - enthält Liste von Objekten im **children**-Feld
- Darstellung an anderer Stelle als im Ursprung durch **Transform-Knoten**
 - Anwendung von Transformationen *in folgender Reihenfolge*
 - **children**-Feld gibt Knoten an, die transformiert werden
 - **center**-Feld: Definition eines neuen Mittelpunkts
 - **rotation**-Feld: Drehung um Winkel
 - » Angabe in rad
 - » (Klassisch: Tripel: x-Achse (*pitch*), y-Achse (*yaw*), z-Achse (*roll*))
 - » In VRML: Rotationsachse (Tripel) + Winkel
 - » Positives Vorzeichen bedeutet Rechtsdrehung
 - **scale**-Feld: Maßstäblich veränderte Darstellung
 - **translation**-Feld: Verschiebung um Vektor

Beispiel: Einfacher Szenegraph

```
Group {
  children [
    Transform {
      children [
        Shape {
          appearance Appearance {
            material Material {
              diffuseColor 1.0 0 0
            }
          }
          geometry Box {
            size 2.0 2.0 2.0
          }
        }
      ]
      translation 2.0 0 0
    }
    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          diffuseColor 0 0 1.0
        }
      }
      geometry Sphere {
        radius 1.0
      }
    }
  ]
}
... (rechte Spalte)

...
Transform {
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          diffuseColor 0 1.0 0
        }
      }
      geometry Box {
        size 2.0 2.0 2.0
      }
    }
  ]
  translation -2.0 0 0
}
]
NavigationInfo {
  type "EXAMINE"
}
```

Animation von 3D-Grafik

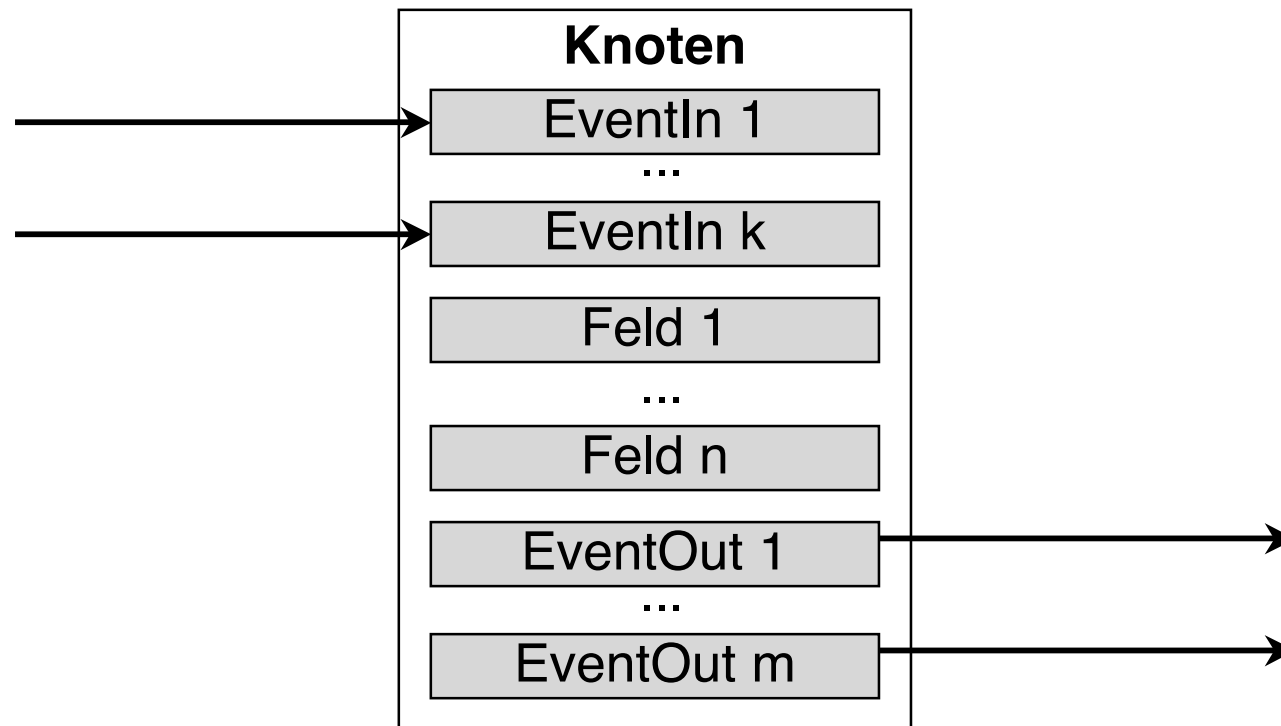
- *Dynamik* in der Darstellung von 3D-Szenen - drei mögliche Ursachen:
 - Veränderung der Betrachterposition
 - » auch in *statischen* 3D-Szenen möglich
 - Automatische, d.h. von selbst ablaufende, Veränderungen innerhalb der 3D-Szene
 - » z.B. Bewegung oder Veränderung von Farbe/Beleuchtung
 - » *Animation*
 - Vom Benutzer oder anderen systemexternen Quellen gesteuerte Veränderungen innerhalb der 3D-Szene
 - » *Interaktion*
- Wesentlich sowohl für Animation als auch Interaktion:
 - Veränderung des Modells als Reaktion auf *Ereignisse* (*dynamische Szenen*)
 - » Zeitereignisse und externe Ereignisse
 - » Ausschliesslich Zeitereignisse und deren Folgeereignisse = Animation

Ereignisse in VRML

- Ereignisentstehung:
 - *Sensoren*, eine spezielle Art von VRML-Objekten, erzeugen Ereignisse zu bestimmten Zeitpunkten
- Für Animation wichtig:
 - Zeitsensoren (Taktgeber)
- Für Interaktion wichtig:
 - Sensoren für Benutzerinteraktion (z.B. TouchSensor)
- Ereignisverarbeitung:
 - Ereignisse können an beliebige Objekte weitergeleitet (*routed*) werden
 - In einem empfangenden Objekt
 - » können Veränderungen von Attributen ausgelöst werden
 - » können erneut Ereignisse ausgesendet werden (*Ereigniskaskade*)
- Spezialobjekte zur Ereignisumsetzung:
 - insbesondere *Interpolator*en zur drastischen Reduzierung der zu betrachtenden Ereignisanzahl

Knotenattribute in VRML

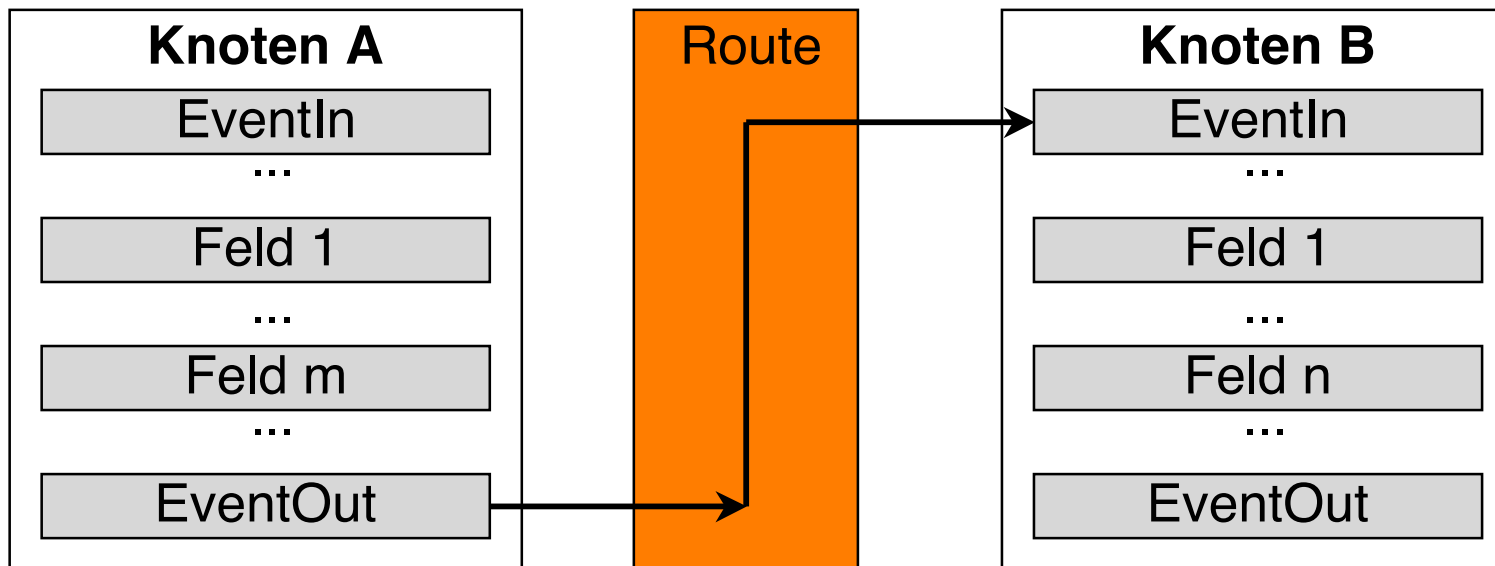
- Knoten können drei Arten von Attributen haben:
 - Felder zur statischen Festlegung von Eigenschaften
 - *EventIn*-Attribute zum Empfang von Ereignissen
 - *EventOut*-Attribute zum Senden von Ereignissen



Ereignisweitergabe auf Routen

- Ereignisse werden an spezifische Zielobjekte weitergegeben
 - Benennung von Knoten mit **DEF** *Bezeichner Knoten*
- Das Zielobjekt wird nicht beim Erzeugen des Ereignisses spezifiziert, sondern in einem speziellen Sprachkonstrukt: *Route*

ROUTE *KnotenA.EventOut* TO *KnotenB.EventIn*



Fan-Out (mehrere Empfänger für gleiches Ereignis) unproblematisch
Fan-In (mehrere Ereignisse gleichzeitig an ein Objekt) problematisch

Ereignisempfang

- Die meisten Knotentypen unterstützen (**EventIn-**)Ereignisse der Art *set_Feldwert*
- Beispiele für Verwendung:
 - Setzen der absoluten Position (translation) in einem **Transform**-Knoten
 - Setzen von Rotationswerten in einem **Transform**-Knoten
 - Setzen von Farbwerten

Zeitsensoren

- Zeitsensor:
 - Uhr, die regelmäßig Zeitereignisse generiert (Taktgeber)
- Zwei Verwendungsarten:
 - Absolute Zeit (normale Uhr):
 - » Gibt verstrichene Zeit seit Referenzzeitpunkt an (1. Januar 1970, 0:00 Uhr GMT)
 - Relative Zeit (Stopp-Uhr): *wesentlich häufiger verwendet!*
 - » Gesamtdauer des Ablaufs festgelegt
 - » Relative Zeit beginnt bei Start mit 0 und überschreitet nie die Gesamtdauer des Ablaufs
 - » Automatische Wiederholung (= Rücksprung der relativen Zeit zu 0) möglich
 - » Relative Zeiten werden in VRML als Bruchteile der Gesamtdauer (Reelle Zahlen zwischen 0 und 1) angegeben

TimeSensor-Knoten

- Knotentyp `TimeSensor`
 - Erlaubt diverse Feldtypen
 - Erzeugt Ereignisse
- Feldtyp `enabled`: Uhr ein/aus
- Feldtyp `startTime`: Startzeit, default 0.0
- Feldtyp `stopTime`: Endzeit, default 0.0
- Feldtyp `cycleInterval`: Zeitintervall für relative Zeitmessung
- Feldtyp `loop`: Wiederholung ein/aus, default `FALSE`
 - Endlosschleife möglich durch `stopTime = startTime`
- Ereignis (`EventOut`) `time`: absolute Zeit
- Ereignis (`EventOut`) `fraction_changed`: relative Zeit
 - wichtig zur Steuerung von Animationen

Beispiele für (relative) Zeitsensoren in VRML

- Einmaliger Ablauf von Dauer 6 Sekunden

```
DEF Clock TimeSensor {  
    cycleInterval 6.0  
}
```

- Endlosschleife mit Periode 6 Sekunden

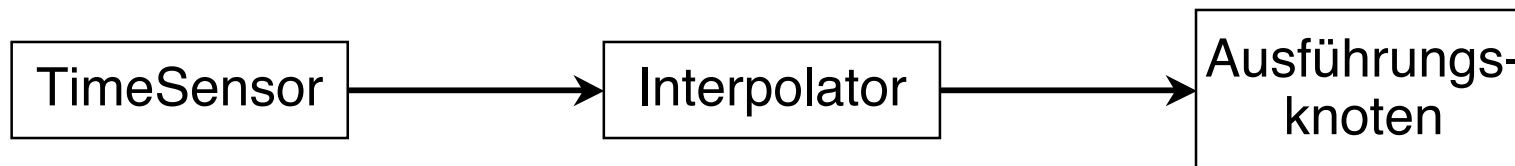
```
DEF Clock TimeSensor {  
    cycleInterval 6.0  
    loop TRUE  
}
```

- Vier Durchläufe mit Periode 6 Sekunden, insgesamt 24 Sekunden

```
DEF Clock TimeSensor {  
    cycleInterval 6.0  
    loop TRUE  
    stopTime 24.0  
}
```

Interpolatoren

- *Interpolatoren* dienen zur Schlüsselwert-orientierten Definition von Animationen
 - Vollständige Angabe von Animationen zu umfangreich
 - Schlüsselwert: Definierter Wert (*key value*) zu einem bestimmten Zeitpunkt (*key*)
- Interpolator berechnet durch lineare Interpolation alle Zwischenwerte zwischen den gegebenen Schlüssel-/Wert-Paaren
- Typische Anwendung von Interpolatoren in Ereignisverarbeitung:



Genereller Aufbau von Interpolatoren

- Alle Interpolatoren in VRML haben folgende Elemente
- Feldtyp `key`
 - Liste mit Zeitwerten, zu denen Schlüsselwerte festgelegt werden sollen
 - Müssen den Gesamtzeitraum *nicht* linear aufteilen
 - z.B.: `key [0.0, 0.15, 1.0]`
- Feldtyp `keyValue`
 - Liste mit Schlüsselwerteinstellungen für die angegebenen Zeitpunkte
 - Sollten genau das Format aufweisen, das der empfangende Ausführungsknoten erwartet
 - Sinnvoll: Gleich viele Werte wie Zeitwerte im zugehörigen `key`-Feld
 - z.B.: `keyValue [0 1 0 0.00, 0 1 0 1.57, 0 1 0 3.14]`
- Eingabeereignis (`EventIn`) `set_fraction`
 - Passend zu den Ausgabeereignissen von Zeitsensoren
- Ausgabeereignis (`EventOut`) `value_changed`
 - Zur Weitergabe von Feldwertänderungen an Ausführungsknoten

OrientationInterpolator

- Zweck:
 - Drehung von Objekten in VRML-Animationen
- Schlüsselwerte:
 - Entsprechend der Konventionen von `rotation`-Feldern in `Transform`-Knoten
 - D.h.:
 - » 3 Werte für Rotationsachse
 - » 1 Wert für Rotationswinkel
 - Beispiel:

```
keyValue [  
    0 1.0 0 0.00,  
    0 1.0 0 1.57,           =  $\pi/2$   
    0 1.0 0 2.36,           =  $3\pi/4$   
    0 1.0 0 3.14  
]
```

Beispiel: Würfeldrehung

```
DEF RotCube Transform {
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        texture ImageTexture {
          url "textur0.gif"
        }
      }
      geometry Box {
        size 2.0 2.0 2.0
      }
    }
  ]
}
```

```
DEF Clock TimeSensor {
  cycleInterval 6.0
  loop TRUE
}
```

```
DEF Interpolator OrientationInterpolator {
  key [0.0, 1.0]
  keyValue [
    0 1.0 0 0.00,
    0 1.0 0 3.14
  ]
} ...nächste Spalte
```

```
...
NavigationInfo {
  type "EXAMINE"
}

ROUTE Clock.fraction_changed
  TO Interpolator.set_fraction
ROUTE Interpolator.value_changed
  TO RotCube.set_rotation
```


Animation - Fortsetzung

Beispiel: Nichtlineare Geschwindigkeit

...

```
DEF Interpolator OrientationInterpolator {  
  key [0.0, 0.15, 0.85, 1.0]  
  keyValue [  
    0 1.0 0 0.00,  
    0 1.0 0 1.57,  
    0 1.0 0 2.36,  
    0 1.0 0 3.14  
  ]  
}  
...
```