11. Computergrafik

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

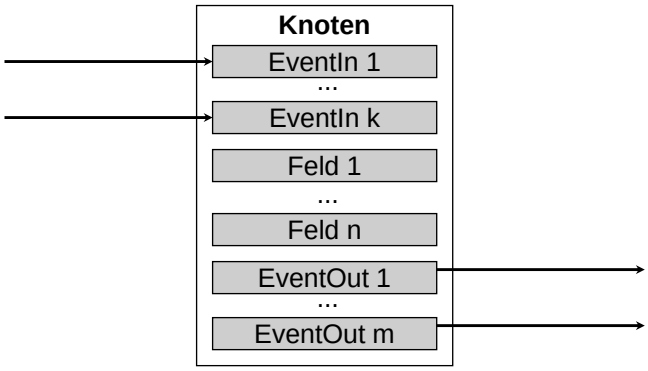
- *Dynamik* in der Darstellung von 3D-Szenen - drei mögliche Ursachen:
  - Veränderung der Betrachterposition
    - » auch in *statischen* 3D-Szenen möglich
  - Automatische, d.h. von selbst ablaufende, Veränderungen innerhalb der der 3D-Szene
    - » z.B. Bewegung oder Veränderung von Farbe/Beleuchtung
    - » *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 *Interpolatoren* zur drastischen Reduzierung der zu betrachtenden Ereignisanzahl

Knotenattribute in VRML

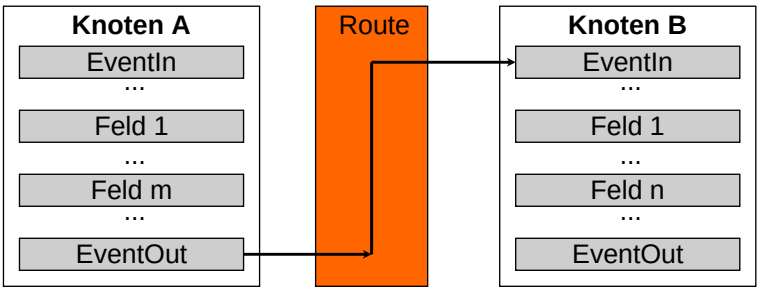
- Knoten können drei Arten von Attributen haben:
  - Felder zur statischen Festlegung von Eigenschaften
  - *EventIn*-Attribute zum Empfang von Ereignissen
  - *EventOut*-Attribute zum Senden von Ereignissen



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
}
```

- Endlosscheife mit Periode 6 Sekunden

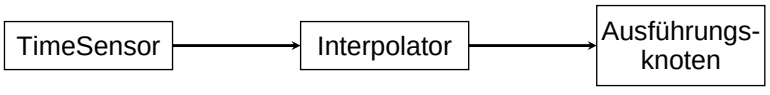
```
DEF Clock TimeSensor {
  cycleInterval 6.0
  loop TRUE
}
```

- 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,          = π/2
    0 1.0 0 2.36,          = 3π/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
  ]
}
...
```

NavigationInfo

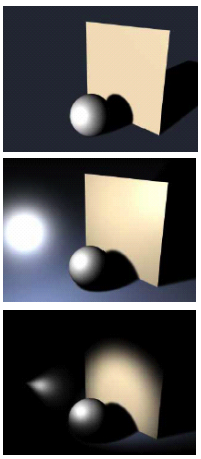
- Gibt globale Zusatzinformation für das Rendering an:
  - Z.B. Standardmodus (Walk, Fly, Examine)
  - Z.B. Standardgeschwindigkeit
- Headlight:
  - Standardlichtquelle (directional) aus Betrachtersicht
  - kann in NavigationInfo ausgeschaltetet werden

- Beispiel:

```
NavigationInfo {
  type "EXAMINE”
  headlight FALSE
}
```


Szenenbeleuchtung: Lichttypen

- Drei Lichttypen werden in VRML unterstützt (eigene Knotentypen)
- **`Directional Light:`**
  - parallel gerichtetes Licht einer unendlich weit entfernten Quelle
  - keine Abschwächung mit der Entfernung
- **`PointLight:`**
  - Licht breitet sich gleichmäßig von punktförmiger Quelle aus (z.B. Glühlampe)
  - Abschwächung mit der Entfernung
- **`SpotLight:`**
  - Licht breitet sich kegelförmig von punktförmiger Quelle aus (z.B. Taschenlampe)
  - Abschwächung mit der Entfernung und mit Winkel
- Wichtigste Feldtypen:
  - **`direction`**-Feld: Richtungsvektor
  - **`ambientIntensity`**-Feld: Stärke des Einflusses auf Objekte
  - **`color`**-Feld: Lichtfarbe
  - **`location`**-Feld: Position der Lichtquelle



Beispiel: Szene mit Beleuchtung

```
DirectionalLight {
  direction 0 -1.0 0
  ambientIntensity 0.7
  color 1.0 1.0 1.0
}

SpotLight {
  location -5.0 3.0 0
  direction 0.5 -0.5 0.0
  ambientIntensity 0.4
  color 1.0 1.0 1.0
}

Group {
... wie früheres Beispiel zu Gruppen
}

NavigationInfo {
  headlight FALSE
}
```


PositionInterpolator

- Zweck:
  - Bewegung von Objekten in VRML-Animationen
- Schlüsselwerte:
  - Entsprechend der Konventionen von **`translation`**-Feldern in **`Transform-`**Knoten
  - D.h.:
    - » 3 Werte für aktuelle Position
  - Beispiel:

```
keyValue [
   0 3   0,
   0 0.5 0,
   0 1.5 0,
   0 2   0,
   0 1.5 0,
   0 0.5 0,
   0 1   0,
   0 0.5 0,
   0 3   0
 ]
```

Beispiel: Fallende Kugel

```
DEF Ball Transform {
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        material Material {
          diffuseColor 0.5 0 0.8
        }
      }
      geometry Sphere {
        radius 0.5
      }
    }
  ]
}

DEF Plane Shape {
  appearance Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 0 1 0
    }
  }
  geometry Box {
    size 4 0.1 4
  }
}
```

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

DEF Interpolator
   PositionInterpolator {
  key [0.0, 0.05, 0.1, 0.15,
  0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 1.0]
  keyValue [
    0 3 0,
    0 0.5 0,
    0 1.5 0,
    0 2 0,
    0 1.5 0,
    0 0.5 0,
    0 1 0,
    0 0.5 0,
    0 3 0
  ]
}

ROUTE Clock.fraction_changed TO
   Interpolator.set_fraction
ROUTE Interpolator.value_changed
   TO Ball.set_translation
```


ColorInterpolator

- Zweck:
  - Veränderung der Farbe von Objekten in VRML-Animationen
- Schlüsselwerte:
  - Entsprechend der Konventionen zur Darstellung von RGB-Farben
    - » 3 Werte für aktuellen Farbton
  - Beispiel:

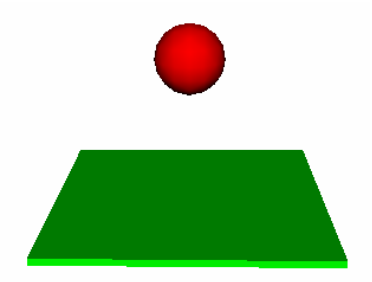
```
keyValue [
   0.5 0 0.8,  #violett
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   0.5 0 0.8,
   1 0 0,      #rot
   1 0 0,
   0.5 0 0.8
 ]
```

Beispiel: Kugelverfärbung (1)

```
...
DEF Ball Transform {
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        material DEF Color Material {
        }
      }
      geometry Sphere {
        radius 0.5
      }
    }
  ]
}
...
DEF PInterpolator PositionInterpolator {
  ...
}
...
```


Beispiel: Kugelverfärbung (2)

```
...
DEF CInterpolator ColorInterpolator {
  key [0.0, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3,
       0.4, 0.5, 0.55, 0.95, 1.0]
  keyValue [
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    0.5 0 0.8,
    1 0 0,
    1 0 0,
    0.5 0 0.8
  ]
}
ROUTE Clock.fraction_changed TO PInterpolator.set_fraction
ROUTE PInterpolator.value_changed TO Ball.set_translation
ROUTE Clock.fraction_changed TO CInterpolator.set_fraction
ROUTE CInterpolator.value_changed TO Color.set_diffuseColor
```



ScalarInterpolator

- Universeller Interpolator
- Berechnet beliebige reelle Zahlenwerte abhängig von gegebenen Schlüsselwerten
- Anwendungsbeispiele:
  - Animation der Grösse von Objekten
  - Animation der Transparenz von Objekten

Sensoren für Interaktionen in VRML

- TimeSensor: Uhr, Zeitgeber
- TouchSensor: Berührung mit dem Mauszeiger
- PlaneSensor: Verschiebung von Objekten in einer Ebene
- SphereSensor: Freie Rotation eines Objektes
- CylinderSensor: Rotation eines Objektes um eine Achse
- ProximitySensor: Nähe des Beobachters
- Collision: Kollision eines Beobachters mit dem Objekt
- LOD (=Level of Detail): Entfernung des Beobachters zum Objekt
- Anchor: Hyperlink

TouchSensor-Knoten

- Knotentyp **`TouchSensor`**
  - Kann an verschiedenen Stellen in Objekthierarchie eingebaut werden
- Ereignis (**`EventOut`**) **`isOver:`**
  - Erzeugt Ereignis, wenn sich Mauszeiger im Objekt befindet
- Ereignis (**`EventOut`**) **`isActive:`**
  - Erzeugt Ereignis, wenn Maus im Objekt gedrückt ist

Beispiel: Interaktion in Ball-Animation

```
DEF Ball Transform {
  ...
}

Group {
  children [
      DEF Sensor TouchSensor {}
      DEF Plane Shape {
        ...
      }
  ]
}

DEF Clock TimeSensor {...}
DEF PInterpolator PositionInterpolator {...}
DEF CInterpolator ColorInterpolator {...}

ROUTE ...
ROUTE Sensor.isOver TO Clock.set_enabled
```

Beispiel: Kollisionserkennung

```
Collision {
  children [
    Transform {
      children [
        Shape {
          appearance Appearance {
            material Material {
              diffuseColor 1 0 0
            }
          }
          geometry Sphere {
            radius 0.5
          }
        }
      ]
      translation 0 0 -5
    }
  ]
  collide TRUE  # Verhindert Eindringen in Objekt
}
```


Benutzerdefinierte Formen

- Beliebige Formen können über Koordinatenwerte definiert werden
  - Knotentyp **`Coordinate`**, Feldtyp **`point`**, Werte 3er-Gruppen von reellen Zahlen
- Bildung von Objekten mit **`IndexedLineSet`** bzw. **`IndexedFaceSet:`**
  - **`IndexedLineSet`** erzeugt Gittermodell, **`IndexedFaceSet`** Flächenmodell
  - Feld **`coord`** enthält die beteiligten Punkte
    - » Implizit werden die Punkte, mit 0 beginnend, nummeriert (je drei Zahlen = 1 Punkt)
  - Feld **`coordIndex`** enthält die einzelnen anzuzeigenden Linien bzw. Flächen
    - » Als Indizes in der Punktliste
    - » Jedes Element (Linie bzw. Fläche) mit -1 abgeschlossen

Beispiel: Würfel selbstdefiniert (Drahtgitter)

```
Shape {
  appearance ...
  geometry IndexedLineSet {
    coord Coordinate {
      point [
        -1.0 1.0 1.0,  # Punkt 0: links oben vorn
        -1.0 -1.0 1.0, # Punkt 1: links unten vorn
        1.0 -1.0 1.0,  # usw.
        1.0 1.0 1.0,
        -1.0, 1.0, -1.0,
        -1.0, -1.0, -1.0,
        1.0, -1.0, -1.0,
        1.0, 1.0, -1.0
      ]
    }
    coordIndex [
      0, 1, 2, 3, 0, -1, # vorderes Quadrat
      4, 5, 6, 7, 4, -1,
      0, 4, -1,
      1, 5, -1,
      2, 6, -1,
      3, 7
    ]
  }
}
```


Beispiel: Würfel selbstdefiniert (Flächen)

```
Shape {
  appearance ..
  geometry IndexedFaceSet {
    solid FALSE
    coord Coordinate {
      point [... wie oben ...]
    }
    coordIndex [
      0, 1, 2, 3, 0, -1,
      4, 5, 6, 7, 4, -1,
      0, 3, 7, 4, 0, -1,
      1, 2, 6, 5, 1, -1,
      3, 2, 6, 7, 3, -1,
      0, 1, 5, 4, 0
    ]
  }
}
```

Programmeinbindung in VRML: Script-Knoten

- Der Knotentyp **`Script`** ermöglicht die Einbindung eines Programmskripts
  - Meist JavaScript, VRMLScript (spezialisierte Teilsprache von JavaScript) oder Java
- Skript kann (nach entsprechender Deklaration)
  - Feldwerte lesen und verändern
  - Eingabeereignisse verarbeiten
  - Ausgabeereignisse erzeugen

External Authoring Interface

- Ermöglicht Datenaustausch zwischen einer VRML-Welt und einem Java-Applet
  - Voraussetzung: Applet und VRML-Welt in gleiche Webseite integriert
- Beispiel einer Anwendung:
  - Komplexe Visualisierung, z.B. von geographischen Daten, in mehreren Fenstern
  - Fenster 1: Dreidimensionale Ansicht (VRML-Welt)
  - Fenster 2: Navigations- oder Übersichtsfenster, z.B. Landkarte mit aktuellem Ausschnitt oder Standort
- Ermessensentscheidung beim Programmentwurf:
  - VRML-Dokument mit hohem Programmlogik-Anteil oder
  - Programm mit Einbindung von VRML-Dokumenten (z.B. Java 3D)

Aktuell: X3D

- Neuer Standard (Web3D-Konsortium):
  - X3D (eXtensible3D-Graphics)
- XML-Anwendung
  - Dateien folgen XML-Syntax (alternativ VRML-Encoding)
- Enge Integration mit anderen Web-Technologien
- Allgemeine XML-Werkzeuge anwendbar
  - Z.B. Navigation mit XPath
  - Z.B. Transformation mit XSLT
- Entwicklungsstand:
  - Sommer 2003: Draft International Standard ISO 19775
  - Industrielle Unterstützung derzeit allerdings vorwiegend durch kleine Nischenfirmen (z.B. „Media Machines“, Tony Parisi)
- Übergang von VRML zu X3D:
  - X3D-Viewer geben im Allgemeinen auch VRML wieder
  - Transformationsprogramme