Virtuelle Realität
X3D / VRML

G. Zachmann
Clausthal University, Germany
cg.in.tu-clausthal.de

X3D / VRML

- Was ist X3D/VRML?
  - Scenegraph & File-Format, plus ...
  - Multimedia-Support
  - Hyperlinks
  - Verhalten und Animationen
- Achtung: VRML ≠ VR !
- Varianten:
  - VRML 1.0 (1995) (= Inventor, also kein VRML)
  - VRML 2.0 (1996)
  - VRML97 (1997) — ISO Standard, praktisch identisch zu VRML2
  - X3D (2003): ISO Standard, im wesentlichen andere Syntax, nämlich XML

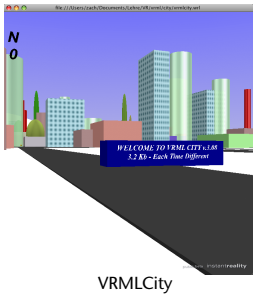
Vorteile von X3D

- Die Spezifikation von VRML ist an einigen Stellen nicht eindeutig
  - In X3D präzisiert
- X3D hat 100+ Knoten (aufgeteilt in Components / Profiles)
  - VRML hat nur 54 Knoten
- X3D hat 3 verschiedene sog. "File Encodings":
  - Classic: sieht aus wie VRML; Suffix = **`.wrl`** oder **`.x3dv`**
    - Jede Software, die X3D lesen kann, kann (im Prinzip) auch VRML lesen
  - XML; Suffix = **`.x3d`**
    - das ist das Format, das man i.A. unter "X3D" versteht
  - Binary (XML braucht sehr viel Platz); Suffix = **`.x3db`**
    - Trick, falls man einen binären VRML-File editieren möchte: einfach xxx.wrl umbenennen nach xxx.wrl.gz, dann mit 'gunzip xxx.wrl.gz' auspacken ;-)

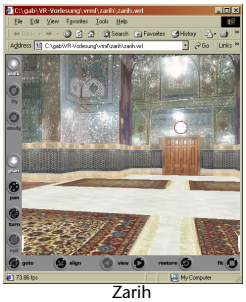
X3D-"Browser"

- InstantReality (www.instantreality.org):
  - Läuft auf allen 3 Plattformen
  - Implementiert (angeblich) V3.1 von X3D komplett
- FreeWrl (freewrl.sourceforge.net):
  - Läuft auf Linux & Mac OS X
  - Implementiert das Subset (Profile) "Interchange" von X3D
- Octaga (www.octaga.com):
  - Windows & Mac OS X
- BS Contact (www.bitmanagement.com):
  - Nur Windows ;-(
- Cortona (http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/):
  - Nur als Plugin für Web-Browser
- XVD (http://www.vrmedia.it/Xvr.htm):
  - Nur Internet Explorer unter Windoofs ☹

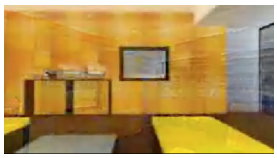
Beispiele



VRMLCity



Zarih



HSV-Arena (http://www.hsv-hshnordbank-arena.de/de/die_arena/die_arena_in_3d.html)
(leider nur mit proprietärem Plugin)

Literatur, References

- Bücher:
  - Don Brutzman, Leonard Daly:
    X3D: Extensible 3D Graphics or Web Authors. Morgan Kaufman, 2007.
  - Andrea L. Ames, David R. Nadeau, and John L. Moreland:
    The VRML 2.0 Sourcebook. John Wiley & Sons, 1996.
  - Hartman, Jed, and Wernecke:
    The VRML 2.0 Handbook. Addison-Wesley, 1996.
- Online: Auf der Homepage zur Vorlesung
  - The Annotated VRML97 Reference
  - Der X3D-Standard: Knoten, Javascript, Java
- Die online Doku zu InstantReality:
  - Tutorials
  - Übersicht aller Knoten

Web-Seiten

- Die Web-Seite zum X3D-Buch:
  www.x3dgraphics.com
  mit Bspielen, Tools, ...
- Eine "Meta"-Seite beim Web3D-Konsortium:
  www.web3d.org/x3d/content/examples/X3dResources.html
  mit Links zu Software für Viewer, Konverter, Authoring-Tools, Plugins, Beispielen, Büchern, etc.

Encodings am Bsp. der trivialen X3D-Szene

- Als X3D-Encoding:

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<X3D profile='Full'>
<Scene>
<!-- empty scene -->
</Scene>
</X3D>
```

XML file declaration

X3D-Tag, geklammert, analog zum <html>-Tag in HTML

Scene-Tag, entspricht Wurzel-Kn.

a comment

- Als ClassicVRML-Encoding:

```
#X3D V3.1 utf8
PROFILE Full
# empty scene
```

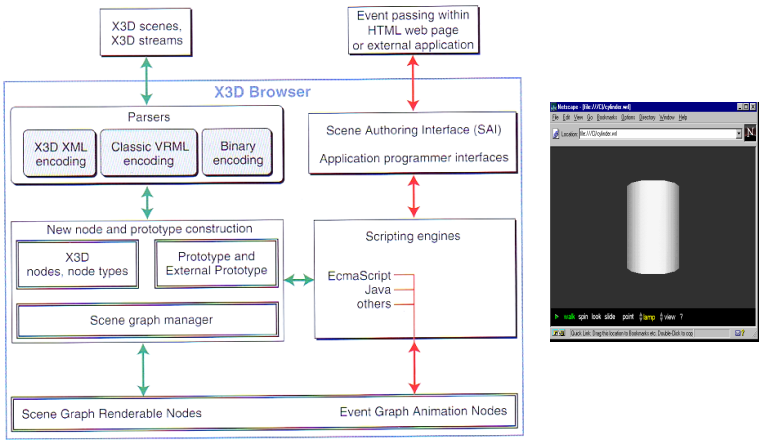
und als VRML97:

```
#VRML V2.0 utf8
# empty scene
```

  - Der Wurzel-Knoten für die gesamte Szene ist in VRML implizit!
  - Keine Profiles und viel weniger Knoten in VRML97

- Gründe für das XML-Encoding:
  - Ähnlichkeit zu HTML (Tags und Attribute: `<tag attr="val">...</tag>`)
  - XML ist ASCII (wie VRML97), also im Prinzip "human readable" (im Gegensatz zu binären Formaten)
  - XML ist ein weit verbreiteter Standard zur Beschreibung von Daten
  - XML ist eine Familie von Technologien: CSS, XSLT, Xpointer, ...
  - XML ist Lizenz-frei
- Gründe für das ClassicVRML-Encoding:
  - Legacy-Daten ("Altlasten")
  - Für Menschen leichter zu lesen und zu schreiben

- Der X3D-"Browser" (stand-alone oder embedded):



Hello World

- In X3D (genauer: XML-Encoding):

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<X3D profile='Immersive'>
<Scene>
  <Shape>
    <Text string="Hello" "world!" />
  </Shape>
</Scene>
</X3D>
```

- In VRML:

```
#X3D V3.1 utf8
Shape {
  geometry Text {
    string [ "Hello" "world!" ]
  }
}
```

Tip: ASCII-Editor verwenden, der matching brackets erkennt und als Texteinheit behandeln kann

Knoten und Felder

- Knoten dienen zur Beschreibung ...
  - ... des Szenengraphen (die üblichen Verdächtigen):
    - Geometry, Transform, Group, Lights, LODs, ...
  - ... des Verhaltensgraphen (*behavior graph*), d.h., des Verhaltens der Objekte und bei User-Input
- Knoten := Menge von Feldern
  - "Single-valued Fields" und "Multiple-valued Fields"
  - Jedes Feld eines Knotens hat einen eindeutigen Namen
  - Diese Namen sind per Spezifikation vordefiniert
- Feldarten:
  - field = Daten im File
  - eventIn, eventOut = s.u., werden nicht gespeichert
  - exposedField = Kombination der drei (xxx, set_xxx, xxx_changed)

Feld-Typen

- Alle Feldtypen gibt es als "single valued"- (**SF**...) und als "multiple valued"-Variante (**MF**...)
- Beispiel für ein SFField:

```
<Material diffuseColor="0.1 0.5 1" />
```
X3D

```
material Material {
  diffuseColor  0.1 0.5 1
}
```
VRML

- MFField's sind im Prinzip nichts anderes als Arrays
  - Falls der Grundtyp ein Tuple ist (z.B. Farbe oder Vektor), sollte man in X3D die einzelnen Elemente mit Komma trennen. Beispiel:

```
"1 0 0, 0 1 0, 0 0 1"
```

  - In VRML müssen MFField's mit [] geschrieben werden. Beispiel:

```
[ 1 0 0, 0 1 0, 0 0 1 ]
```


- Grundtypen: die üblichen Verdächtigen:

Field type	X3D example	VRML example
SFBool	**true / false**	**TRUE / FALSE**
SFInt32	**12**	**-17**
SFFloat	**1.2**	**-1.7**
SFDouble	**3.1415926535**	
SFString	**"hello"**	**"world"**

Erinnerung: zu jedem SF-Feld gibt es ein MF-Feld

- Etwas höhere Datentypen:

Field type	Beispiel
SFColor	**0 0.5 1.0**
SFColorRGBA	**0 0.5 1.0 0.75**
SFVec3f	**1.2 3.4 5.6**
SFMatrix3f	**1 0 0 0 1 0 0 0 1**
SFString	**"hello"**

Anmerkungen:
- Die Werte in SFColor müssen in [0,1] liegen
- Analog gibt es die Varianten ***2f**, ***3f** und ***4f** .

- Spezielle Feld-Typen:

Field type	X3D example	VRML example
SFImage	enthält spezielle Pixel-Encodings	
SFNode	**<Shape> ... </Shape>**	**Shape { ... }**
MFNode	**<Shape>… , <Group>…** oder **<Transform>…**	**Transform { children [...] }**
SFRotation	**0 1 0 3.1415**	
SFTime	**0**	

- Anmerkungen zu **SFImage**:
  - Der Wert des Feldes ist eine Folge von Zahlen: Breite, Höhe, Anzahl Komponenten pro Pixel, Pixel, Pixel, ...
  - Pro Kanal Werte im Bereich [0,255]
  - Beispiel (bei 3 Komponenten): **0xFF0000** = Rot, **0x00FF00** = Grün, ...
  - Beispiel für ein vollständiges **SFImage**:

```
  2 4 3 0xFF0000 0xFF00 0 0 0 0 0xFFFFFF 0xFFFF00
# w h c   red    green  black..   white    yellow
```

  - **SFImage** ist nur für sehr kleine Texturen gedacht und kommt nur im Knoten **PixelTexture** vor
    - Hintergrund: man wollte eine Möglichkeit haben, Texturen algorithmisch zu erzeugen (mittels Java)
  - Für große ("richtige") Texturen verwende man PNGs oder JPGs und den Knoten **ImageTexture**

- Generelle Anmerkungen zum Design:
  - Das Design ist insofern orthogonal, als es zu jedem **`SF`**-Typ einen **`MF`**-Typ gibt
  - Das Design ist insofern nicht orthogonal, als manche Typen generisch sind (z.B. **`SFBool`**, **`SFVec3f`**), andere wiederum eine festgelegte Semantik haben (z.B. **`SFColor`**, **`SFTime`**, etc.)
    - Es ist nicht ganz klar, ob dies gut/schlecht ist ...

Die Spezifikation der Knoten

- Knoten werden definiert durch ihre Felder und deren Bedeutung
- Die Syntax zur Definition von Knoten (vorerst):

```
Name_of_Node_Class {
  type_of_field name_of_field_1 default_value
  type_of_field name_of_field_2 default_value
  ...
}
```

- Bemerkungen:
  - Die Defaults werde ich im Folgenden meist weglassen
  - Auch werde ich nicht alle Felder aufzählen, nur die wichtigsten
  - Im folgenden werden nur einige wenige Knoten besprochen
- Fazit: schauen Sie in die Doku und das Tutorial!

- Beispiel:

```
Cone {
    SFFloat  bottomRadius 1
    SFFloat  height       2
    SFBool   side         TRUE
    SFBool   bottom       TRUE
}
```

- Verwendung:

```
Cone { bottomRadius 1 height 2 }
```
VRML-Syntax

```
<Cone bottomRadius="1" height="2" />
```
XML-Syntax

- Bemerkung: Cone ist in XML-Syntax ein sog. Singleton-Element, d.h., es gibt kein öffnendes/schließendes Tag-Paar!

Knoten zur Beschreibung des graph. Szenengraphen

- Alle Geometrie-Knoten müssen Kind eines **`Shape`**-Knotens sein
- Definition:

```
Shape {
    SFNode  geometry   NULL
    SFNode  appearance NULL
}
```

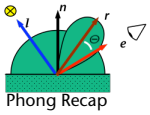
  - Achtung:
    - Das Feld **`geometry`** darf nur Geometrie-Knoten enthalten (es gibt etliche Klassen von Geometrie-Knoten)
    - Das Feld **`appearance`** darf nur einen Appearance-Knoten enthalten (es gibt nur eine Klasse von Appearance-Knoten)
- **`Shape`**-Knoten dienen dazu, Geometrie mit einer **`Appearance`** zu verknüpfen

- Der Appearance-Knoten dient zur Spezifikation des Aussehens einer Geometrie
- Definition:

```
Appearance {
    SFNode  material        NULL
    SFNode  texture         NULL
    SFNode  fillProperties  NULL
    ...
}
```

  - Auch hier gilt wieder: die Werte eines Feldes (hier: Instanzen einer Knotenklasse) müssen vom "richtigen" Typ (d.h., der richtigen Klasse) sein

- Der Material-Knoten:



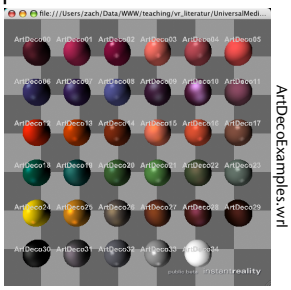
Phong Recap

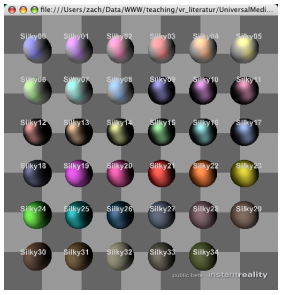
```
Material {
  SFFloat ambientIntensity 0.2
  SFColor diffuseColor     0.8 0.8 0.8
  SFColor emissiveColor    0 0 0
  SFColor specularColor    0 0 0
  SFFloat shininess        0.2
  SFFloat transparency     0
}
```

- Der Textur-Knoten:

```
ImageTexture {
  MFString url     [ ]
  SFBool repeatS   TRUE
  SFBool repeatT   TRUE
}
```

- Auf der Homepage der Vorlesung finden Sie unter *"Online Literatur und Resources im Internet"* ein großes Archiv mit Materialien
- Beispiele:

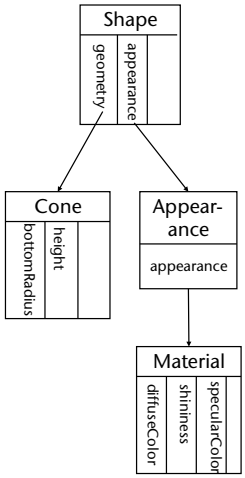




- Weitere Resource: ein Material-Editor (in Java)
  http://tog.acm.org/resources/applets/vrml/pellucid.html

Ein erstes Beispiel

```
#X3D V3.1 utf8
Shape {
  geometry Cone {
    bottomRadius 1
    height       2
  }
  appearance Appearance {
    material Material {
      ambientIntensity 0.256
      diffuseColor     0.029 0.026 0.027
      shininess        0.061
      specularColor    0.964 0.642 0.980
    }
  }
}
```



Geometrie-Knoten für Terrain

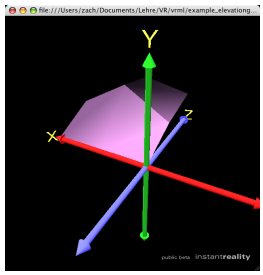
- Allgemein für (diskrete) Flächen, die sich als Funktion über einer Ebene beschreiben lassen
- Definition:

```
ElevationGrid {
  SFBool  normalPerVertex  TRUE
  SFFloat creaseAngle      0.0
  MFFloat height           []
  SFInt32 xDimension       0
  SFFloat xSpacing         1.0
  SFInt32 zDimension       0
  SFFloat zSpacing         1.0
  SFBool  solid            TRUE
}
```


- Bedeutung der Felder:
  - **`normalPerVertex`** schaltet Beleuchtung pro Vertex mit Gouraud-Shading ein (die Normalen werden i.A. vom Browser berechnet)
  - **`solid = TRUE`** schaltet Backface-Culling ein
    - Tip: bei Terrain ausschalten
  - Alle Winkel zwischen 2 Polygonen über eine Kante hinweg (*dihedral angle*), die größer als **`creaseAngle`** sind, werden erhalten, d.h., die beteiligten Vertices werden für die beiden Polygone mit jew. einer eigenen Normale gerendert
- Anmerkungen:
  - Aus Matlab kann man Plots als ein solches VRML-ElevationGrid exportieren
  - Achtung: die Vierecke sind i.A. nicht planar → Flackern und andere Artefakte!

- Beispiel:

```
Shape {
  appearance Appearance { … }
  geometry ElevationGrid {
    height [
      0.0 0.0 0.0
      0.2 0.5 0.2
      0.3 0.4 0.1 ]
    xDimension 3
    zDimension 3
    xSpacing 0.5
    zSpacing 0.5
    solid false
    #creaseAngle 1.5
  }
}
```



example_elevationgrid.wrl

Dreiecke

- Die allgemeinste Geometrie
- Für Dreiecke (und Vierecke) gibt es viele Varianten; hier nur 2
- Die einfachste Variante: **`TriangleSet`**
- Definition:

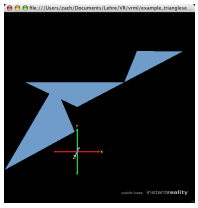
```
TriangleSet {
  SFNode  coord          NULL
  SFBool  ccw            TRUE
  SFBool  normalPerVertex TRUE
  SFBool  solid          TRUE
  SFFloat creaseAngle    0.0
}
```

```
Coordinate {
  MFVec3f point []
}
```

  - **`coord→point`** ist eine Liste von Koordinaten; je 3 aufeinanderfolgende ergeben einen Vertex; davon je 3 aufeinanderfolgende ergeben ein Dreieck
  - **`ccw`** (*counter-clockwise*) gibt an, ob die Vertices im Uhrzeigersinn vorliegen oder nicht

- Beispiel:

```
Shape {
  appearance Appearance { … }
  geometry TriangleSet {
    coord Coordinate {
      point [ -2 0  3, -0 1 1, -1 3 0,
               0 2  0,  2 3 1, -2 3 1,
               3 5 -2,  2 3 1,  4 4 2 ]
    }
    solid FALSE
    ccw TRUE
  }
}
```



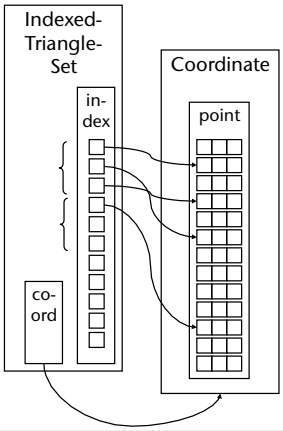
example_triangleset.wrl

- Bemerkung:
  - das Komma ist in X3D/VRML ein *Whitespace*
  - könnte man also weglassen; sollte man bei hand-geschriebenen Szenen aber nicht

- Ein häufig vorkommender Knoten ist **`IndexedTriangleSet`**:

```
IndexedTriangleSet {
  SFNode  coord       NULL
  MFInt32 index       []
  SFBool  ccw         TRUE
  SFBool  normalPerVertex TRUE
  SFBool  solid       TRUE
  SFFloat creaseAngle 0.0
}
```

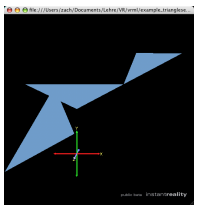
```
Coordinate {
  MFVec3f point []
}
```



  - Großer Vorteil: Speicher-Einsparung
  - Denn: bei "normalen" Dreiecks-Meshes wird jeder Vertex im Schnitt von 6 Dreiecken "benutzt"

- Dasselbe Beispiel nochmal, diesmal mit **`IndexedTriangleSet`**:

```
Shape {
  appearance Appearance { … }
  geometry IndexedTriangleSet {
    index [ 0 1 2,  3 4 5,  6 4 7 ]
    coord Coordinate {
      point [ -2 0 3, -0 1 1, -1 3 0,
               0 2 0,  2 3 1, -2 3 1,
               3 5 -2, 4 4 2 ]
    }
    solid FALSE
    ccw TRUE
  }
}
```

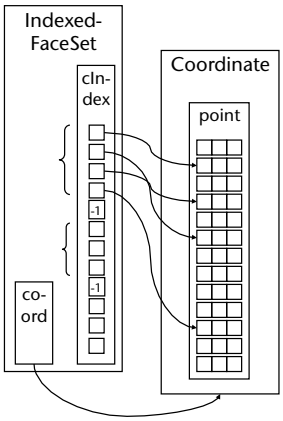


example_indexedtriangleset.wrl

- Der häufigste Knoten-Typ ist (unnötigerweise) das **`IndexedFaceSet`**:

```
IndexedFaceSet {
  SFNode  coord          NULL
  MFInt32 coordIndex     []
  SFBool  ccw            TRUE
  SFBool  normalPerVertex TRUE
  SFBool  solid          TRUE
  SFFloat creaseAngle    0.0
}
```

```
Coordinate {
  MFVec3f point []
}
```



- Unterschied zu **`Indexed-TriangleSet`**: die -1 als *"Sentinel"*

- Vorteil: beliebige Polygone
- Anmerkung: viele Exporter exportieren **`IndexedFaceSet`** obwohl alle Pgone Dreiecke sind → Speicherverschwendung & langsameres Rendering!
- Das Beispiel von vorhin nochmal als **`IndexedFaceSet`**:

```
Shape {
  appearance Appearance { … }
  geometry IndexedTriangleSet {
    coordIndex [ 0 1 2 -1  3 4 5 -1  6 4 7 -1 ]
    coord Coordinate {
      point [ -2 0 3, -0 1 1, -1 3 0,
              0 2 0,  2 3 1, -2 3 1,
              3 5 -2, 4 4 2 ]
    }
    solid FALSE
    ccw TRUE
  }
}
```

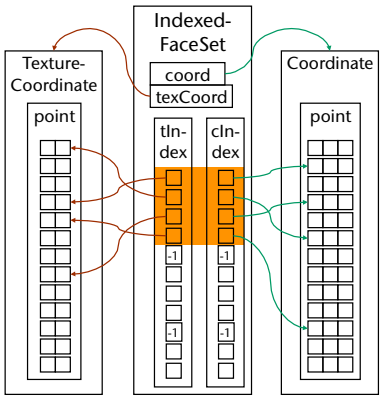

Spezifikation weiterer Attribute pro Vertex

- In allen Geometrie-Knoten kann man weitere Vertex-Attribute spezifizieren, z.B., Normalen oder Texturkoord. pro Vertex
- Hier am Beispiel Texturkoord. im **`IndexedFaceSet`**:

```
IndexedFaceSet {
  SFNode   coord
  MFInt32 coordIndex
  SFNode   texCoord
  MFInt32 texCoordIndex
  SFBool   ccw
  SFBool   normalPerVertex
  SFBool   solid
}
```

```
TextureCoordinate {
  MFVec2f point []
}
```

```
Coordinate {
  MFVec3f point []
}
```



Weitere Geometrie-Knoten

- Es gibt noch viele weitere:
  `PointSet`, **`LineSet`**, **`QuadSet`**, ...
  `IndexedLineSet`, **`IndexedQuadSet`**, ...
  `TriangleStripSet`, **`IndexedTriangleStripSet`**, ...
  `Box`, **`Sphere`**, **`Cylinder`**, ...
  `Text`, **`Extrusion`**, ...
- Viele 2D-Knoten, z.B.: **`Arc2D`**, **`Polyline2D`**, ...
- CAD-Knoten: **`CADAssembly`**, **`NurbsPatchSurface`**, ...

Knoten zur Hierarchie-Bildung

- Einfache Gruppen-Knoten:

```
Group {
  MFNode children []
}
```

  - Die Knoten im Feld **`children`** dürfen wieder **`Group`**-Knoten sein oder **`Shape`**-Knoten
- Beispiel: ...

- Transformationen:

```
Transform {
  MFNode      children          []
  SFVec3f     center            0 0 0      C
  SFRotation  scaleOrientation  0 0 1 0    R1
  SFVec3f     scale             1 1 1      S
  SFRotation  rotation          0 0 1 0    R2
  SFVec3f     translation       0 0 0      T
}
```

  - Alle Kinder unter einem **`Transform`**-Knoten werden transformiert
    - Oft hat ein **`Transform`**-Knoten nur 1 Kind
  - Bedeutung:

$$p' = T \cdot C \cdot R_2 \cdot R_1 \cdot S \cdot R_1^{-1} \cdot C^{-1} \cdot p$$

    - scaleOrientation erlaubt also eine Skalierung entlang beliebiger (lokaler) Achsen, nicht nur entlang der lokalen Koord.achsen

- Ein "include"-Mechanismus mittels des **`Inline`**-Knotens:

```
Inline {
  SFBool   load   TRUE
  MFString url    []
}
```

  - Mit **`load=FALSE`** kann man das Laden der Teil-Szene aufschieben; bei **`TRUE`** wird die Teil-Szene beim Parsen der Parent-Szene geladen
  - Die erste gefundene URL im Feld **`url`** wird genommen
- Beispiel:

```
Transform {
  scale 0.5
  children [
    Inline {
      url [ "coordAxes.wrl"
            "http://my.site.com/coordAxes.wrl" ]
    }
  ]
}
```

Ein einfacher Schalter

- Mit dem **`Switch`**-Knoten kann man eines aus mehreren Kindern einschalten
- Definition:

```
Switch {
  SFInt32 whichChoice  -1
  MFNode  children     []
}
```

  - **`whichChoice=-1`** schaltet alle Kinder ab, **`whichChoice=0`** schaltet das erste Kind an

- Mit diesem Knoten kann man Hinweistafeln u.ä. erstellen:

```
Billboard {
  SFVec3f axisOfRotation 0 1 0
  MFNode  children       []
}
```

  - Dieser Knoten erzeugt in jedem Frame eine Transformation, die dafür sorgt, daß die lokale z-Achse zum aktuellen Viewpoint zeigt
  - **`axisOfRotation`** wird im lokalen Koordinatensystem spezifiziert
  - Falls **`axisOfRotation`** = (0,0,0) ist, dann wird zusätzlich die lokale y-Achse parallel zur y-Achse des Viewers ausgerichtet

Wiederverwendung von Szenengraphenteilen

- Beispiele, wo Wiederverwendung Sinn macht:
  - Ein Teil der Geometrie kommt mehrfach in der Szene vor (i.A. an verschiedenen Positionen)
  - Dieselbe Appearance (Material / Textur) soll auf verschiedene Geometrien angewendet werden
- Mechanismus in X3D/VRML:
  - Namen für einen Knoten definieren:

```
DEF NodeName NodeType {
  fields ...
}
```

  - An jeder Stelle, wo ein Knoten des entsprechenden Typs stehen kann, kann nun einfach

```
USE NodeName
```

  verwendet werden

- Beispiel:

example_def+use.wrl (~/Documents/Lehre/VR/vrml) – VIM

```
Shape {
  geometry Cylinder {
    height 4
    radius 0.4425
    top FALSE
  }
  appearance DEF Cammi Appearance {
    material Material {
      diffuseColor 0.45 0.55 0.55
    }
  }
}
Transform {
  translation 0 2.9 0
  children [
      Shape {
        geometry Cone {
          bottomRadius 0.4425
          height 1.8
        }
        appearance USE Cammi
      }
  ]
}
DEF TailFin Transform {
  translation 0.175 -1.5 0
  children [
      Shape {
        geometry IndexedFaceSet {
          coordIndex [ 0 1 2 3 4 5 -1 ]
          solid FALSE
          coord Coordinate {
            point [ 0 0.4 0 0.25 0 0 0.75 0 0 0.75 1 0 0 1.65 0 0 0.4 0 ]
          }
        }
        appearance USE Cammi
      }
  ]
}
Transform {
  rotation 0 1 0 1.57
  children [
      USE TailFin
  ]
}
Transform {
  rotation 0 1 0 3.14
  children [
"example_def+use.wrl" [converted] 58L, 931C written
```

vrml/examples/
example_def+use.wrl

Bemerkungen

- Die Bezeichnung **`DEF`** ist sehr unglücklich
- Wahre Semantik / Eselsbrücke: **`DEF`** ≈ "Name", **`USE`** ≈ Pointer!
- Scope: reicht vom **`DEF`** bis zum Ende des Files — Klammern (`{}` `[]`) spielen keine Rolle!
- **`DEF`** muß im File vor **`USE`** kommen (logisch), aber nicht notwendigerweise auf demselben Level im Szenengraph
  - Dadurch könnte man sogar Zyklen im Graph erzeugen!
- Tip: sinnvolle Namen vergeben

Der Verhaltensgraph

- "Animationen" (i.e., dynamische Szenengraphen) sind Veränderungen des Szenengraphen; z.B.:
  - Änderungen von Tranformationen, z.B. die Position von Objekten oder die Bewegung eines Roboterarmes,
  - Änderungen des Materials, z.B. der Farbe oder der Texturkoord. eines Objektes,
  - Deformation eines Objektes, d.h., Änderungen der Vertex-Koord.,
- Alle diese Veränderungen sind äquivalent zur Änderung eines Feldes eines Knotens zur Laufzeit

Events und Routes

- Der Mechanismus in X3D zur Veränderung des Szenengraphen:
  - Es gibt spezielle Knoten, deren Felder sich ändern
  - Eine Änderung eines Feldes erzeugt einen sog. Event
  - Felder können miteinander durch sog. Routes verbunden werden
  - Bei Auftreten eines Events wird der Inhalt des Feldes vom Route-Anfang zum Feld des Route-Endes kopiert ("der Event wird propagiert")

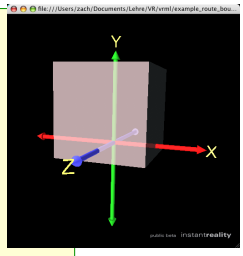
- Felder haben nicht nur Typ und Wert, sondern auch einen sog. *"access type"*:

VRML97	X3D
`eventIn`	`inputOnly`
`eventOut`	`outputOnly`
`field`	`initializeOnly`
`exposedField`	`inputOutput`

- Felder mit einem Namen **`zzz`**, die den Access-Type exposedField haben, haben implizit den Namen **`zzz_changed`**, wenn sie als Ausgabe-Feld verwendet werden, und den Namen **`set_zzz`**, wenn sie als Eingabe-Feld verwendet werden
  - Viele der vordefinierten Felder in vordef. Knoten sind **`exposedField`**'s

- Ein einfaches Beispiel:

```
DEF ts TimeSensor {
  loop TRUE
  cycleInterval 5
}

DEF pi PositionInterpolator {
  key       [ 0       0.5    1      ]
  keyValue  [ 0 -1 0, 0 1 0, 0 -1 0 ]
}

DEF tr Transform {
  translation 0 0 0
  children [
    Shape { geometry Box { } }
  ]
}

ROUTE ts.fraction_changed TO pi.set_fraction
ROUTE pi.value_changed TO tr.set_translation
```



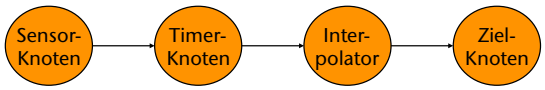
example_route_bounce.wrl

- Syntax der Routes:

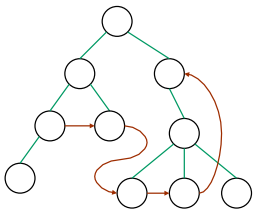
```
ROUTE NodeName.outputFieldName TO NodeName.inputFieldName
```

  - Die Knoten müssen früher im File mit **`DEF`** spezifiziert worden sein
  - Routes dürfen nur von Ausgabe-Feldern (d.h., **`eventOut`** oder **`exposedField`**) zu Eingabe-Feldern (d.h., **`eventIn`** oder **`exposedField`**) gezogen werden
  - Felder dürfen *fan-in* und *fan-out* haben (mehrere eingehende / ausgehende Routes)
    - Verhalten bei gleichzeitiger Ankunft mehrerer Events ist undefiniert!

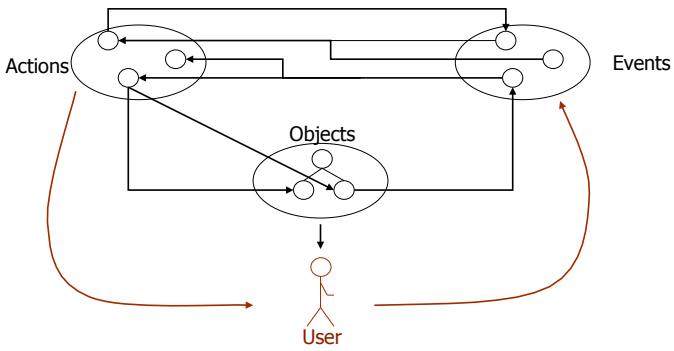
- Eine Folge von Routes verläuft oft nach diesem Schema:



- Der Behavior-Graph:
  - Ergibt sich durch die Menge aller Routes
  - Heißt auch Route-Graph, oder Event-Graph
  - Ist ein zweiter, dem Szenengraphen überlagerter Graph



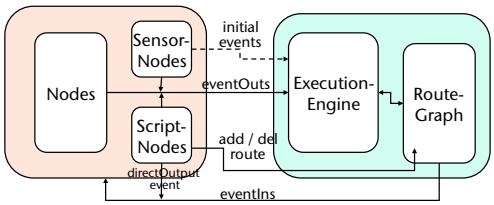
Exkurs: Das AEO-Konzept



- In X3D/VRML:
  - actions & objects sind alle Knoten im selben Scenegraph
  - Events sind flüchtige "Ereignisse", haben keine greifbare Repräsentation

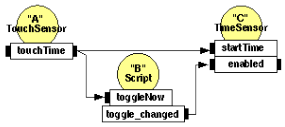
Das Execution Model

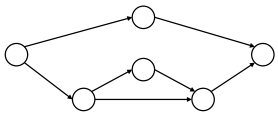
- Die Event Cascade:
  - Initialer Event (von Script, Sensor, oder Timer)
  - Propagiere an alle angeschlossenen **`eventIn`**'s
  - Knoten (z.B. Interpolator) können als Folge weitere Events generieren über **`eventOut`**'s
  - Alle diese Events sind Teil derselben Kaskade
  - Propagiere so lange, bis die Kaskade leer ist



  - Pro Frame können mehrere Kaskaden auftreten (durch verschiedene initiale Events ausgelöst)

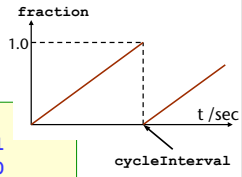
- Routes induzieren eine Abhängigkeit der Knoten:
  - Propagiere in der "richtigen" Reihenfolge
  - Algo:
    - Breadth-first traversal
    - Sortiere aktuelle Front gemäß Abhängigkeiten





- Zyklen:
  - Sind erlaubt (manchmal sogar sinnvoll)
  - *Loop breaking rule*:
    Jedes Feld darf nur 1x pro Event-Kaskade "feuern";
    m.A.W.: jede Route wird nur 1x pro Event-Kaskade "bedient"

Knoten für Animationen



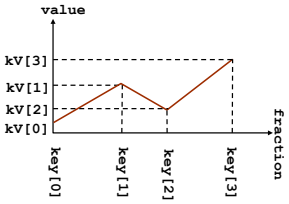
- Der **`TimeSensor`**-Knoten:

```
TimeSensor {
  exposedField  SFTime  cycleInterval    1
  exposedField  SFTime  startTime        0
  exposedField  SFBool  loop             false
  eventOut      SFTime  fraction_changed
  eventOut      SFTime  time
  eventOut      SFBool  isActive
  eventOut      SFTime  cycleTime
  ...
}
```

  - Der Timer wird aktiv, sobald die System-Zeit > **`startTime`** wird
  - Falls **`startTime=-1`**, ist der Timer inaktiv
    - Das ist die beste Art, einen Timer zu de-/aktivieren (s. Bsp. drehende_quadrate)
  - Mit Hilfe von **`isActive`** kann man Animationen aneinanderketten
    - **`isActive`** zeigt an, ob ein Timer gerade läuft
  - **`cycleTime`** sendet einen **`SFTime`**-Event bei jedem **`cycle`**-Beginn

- Ein Knoten zur Interpolation von Skalaren:

```
ScalarInterpolator {
  MFFloat exposedField key
  MFFloat exposedField keyValue
  SFFloat eventIn      set_fraction
  SFFloat eventOut     value_changed
}
```



- Weitere Interpolationsknoten:

```
ColorInterpolator {
  MFVec3f  expF  keyValue
  SFColor  out   value_changed
}
```

```
CoordinateInterpolator {
  MFVec3f expF  keyValue
  MFVec3f out   value_changed
}
```

```
PositionInterpolator {
  MFVec3f  expF  keyValue
  SFVec3f  out   value_changed
}
```

```
OrientationInterpolator {
  MFRotation  expF  keyValue
  SFRotation  out   value_changed
}
```

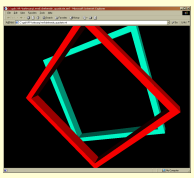
- Achtung: man sollte darauf achten, daß man den richtigen Interpolator zum "richtigen" Knoten verbindet
  - Es ist z.B. nicht erlaubt, einen **`ColorInterpolator`** mit der **`translation`** eines **`Transform`**-Knotens zu verbinden
- Der **`CoordinateInterpolator`** ist dazu gedacht, Geometrie zu animieren (also animierte Deformation)
  - Achtung:

$$\text{Anzahl Vec3f's im Feld value\_changed} = \frac{\text{Anzahl Vec3f's im Feld keyValues}}{\text{Anzahl key's}}$$

und diese Anzahl muß natürlich mit dem Empfänger-Feld übereinstimmen

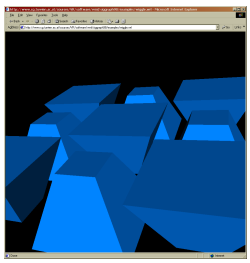
Beispiele

```
DEF Frame1 Transform {
  translation 0.0 0.0 -0.5
  children [ Shape { … } ]
}
DEF Frame2 Transform {
  translation 0.0 0.0 +0.5
  children [ Shape { … } ]
}

DEF Rot1 OrientationInterpolator {
  key      [ 0.0,             0.5,             1.0              ]
  keyValue [ 0.0 0.0 1.0 0.0, 0.0 0.0 1.0 3.14, 0.0 0.0 1.0 6.28 ]
}
DEF Rot2 OrientationInterpolator {
  key      [ 0.0,             0.5,             1.0              ]
  keyValue [ 0.0 0.0 1.0 0.0, 0.0 0.0 1.0 3.14, 0.0 0.0 1.0 6.28 ]
}

DEF Timer1 TimeSensor { cycleInterval 10.0 loop TRUE startTime -1 }
DEF Timer2 TimeSensor { cycleInterval 11.0 loop TRUE startTime -1 }

ROUTE Timer1.fraction_changed TO Rot1.set_fraction
ROUTE Timer2.fraction_changed TO Rot2.set_fraction
ROUTE Rot1.value_changed TO Frame1.set_rotation
ROUTE Rot2.value_changed TO Frame2.set_rotation
```



drehende_quadrate.wrl

Beispiel für CoordinateInterpolator



wiggle.wrl

Beispiel für CoordiInterpolator

vrml/student_projects/WallClock.wrl

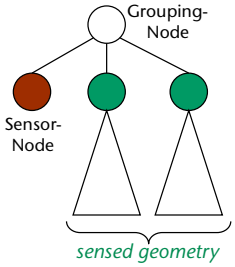
Knoten für User-Input

- Zur Abfrage von User-Input gibt es eine ganze Reihe von **`Sensor`**-Knoten
- Die meisten haben folgende Felder (zusätzlich zu ihren spezifischen):

```
SFString exposedField description  ""
SFBool   eventOut     isOver
SFBool   eventOut     isActive
SFBool   exposedField enabled      true
```

  - Mit **`enabled`** kann man einen Sensor de-/aktivieren
  - Das Feld **`description`** is freiwillig, sollte aber unbedingt ausgefüllt werden (sonst weiß man 2 Wochen später überhaupt nicht mehr, welche Funktion ein Sensor hat!)
  - **`isActive=true`** gdw. alle Vorbedingungen für einen bestimmten Sensor sind erfüllt
  - **`isOver=true`** gdw. die Maus sich über dem "heißen" Bereich des Sensors befindet

- Aktivierung:
  - alle Sensor-Knoten sind einem Teil des Szenengraphen zugeordnet
  - der Sensor ist aktiv gdw. der User irgend eine Geometrie in diesem Teil (die *sensed geometry*) angeklickt hat (bzw. hält)



- Mapping:
  - Die meisten Sensor-Knoten mappen die 2D-Maus-Pos. auf eine 3D-Position in der VE (was natürlich nicht notw. die Hauptaufgabe ist)
  - Dieses Mapping geschieht durch Schnitt des Strahls vom Viewpoint durch die Maus mit der Szene
  - Diesen Schittpunkt kann man mit den Feldern **`offset_changed`**, **`autoOffset`**, und **`trackPoint_changed`** abfragen
    - Diese Felder ex. in allen Sensorknoten; die Bedeutung kann vom konkreten Mapping abhängen

- **`TouchSensor`**:
  - erzeugt Ausgaben, sobald die Geometrie geklickt wird
  - wird oft zum Auslösen von Timern verwendet
    - Bsp.: ein virtueller Button soll eine Tür öffnen
- **`PlaneSensor`**:
  - konvertiert die select-and-drag-Bewegung in eine 3D-Bewegung, die aber auf eine Ebene im Raum eingeschränkt ist
  - diese Ebene ist die lokale z=0 Ebene
  - wird oft zum Bewegen von Geometrie auf einer Ebene verwendet
    - Verbinde das Feld **`translation_changed`** mit **`set_translation`** eines **`Transform`**'s
  - Die Koordinaten von **`translation_changed`** sind relativ zum lokalen Koord.system!

- **`CylinderSensor`**:
  - Funktioniert ähnlich wie der PlaneSensor
  - Unterschied: die Maus-Position wird auf einen Zylinder gemapt
  - Ausgabe-Feld: rotation_changed
  - Häufiger Verwendung: zur Implementierung von Drehknöpfen
  - Gibt sehr viele weitere Parameter-Felder
- **`SphereSensor`**:
  - you get the idea by now ...

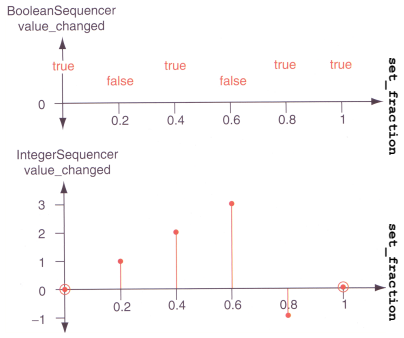
- **`KeySensor`**:
  - Interface zum Keyboard
  - Ausgabe-Felder:

```
SFInt32  actionKeyPress
SFInt32  actionKeyRelease
SFString keyPress
SFString keyRelease
```

- **`StringSensor`**:
  - String-basiertes Interface zum Keyboard
  - Erlaubt die Eingabe kompletter Strings

Utility-Knoten für Animationen

- Diese sind soz. "glue nodes"
  - Z.B.: SFBool → SFTime, SFFloat → SFVec3f
- Sequencer-Knoten:
  - Diskrete Variante der Interpolator-Knoten
    - Ausgabe-Feld **`value_changed`** nimmt nur Werte aus dem Feld **`keyValue`** an
    - Keine Interpolation
    - Das Ausgabe-Feld ändert seinen Wert nur, wenn der Wert im Feld **`set_fraction`** von einem Interval [**`key`**[i], **`key`**[i+1]) in ein anderes Interval [**`key`**[j], **`key`**[j+1]) wechselt



  - Varianten: **`BooleanSequencer`**, **`IntegerSequencer`**, **`FloatSequencer`**(?)

- Trigger-Knoten
  - **`BooleanTrigger`**: konvertiert SFTime → SFBool
    - Erzeugt immer einen True-Event, wenn ein Event eingeht
  - **`IntegerTrigger`**: konvertiert SFBool → SFInt32
    - Der ausgegebene Wert kann an einem weiteren Feld spezifiziert werden
  - **`TimeTrigger`**: konvertiert SFBool → SFTime
    - Erzeugt die aktuelle System-Zeit am Ausgabe-Feld, wenn ein Event eingeht

- **BooleanFilter**:

```
SFBool eventIn  set_boolean
SFBool eventOut inputFalse
SFBool eventOut inputNegate
```

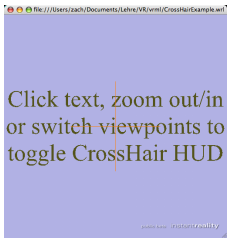
  - **inputFalse** liefert **True**-Event, wenn **set_boolean** **False**-Event empfängt
  - **inputNegate** liefert den negierten Event von **set_boolean**
- **BooleanToggle**:
  - "Toggle switch" = Kippschalter

```
SFBool eventIn      set_boolean
SFBool exposedField toggle
```

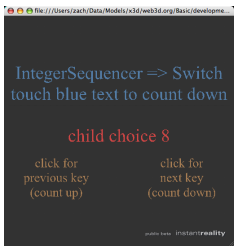
  - Das Feld **toggle** kippt jedesmal, wenn ein **True**-Event empfangen wird

Beispiele

- Beispiel für
  - Geometrie, die fest bleibt relativ zum Viewpoint
  - **Switch** (und **PROTO**)
  - **ProximitySensor**, **TouchSensor**,
  - **BooleanToggle**, **-Trigger**, **-Filter**
- Beispiel für
  - **IntegerSequencer** und **Switch**



CrossHair.wrl



IntegerSequencer.wrl

Script-Knoten

- Erlauben die Implementierung von komplexen Verhalten in einer sog. "Skript"-Sprache
  - Der Standard läßt die konkrete Sprache offen; er definiert statt dessen ein sog. *Scene Access Interface (SAI)*
    - Früher EAI (*External Access Interface*)
  - Typisch sind Java und/oder Javascript (aka ECMAScript)
    - Für diese gibt es dann sog. Bindings, d.h., ein konkretes API, das das SAI impl.
    - InstantReality kann beides, FreeWRL ?
- IMHO ein Design-Bug im Standard: "Browsers are not required to support any specific language"

- Deklaration / Syntax:

```
Script {
  exposedField  MFString  url
  field         SFBool    directOutput FALSE
  field         SFBool    mustEvaluate FALSE
  # And any number of:
  eventIn       fieldType fieldName
  exposedField  fieldType fieldName    initialValue
  eventOut      fieldType fieldName
  field         fieldType fieldName    initialValue
}
```

  - Zur Erinnerung die Access Types:

VRML97	Bedeutung
eventIn	nur Eingabe
eventOut	nur Ausgabe
field	nur Daten
exposedField	Kombination

- Das **`url`**-Feld:
  - Link auf einen Javascript-File:

```
url [ "MyBehavior.js"
      "http://www.my.site/MyBehavior.js" ]
```

  - Link auf einen Java-File:

```
url [ "MyBehavior.class"
      "http://www.my.site/MyBehavior.class" ]
```

  - Javascript-Source-Code:

```
url [ "javascript:
  var x, y, z;
  function initialize( timeStamp )
  {
    ...
  }

" ]
```


Zugriff auf die Felder

- Zu jedem **`eventIn`**-Feld gibt es eine Funktion mit demselben Namen
  - Heißt Event-Handler
  - Wird irgendwann innerhalb der Event-Kaskade aufgerufen, falls Event eintrifft
  - Parameter: Wert des Events (Kopie der Daten) & Timestamp
- Zu jedem **`eventOut`**-Feld gibt es eine implizit vordefinierte Variable mit dem Namen **`xxx_changed`** und passendem Typ
  - Schreiben der Variable = Generieren eines Events
    - Event wird nur 1x pro Time-Stamp erzeugt!
- Zu jedem **`eventIn`**-Feld gibt es eie implizit vordefinierte Variable mit dem Namen **`set_xxx`**

Beispiel

```
DEF SomeNode Transform
{
  translation 0 0 0
  children [ ... ]
}

Script
{
  field   SFNode  tnode USE SomeNode
  eventIn SFVec3f pos
  directOutput TRUE
  url [ "javascript:
          function pos(value, timestamp)
          {
            tnode.set_translation = value;
          }
      " ]
}
```


Bemerkungen

- Das Feld **`directOutput`** muß man auf **`TRUE`** setzen, falls der Script-Knoten andere Knoten direkt manipuliert; falls **`directOutput= FALSE`**, dann darf der Script-Knoten den Rest der Szene nur über Routes modifizieren!
- Innerhalb einer Event-Kaskade bekommen alle Funktionsaufrufe denselben Timestamp
- Innerhalb eines Frames können die Event-Handler mehrfach aufgerufen werden
- Spezielle Funktionen (hier in Javascript):
  - **`eventsProcessed()`**: wird am Ende einer Event-Kaskade aufgerufen
  - **`prepareEvents()`**: wird vor dem Route-Processing aufgerufen
    - Z.B. zur Abfrage von externen Geräten
  - **`initialize()`**: wird direkt nach dem Laden der Szene aufgerufen

- Alle Knoten haben 2 (bislang verschwiegene) Felder

```
inputOnly   MFNode   addChildren
inputOnly   MFNode   removeChildren
```

- Das Execution-Model mit Skript-Knoten:

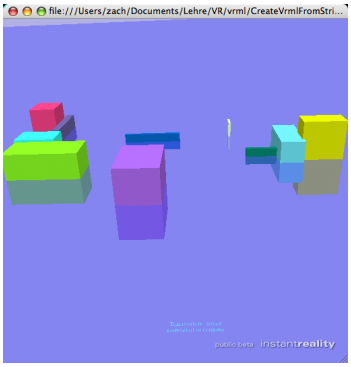
```
1.  Update Camera (based on currently active Viewpoint node)
2.  Evaluate Sensor nodes and
    all script-nodes' prepareEvents() function
    (→ initial events)
3.  for all initial events:
4.    process the event cascade, i.e., route events
5.    if any script node was visited during routing:
6.      evaluate its eventsProcessed() function
7.  Render scene; swap rendering buffers
8.  Browser's clock ← system clock (one "clock tick")
```


- Output-Events eines Skripts bekommen denselben Timestamp wie dessen Input-Events
- Zugriff auf Elemente eines Vektors (z.B. **`SFVec3f`**) :

  `v[0], v[1], v[2]`
- Zugrif auf Elemente eines **`MF`**-Feldes (Arrays): **`values[0]`**, ...
  - Beispiel: **`MFRotation values`** → **`values[0][3]`** = Winkel der 1. Rot

Beispiele

- Zur Laufzeit generierte Geometrie:

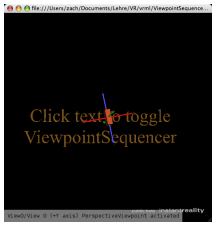


examples/CreateVrmlFromStringRandomBoxes.wrl

- Beispiel für
  - "printf"-Ausgabe auf der Konsole des Browsers
  - Javascript-Knoten
    - Zugriff auf andere Knoten der Szene mittels

```
field SFNode AliasNode USE SceneNode
```

  - Billboard
  - Funktionalität: schaltet verschiedene Viewpoints durch



examples/ViewpointSequencer.wrl

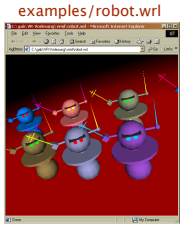
Ein Bug in der X3D-Spezifikation

- Felder mit einem Namen zzz, die den Access-Type exposedField haben, haben implizit den Namen zzz_changed, wenn sie als Ausgabe-Feld verwendet werden, und den Namen set_zzz, wenn sie als Eingabe-Feld verwendet werden
- Problem mit inputOutput-Feldern in Script-Knoten:
  - Es wird ein Event-Handler (= Funktion) zzz() definiert ...
  - ... und eine Variable zzz
  - Ist in Javascript nicht erlaubt, da Funktionen und Variablen im selben Namespace leben!

Prototypes

- Definition neuer Knotenarten; faßt zusammen:
  - Knoten (Shapes, Sensors, Interpolators, etc.)
  - Script-Knoten
  - Routes
- Beispiel:

examples/robot.wrl



Name der neuen Knoten-Klasse

```
PROTO Robot
[  field SFColor eyeColor 1.0 0.0 0.0
   ...
]{
   Shape { appearance Appearance {
             material Material {
                diffuseColor IS eyeColor
           } }
   ...
}
```

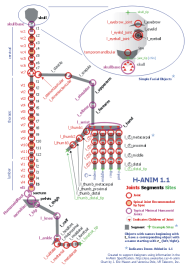
Interface (Felder & Events)

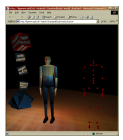
Body (Implementierung)

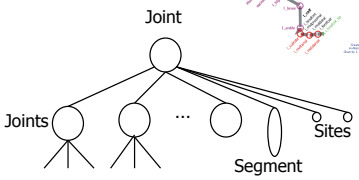
Zuweisung des Interfaces

Weiterentwicklungen

- In X3D:
  - Es kommen laufend neue Knoten hinzu, z.B. für Shader
- H-Anim:
  - Standard zur Spezifizierung von "humanoiden" Figuren in VRML97/X3D
  - Joints = Baumstruktur
  - Segments =Geometrie
  - Sites = "Handles" (ausgezeichnete Punkte im Koord.system des Joints)







Tips & Tricks zum Entwickeln mit X3D/VRML

- Editor:
  - Man wird früher oder später X3D-Code "von Hand" editieren müssen
  - ASCII-Editor verwenden, der Syntax-Highlighting für VRML/X3D hat!
  - ... und der Klammer-Matching beherrscht!
- X3D-Edit ?

Debugging

- Im wesentlichen nur "printf"-Debugging möglich
- Beispiel: ein Debug-Knoten

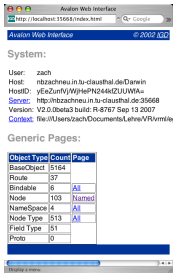
```
DEF Debug Script {
  eventIn MFVec3f set_coord
  eventIn SFFloat set_float
  url [ "javascript:
    function set_coord( value, timestamp )
    {
      print( 'Debug: coord = ' + value + '\n' );
    }
    function set_float( value, timestamp )
    {
      print( 'Debug: float = ' + value + '\n' );
    }
  " ]
}
```

Beispiel in examples/wiggle_with_debug.wrl

- Alternative in InstantReality:
  - Mittels des Nicht-Standard-Knotens **`Logger`**

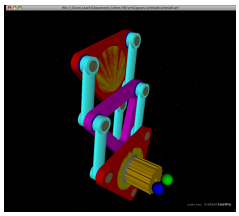
```
DEF Log Logger
{
  level 3       # 0 - ..
  logFile ""    # default = console
}
ROUTE Clock.fraction_changed TO Log.write
```

- Extrem praktisches Feature: Der X3D-Browser von InstantReality erlaubt es, zur Laufzeit den Szenengraphen zu beobachten und sogar Felder zu verändern!
- Anleitung:
  - In InstantPlayer: Help → Web Interface Scenegraph
  - Ein Browser-Fenster öffnet sich
  - In der Tabelle klicken: "Named" → "scene (Scene)"
- Demo:
  - Szene: eg2001competition/ah2k/ah2k.wrl
  - Links: Named → scene (Scene) → DEF spinClock TimeSensor → enabled TRUE/FALSE

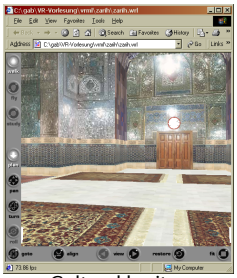


Demos

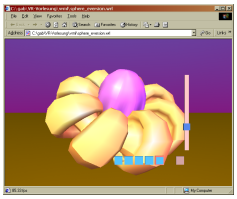
Veranschaulichung von komplizierten Kinematiken (hier: *Schmidt Offset Coupling*)



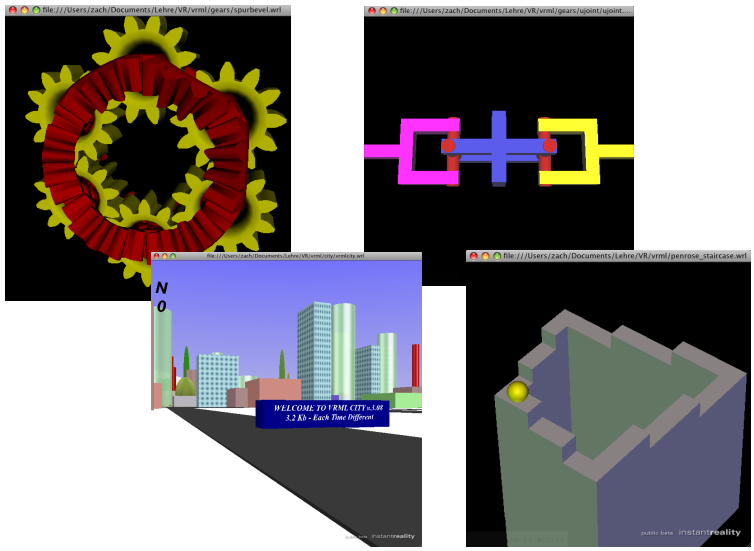
Spiele
(Quelle: Eurographics 2001 competition)



Cultural heritage
(Quelle: www.aqrazavi.org)

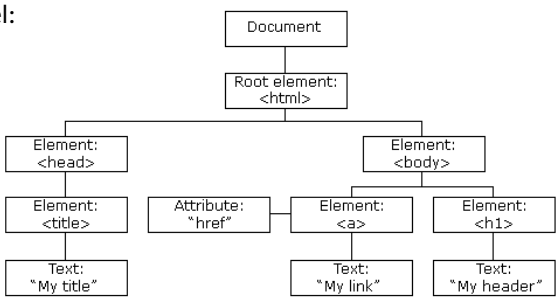


Edutainment (Wissenschaft?), Wissenstranfer
Bsp.: *sphere eversion*



Ausblick: X3DOM

- Aktuelle Bestrebung des W3C, X3D als festen Bestandteil von HTML5 zu integrieren
- DOM = Document Object Model = Spezifikation ...
  1. wie ein HTML/XML-Dokument als Baum repräsentiert wird; und
  2. wie man auf die Elemente des Baumes zugreift
- Beispiel:

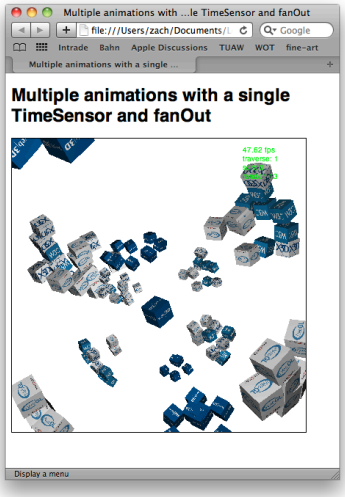


Ein mögliches Beispiel

```
...
<body>
  <h1>X3D DOM Events</h1>
  <x3d xmlns="http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.0.xsd">
    <Scene>
      <Transform>
        <Shape>
          <Box size="4 4 4" />
        </Shape>
        <TouchSensor id="ts" DEF="ts" />
      </Transform>
    </Scene>
  </x3d>
  <script type="text/javascript">
    // The namespace URIs
    var xhtml_ns = "http://www.w3.org/1999/xhtml";
    var x3d_ns ="http://www.web3d.org/specifications/x3d-3.0.xsd";
    // Get elements using namespaces
    var h1=document.getElementsByTagNameNS( xhtml_ns, "h1" );
    var x3d =document.getElementsByTagNameNS( x3d_ns, "x3d" )[0];
    var ts = x3d.getElementsByTagName( "TouchSensor" )[0];
    ts.addEventListener( "touchTime",
                         function() {alert("clicked"); },
                         false );
  </script>
</body>
```


- Demo:

  demos/x3dom/fanOutRoute.xhtml



- Weiterführender Link:

  http://www.x3dom.org/

  - Beta-Versionen, Doku, FAQs,