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

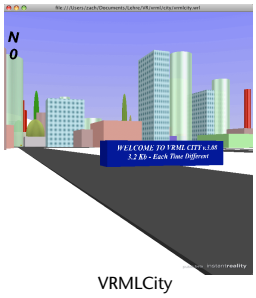
Vorteile von X3D

- 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`**

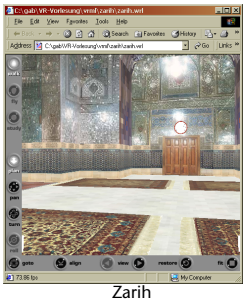
X3D-"Browser"

- InstantReality:
  - http://www.instantreality.org/
  - Läuft auf allen 3 Plattformen
  - Implementiert (angeblich) V3.1 von X3D komplett
- FreeWrl:
  - http://freewrl.sourceforge.net/
  - Läuft auf Linux & Mac OS X
  - Implementiert das Subset (Profile) "Interchange" von X3D
- Cortona:
  - http://www.parallelgraphics.com/products/cortona/
  - Nur als Plugin für Web-Browser
- ...

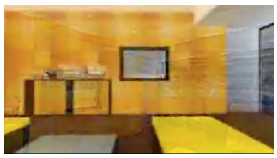
Beispiele



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:

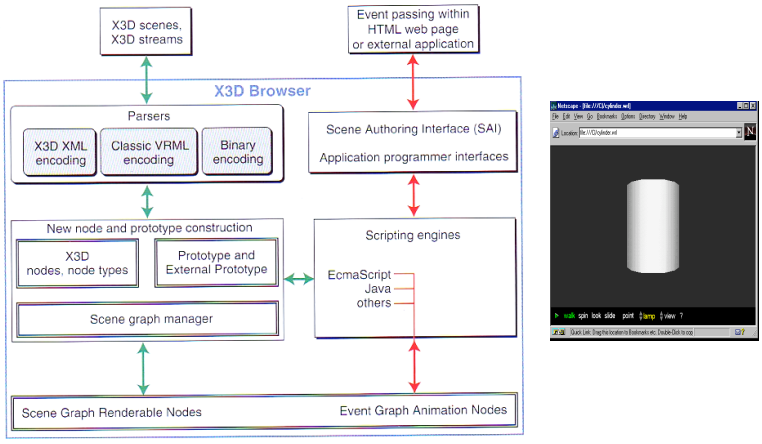
```
#X3D V3.1 utf8
PROFILE Full
# empty scene
```

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

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



- 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

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 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

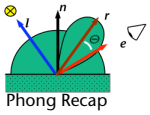
- Der Appearance-Knoten dient zur Spezifikation des Aussehens einer Geometrie
- Definition:

```
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:

```
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
}
```

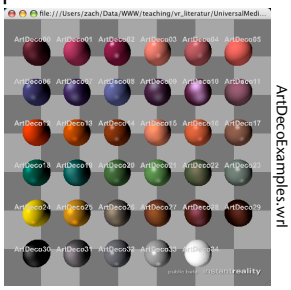


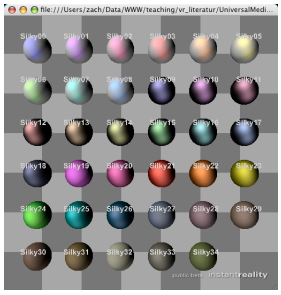
Phong Recap

- 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:

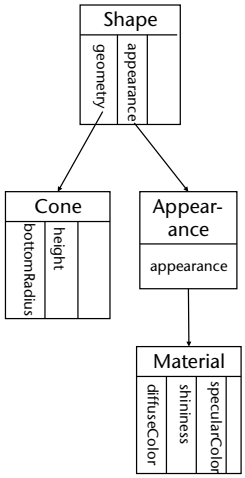

ArtDecoExamples.wrl


SilkyExamples.wrl

- 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

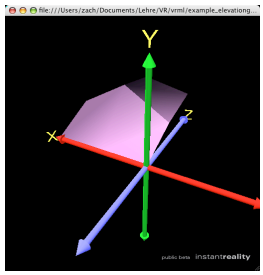
- Allgemein für (diskrete) Flächen, die sich als Funktion über einer Ebene beschreiben lassen
- Definition:

```
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:

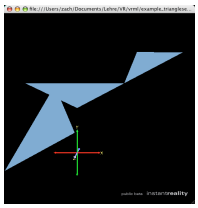
```
TriangleSet {
  SFNode  coord        NULL
  SFBool  ccw          TRUE
  SFBool  normalPerVertex TRUE
  SFBool  solid        TRUE
  SFFloat creaseAngle 0.0
}
```

```
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
  }
}
```



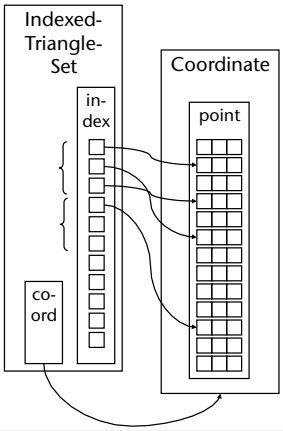
example_triangleset.wrl

- 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
}
```

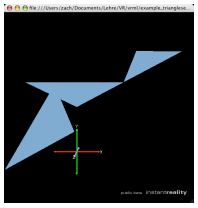
```
Coordinate {
  MFVec3f point []
}
```



  - 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
  }
}
```

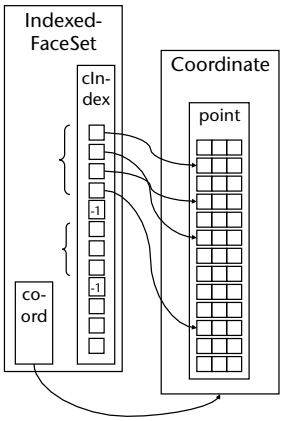


example_indexedtriangleset.wrl

- 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
  }
}
```

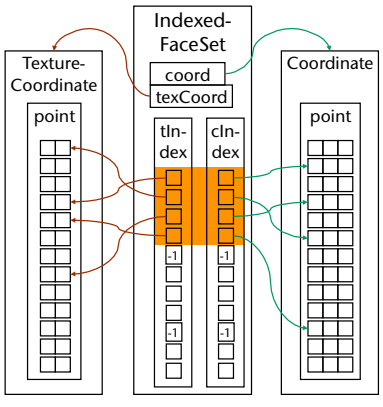

Spezifikation weiterer Attribute pro Vertex

- 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`**, ...