

10. Vektorgrafik

- 10.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik
- 10.2 2D-Vektorgrafik mit SVG
- 10.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit X3D



Weiterführende Literatur:

J. David Eisenberg: SVG Essentials, O'Reilly 2002

Vektor-Grafikformate für das Web

- Nachteile von Bitmap-basierten Bildern:
 - Große Dateien; Kompression führt zu Verlusten
 - Maximale Auflösung unveränderlich festgelegt
 - Hyperlinks in Bildern (image maps) schwierig zu realisieren
 - Animation und Interaktion nicht möglich
 - Trennung von Inhalt und Präsentation nicht möglich
 - » Im Gegensatz z.B. zu HTML+CSS
- Vektorgrafik:
 - Bild beschrieben durch seine grafischen Objekte
- Anwendungsbereiche für Vektorgrafik:
 - Technische Zeichnungen, Illustrationen
 - Logos, Icons

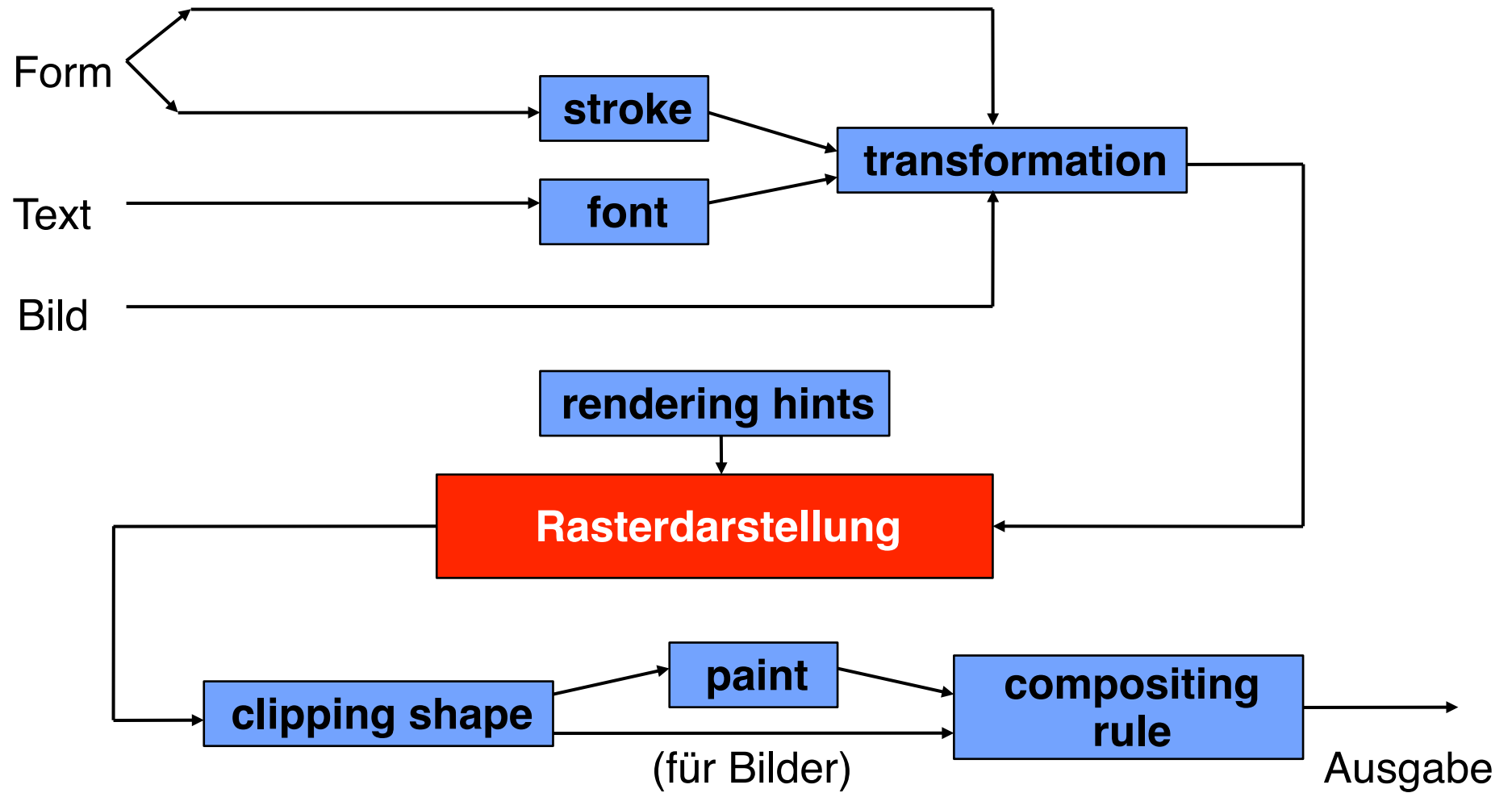
Rendering

- *Rendering* ist die Umrechnung einer darzustellenden Information in ein Format, das auf einem Ausgabegerät in einer dem Menschen angemessener Form dargestellt werden kann.
- Rendering bei zweidimensionaler (2D-)Grafik:
 - Gegeben eine Ansammlung von Formen, Text und Bildern mit Zusatzinformation (z.B. über Position, Farbe etc.)
 - Ergebnis: Belegung der einzelnen Pixel auf einem Bildschirm oder Drucker
- *Grafikprimitive (graphics primitives)*: Formen, Text, Bilder
- *Zeichenfläche (drawing surface)*: Ansammlung von Pixeln
- *Rendering Engine*: Programm zur Rendering-Umrechnung

Rendering-Parameter

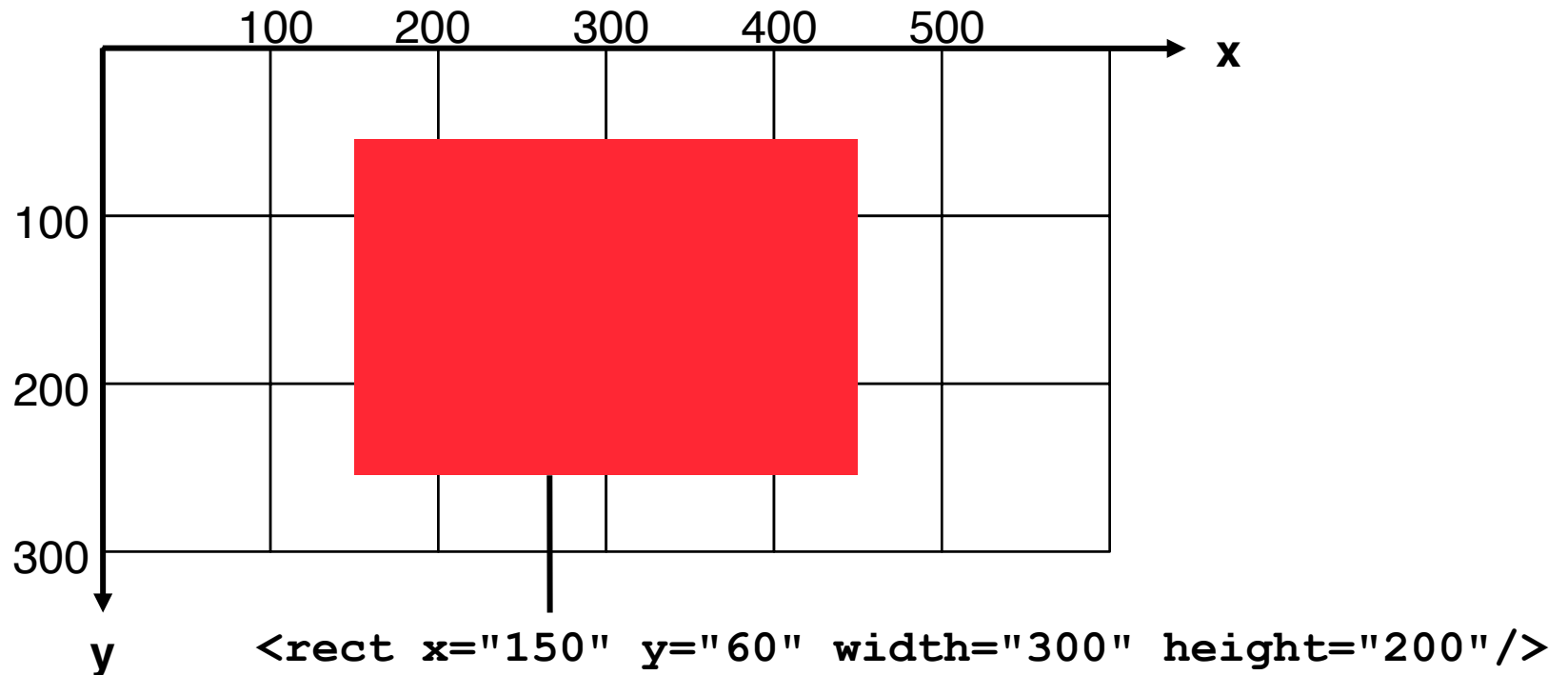
- Jedes primitive Grafikobjekt hat eigene Parameter, die die Darstellung beeinflussen:
 - Form (*shape*): Ecken, Platzierung etc.
 - Text: Textinhalt
 - (Bitmap-)Bild (*image*): Bildinhalt
- Weitere Parameter werden erst in der Rendering Engine festgelegt und beeinflussen ebenfalls die Darstellung:
 - Füllung (*paint*): Wie werden die Pixel für Formen, Linien und Text gefärbt?
 - Strich (*stroke*): Wie werden Linien gezeichnet (Stärke, Strichelung etc.)?
 - Schrift (*font*): Wie wird Text dargestellt (Schriftart, Schriftschnitt etc.)?
 - Transformation: Z.B. Verschieben, drehen, dehnen
 - Überlagerung (*compositing*): Kombination mit anderen Bildern (z.B. Hintergrund)
 - Zuschchnitt (*clipping*): Bestimmung eines darzustellenden Ausschnitts
 - *Rendering hints*: Spezialtechniken zur Darstellungsoptimierung

Rendering-Pipeline



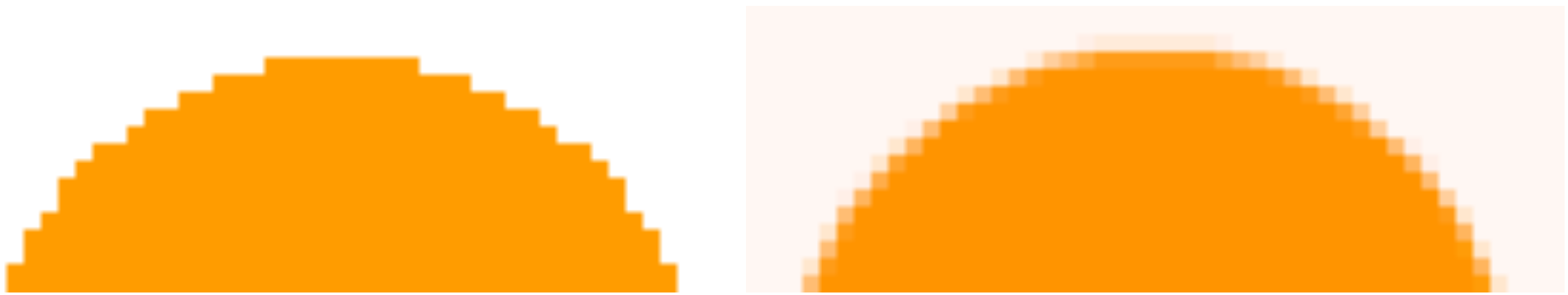
Koordinaten

- Grafik entsteht auf einer unbegrenzt grossen Leinwand (*canvas*)
- Punkte werden mit x- und y-Koordinaten beschrieben
 - y-Achse bei 2D-Computergrafik nach **unten!**
- Einfachste „Compositing“-Regel:
Neue Elemente überdecken vorhandene




Rendering Hints: Anti-Aliasing

- Unzureichende Auflösung bei der Wiedergabe erzeugt Artefakte
 - z.B. Treppeneffekte, verschwundene Öffnungen
 - Anwendungsfall des Abtasttheorems...
- Anti-Aliasing-Technik für Farbübergänge und Kanten:
 - Bild einer höheren Auflösung wird künstlich erzeugt
 - Jedes neue (kleine) Pixel wird mit einer Mischfarbe nach Anteil an den beiden beteiligten Flächen belegt
 - Benutzung des Alpha-Kanals, wenn verfügbar (Alphawert = Anteil des Hintergrunds am Pixel)
 - Effekt: Kantenglättung



10. Vektorgrafik

- 10.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik
- 10.2 2D-Vektorgrafik mit SVG 
- 10.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit X3D

Weiterführende Literatur:

J. David Eisenberg: SVG Essentials, O'Reilly 2002

Scalable Vector Graphics (SVG): Geschichte

- Erstes weit verbreitetes Vektorgrafikformat im Web:
 - CGM (Computer Graphics Metafile): ISO-Standard seit 1987
- 1998: Ausschreibung durch das W3C für CSS-kompatible Markup-Sprache für Vektorgrafik, vier Einreichungen:
 - Web Schematics (abgeleitet von troff pic)
 - Precision Graphics Markup Language (PGML) (PostScript-orientiert)
 - Vector Markup Language (VML) (PowerPoint-orientiert)
 - DrawML
- 2001: W3C Recommendation SVG
 - Elemente aus allen Vorschlägen, stark beeinflusst von PGML
 - Starker industrieller Befürworter von SVG: Adobe
- 2003: SVG Version 1.1
 - "Profile" *SVG Tiny* und *SVG Basic* (beide für Mobilgeräte)
 - *SVG Tiny 1.2* W3C Recommendation seit 2008
- 2011: SVG 1.1 Second edition
- 2014: Scheduled date for SVG 2.0, integrated with HTML5

Grundstruktur einer SVG-Datei

- SVG-Syntax gehört zur Familie der **XML**-Sprachen
 - Siehe letzte Vorlesung
- Hauptelement **<svg>**
 - Namespace-Deklarationen:
Für reine Grafikdateien SVG als Default-Namespace
- Viele Browser unterstützen inzwischen das **<svg>**-Element direkt im HTML-Code

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?>  
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"  
      xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink"  
      version="1.1" >
```

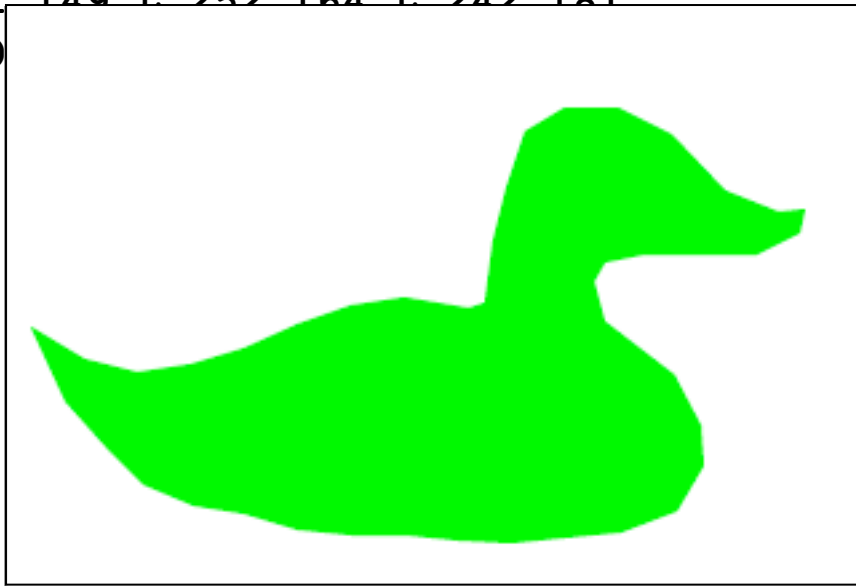
... SVG-Inhalte ...

```
</svg>
```

Eine erste SVG-Grafik

```
<svg width="320" height="220">  
  <rect width="320" height="220" fill="white" stroke="black"/>  
  <g transform="translate(10 10)">  
    <g stroke="none" fill="lime">  
      <path d="M 0 112 L 20 124 L 40 129 L 60 126 L 80 120  
        L 100 111 L 120 104 L 140 101 L 164 105 L 170 103  
        L 173 80 L 178 60 L 185 39 L 200 30 L 220 30  
        L 260 61 L 280 69 L 290 68 L 288 77 L 272 85  
        L 250 85 L 230 85 L 215 88 L 211 95 L 215 110  
        L 228 120 L 241 130 L 251 149 L 252 164 L 242 181  
        L 221 189 L 200 191 L 180  
        L 120 190 L 100 188 L 80  
        L 30 159 L 13 140 z"/>  
    </g>  
  </g>  
</svg>
```

start.svg

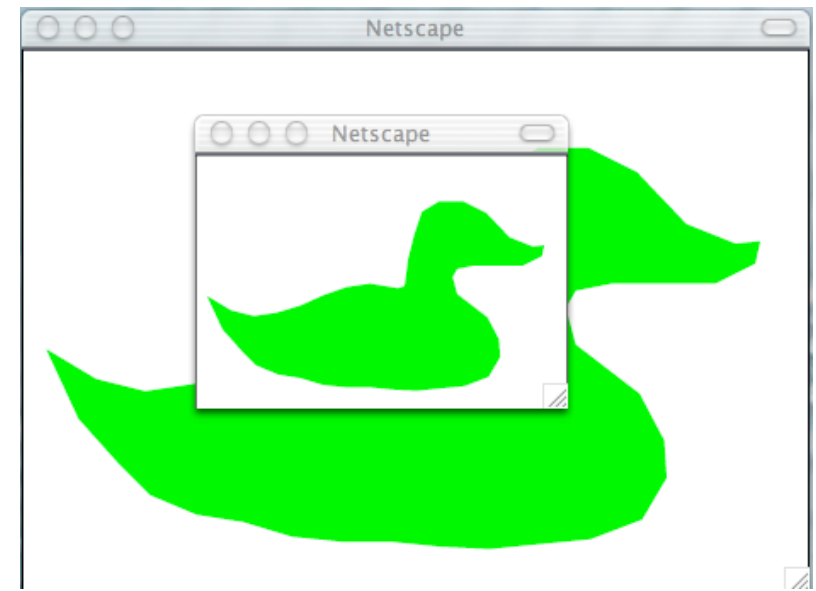
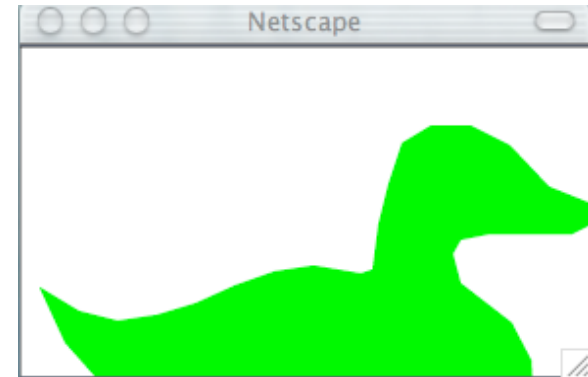


Software zur Darstellung und Erzeugung von SVG

- Direkte Browserunterstützung:
 - Firefox, Safari, Opera, Chrome, Internet Explorer ab Version 9
- Früher: Spezialsoftware (Standalone Viewer)
- Vektorgrafik-Editoren mit SVG-Import und Export
 - z.B. Adobe Illustrator, CorelDraw
- SVG-orientierte Grafik-Editoren
 - z.B. Inkscape (Open Source), Sketsa und viele andere
- XML-Editoren
 - Keine Grafik-Unterstützung, nur Text-Syntax

Skalierbarkeit mittels "ViewBox"

- Größenangabe durch Höhe und Breite:
`<svg width="320" height="220">`
 - Absolute Grösse in Pixel
 - Grafik wird bei Verkleinerung des Fensters abgeschnitten
- Größenangabe durch Sichtfenster (*viewBox*):
`<svg viewBox="0 0 320 220">`
 - Anforderung eines rechteckigen sichtbaren Bereichs
(*x-oben-links y-oben-links breite höhe*)
 - Grafik wird bei Verkleinerung / Vergrößerung des Fensters skaliert
(variable Abbildung der Bildpixel auf Darstellungspixel)



startVB.svg

Rendering-Attribute in SVG

- Darstellung (*rendering*) eines grafischen Objekts kann mit Attributen beeinflusst werden, z.B.:
 - `fill` Füllfarbe
 - `opacity` Transparenz
 - `stroke` Linienfarbe
 - `stroke-width` Linienstärke
 - `stroke-linecap` Form von Linienenden
 - `font-family` Schriftfamilie
 - `font-size` Schriftgröße
- Angabe der Attribute auf mehreren Wegen möglich:
 - Direkt als Attributwert
 - Über ein `style`-Attribut in CSS2-Syntax
 - Über ein CSS2-Stylesheet
- Frage: Gehört bei einem Bild die Farbe eines Elements zum Inhalt oder zur Darstellung?

Beispiel: SVG-Grafik mit Stylesheet

```
<?xml-stylesheet type="text/css" href="renderstyle.css" ?>
<svg viewBox="0 0 300 300">
  <rect class="heavy" width="300" height="300"/>
  <rect class="type1" x="100" y="100" width="100" height="100"/>
  <rect class="type2" x="50" y="50" width="100" height="100"/>
</svg>
```

SVG-Datei

```
rect {stroke:black; fill:white}
rect.type1 {stroke:none; fill:red}
rect.type2 {stroke:black; stroke-width:6; fill:green}

.heavy {stroke:black; stroke-width:10}
```

renderstyle.css

renderingCSS.svg

Konzept: "Virtueller Zeichenstift"

- In fast allen Softwareschnittstellen und Ablageformaten für Vektorgrafik:
 - Konzept einer "aktuellen Position"
 - Metapher eines 2-dimensional beweglichen Zeichenwerkzeugs
- Typische Kommandos in der Zeichenstift-Metapher:
 - "move to":
 - » Gehe zu x, y (absolute Position)
 - » Gehe um dx, dy Einheiten nach rechts, unten (relative Position)
- Vorteile:
 - Leicht zu verstehen
 - Wenige Grundprimitive für fast alle grafischen Formen
 - Dominierend in Computergrafik-Standards
- Nachteil:
 - Abschnitte sind keine Einzelobjekte

Pfade

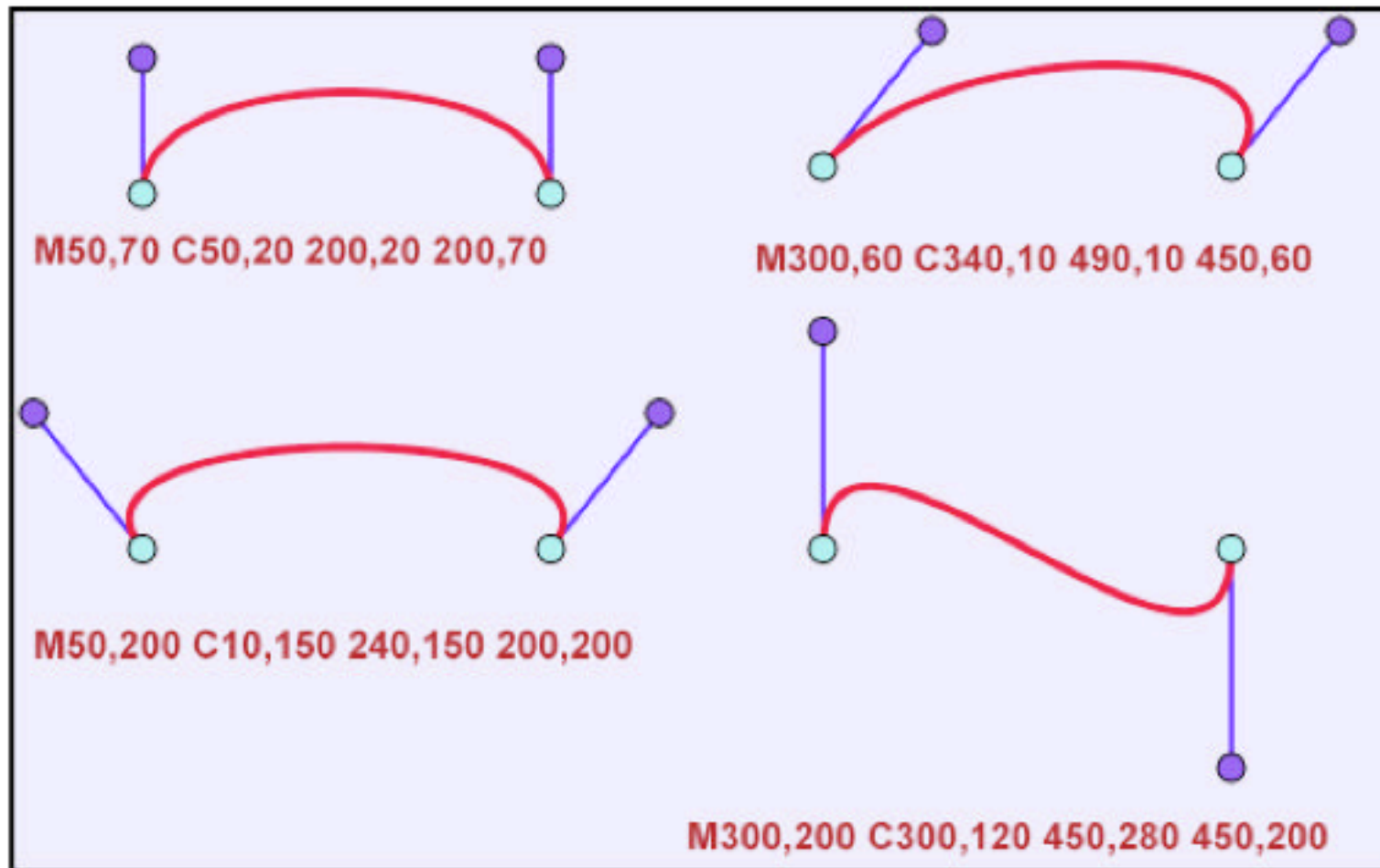
- *Pfad* bedeutet eine Folge von Kommandos zum Zeichnen einer (offenen oder geschlossenen) Kontur
- Viele andere SVG-Tags (z.B. `<rect>`) sind Abkürzungen für Pfade
- Pfad-Syntax ist extrem knapp gehalten, um Speicherplatz bei der Übertragung zu sparen
 - Zusätzlich dürfen SVG-Dateien auch (verlustfrei) komprimiert werden (gzip)
- Pfad
 - besteht aus einer Folge (auch einelementig) von Pfadsegmenten
- Pfadsegment
 - Folge von Kommandos, bei denen das erste eine neue "aktuelle Position" bestimmt ("M" = "Move to", "L" = "Line to")
- Beispiel (ein Dreieck):
`<path d="M 0 0 L 100 0 L 50 100 z">`

Pfad-Kommandos (Auswahl)

Kommando	Wirkung	Parameter
M	Startpunkt festlegen	x, y
L	Gerade Linie zum angegebenen Punkt	x, y
H	Horizontale Linie bis x	x
V	Vertikale Linie bis y	y
Z	Gerade Linie zurück zum Startpunkt	--
Q	Quadratische Bezier-Kurve	cx, cy, x, y
C	Kubische Bezier-Kurve	c1x, c1y, c2x, c2y, x, y
A	Elliptischer Kurvenbogen	...

Kleinbuchstaben-Versionen der Kommandos:
relative statt absolute Koordinaten

Kubische Bezier-Kurven in SVG

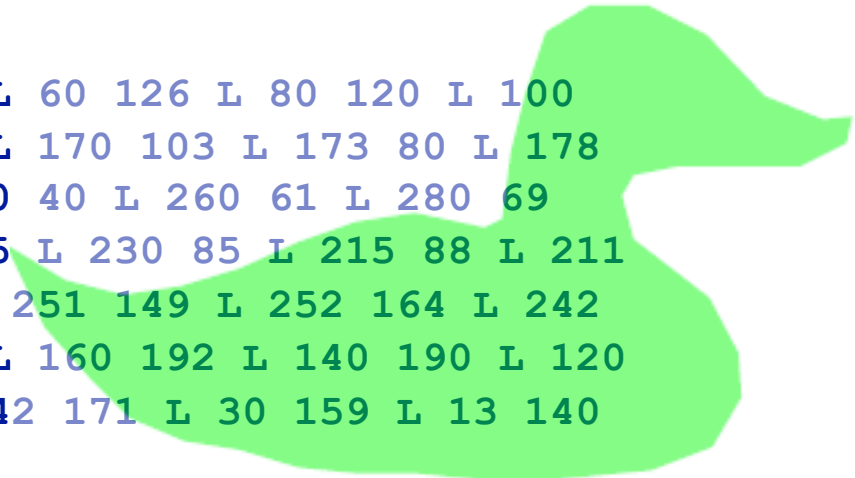


Aus: D.Duce, I.Herman, B.Hopgood: SVG Tutorial

Beispiele für Pfade

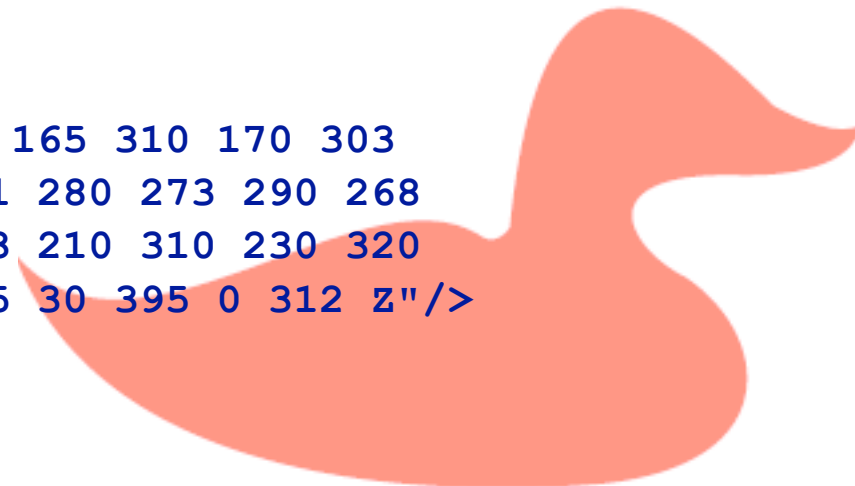
- Entenumriss mit Linien (43 Punkte):

```
<path d="M 0 112 L 20 124 L 40 129 L 60 126 L 80 120 L 100  
111 L 120 104 L 140 101 L 164 106 L 170 103 L 173 80 L 178  
60 L 185 39 L 200 30 L 220 30 L 240 40 L 260 61 L 280 69  
L 290 68 L 288 77 L 272 85 L 250 85 L 230 85 L 215 88 L 211  
95 L 215 110 L 228 120 L 241 130 L 251 149 L 252 164 L 242  
181 L 221 189 L 200 191 L 180 193 L 160 192 L 140 190 L 120  
190 L 100 188 L 80 182 L 61 179 L 42 171 L 30 159 L 13 140  
z"/>
```



- Entenumriss mit Bezier-Kurven (25 Punkte)

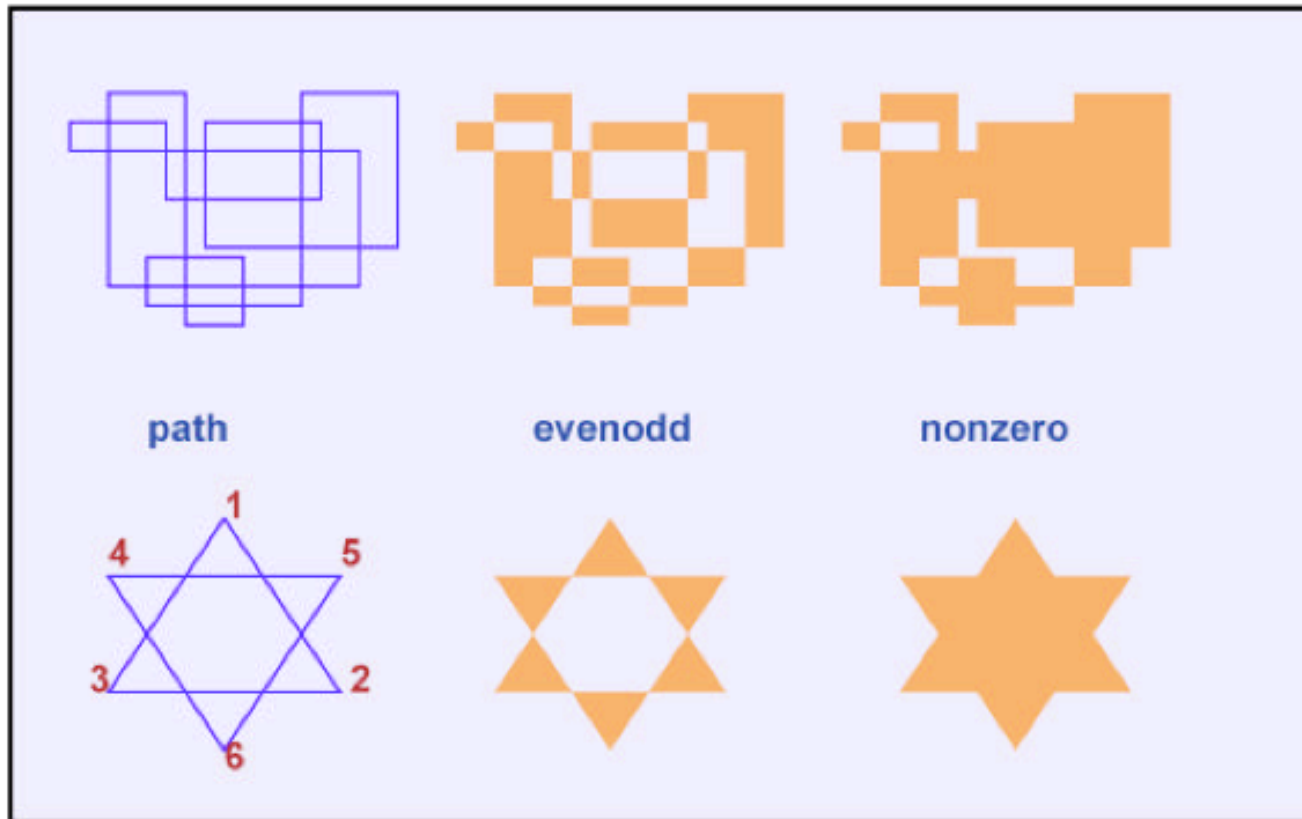
```
<path d="M 0 312  
C 40 360 120 280 160 306 C 160 306 165 310 170 303  
C 180 200 220 220 260 261 C 260 261 280 273 290 268  
C 288 280 272 285 250 285 C 195 283 210 310 230 320  
C 260 340 265 385 200 391 C 150 395 30 395 0 312 z"/>
```



bezierduck.svg

Füllregeln

- Bei komplexen Pfaden:
Was ist "innen", was ist "außen", wenn Konturlinie sich selbst überschneidet?



Füllregeln
(Attribut
fill-rule)

(siehe nächste Folie)

Füllregeln: Evenodd und Nonzero

- Zur Bestimmung, ob ein Punkt „innen“ oder „außen“ liegt:
 - Ziehe einen Strahl vom betrachteten Punkt bis ins unendliche (in beliebiger Richtung)
 - Schnittpunkte des Strahls mit dem Pfad der Form bestimmen „innen“ und „außen“ je nach Füllregel



- Füllregel **evenodd**:

- Zähle die Anzahl der Schnittpunkte des Strahls mit dem Pfad
- Bei ungerader Anzahl ist der Punkt „innen“, bei gerader Anzahl ist der Punkt „außen“



- Füllregel **nonzero**:

- Immer wenn:
 - » Pfad schneidet Strahl von links nach rechts, dann zähle +1
 - » Pfad schneidet Strahl von rechts nach links, dann zähle -1
- Ist die Summe 0, dann ist der Punkt „außen“, sonst „innen“

Text

- **<text>**
 - Platzierung von Text auf der Leinwand
 - Koordinaten-Attribute x und y: Linke untere Ecke des ersten Buchstabens
 - Schrift, Größe usw. über Attribute oder Stylesheet
- **<tspan>**
 - Untergruppe von Text in einem **<text>**-Element
 - Einheitliche Formatierung (wie **** in HTML)
 - Relative Position zur aktuellen Textposition: Attribute **dx** und **dy**
 - » Typisches Beispiel für "Zeichenstift-Metapher"
- **Spezialeffekte**
 - Drehen einzelner Buchstaben (**rotate**-Attribut)
 - Text entlang eines beliebigen Pfades (**<textpath>**-Element)
 - Hinweis: Derzeit (2011) in Firefox nicht implementiert

Text in SVG: Beispiel

```
<text x="50" y="20" style="font-size:20pt">  
  <tspan x="50" dy="30">Mehrzeiliger Text:</tspan>  
  <tspan x="50" dy="30">Zeilenabstand mit  
    dy-Attribut.</tspan>  
  <tspan x="50" dy="30" style="font-weight:bold;  
    font-style:italic">Lokale Stiländerungen</tspan>  
</text>  
<text x="50" y="150" style="font-size:28">  
  <tspan rotate="10 20 30 20 10 20 20">  
    Verdreht</tspan>  
</text>
```

Mehrzeiliger Text:

Zeilenabstand mit dy-Attribut.

Lokale Stiländerungen

Verdreht

basictext.svg

Grundformen von Grafikelementen

- Alle SVG-Grafikelemente sind aus Pfaden und Text ableitbar.
- Zusätzliche häufig verwendete Elemente (Kurzformen):

Elementname	Bedeutung	Attribute
<line>	Linie	x1, y1: Erster Punkt x2, y2: Zweiter Punkt
<polyline>	Folge zusammenhängender Linien	points: Folge von x, y
<polygon>	Polygon	points: Folge von x, y
<rect>	Rechteck	x, y: Linke obere Ecke width: Breite, height: Höhe rx, ry: Radien der Ecken
<circle>	Kreis	cx, cy: Zentrum, r: Radius
<ellipse>	Ellipse	cx, cy: Zentrum rx, ry: Radien

Beispiel: SVG-Grafikelemente

```
<rect x="20" y="20" width="100" height="100" rx="10" ry="10" fill="red" stroke="none"/>
```

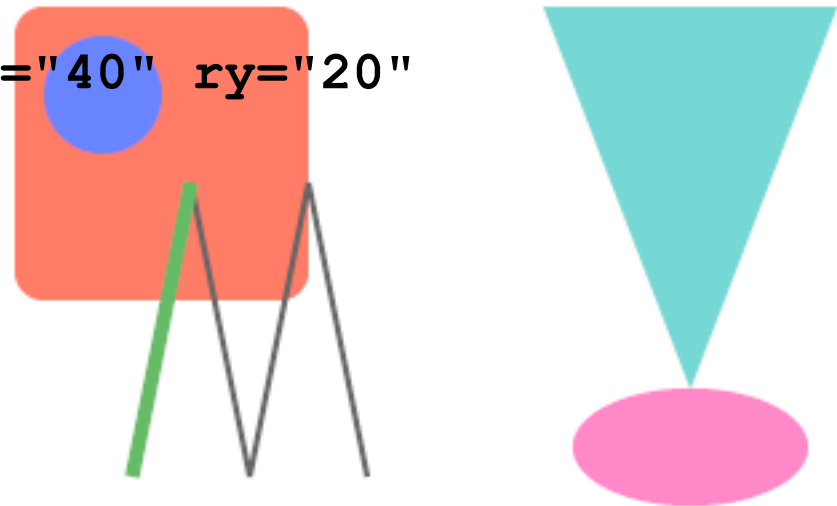
```
<circle cx="50" cy="50" fill="blue" r="20"/>
```

```
<polyline points="80,80 100,180 120,80 140,180" fill="none" stroke="black" stroke-width="2"/>
```

```
<line x1="80" y1="80" x2="60" y2="180" stroke="green" stroke-width="5"/>
```

```
<polygon points="200,20 300,20 250,150" fill="lightseagreen"/>
```

```
<ellipse cx="250" cy="170" rx="40" ry="20" fill="deeppink"/>
```



basicshapes.svg

Gruppierung und Transformationen

- Gruppe:
 - Grafische Elemente, die eine Einheit bilden und in ihrer relativen Position zueinander erhalten bleiben sollen
 - Sinnvoll,
 - » um einheitliche Attributdefinitionen für die Gruppe festzulegen
 - » um die Gruppe als Gesamteinheit zu verschieben, drehen etc.
 - SVG-Tag `<g>`
- Transformationen:
 - Verschieben (*translate*), drehen (*rotate*), verzerren (*skew*) oder vergrößern/verkleinern (*scale*)
 - Prinzipiell anwendbar auf einzelne Elemente, aber v.a. sinnvoll bei Gruppen
 - SVG-Attribut **transform**
 - » Namen für Werte siehe englische Bezeichnungen oben (bei skew zwei Varianten **skewX** und **skewY**)
 - » jeweils passende Parameter, z.B. **translate(200, 200)**

Clipping

- *Clipping* bedeutet, aus einem Grafikelement einen Teil „auszustanzen“, der einem anderen gegebenen Grafikelement (dem *Clip-Path*) entspricht.
- Clipping in SVG (Beispiel):

```
<clipPath id="myclip">  
  <circle cx="250" cy="150" r="150"/>  
</clipPath>  
<g clip-path="url(#myclip)">  
  <rect width="500" height="100"  
    x="0" y="0" fill="black"/>  
  <rect width="500" height="100"  
    x="0" y="100" fill="red"/>  
  <rect width="500" height="100"  
    x="0" y="200" fill="gold"/>  
</g>
```



Links in SVG und XLink

- Links in SVG funktionieren exakt wie in HTML (anchor tag)
- Beispiel externer Link zu HTML-Dokument:

```
<a xlink:href="http://www.mimuc.de">  
  <circle cx="50" cy="50" fill="blue" r="20"/>  
</a>
```

- Die verwendete Syntax (Namensraum `xlink`) entspricht dem *XLink*-Standard des W3C für Links in beliebigen XML-Dokumenten.
 - `http://www.w3.org/1999/xlink`
- Der Namensraum muss deklariert werden, z.B. so:

```
<svg xmlns=http://www.w3.org/2000/svg  
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" ... >
```
- Details zu Namensräumen siehe nächste Vorlesung!
- Hinweis: Nicht zu verwechseln mit der URI-Syntax (*XPointer*-basiert), z.B. bei Bezug auf Clipping-Pfad

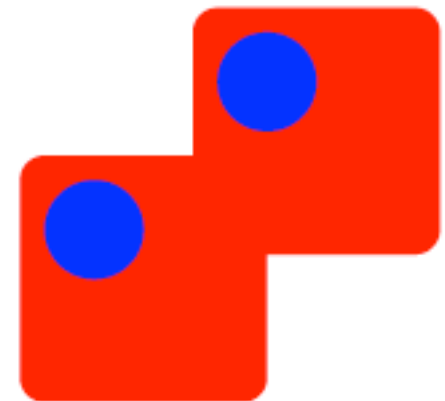
Symbole und ihre Verwendung

- Man kann in SVG zur wiederholten Verwendung geeignete Symbole definieren (`<symbol>`) und viele Exemplare desselben Symbols erzeugen (`<use>`).

- Beispiel:

```
<symbol id="sym1">  
  <rect x="20" y="20" width="100" height="100"  
    rx="10" ry="10" fill="red" stroke="none"/>  
  <circle cx="50" cy="50" fill="blue" r="20"/>  
</symbol>  
<use xlink:href="#sym1" x="80" y="10"/>  
<use xlink:href="#sym1" x="10" y="70"/>
```

- Das `use`-Element benutzt die gleiche XLink-Syntax wie das `a`-Element (Anker)
 - Verweise auf Symbole über die aus HTML bekannte Syntax für Dokumentfragmente (`#xyz`)



Animationen in SVG

- SVG-Objekte können zeitabhängig verändert werden:
 - Interpolation von Attributwerten
 - `animate`, `animateTransform`, `animateMotion`, `animateColor`, ...
- Zeitangaben zu Dauer, Anfang, Ende:
 - `dur`, `begin`, `end`
- Beispiel `animateTransform`:
 - `type`-Attribut: Art der Transformation (`rotate`, `scale`, ...)
 - `values`-Attribut: Wertebereich des zu verändernden Parameters (Startwert, Zwischenwerte, Endwert)

Beispiel: Einfache Animation in SVG



```
<defs>
  <g id="fig" fill="darkgreen">
    <circle cx="82" cy="27" r="25" />
    <path d="M 157,162 C 92,60 98,58 74,57 ... z " />
  </g>
</defs>

<use xlink:href="#fig" opacity="0.1" />

<use xlink:href="#fig" opacity="0.2" x="30" >
  <animate attributeName="x" begin="0s" dur="2s" from="0" to="30"
    fill="freeze"/>
</use>

<use xlink:href="#fig" opacity="0.3" x="60" >
  <animate attributeName="x" begin="0s" dur="3s" from="0" to="60"
    fill="freeze"/>
</use>

<use xlink:href="#fig" opacity="0.5" x="90" >
  <animate attributeName="x" begin="0s" dur="4s" from="0" to="90"
    fill="freeze"/>
</use>
...
```

[Animated-runner.svg](#) (von Wikimedia)

10. Vektorgrafik

- 10.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik
- 10.2 2D-Vektorgrafik mit SVG
- 10.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit X3D



Literatur:

Jörg Kloss: X3D - Programmierung interaktiver 3D-Anwendungen für das Internet, Addison-Wesley 2010

<http://www.x3dom.org>

3D-Vektorgrafik

- Objekte als Punktwolken im dreidimensionalen Raum
- Grundprinzipien wie bei 2D-Vektorgrafik, jedoch zusätzlich:
 - 2D-Projektion zur Darstellung:
 - » Kamera in 3D-Welt
 - » Perspektive
 - » Verdeckung
 - Oberflächeneigenschaften von Objekten
 - Beleuchtungsquellen
- Rendering von 3D-Objekten
 - Als Drahtmodell oder Polygonmodell
 - Berechnung von Schattierung abhängig vom Lichteinfall

Virtual Reality Modeling Language VRML

- Beispiel einer Sprache für 3D-Grafikdokumente
- Skriptsprache und Austauschformat zur Beschreibung von 3D-Welten
 - Auf den Einsatz im Internet ausgelegt
 - Vektor-Grafikformat
- Klassisches VRML hat *keine* HTML-artige (XML-)Syntax!
 - 1997: VRML wird Internationaler Standard ISO-14772
 - » Meist als „VRML 97“ bezeichnet, weitgehend identisch zu VRML 2.0
 - Dateiextension:
 - » .wrl (wie „world“) und .wrz (= .wrl.gz komprimierte Variante)
 - Mäßige praktische Verbreitung
 - » Verschiedene proprietäre Formate häufig genutzt
- Nachfolger von VRML: „X3D“ ist XML-Sprache

Beispiel einer X3D-Szene

```
<X3D
  xmlns=
    "http://www.web3d.org/specifications/x3d-namespace"
  x="0px" y="0px"
  width="400px" height="400px">
  <Scene>
    <Viewpoint position='0 0 10' />
    <Shape>
      <Appearance>
        <Material diffuseColor='1.1 0 0.5' />
      </Appearance>
      <Box DEF='box' />
    </Shape>
  </Scene>
</X3D>
```

x3d/box0.xhtml

Beispiel: Einfacher Szenegraph

```
<X3D ...>
  <Scene>
    <Background skyColor='1 1 1' />
    <Transform DEF="coneTrafo" translation="-4.5 0 0">
      <Shape DEF="coneShape">
        <Appearance DEF="coneApp">
          <Material diffuseColor="0 1 0" specularColor=".5 .5 .5" />
        </Appearance>
        <Cone DEF="cone" />
      </Shape>
    </Transform>
    <Transform DEF="boxTrafo" translation='-1.5 0 0'>
      <Shape DEF="boxShape">
        <Appearance DEF="boxApp">
          <Material diffuseColor="1 0 0" specularColor=".5 .5 .5" />
        </Appearance>
        <Box DEF="box" />
      </Shape>
    </Transform>
    ...
  </Scene>
</X3D>
```

x3d/scene.xhtml

Animationen in X3D

Animationen in VRML/X3D:

- “Sensor”-Objekte erzeugen Ereignisse (z.B. zeitbezogen)
- “Route”-Einträge vermitteln zwischen Ereignissen und ihrer Behandlung
- “Interpolator”-Objekte können Werte in passende Zwischenwerte einer anderen Skala umrechnen

```
<TimeSensor
  DEF='Direct01-TIMER' cycleInterval='4.333' loop='true' />
<ROUTE fromNode='Direct01-TIMER'
  fromField='fraction_changed' toNode='Bracket-ROT-INTERP'
  toField='set_fraction' />
<OrientationInterpolator DEF='Bracket-ROT-INTERP'
  key='0 0.3846 0.4 ... 0.5385'
  keyValue='1 0 0 ... 0' />
```

[x3d/anim.xhtml](#)