

# 8. Vektorgrafik

- 8.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik
- 8.2 2D-Vektorgrafik mit SVG
- 8.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit VRML



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

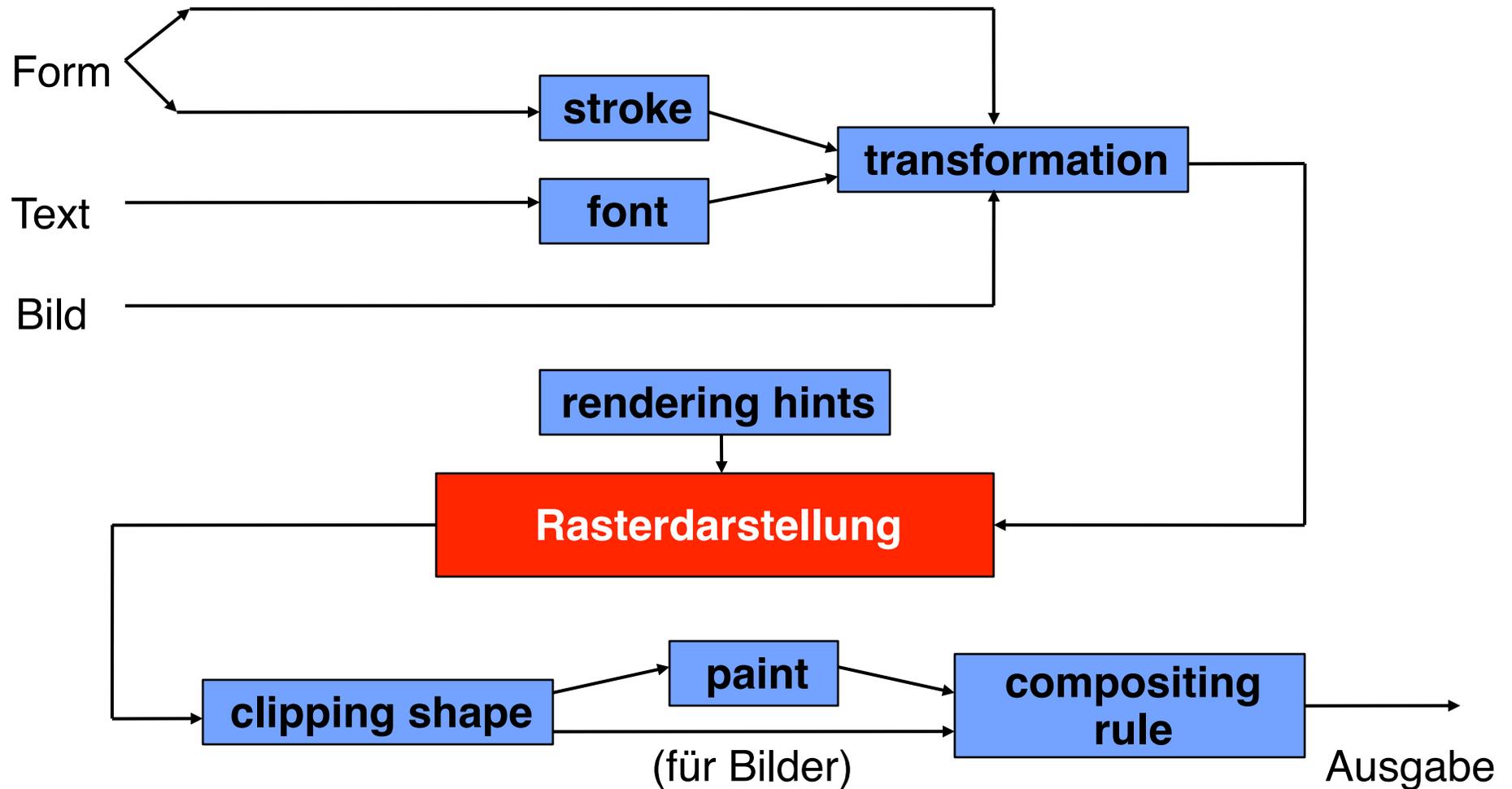
# Rendering

- *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

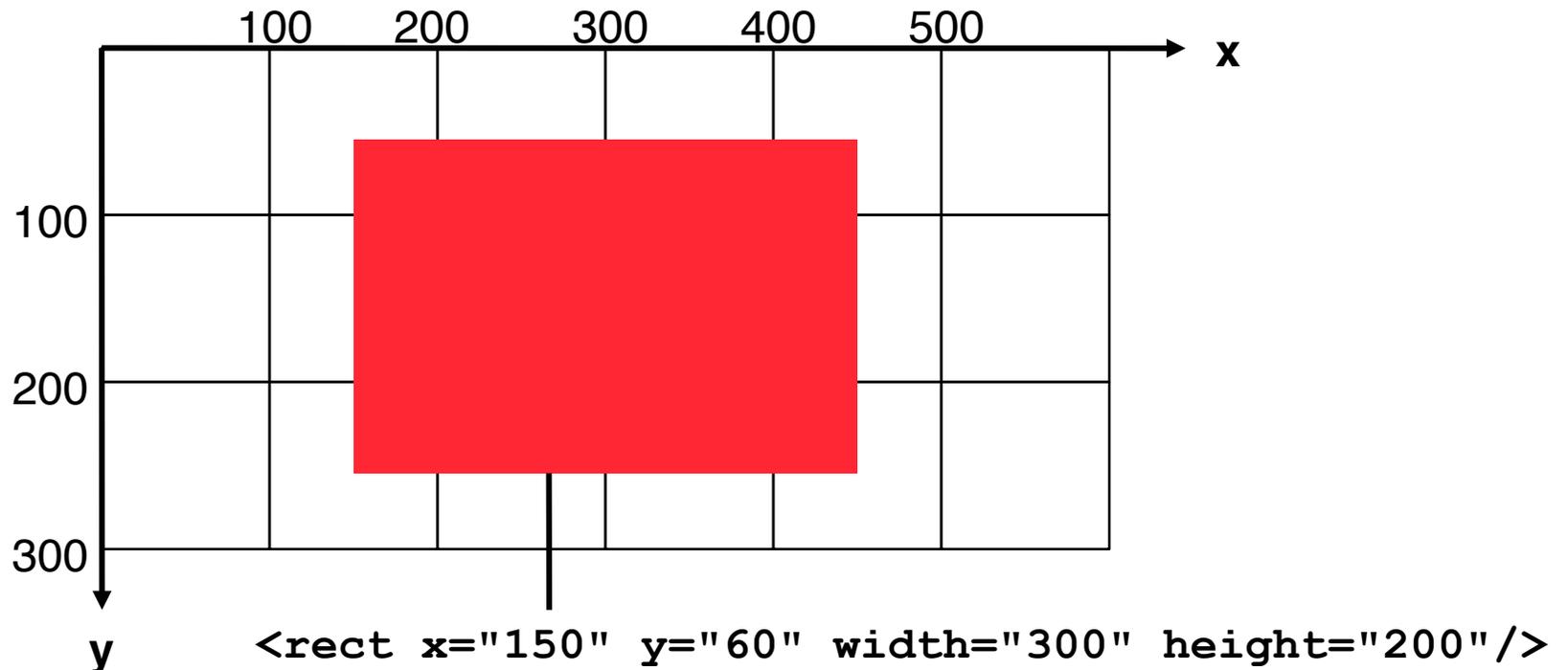
- Jedes primitive Grafikobjekt hat eigene Parameter, die die Darstellung beeinflussen:
  - Form (*shape*): Ecken, Platzierung etc.
  - Text: Textinhalt
  - (Bitmap-)Bild (*image*): Bildinhalt
- Weitere Parameter werden erst in der Rendering Engine festgelegt und beeinflussen ebenfalls die Darstellung:
  - 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)
  - Zuschnitt (*clipping*): Bestimmung eines darzustellenden Ausschnitts
  - *Rendering hints*: Spezialtechniken zur Darstellungsoptimierung

# 2D 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



# 8. Vektorgrafik

- 8.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik
- 8.2 2D-Vektorgrafik mit SVG 
- 8.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit VRML

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
  - *SVG 1.1 Second Edition* (errata correction) im August 2011 verabschiedet
- Pläne für SVG 1.2 aufgegeben, SVG 2.0 stärker mit HTML5 integriert

# Grundstruktur einer SVG-Datei

- SVG-Syntax gehört zur Familie der **XML**-Sprachen
  - Mehr zu XML in der nächsten Vorlesung
- Grundidee: Syntax sehr ähnlich zu HTML
- Spezieller Vorspann, dann Hauptelement `<svg>`

```
<?xml version="1.0" encoding="ISO-8859-1" ?>
<!DOCTYPE svg PUBLIC "-//W3C//DTD SVG 20010904//EN"
  "http://www.w3.org/TR/2001/REC-SVG-20010904
  /DTD/svg10.dtd">
<svg xmlns="http://www.w3.org/2000/svg"
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink">
```

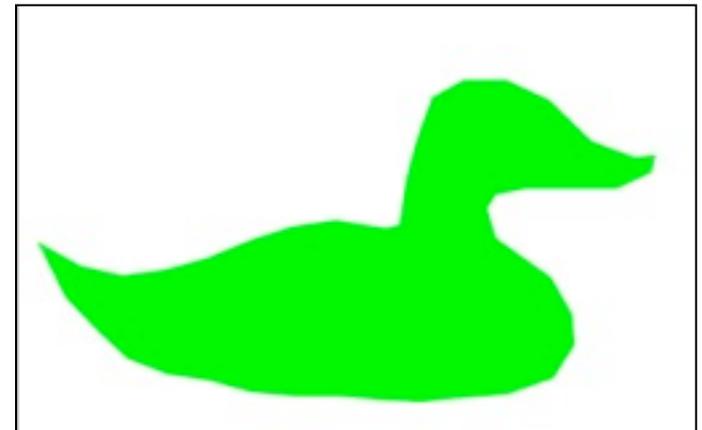
*... SVG-Inhalte ...*

```
</svg>
```

Hinweis: Syntax von SVG 1.1 und 1.0 identisch, deshalb hier 1.0.

# 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 180 193 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"/>  
    </g>  
  </g>  
</svg>
```



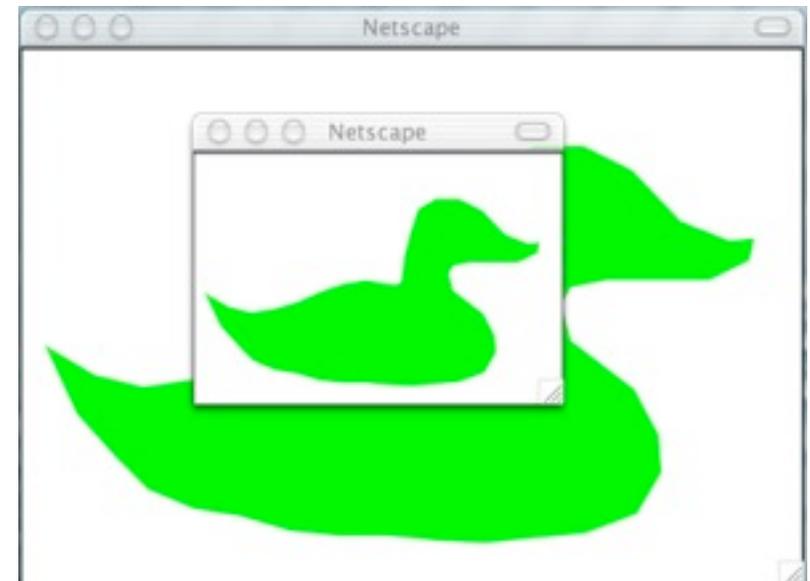
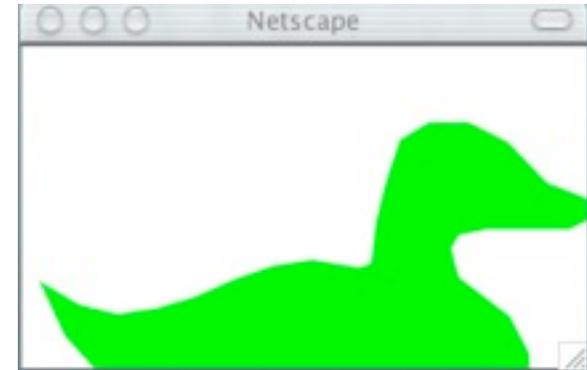
start.svg

# Software zur Darstellung und Erzeugung von SVG

- Direkte Browserunterstützung:
  - Firefox, Safari, Opera, Chrome
  - **nicht** in Internet Explorer
  - Diverse Plugins für Internet Explorer, z.B.:
    - » Adobe SVG Viewer (nicht weiterentwickelt), Google Chrome Frame
- 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
- 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

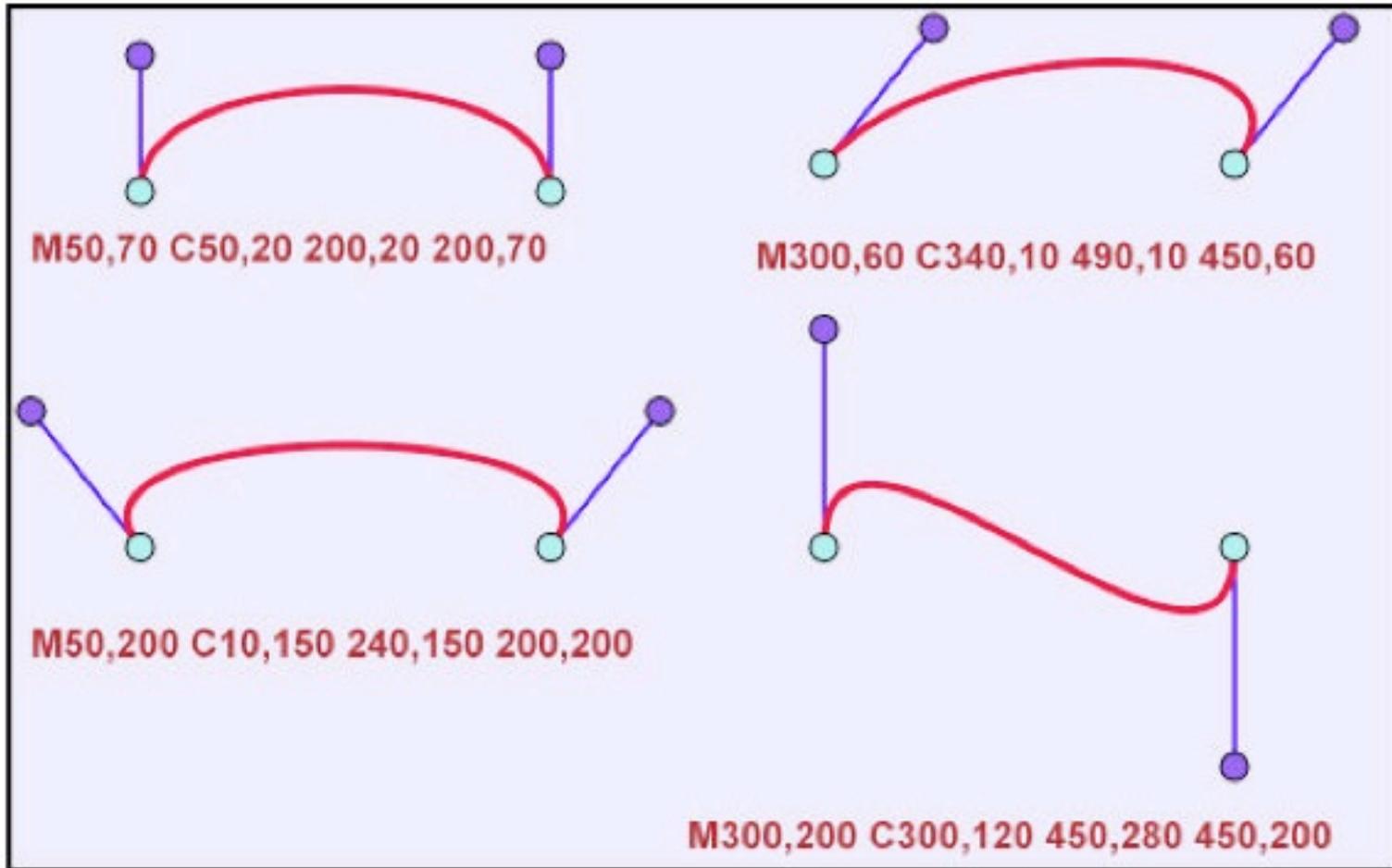
- *Pfad* bedeutet eine Folge von Kommandos zum Zeichnen einer (offenen oder geschlossenen) Kontur
- Viele andere SVG-Tags (z.B. `<rect>`) sind Abkürzungen für Pfade
- Pfad-Syntax ist extrem knapp gehalten, um Speicherplatz bei der Übertragung zu sparen
  - Zusätzlich dürfen SVG-Dateien auch (verlustfrei) 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"/>
```

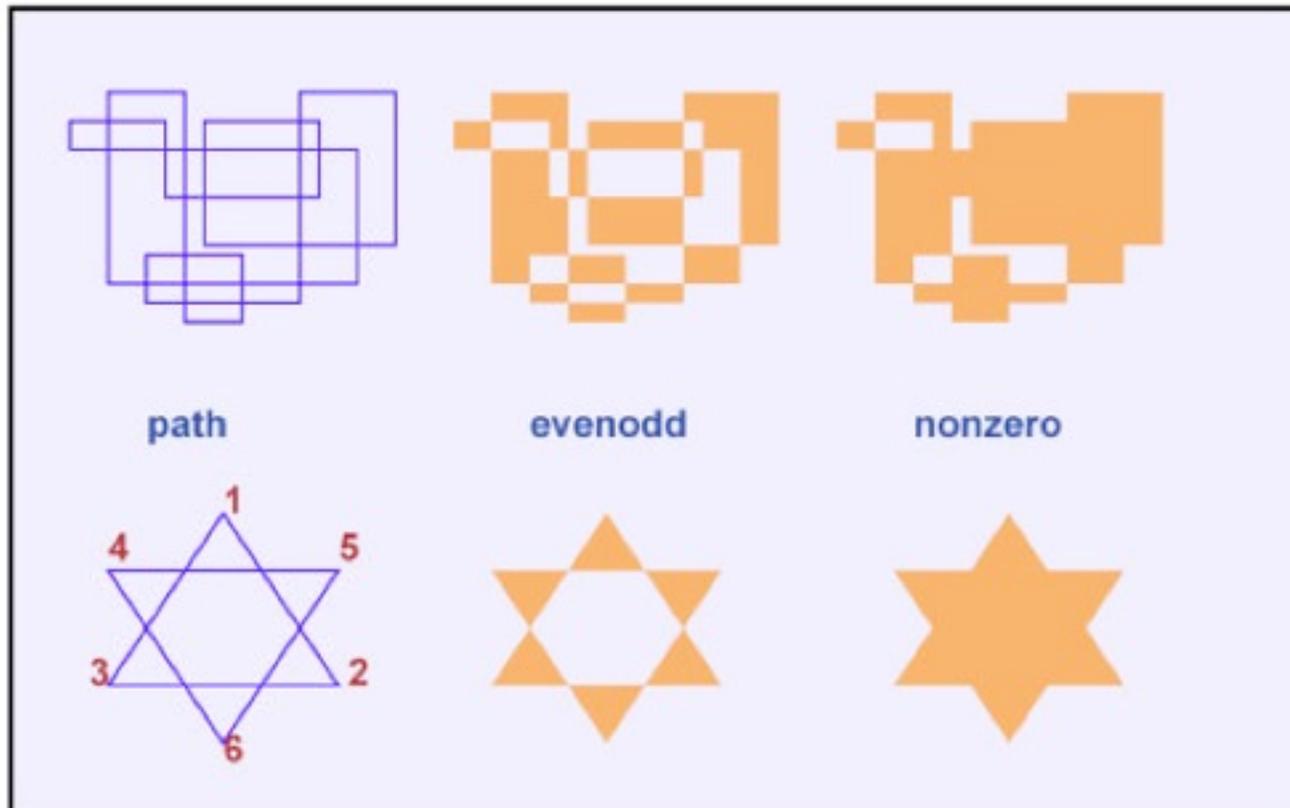
- Entenumriss mit Bezier-Kurven (25 Punkte)

```
<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

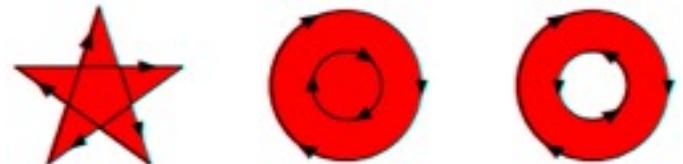
- Füllregel **evenodd**:

- 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 `<span>` 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)

# 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*

# 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"/>
```



# 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:

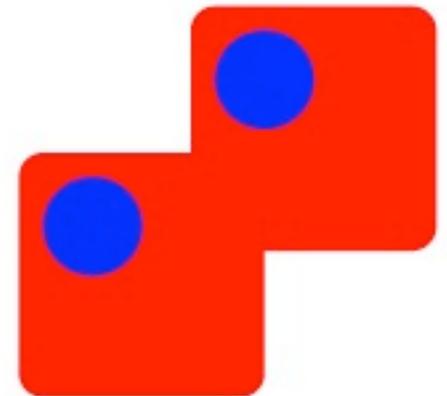
```
<svg xmlns=http://www.w3.org/2000/svg  
  xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink" ... >
```
- Details zu Namensräumen siehe nächste Vorlesung!
- Hinweis: Nicht zu verwechseln mit der URI-Syntax (*XPointer*-basiert), z.B. bei Bezug auf Clipping-Pfad

# 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)

# 8. Vektorgrafik

8.1 Basisbegriffe für 2D-Computergrafik

8.2 2D-Vektorgrafik mit SVG

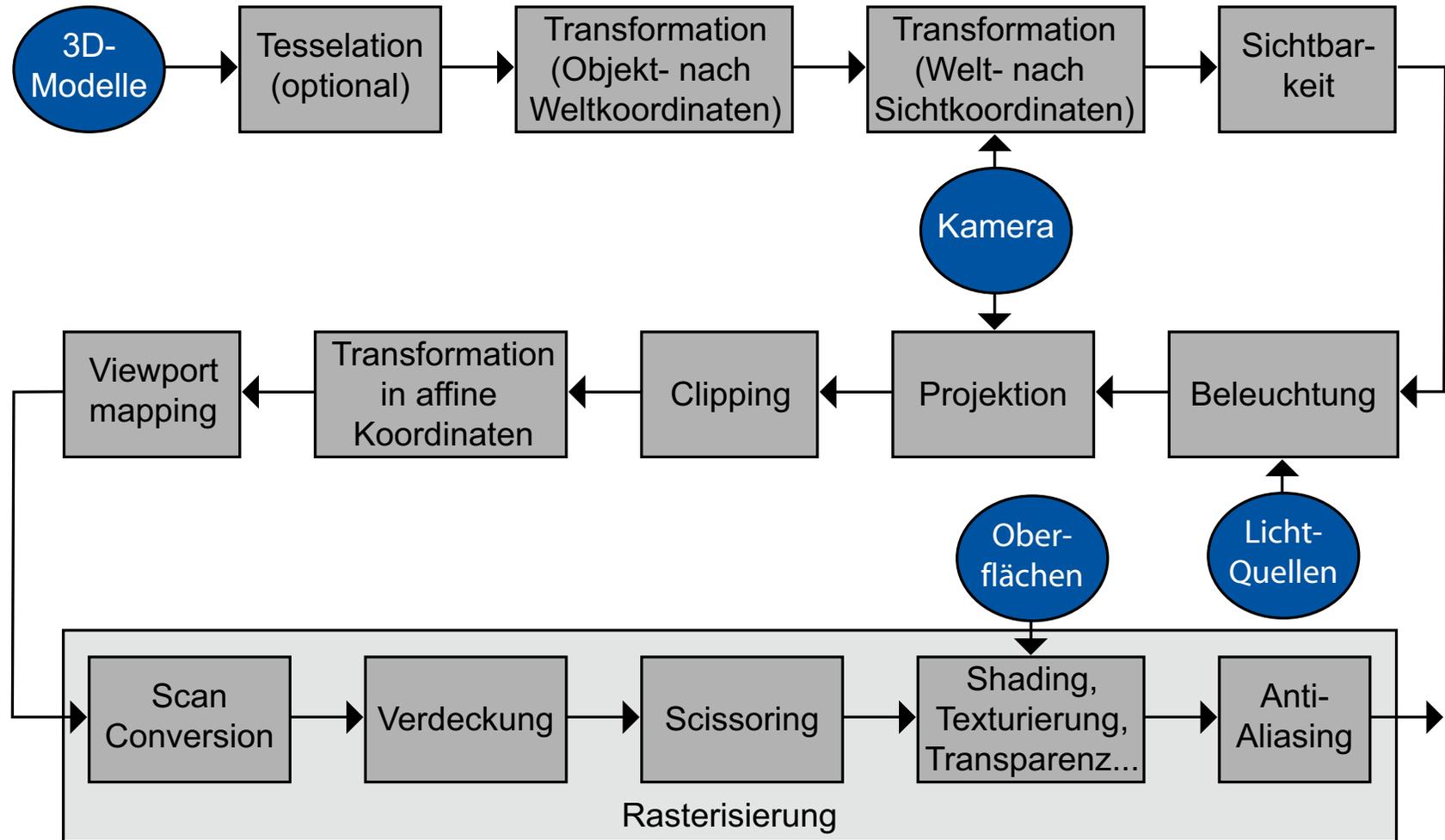
8.3 Ausblick: 3D-Computergrafik mit VRML



# 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
- Eigene Vorlesung im 4. Semester: CG1

# 3D Rendering Pipeline (eine mögl. Variante)



# 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!
  - Nachfolger von VRML: „X3D“ ist XML-Sprache
  - 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

# Beispiel einer VRML-Szene

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

Shape {

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

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

box0.wrl

# 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"
}
```

scene0.wrl

# Beispiel: Animation in VRML (Würfeldrehung)

```
DEF RotCube Transform {
  children [
    Shape {
      appearance Appearance {
        diffuseColor 0 1.0 0
      }
      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
```

box1.wrl