10. Vektorgrafik

Weiterführende Literatur:

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

J. Jenkov: SVG Compressed, Jenkov Aps 2013, Kindle Edition (0.89 €)

http://www.w3schools.com/svg/

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

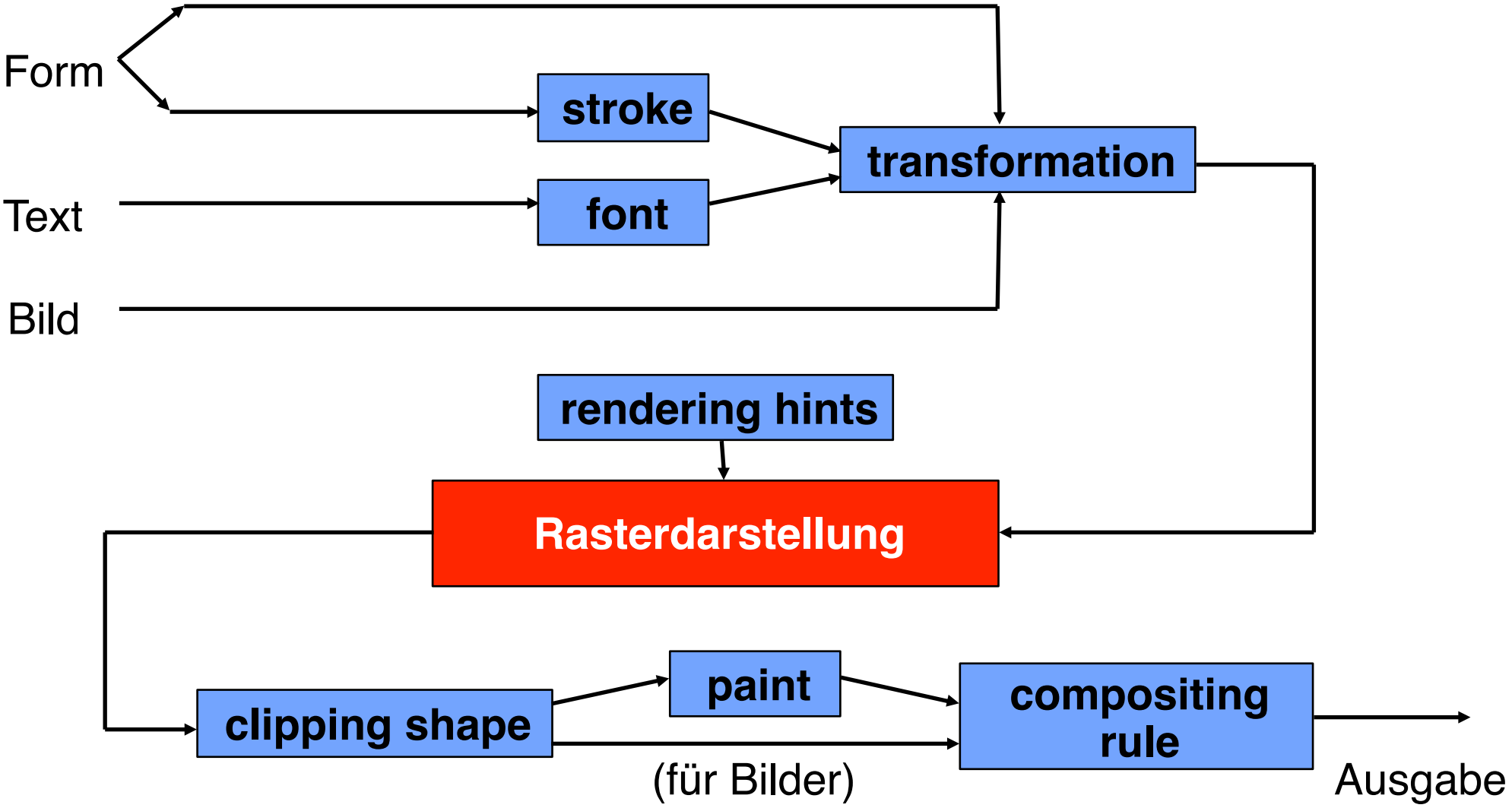
- *Rendering* ist die Umrechnung einer darzustellenden Information in ein Format, das auf einem Ausgabegerät in einer dem Menschen angemessener Form dargestellt werden kann.
- Rendering bei zweidimensionaler (2D-)Grafik:
  - Gegeben eine Ansammlung von Formen, Text und Bildern mit Zusatzinformation (z.B. 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

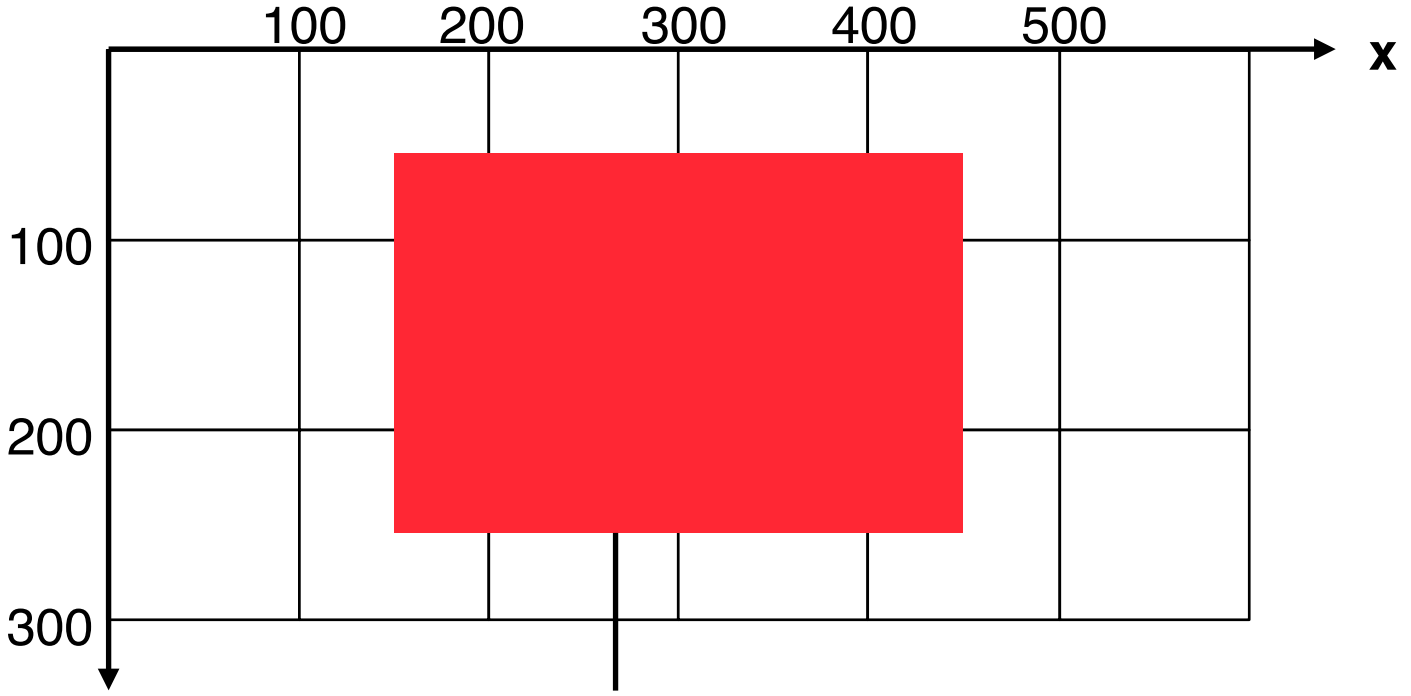
- Jedes primitive Grafikobjekt hat eigene Parameter, die die Darstellung beeinflussen:
  - Form *(shape)*: Ecken, Platzierung etc.
  - Text: Textinhalt
  - (Bitmap-)Bild *(image)*: Bildinhalt
- Weitere Parameter werden erst in der Rendering Engine festgelegt und beeinflussen ebenfalls die Darstellung:
  - 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

Rendering-Pipeline



Koordinaten

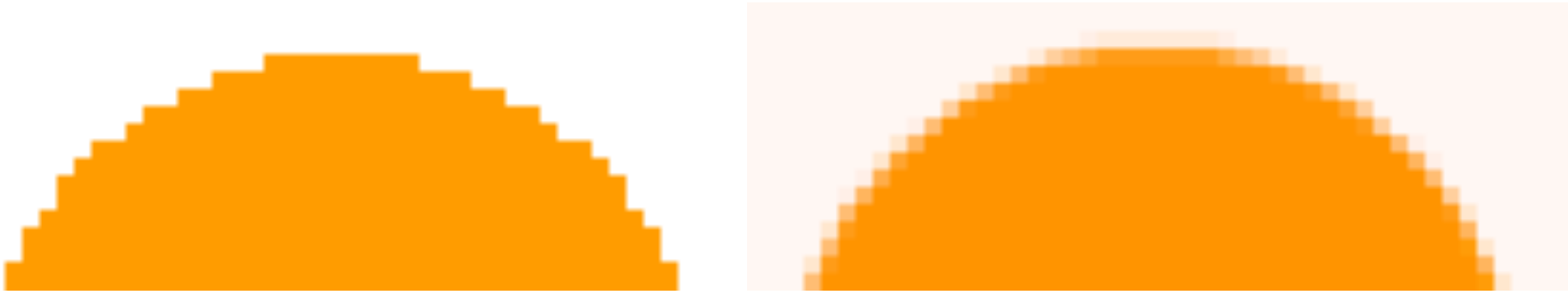
- Grafik entsteht auf einer unbegrenzt grossen Leinwand *(canvas)*
- Punkte werden mit x- und y-Koordinaten beschrieben
  - y-Achse bei 2D-Computergrafik nach ***unten***!
- Einfachste „Compositing“-Regel:
  Neue Elemente überdecken vorhandene




```
<rect x="150" y="60" width="300" height="200"/>
```

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
- SVG 2.0 (integriert mit HTML5) in Arbeit (Working Draft 11. Febr. 2014)

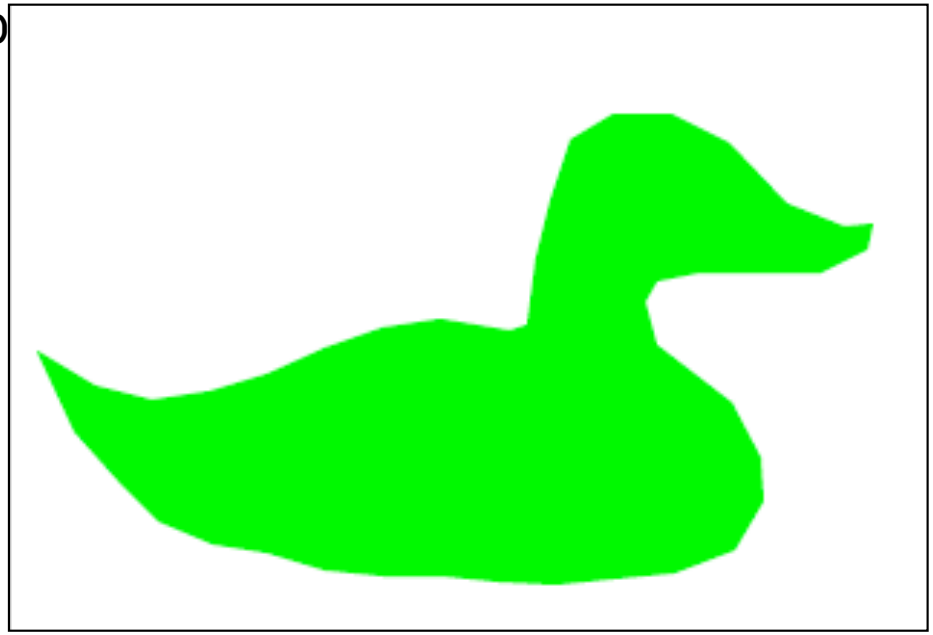
Grundstruktur einer SVG-Datei

- SVG-Syntax gehört zur Familie der **XML**-Sprachen
  - Siehe letzte Vorlesung
- Hauptelement **<svg>**
  - Namespace-Deklarationen:
    Für reine Grafikdateien SVG als Default-Namespace
- Moderne Browser unterstützen das **<svg>**-Element direkt
  (in HTML5-Code zulässiges Element)

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



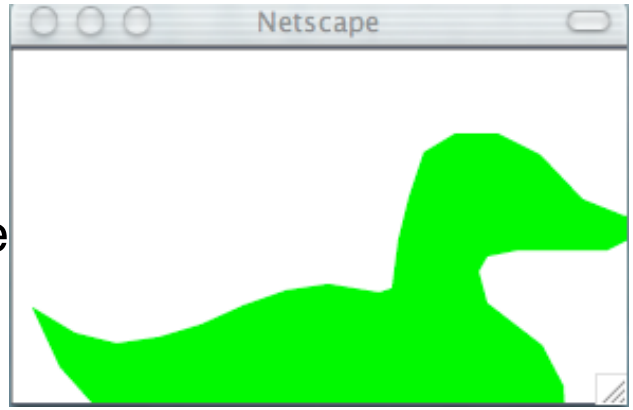
start.svg

Software zur Darstellung und Erzeugung von SVG

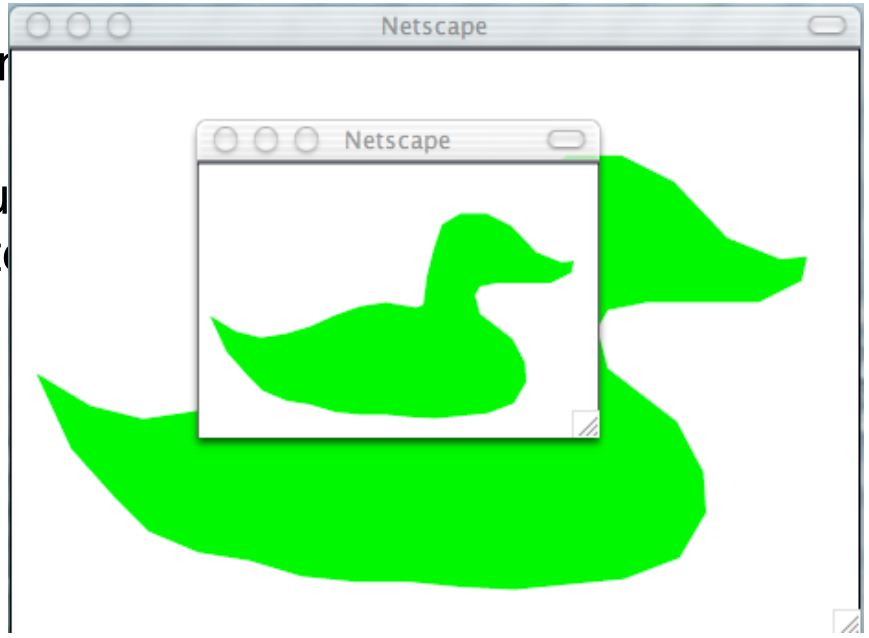
- Direkte Browserunterstützung:
  - Firefox, Safari, Opera, Chrome, Internet Explorer ab Version 9
- Früher: Spezialsoftware (Standalone Viewer)
- Vektorgrafik-Editoren mit SVG-Import und Export
  - z.B. Adobe Illustrator, CorelDraw
- SVG-orientierte Grafik-Editoren
  - z.B. Inkscape (Open Source), Sketsa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



- Größenangabe durch Sichtfenster *(viewBox)*:
  `<svg viewBox="0 0 320 220">`
  - Anforderung eines rechteckigen sichtbarer
    (*x-oben-links y-oben-links breite höhe*)
  - Grafik wird bei Verkleinerung /Vergrösseru
    (variable Abbildung der Bildpixel auf Darst



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):

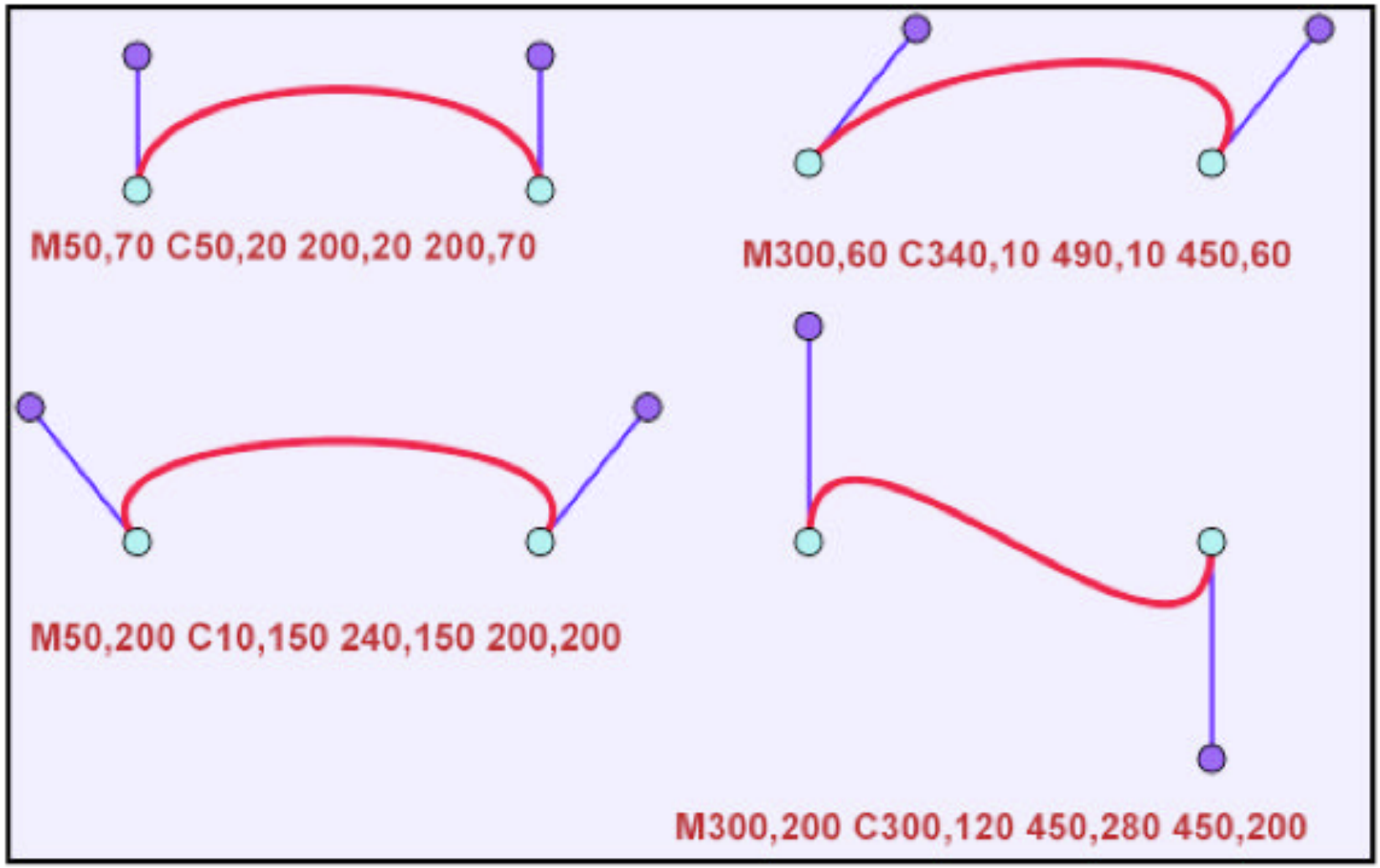
```
<path d="M 0 0 L 100 0 L 50 100 Z">
```

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 (arc)	rx, ry, xrot, lf,sf, x, y

- Kleinbuchstaben-Versionen der Kommandos: relative statt absolute Koordinaten
- Wiederholung des gleichen Kommandos: Kommando-Buchstabe weglassen

Kubische Bezier-Kurven in SVG

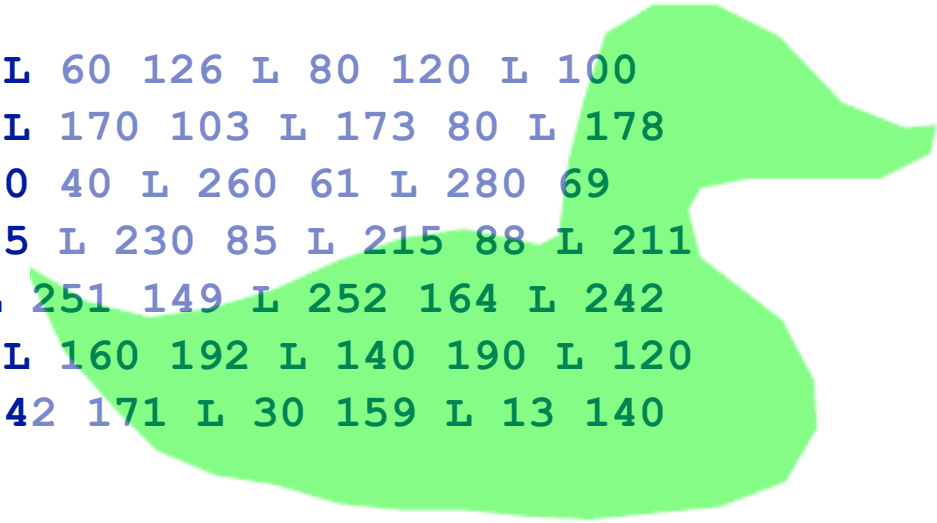


Aus: D.Duce, I.Herman, B.Hopgood: SVG Tutorial

Beispiele für Pfade

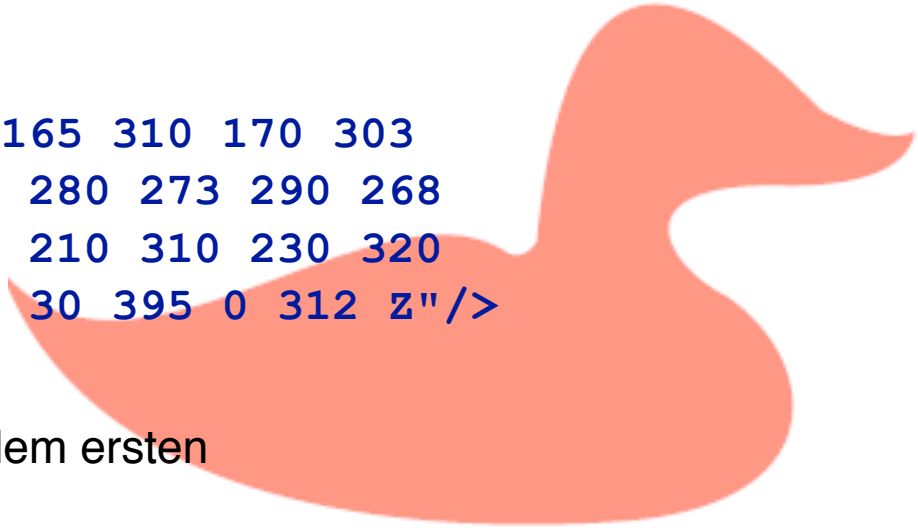
- Entenumriss mit Linien (43 Punkte):

```
<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"/>
```

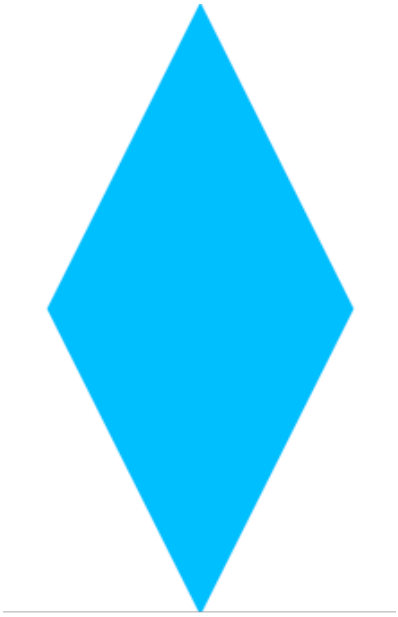


- Noch kürzer: Weglassen von allen „C" außer dem ersten

bezierduck.svg

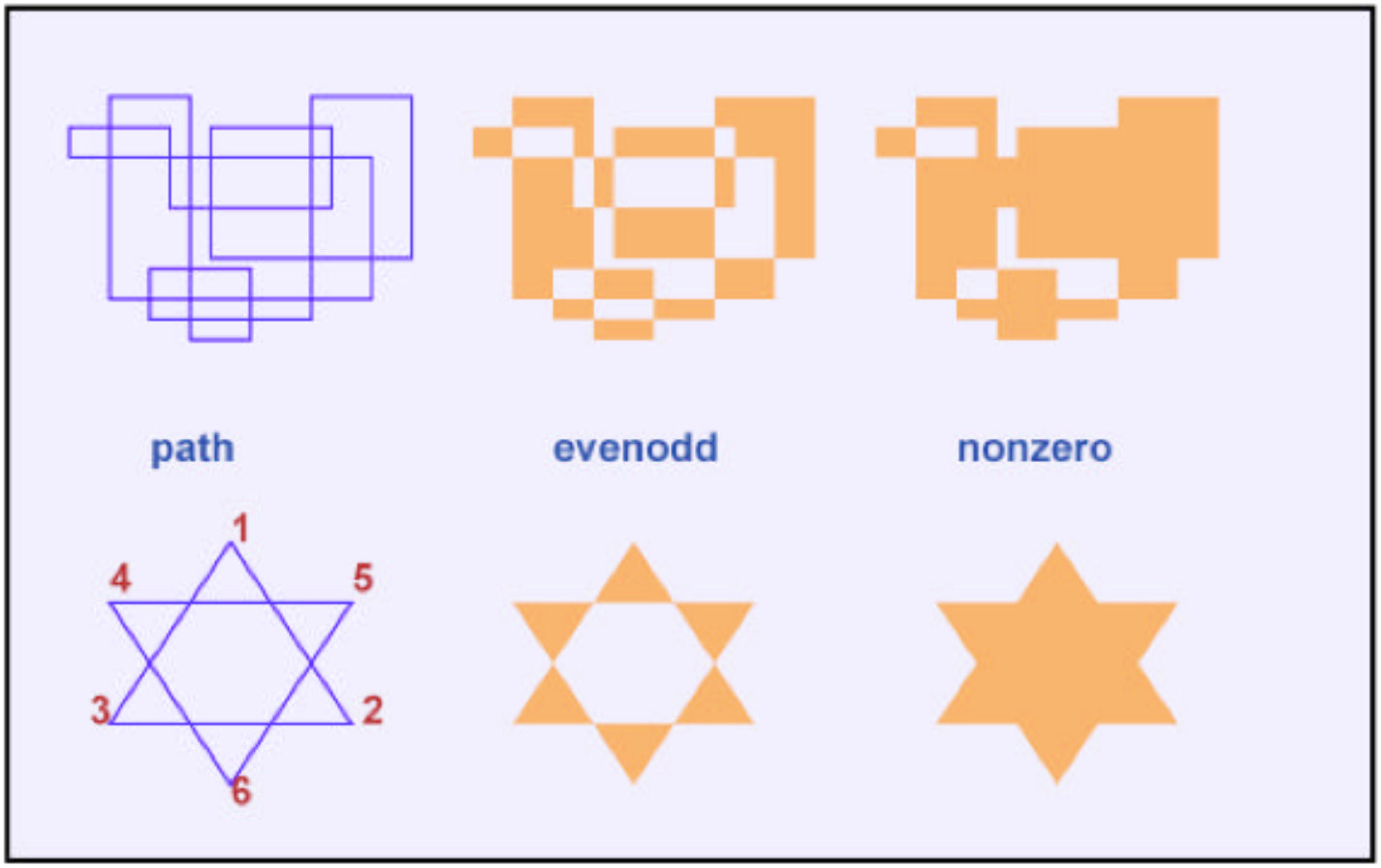
QUIZ

- Wie zeichnet man dieses Bild in SVG mit dem path-Element?



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“

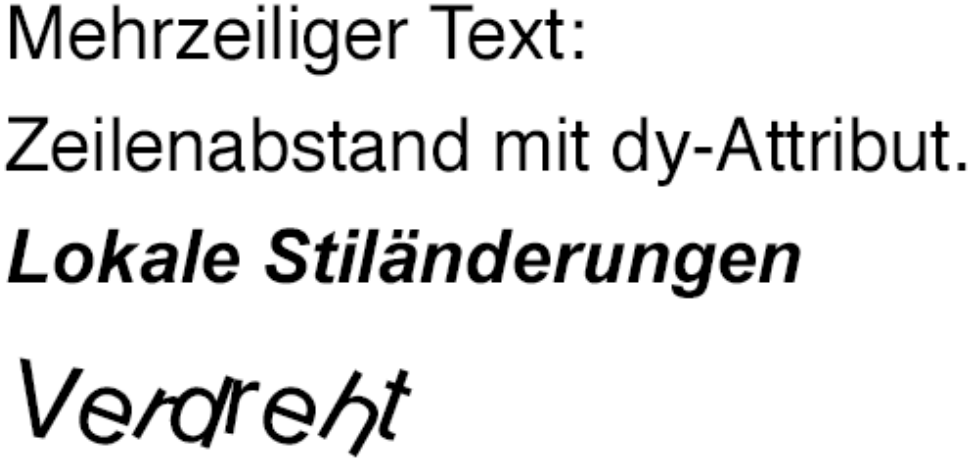
Text

- **`<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>
```



basictext.svg

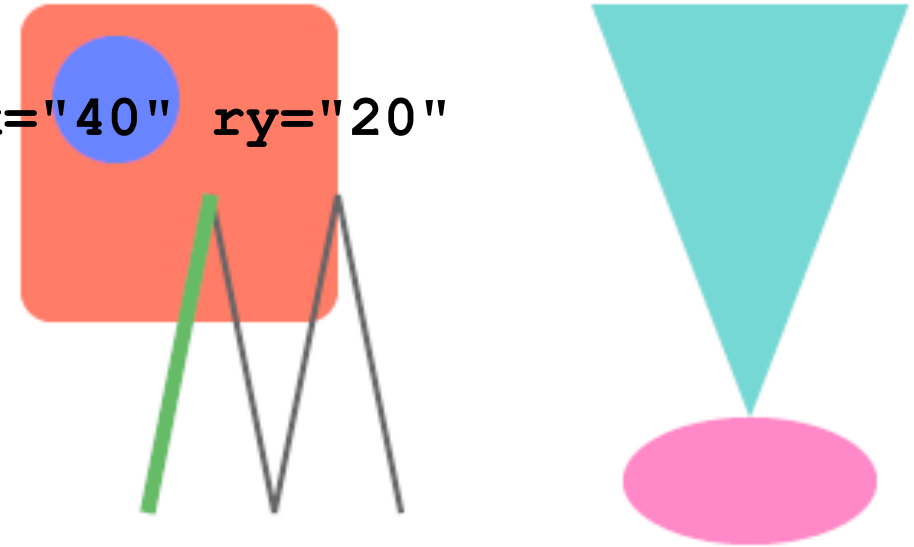
Grundformen von Grafikelementen

- 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

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

QUIZ

- Wie kann man die Raute aus dem ersten Quiz mit den SVG-Grafikelementen darstellen?

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 *(Affine 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`**, Werte in Grad)
    - » jeweils passende Parameter, z.B. **`translate(200, 200)`**

Beispiel zu Gruppierung und Transformationen

```
<g stroke="black" stroke-width="2" transform="rotate(30)">
   <rect
      x="0" y="0" width="100" height="100"
      rx="10" ry="10" fill="red"/>
   <circle cx="30" cy="30" r="20" fill="blue" />
</g>
```

- Mehrfache Transformationen:
  - Als Liste im **`transform`**-Attribut
  - Achtung, Reihenfolge: Von hinten nach vorne angewendet!
  - z.B. **`transform="rotate(45) translate(150,0)"`**
- Alternativ (leichter verständlich):
  Ein Gruppenelement für jede Transformation

grouping.svg

QUIZ

- Wie kann man die Raute aus dem ersten Quiz mit SVG darstellen und dabei folgende Regeln einhalten?
  - Als einziges Grafikelement wird ein Rechteck (rect) benutzt.
  - Es werden SVG-Transformationen angewendet.

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>
```

clipping.svg, clipping1.svg

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:

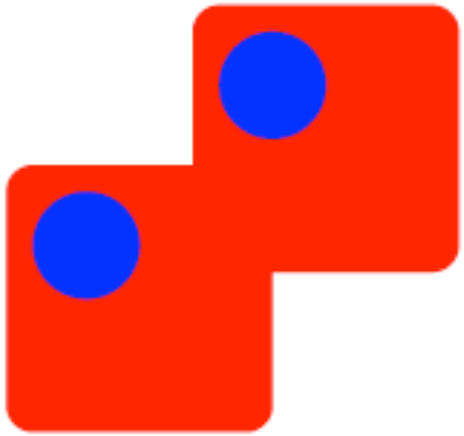
```
<svg xmlns=http://www.w3.org/2000/svg
     xmlns:xlink="http://www.w3.org/1999/xlink">
```

- Hinweis: Nicht zu verwechseln mit der URI-Syntax (*XPointer*-basiert), z.B. bei Bezug auf Clipping-Pfad linkingshapes.svg

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"/>
```



symbols.svg

- 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)**

Definitionsbereich

- Ein SVG-Dokument kann *einen* Abschnitt enthalten, der mit

  ```
  <defs>
      ...
  </defs>
  ```

  markiert ist.

- Im Definitionsbereich werden SVG-Objekte zur Wiederverwendung definiert
  - Mit **`id`** versehen und mit **`<use>`** referenziert
  - Typische Anwendung: Symbole, Muster, Füllungen

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
  - Beleuchtunqsquellen
- 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 Ereugnisse (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