

# Non-photorealistic Rendering (NPR)

COS 426, Spring 2022  
Princeton University

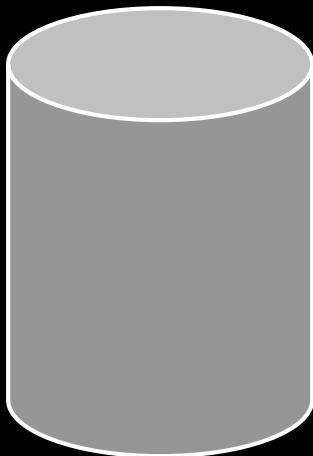
Slides from Forrester Cole, Doug DeCarlo,  
Adam Finkelstein, Rob Kalnins, Allison Klein,  
Emil Praun, Szymon Rusinkiewicz

Deutsche Fassung: Matthias Hullin



# Rendering-Alternativen

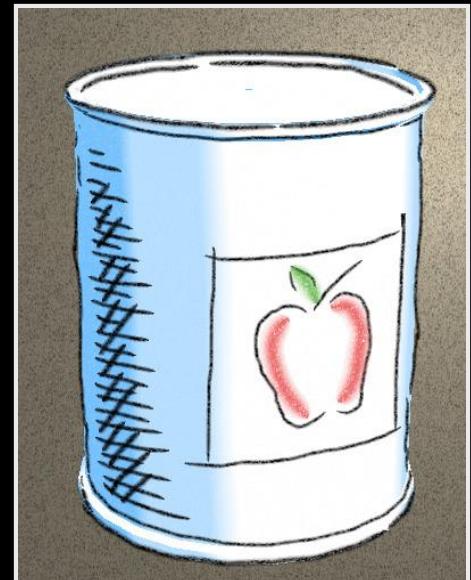
Modell



Fotorealismus



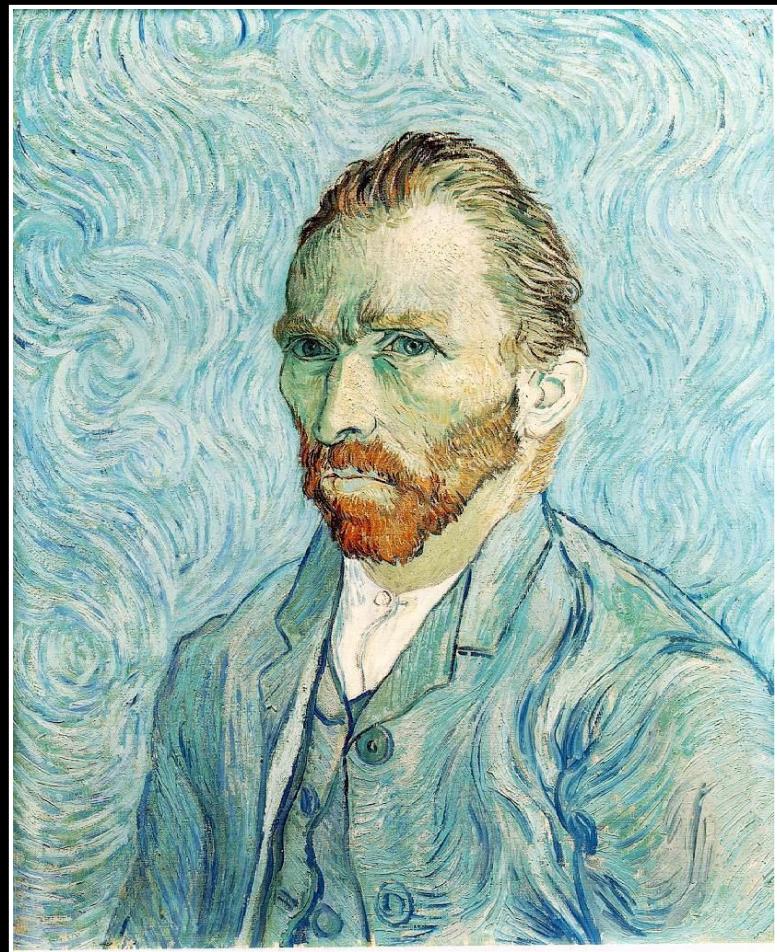
“Nicht-Fotorealismus  
(NPR)



# In der Malerei



Bouguereau 1891



van Gogh 1889

# Realistisches Rendering



[Deussen 99]

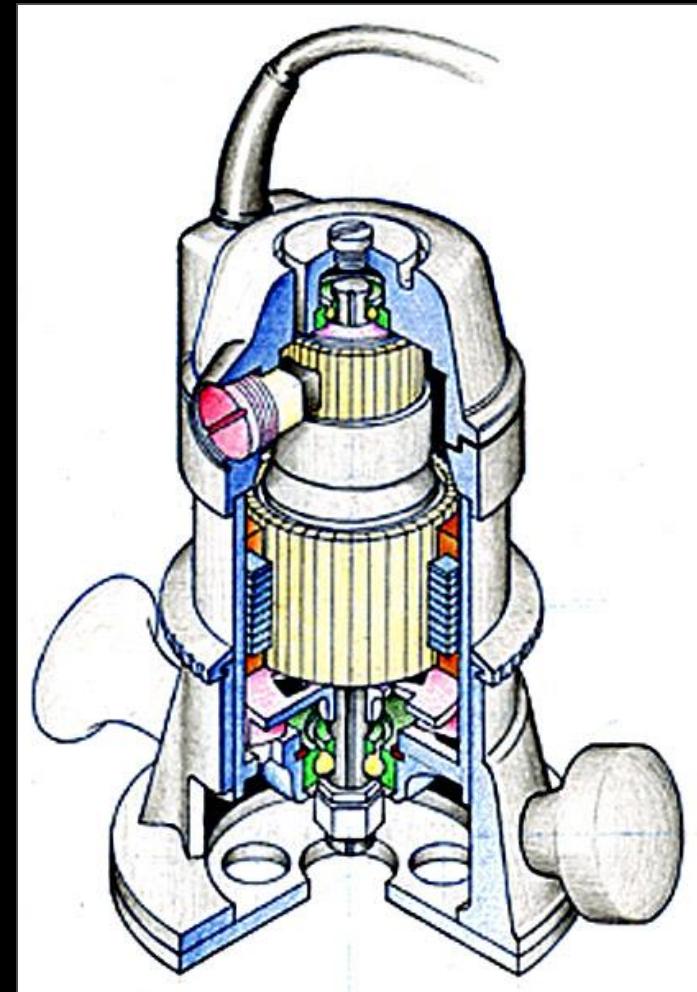
# Nicht-Fotorealistisches Rendering (NPR)



[Deussen 2000]

# NPR: Anwendungen

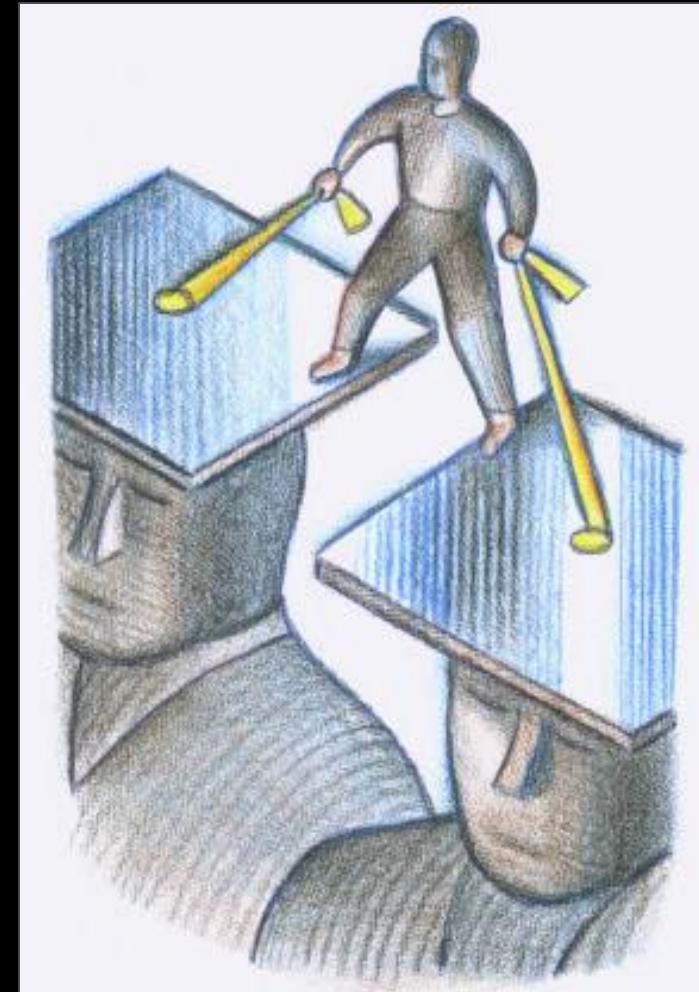
- Erklärung
- Illustration
- Storytelling
- Design



[Birkey]

# NPR: Anwendungen

- Erklärung
- Illustration
- Storytelling
- Design



[Sutter]

# NPR: Anwendungen

- Erklärung
- Illustration
- Storytelling
- Design



[Dr. Seuss]

# NPR: Anwendungen

- Erklärung
- Illustration
- Storytelling
- Design



[Borderlands]

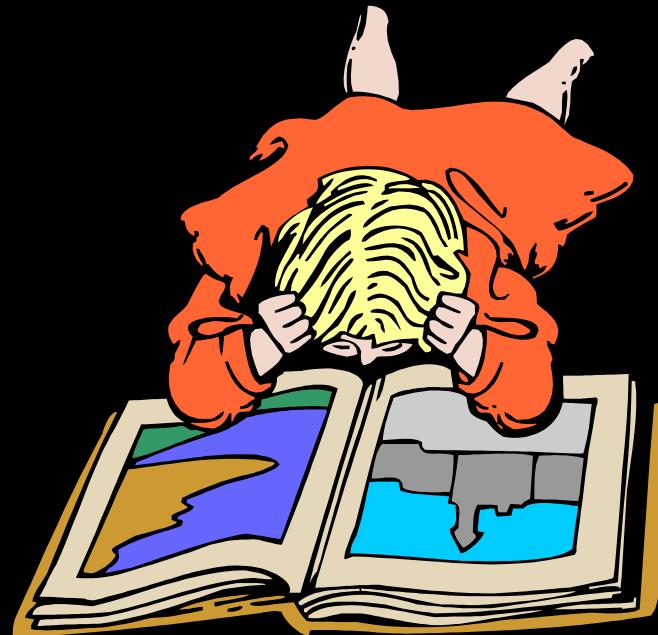
# NPR: Anwendungen

- Erklärung
- Illustration
- Storytelling
- Design

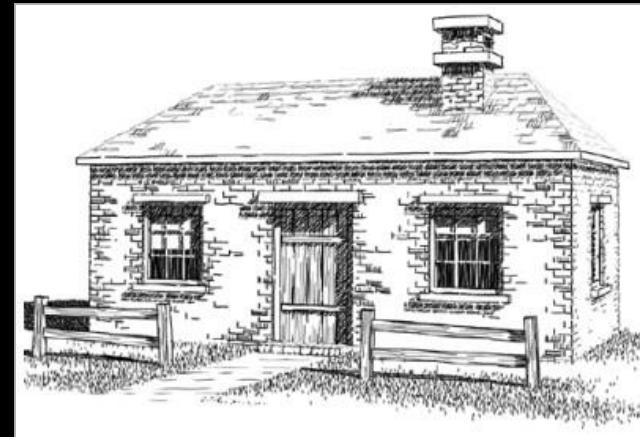
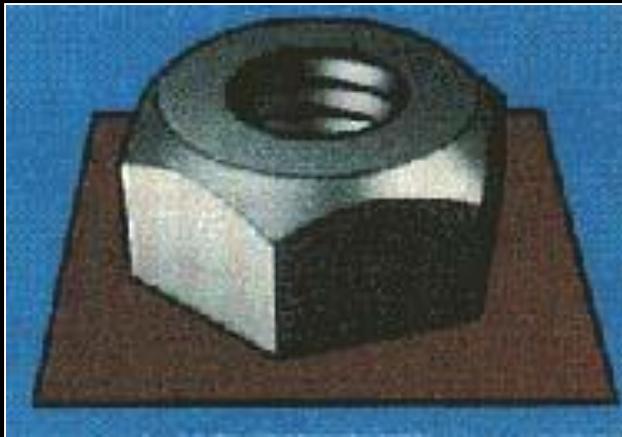


[McCoy]

# Eine kurze Geschichte des NPR...



# NPR: Simulation verschiedener Medien



Technische Illustration [Saito 90] Tintenzeichnung [Winkenbach 94]



Wasserfarbe [Curtis 97]



Malerei [Hertzmann 98]

# NPR: Dynamische Bilder

Malerisches Rendering für...



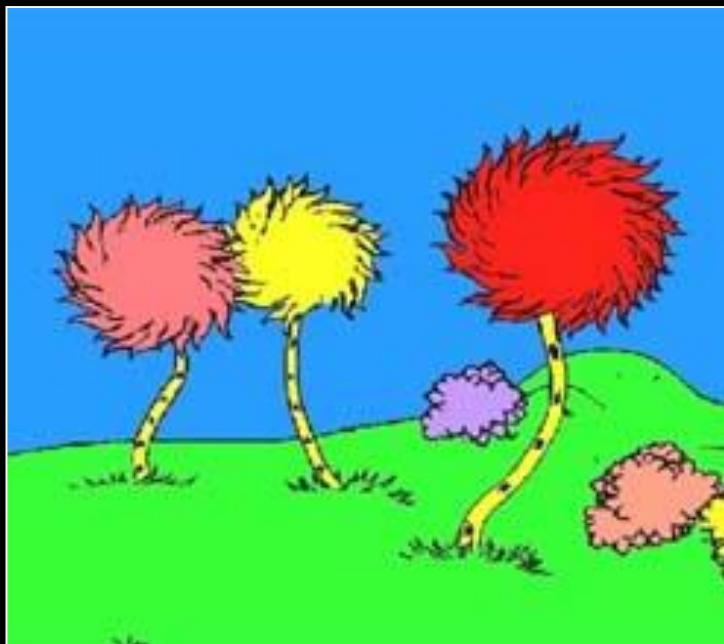
3D models  
[Meier 96]



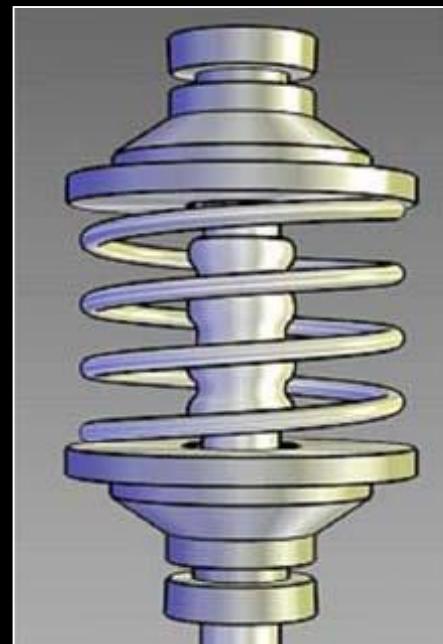
Video  
[Litwinowicz 97]

<https://vimeo.com/18484431>

# NPR: Interaktives Rendering



[Kowalski 99]



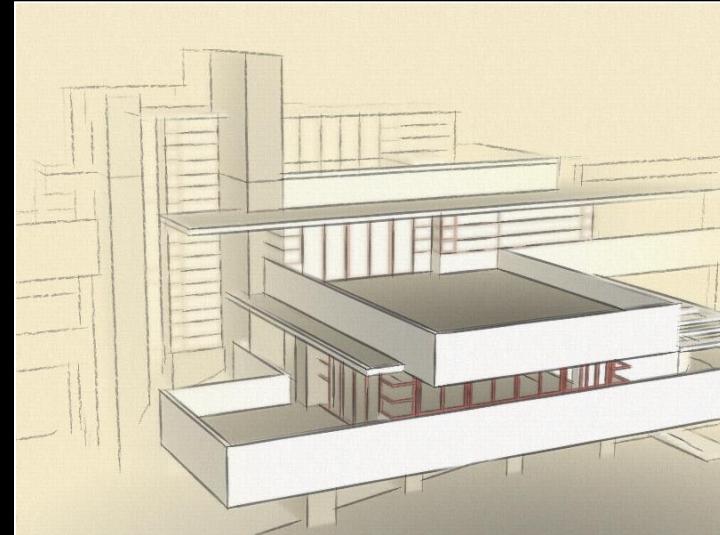
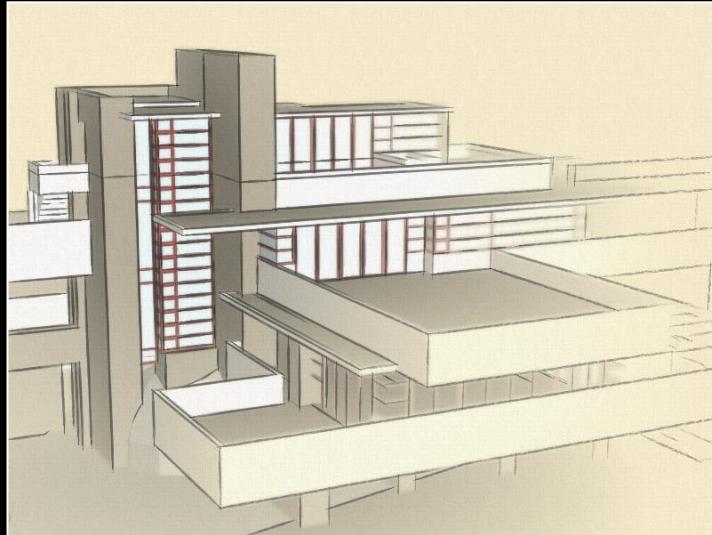
[Gooch 98]



[Praun 01]

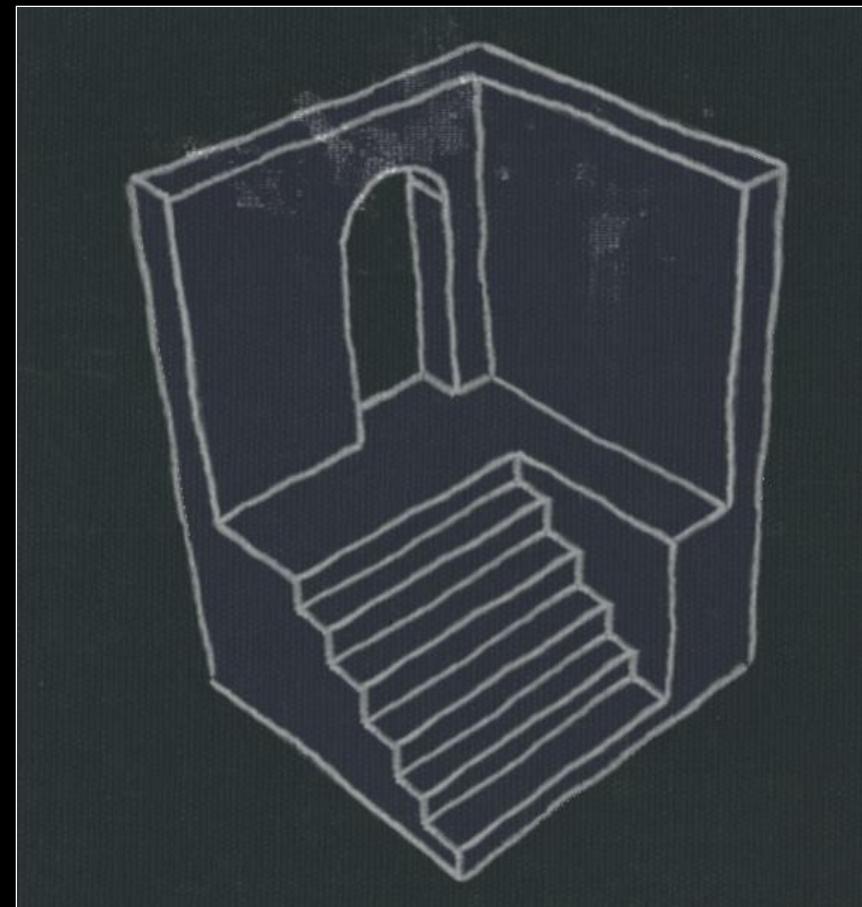
# NPR: Abstraktion + Aufmerksamkeit

Kontrolle über hervorgehobene Bereiche  
Störende Unordnung / irrelevante  
Information im Bild minimieren



[Cole et al. 2006]

# Stilisierte Linien in kommerziellen Anwendungen...



[SketchUp]

# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

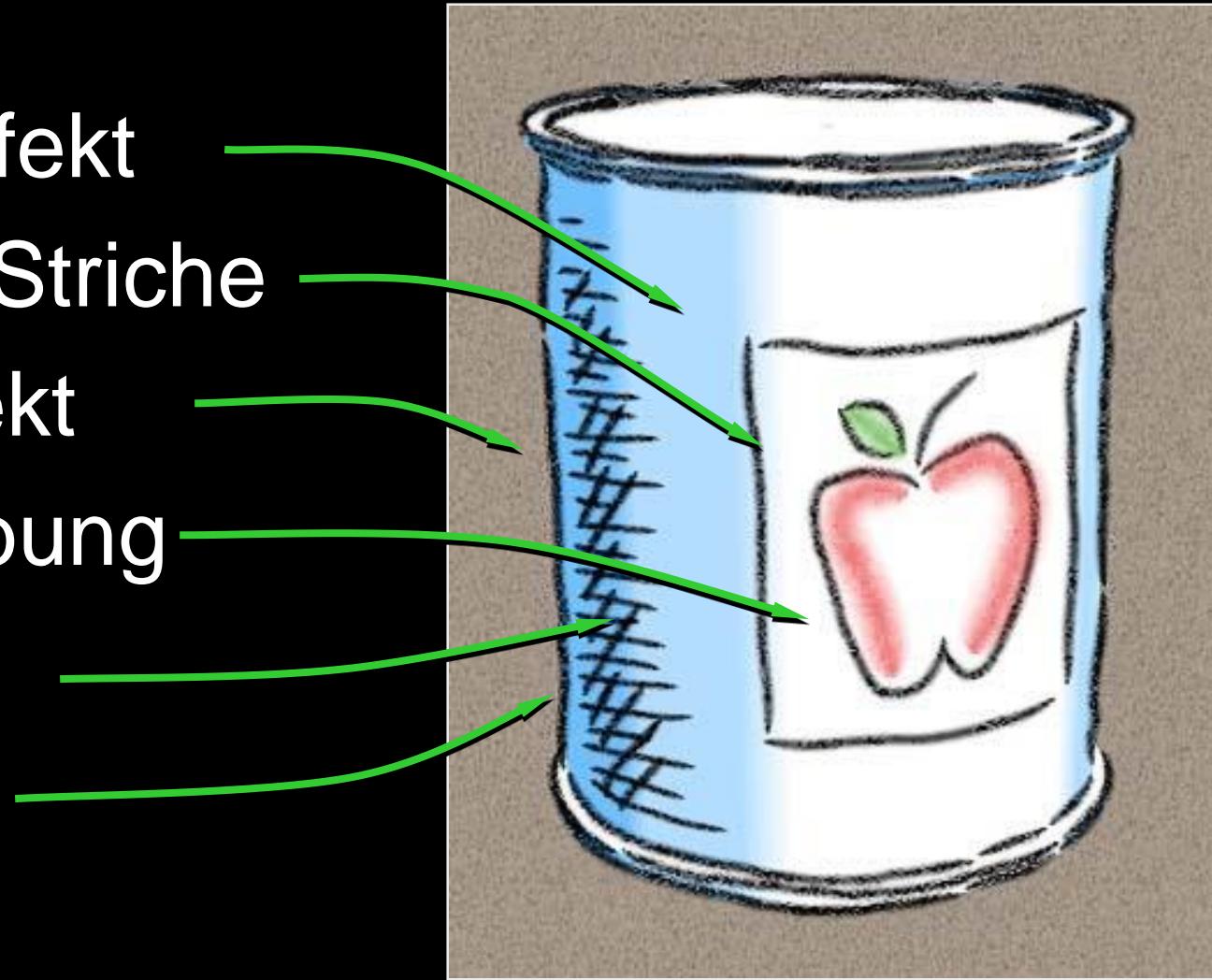
Stilisierte Striche

Papiereffekt

Hervorhebung

Schraffur

Umrisse



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

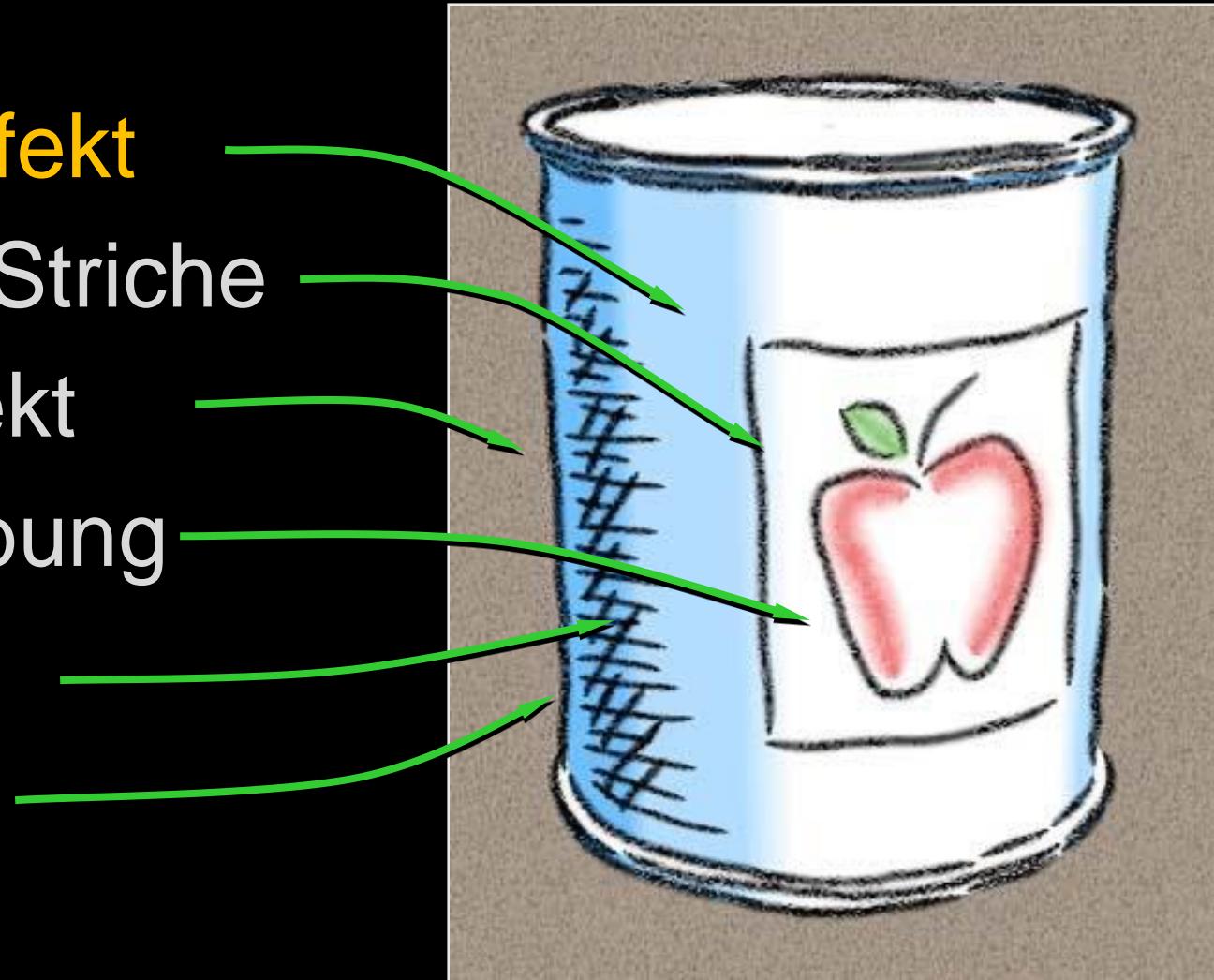
Stilisierte Striche

Papiereffekt

Hervorhebung

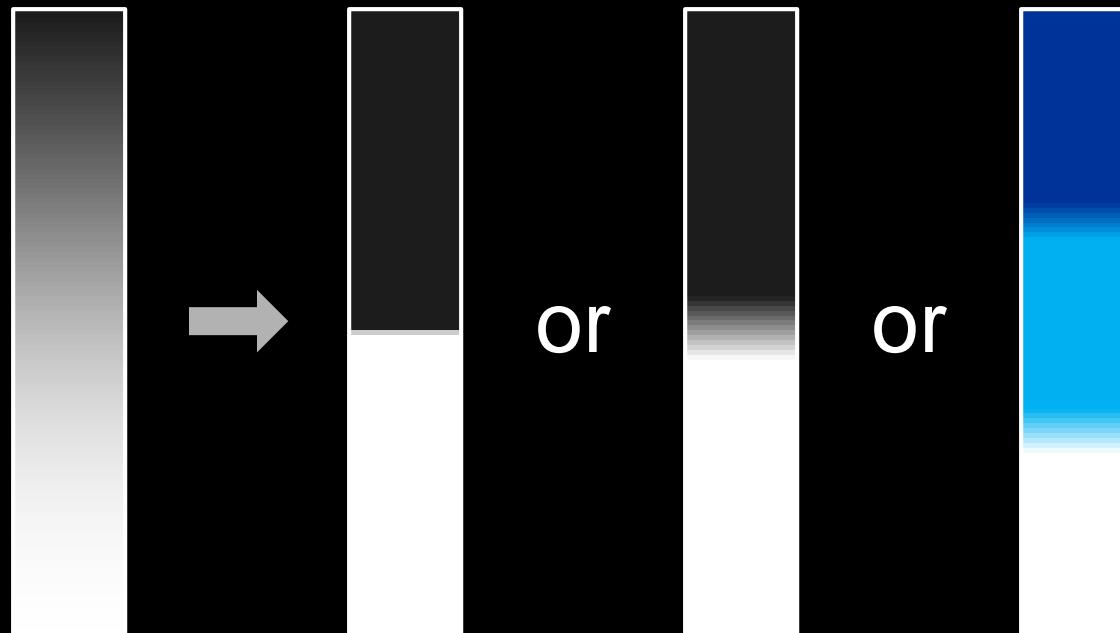
Schraffur

Umrisse

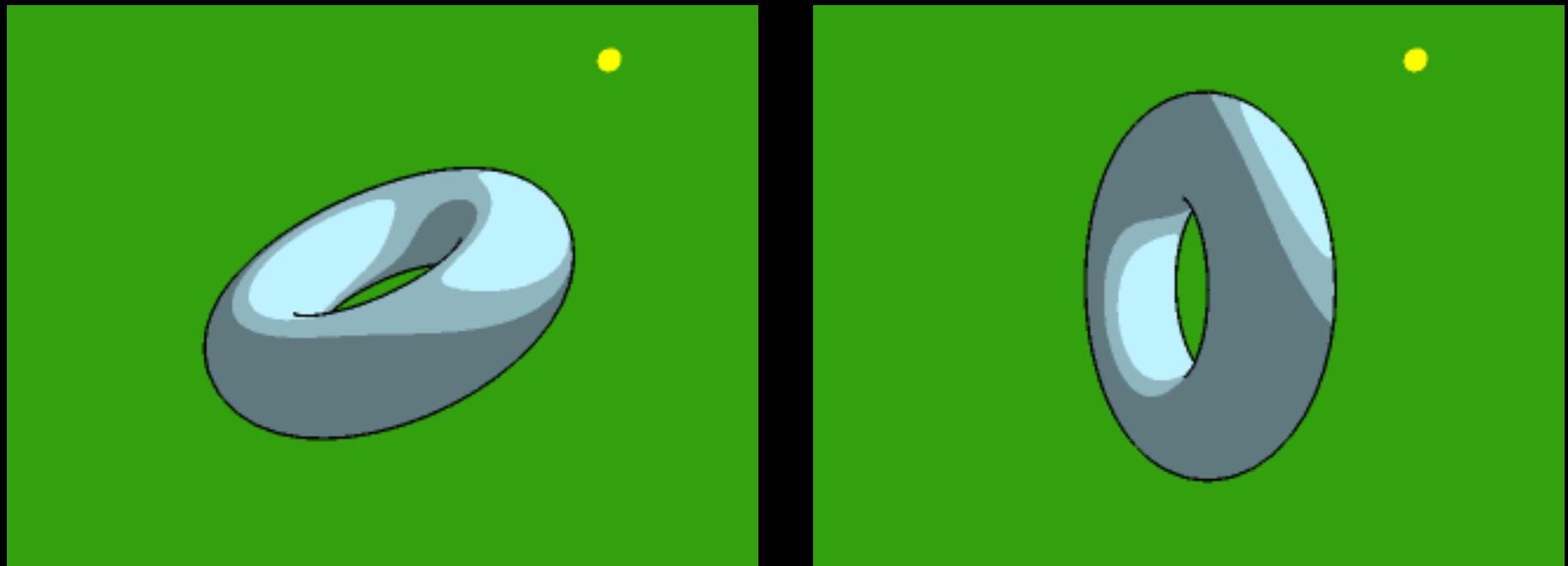


# Cartooneffekt (Toon/cel shading)

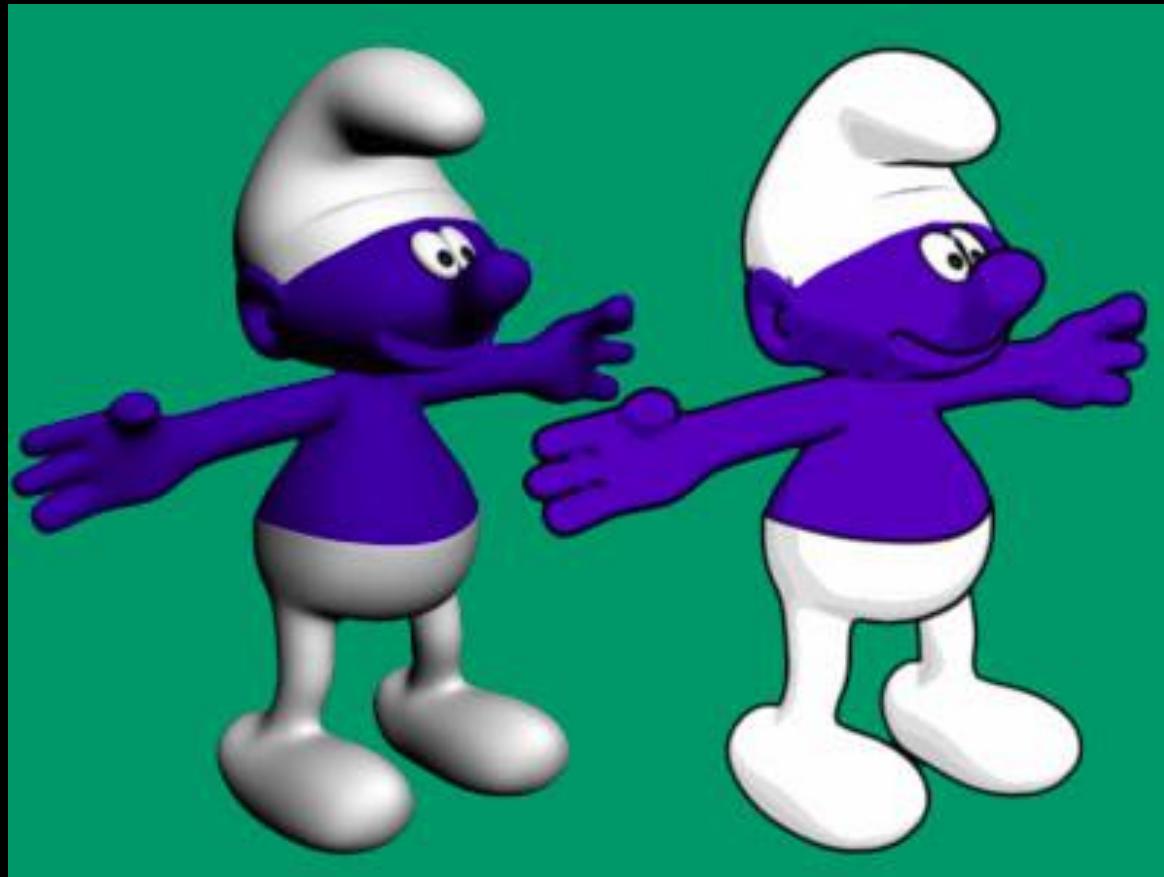
- Cosinusterm ( $n \cdot l$ ) “remappen”
- Oder ( $n \cdot v$ ) für frontale Beleuchtung
- Am einfachsten als Textur-Lookup (1D)



# Cartooneffekt (Toon/cel shading)



# Cartooneffekt (Toon/cel shading)



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

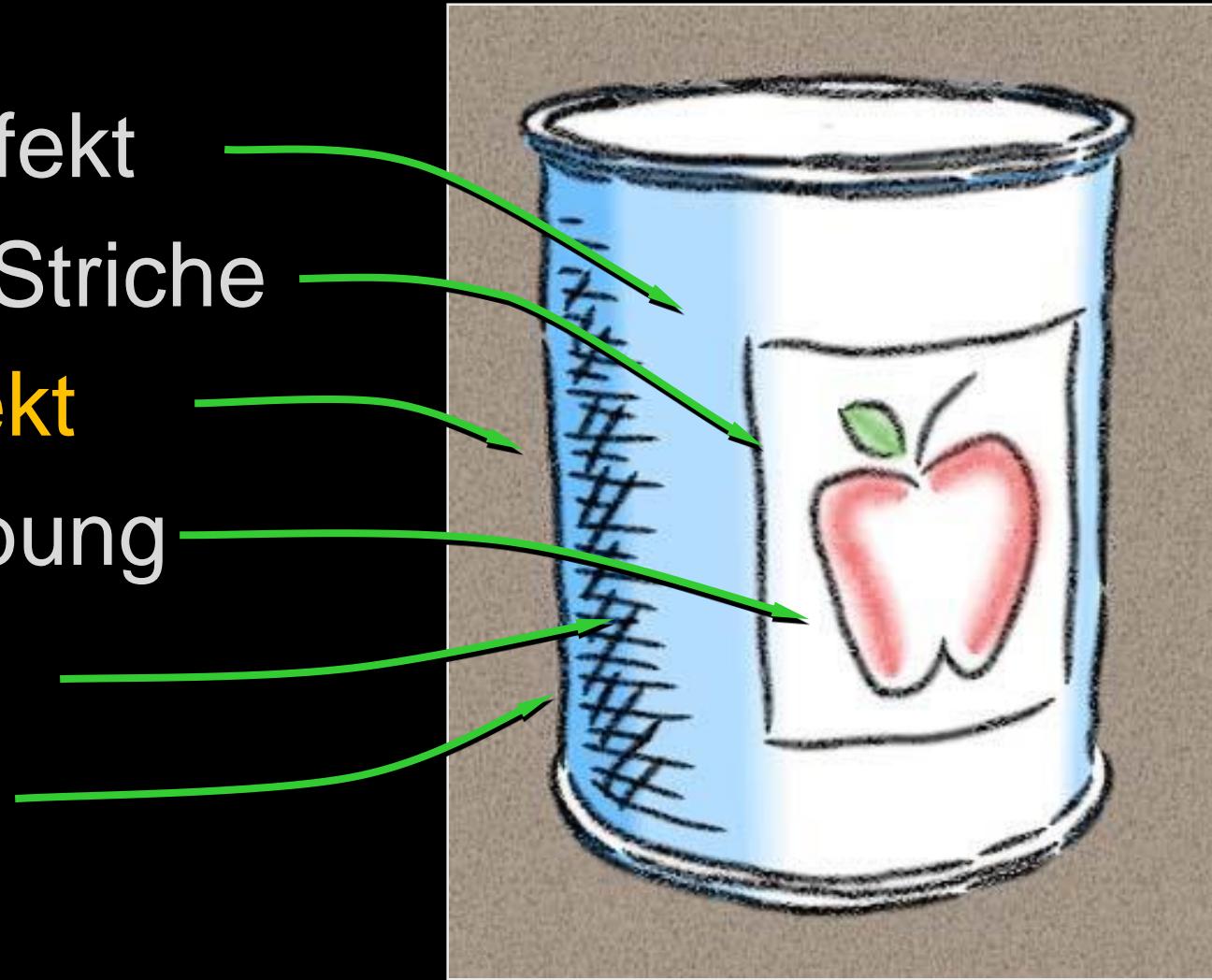
Stilisierte Striche

Papiereffekt

Hervorhebung

Schraffur

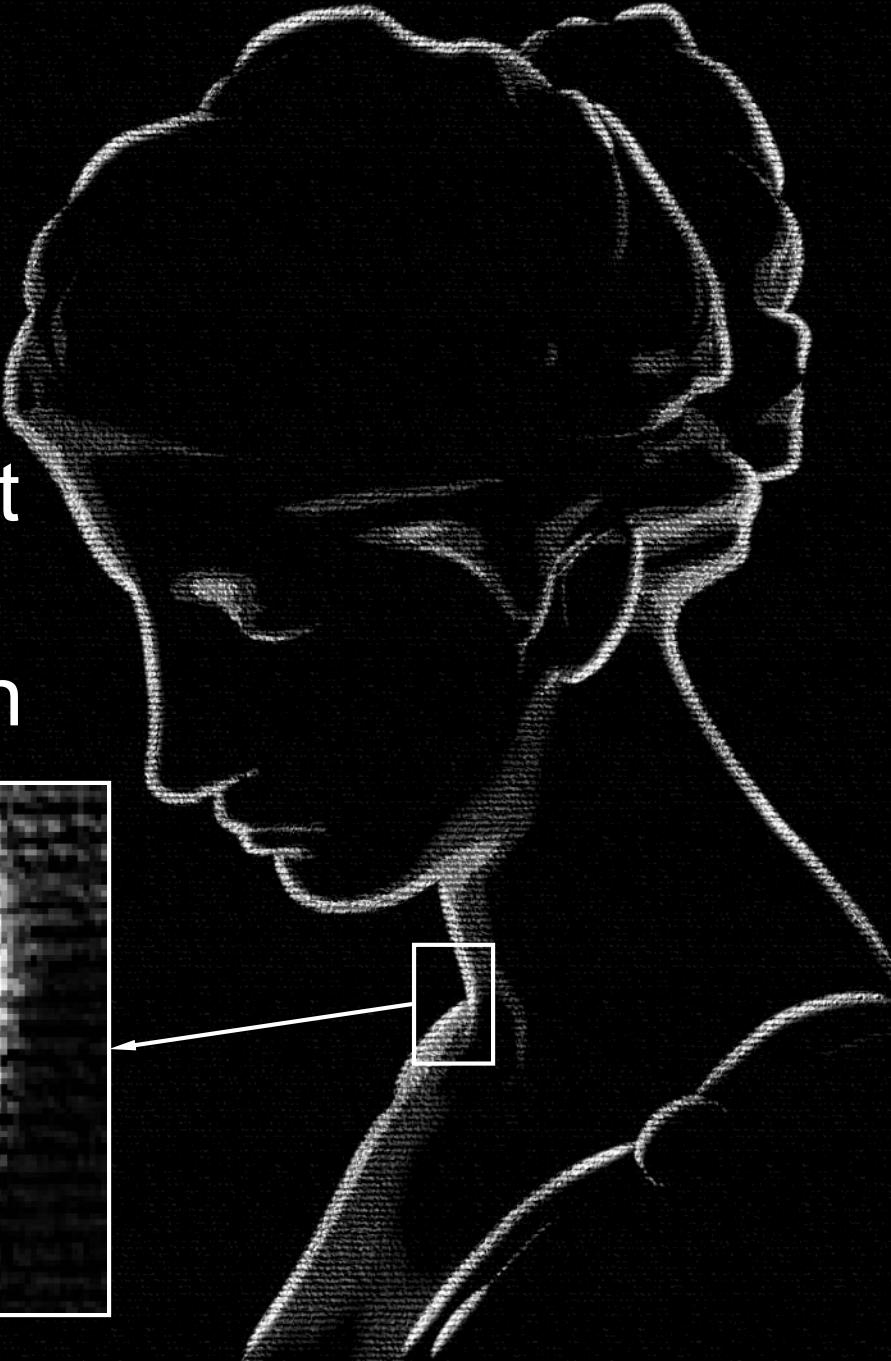
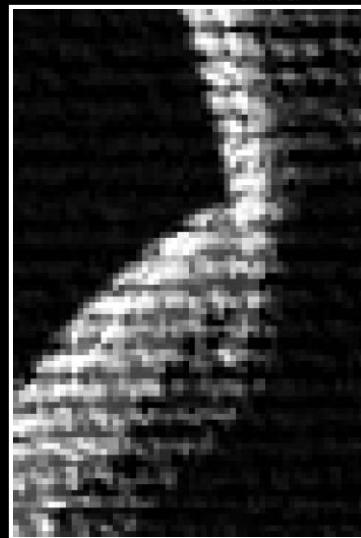
Umrisse



# Papiereffekt

Höhenfeldtextur:

Pigment reibt sich zuerst  
an Bergen ab, erst bei  
höherem “Druck” auch in  
den Tälern



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

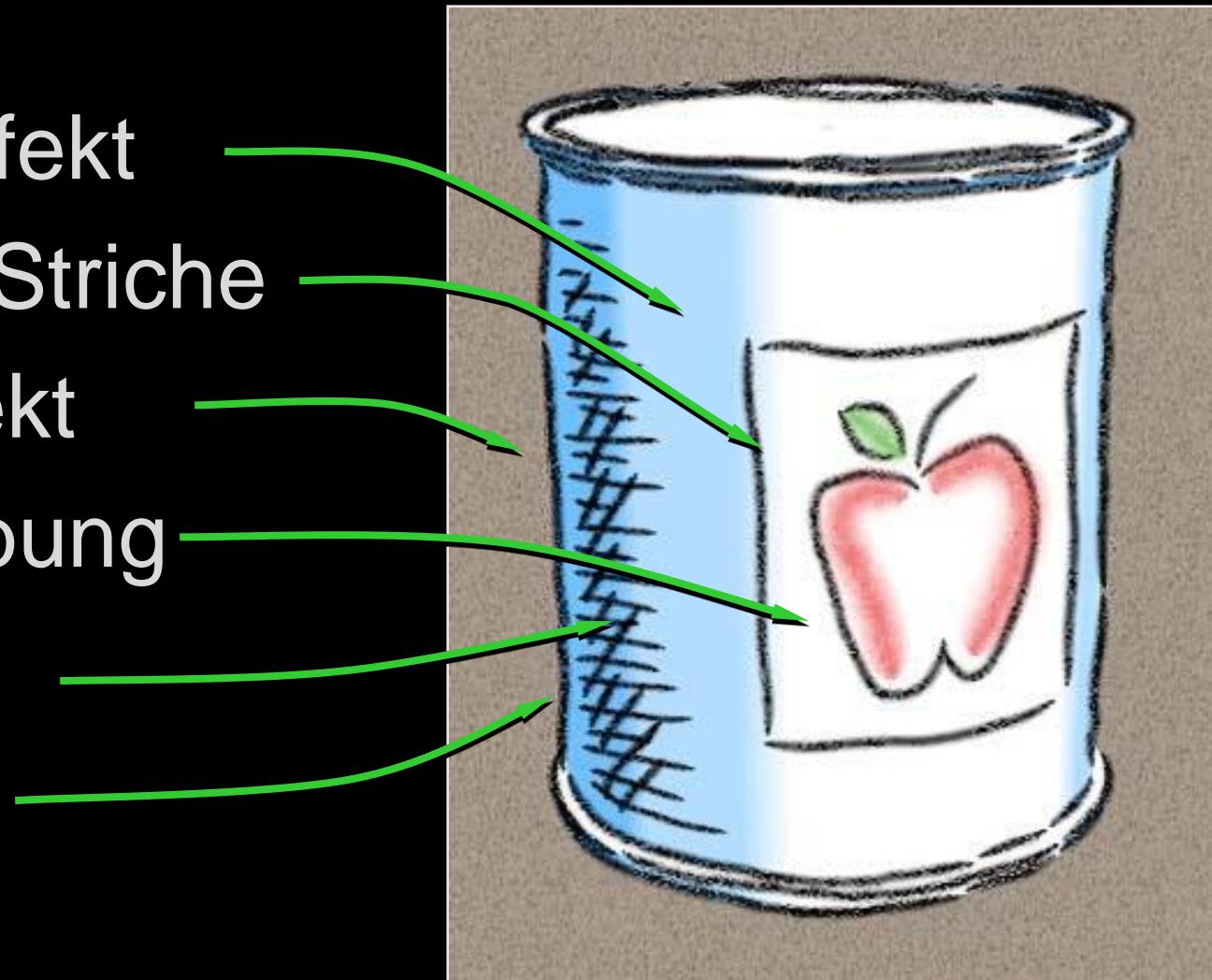
Stilisierte Striche

Papiereffekt

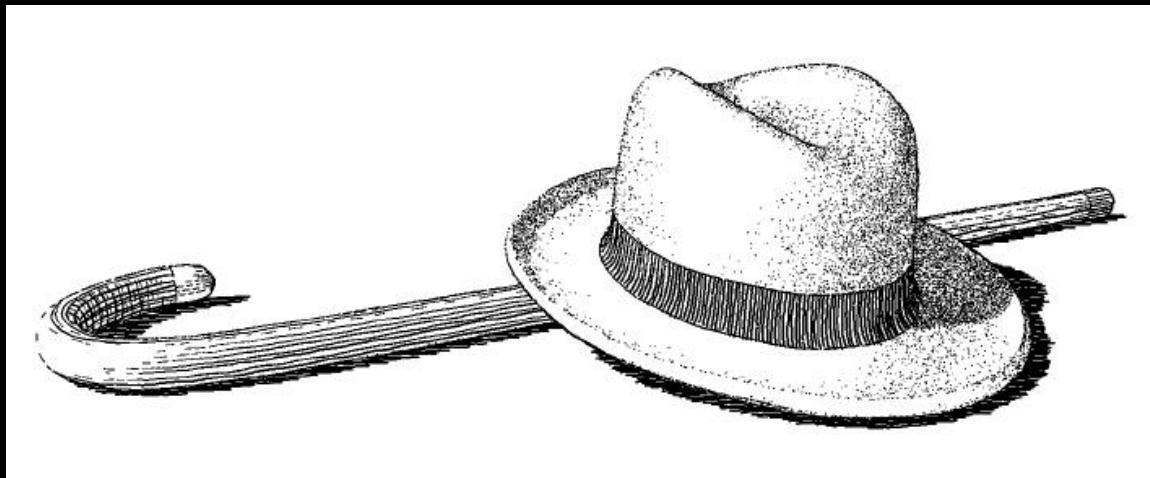
Hervorhebung

Schraffur

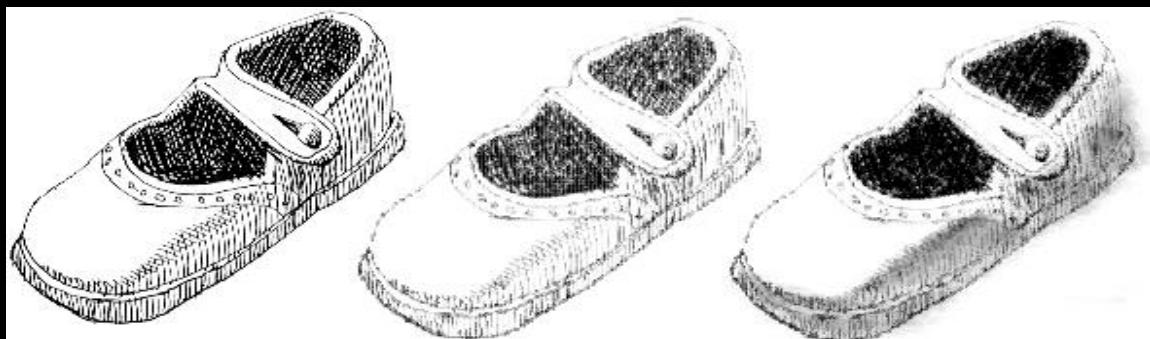
Umrisse



# Strich-basierte Schraffur



[Winkenbach 94, 96]

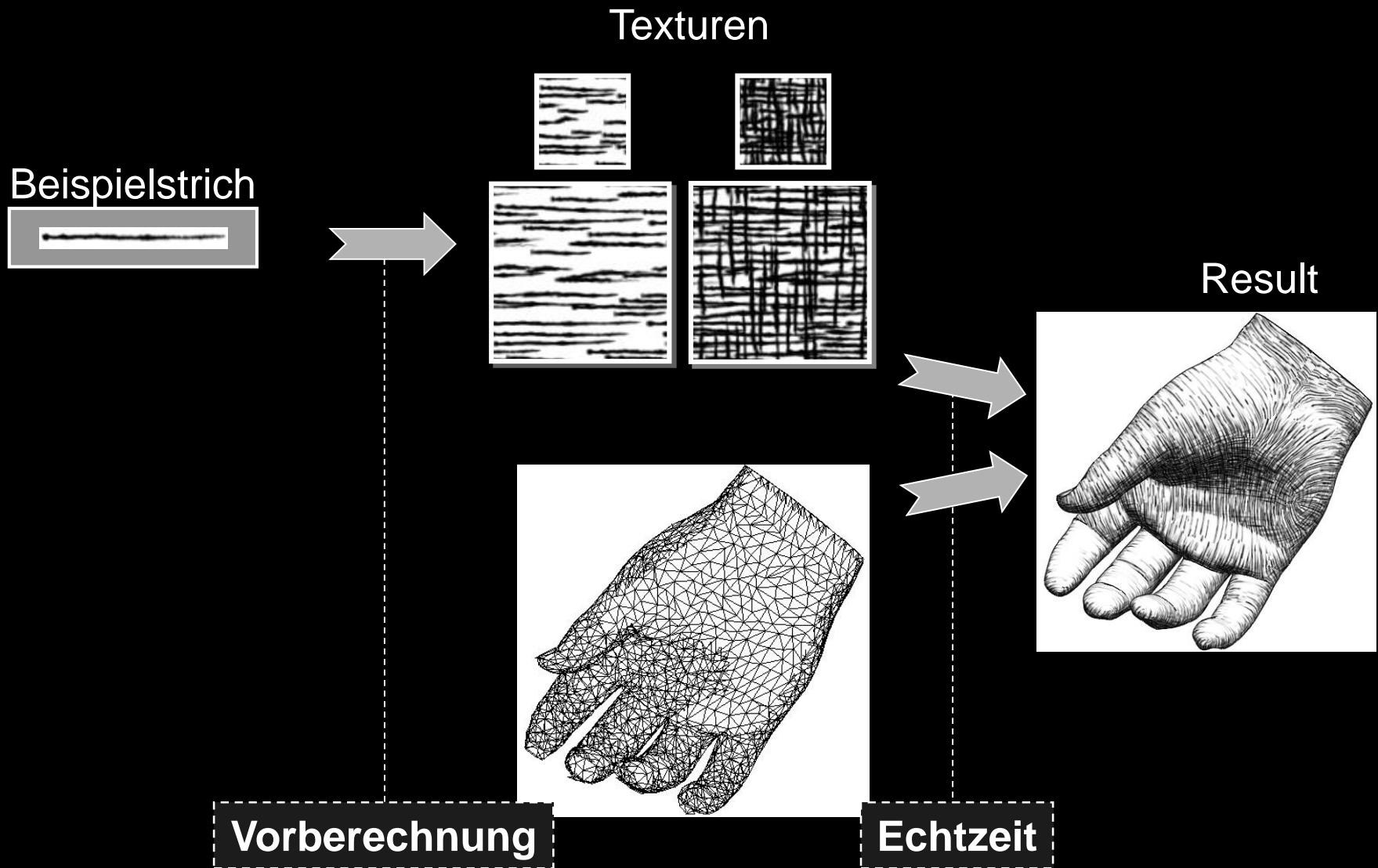


[Sousa 99]



[Hertzmann 2000]

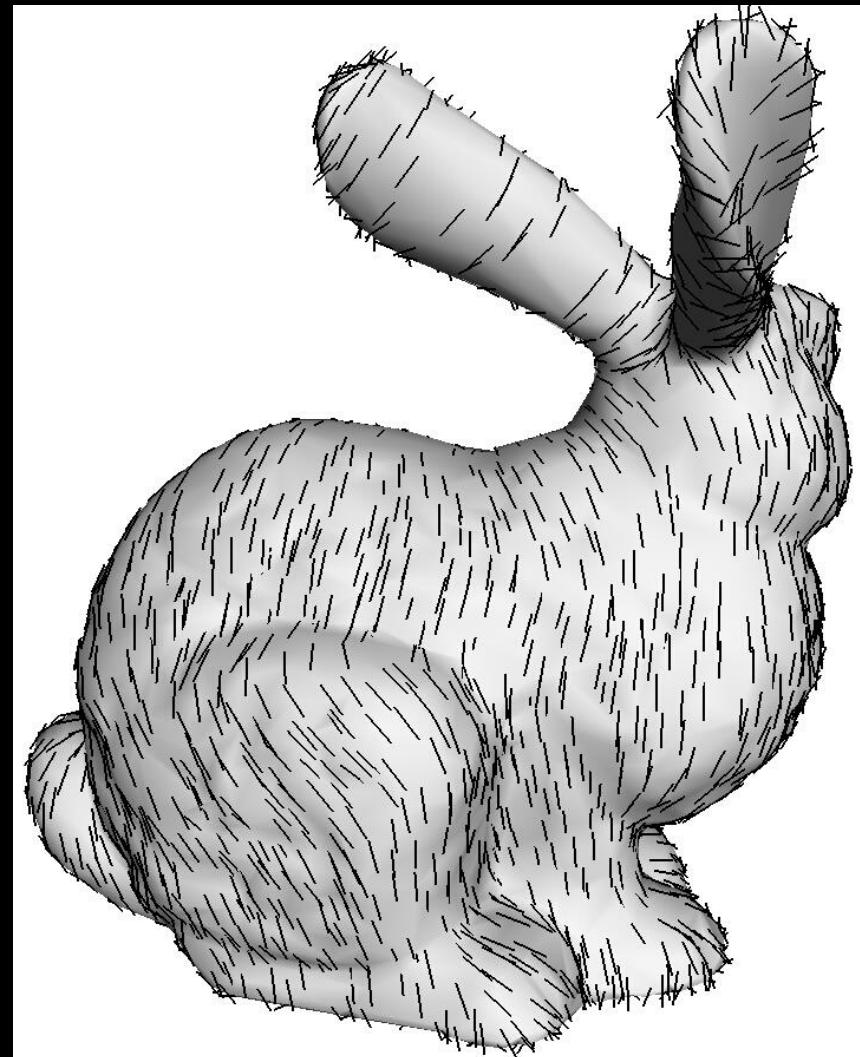
# Schraffur basierend auf $n \cdot l$



# Schraffurrichtung

In Hauptkrümmungsrichtung

(so kann man auch explizite Schraffurstriche “wachsen” lassen)



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

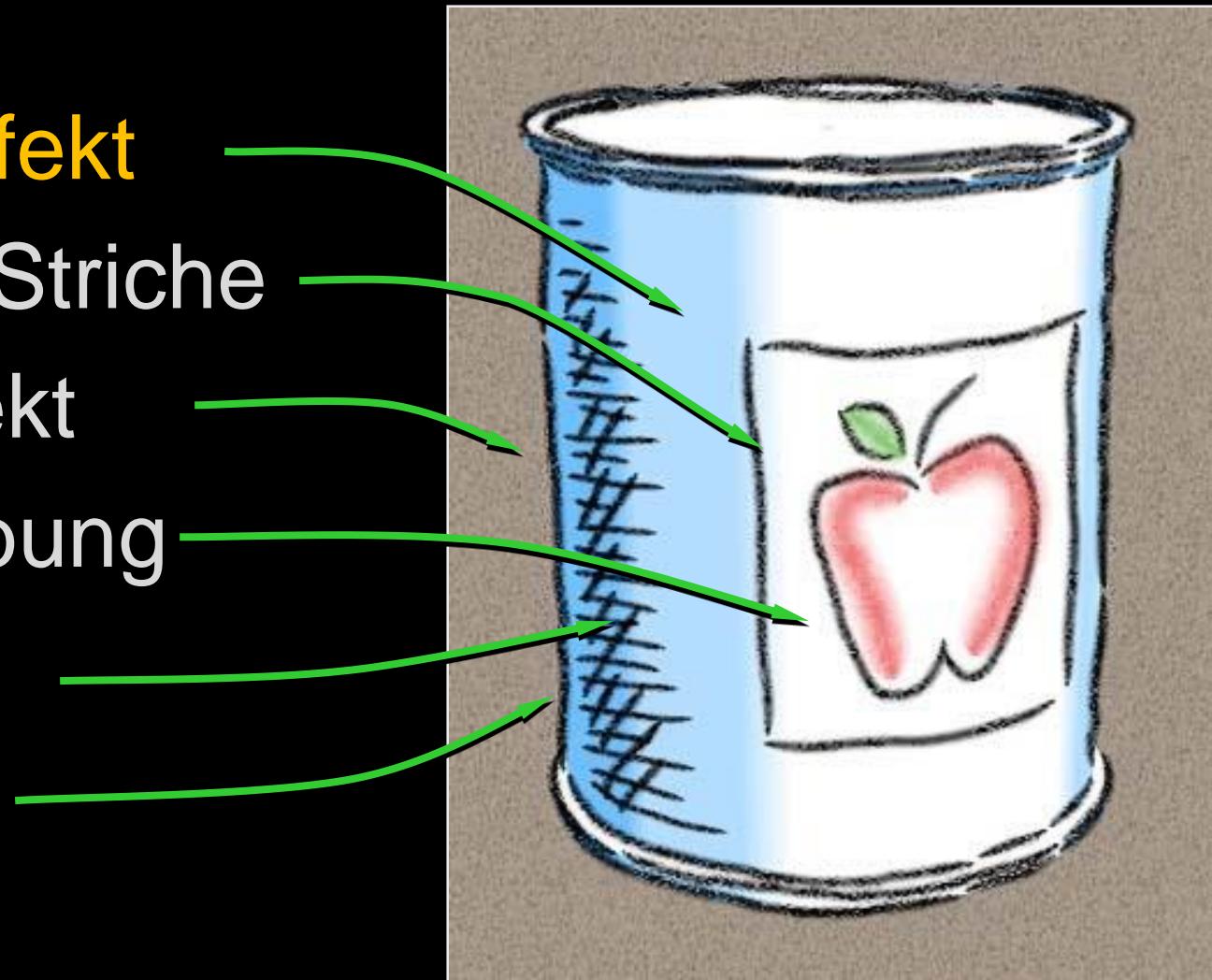
Stilisierte Striche

Papiereffekt

Hervorhebung

Schraffur

Umrisse



# “Gemäldeartiges” Rendering

Pinselstriche im Objekt- oder Bildraum

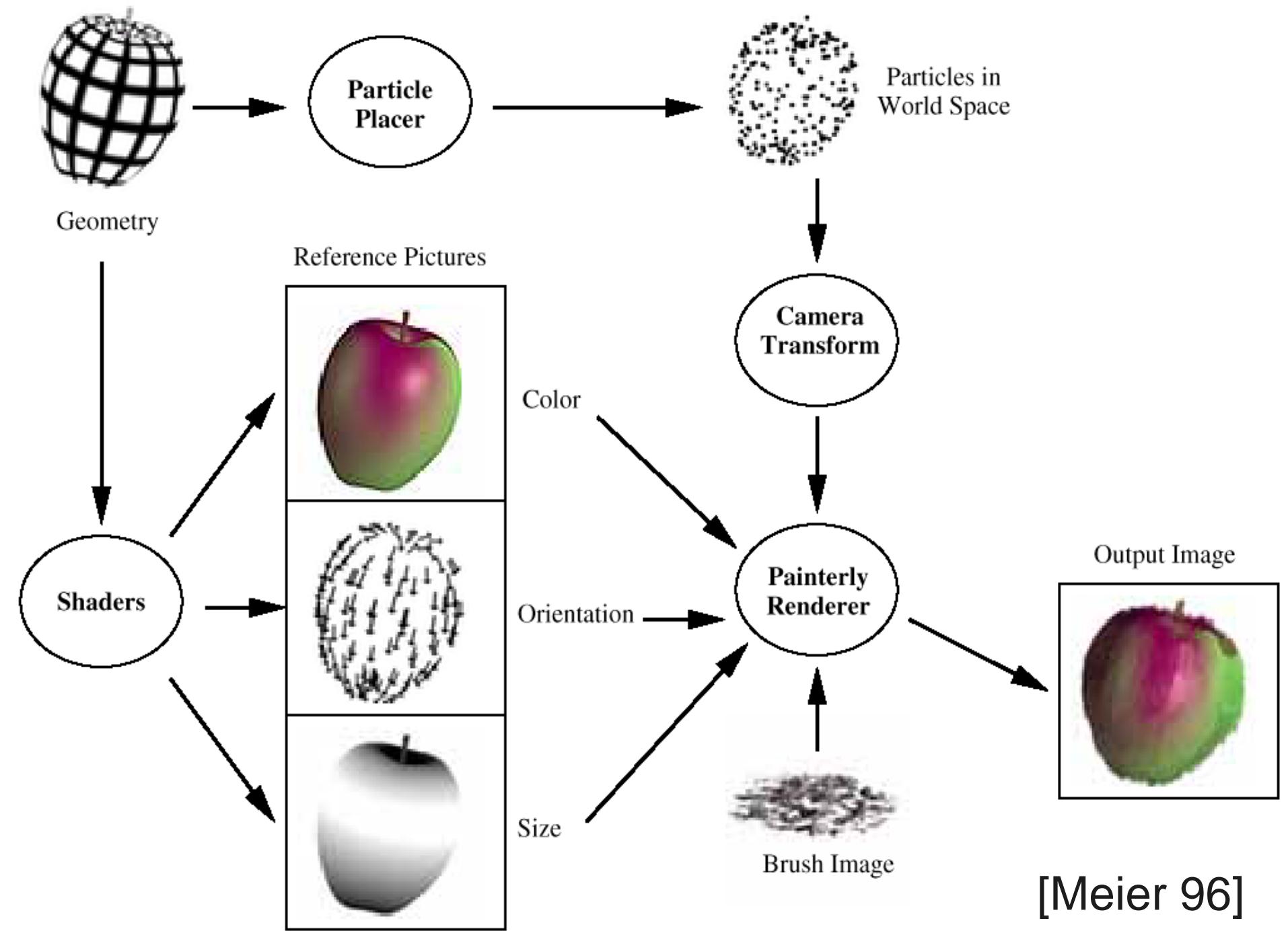


3D-Modelle  
[Meier 96]



Video  
[Litwinowicz 97]

<https://vimeo.com/18484431>



# Deep Canvas [Disney]





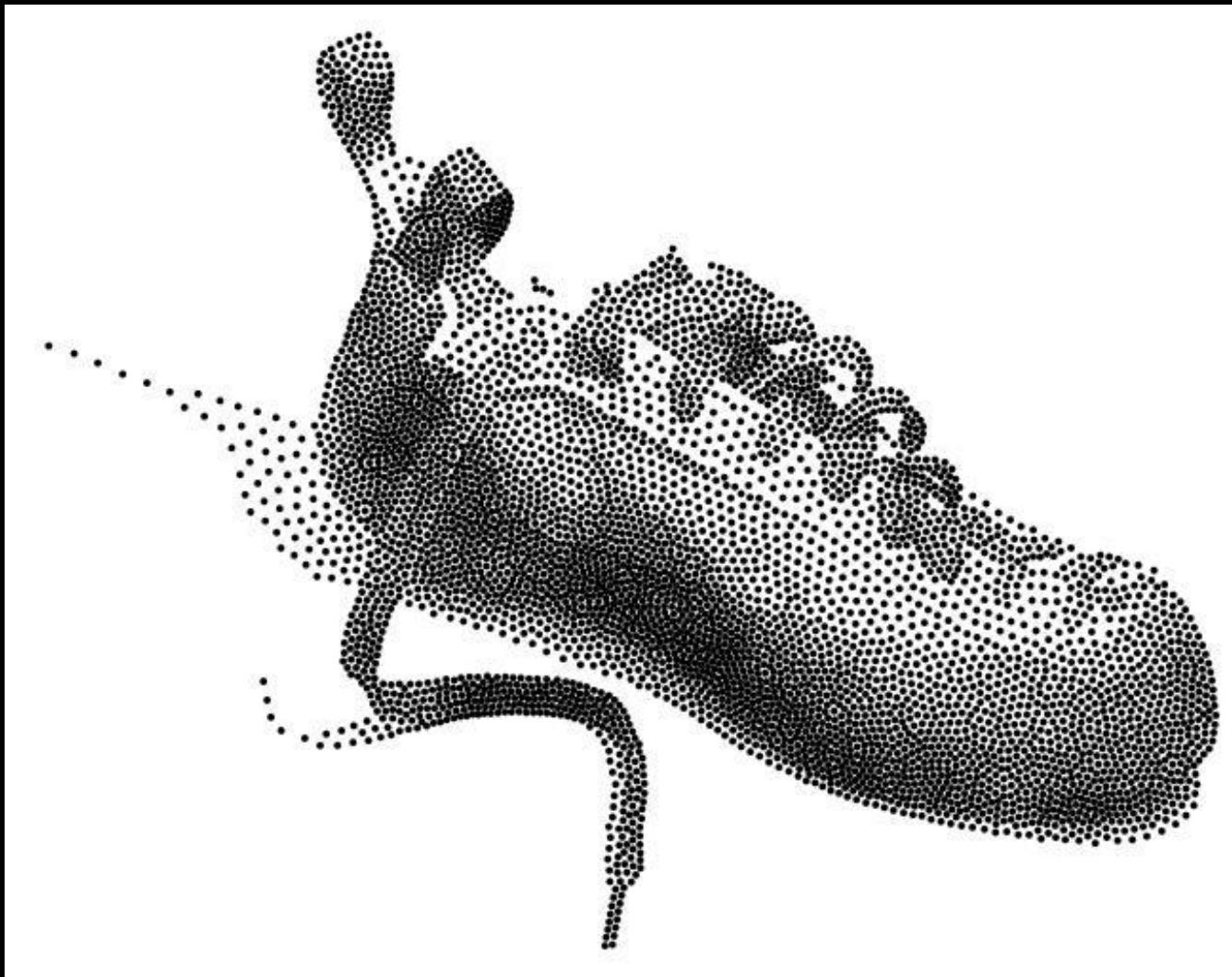
(Eingabefoto)



[Hertzmann98]

# Tüpfeln: Dichte $\sim n \cdot l$

[Secord02]



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

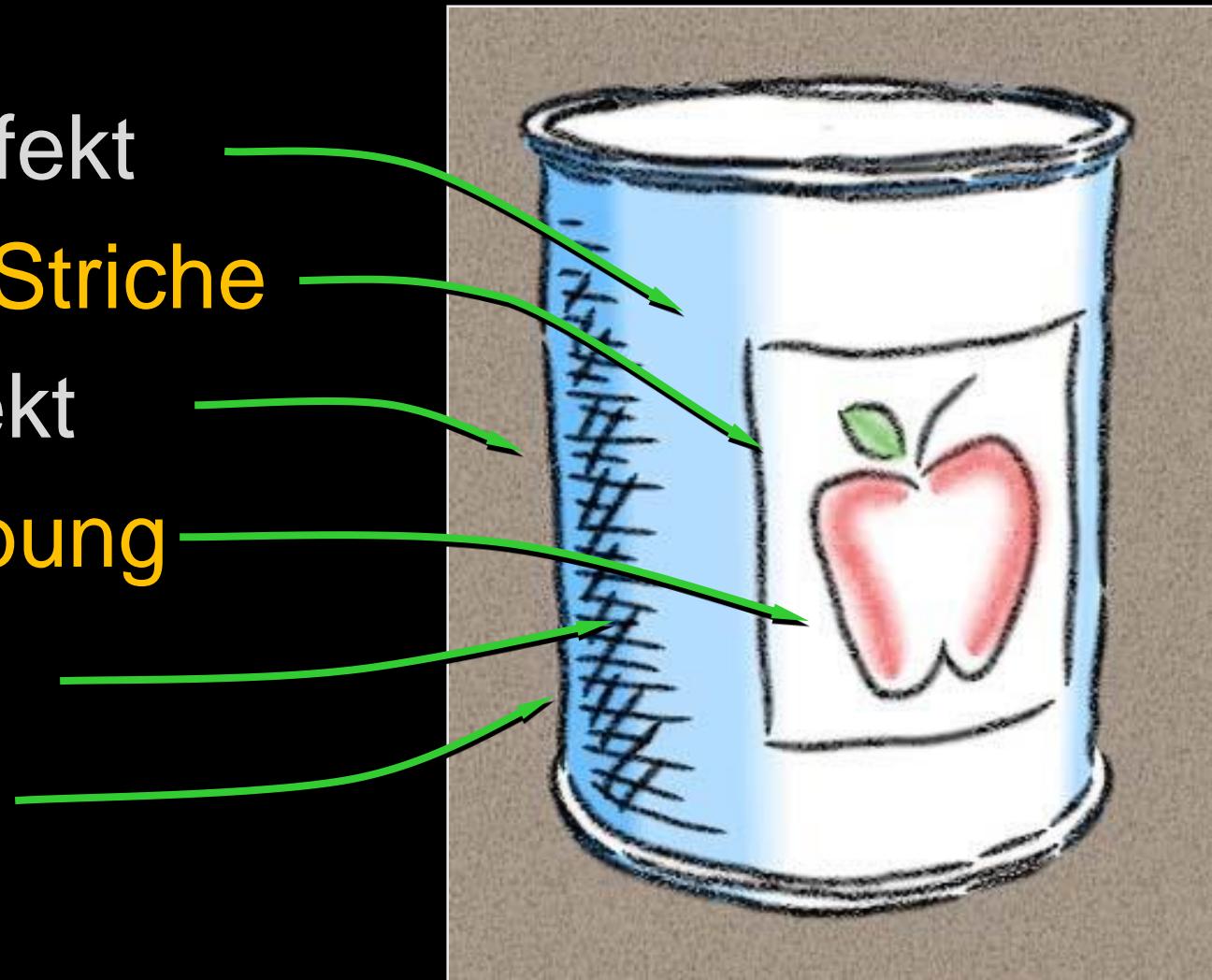
Stilisierte Striche

Papiereffekt

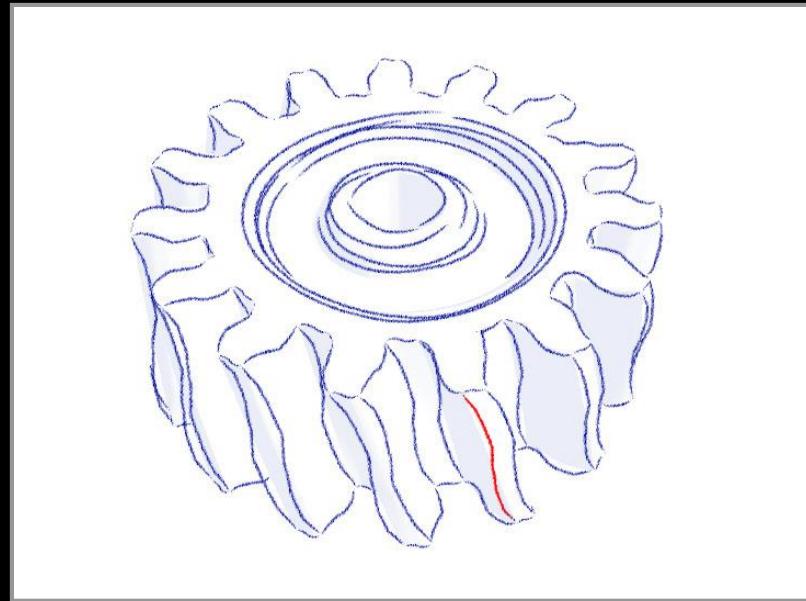
Hervorhebung

Schraffur

Umrisse



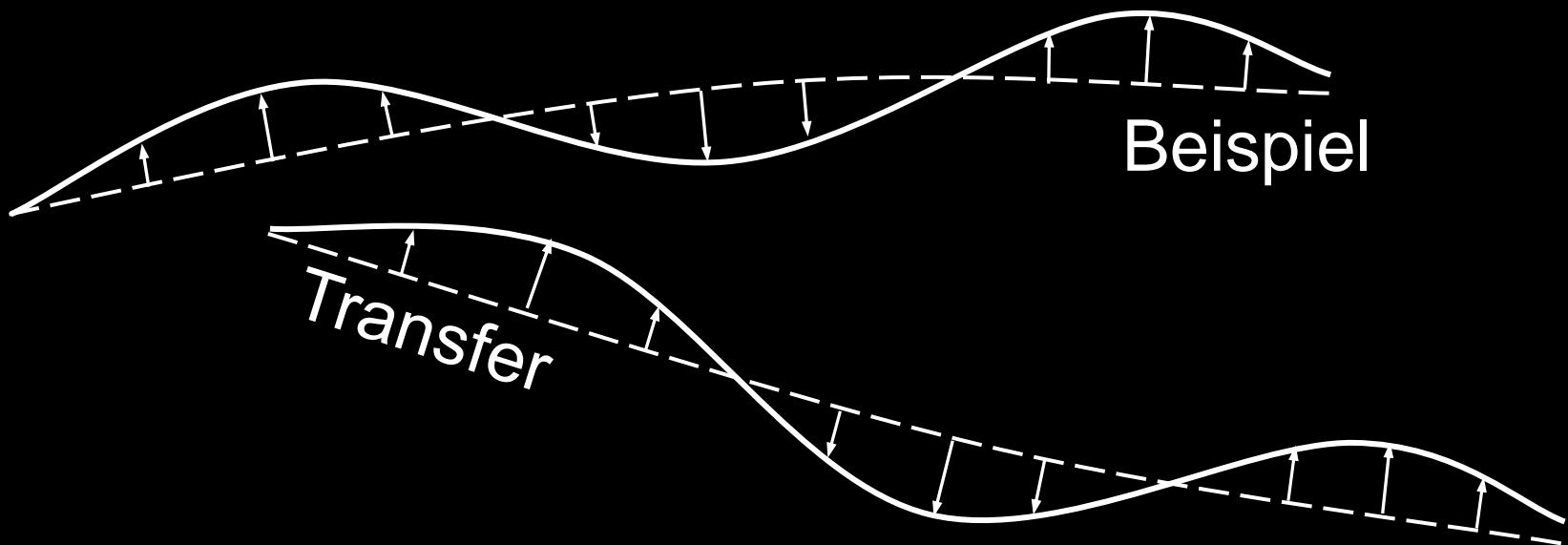
# Stilisierung von Falten



“Rubber-stamping”

# Stilisierung als Offsets

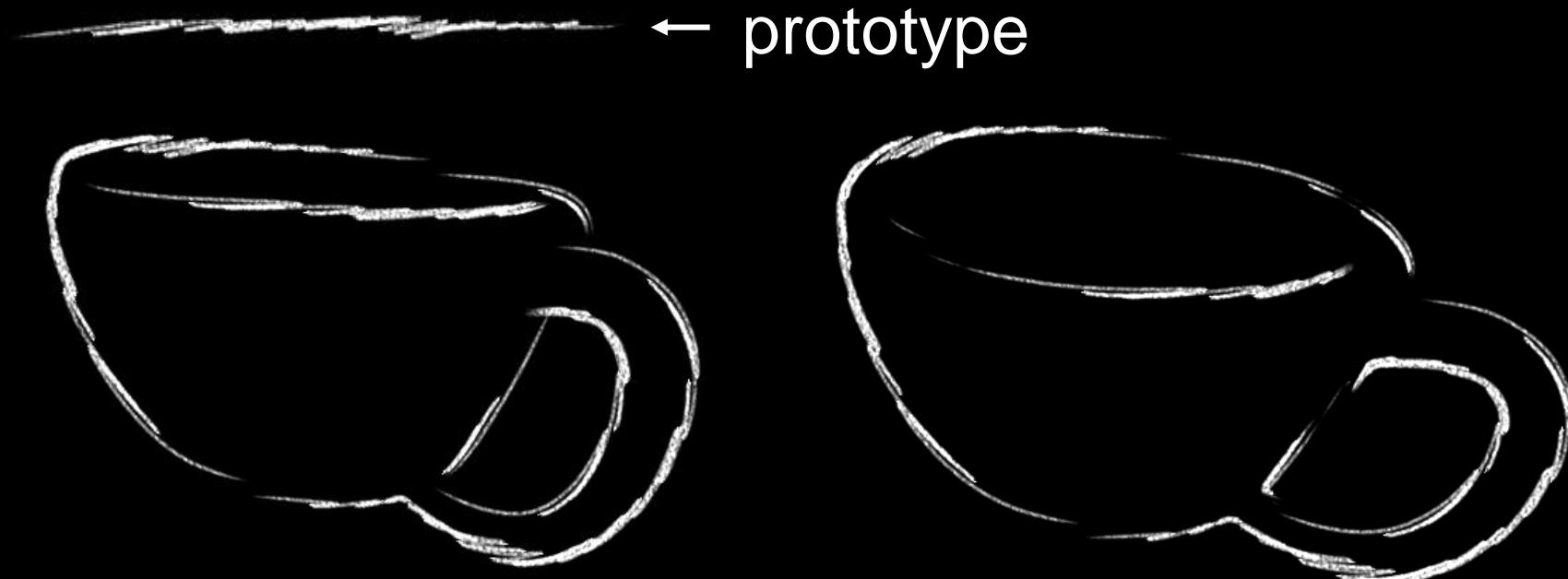
- Künstler:in überzeichnet Falte
- Stilisierung wird als 2D-Verschiebung repräsentiert
- Anwendung auf neue Ausgangspfade



# Stilisierung von Umrissen

Umrisse sind blickabhängig.

- Problem #1: örtliche Stilisierung?
- Lösung: global “rubber-stampen”



# Umriss-Tracking

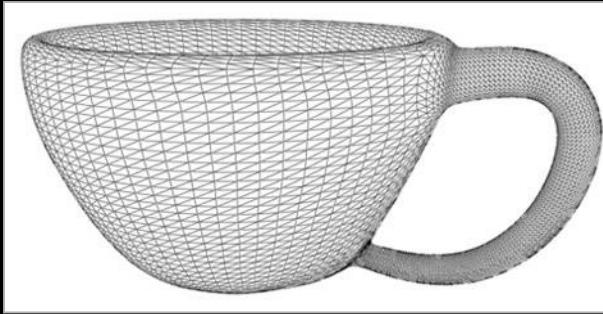
Umrisse sind blickabhängig

- Problem #2: kohärente Parametrisierung
- Lösung: Tracking im Bildraum

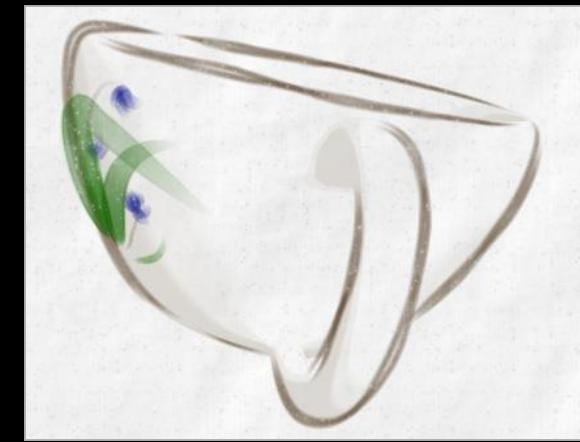


# WYSIWYG NPR

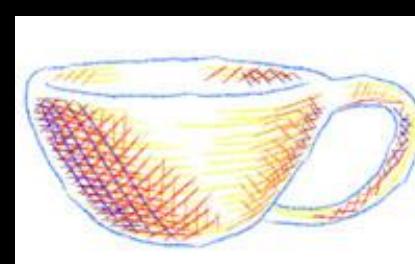
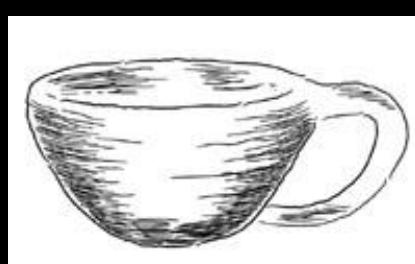
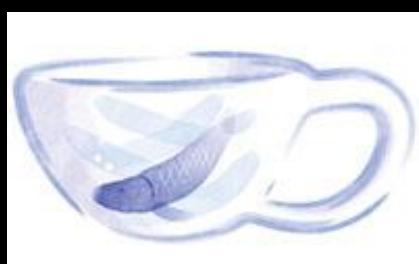
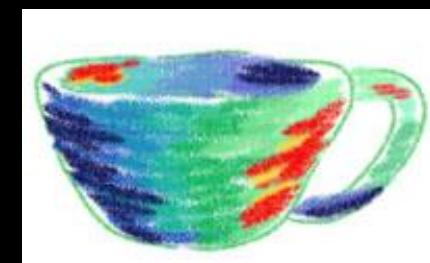
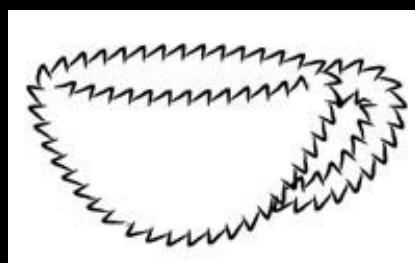
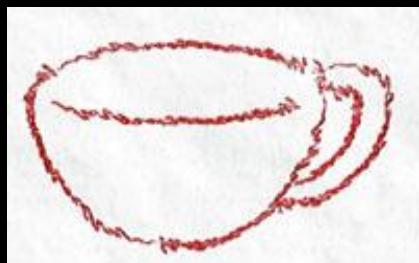
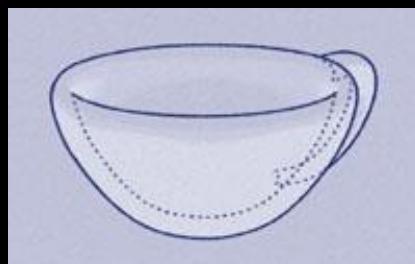
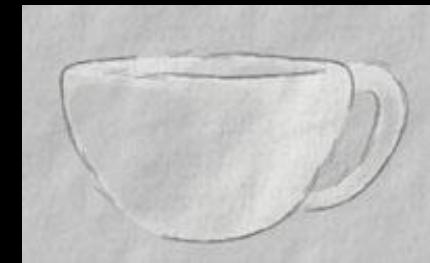
[Kalnins02]



- In die 3D-Szene zeichnen
- Stil auf neue Ansichten übertragen
- Kohärente Animation sicherstellen



# Ästhetische Flexibilität



# Werkzeuge f. stilisiertes Rendering

Cartooneffekt

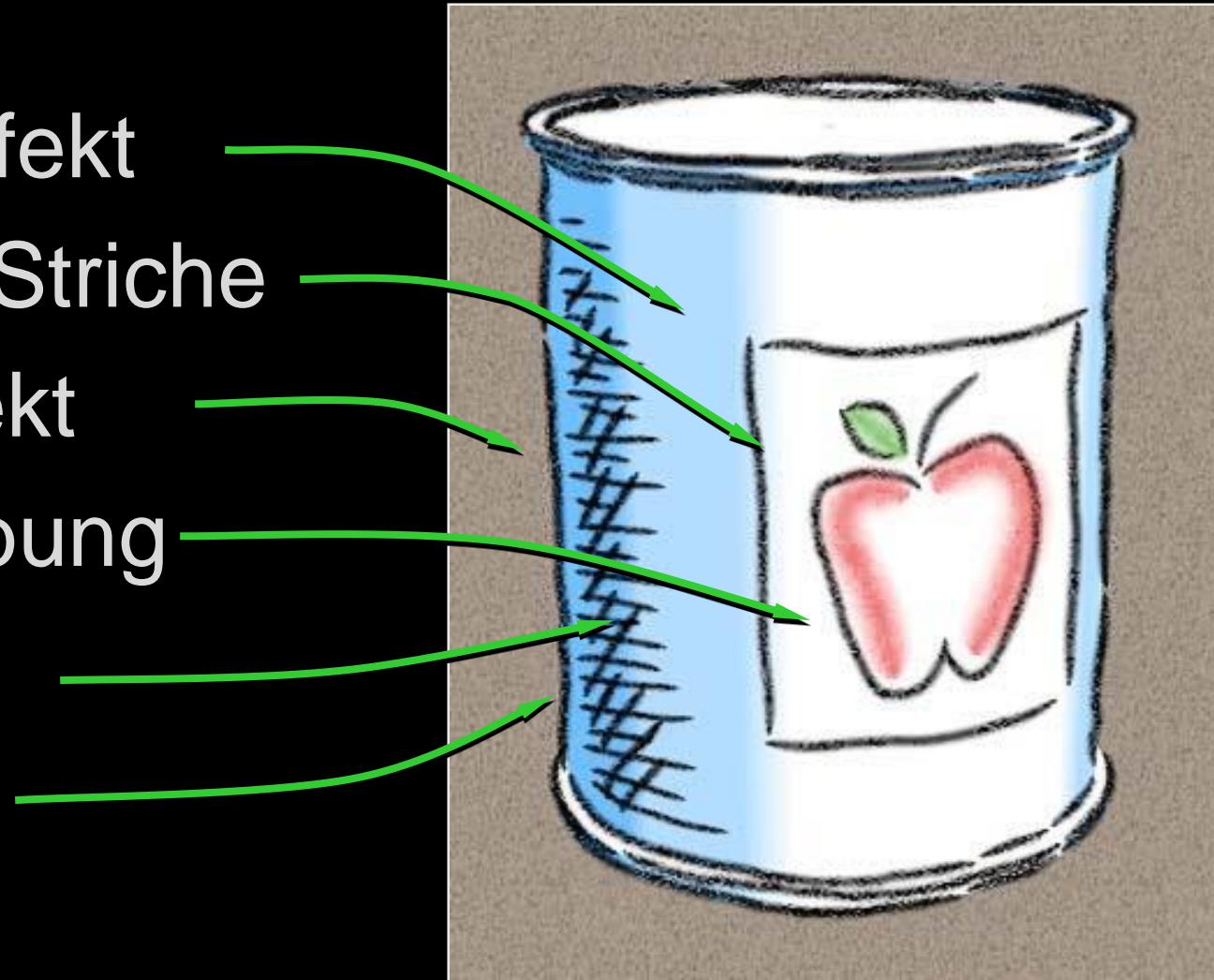
Stilisierte Striche

Papiereffekt

Hervorhebung

Schraffur

Umrisse



# Wie beschreibt man “Linien zur Darstellung der Form”?

- Merkmale im Bildraum
- Merkmale im Objektraum
  - blickunabhängig
  - blickabhängig



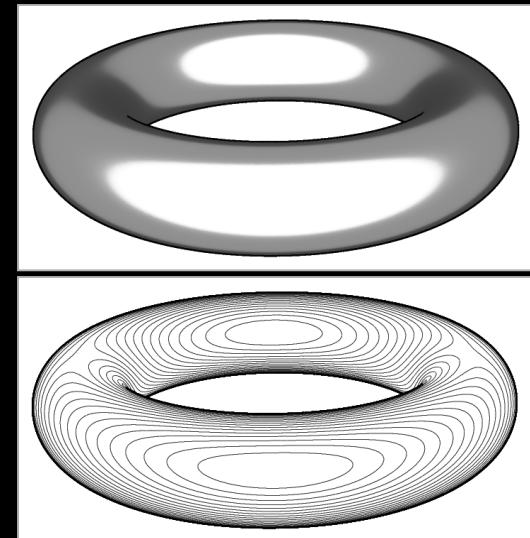
[Flaxman 1805]

# Linien im Bildraum

- + Intuitiv zu motivieren, gut geeignet für GPU
- Schwierig zu stilisieren

Beispiele:

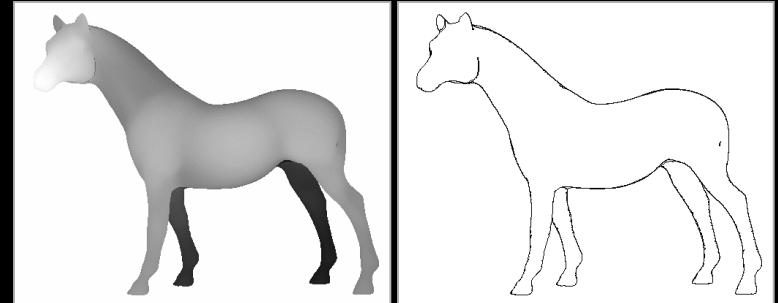
- Isophoten (z.B. Grenzen beim Toonshading)
- Kanten (z.B. [Canny 1986])
- Beleuchtungsextrema  
[Pearson 1985, Rieger 1997,  
DeCarlo 2003, Lee 2007, ...]



# Bildkanten und Extremlinien

Kanten:

Lokale Maxima der  
Gradientenmagnitude,  
in Richtung des Gradienten



Grate und Täler:

Lokale Intensitätsmaxima/-  
minima, in Richtung des  
größten Eigenvektors der  
Hessematrix

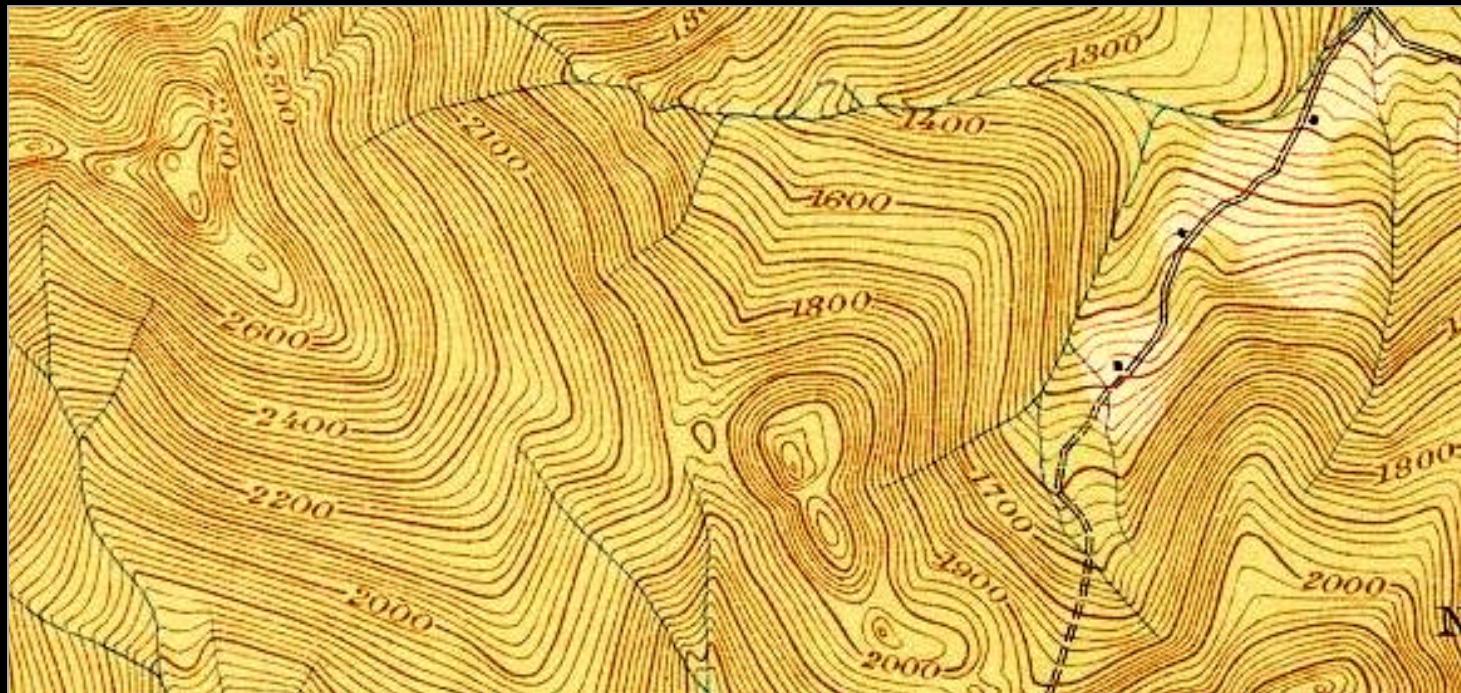


# Blickunabhängige Linien auf Objekten

- + Intrinsische Eigenschaften der Objektgeometrie, können vorberechnet werden
- Können unter neuen Betrachtungsbedingungen falsch interpretiert werden (Oberflächenmarkierungen)

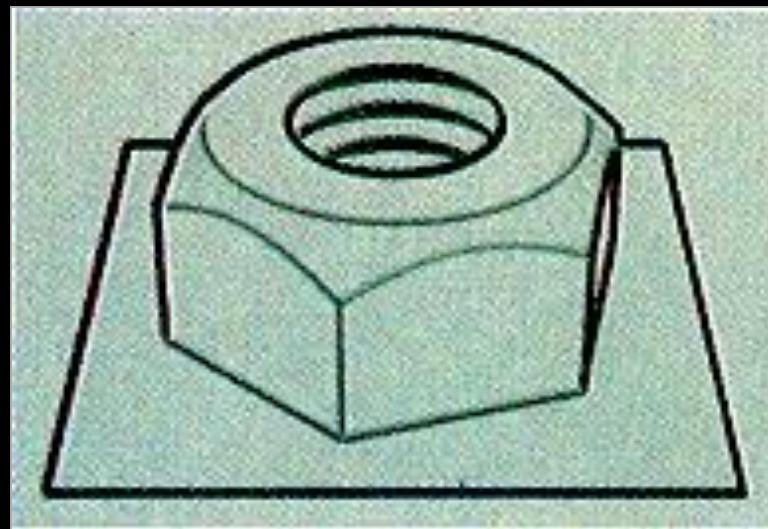
# Blickunabhängige Linien auf Objekten

Topographische Linien: konstante Höhe



# Blickunabhängige Linien im Objektraum

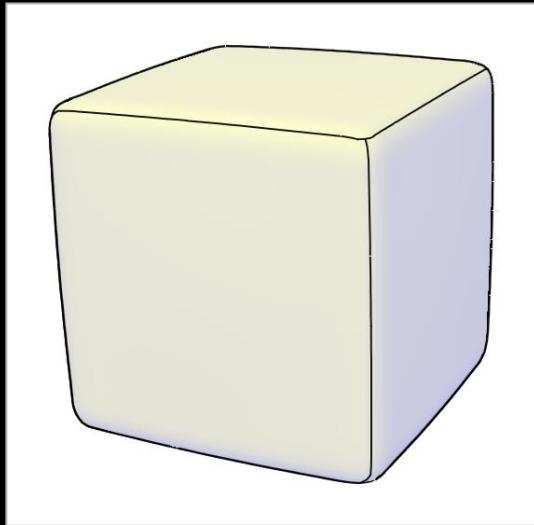
Knicke: unendlich scharfe Kanten



# Blickunabhängige Linien auf Objekten

## Grate und Täler (Faltenlinien)

- Lokale Maxima der Krümmung
- Manchmal effektiv, manchmal nicht



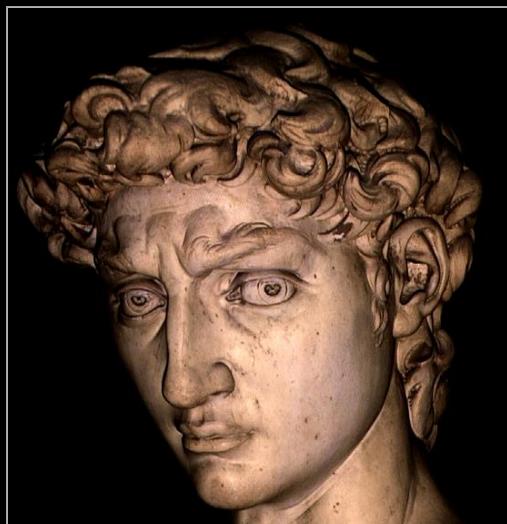
# Blickabhängige Linien auf Objekten

- + Sehr effektiv zur Darstellung von Formen
- Müssen pro Bild neu berechnet werden  
(ineffizient)

# Welche Linien sollte man zeichnen? ---

Umrisse (Silhouetten):

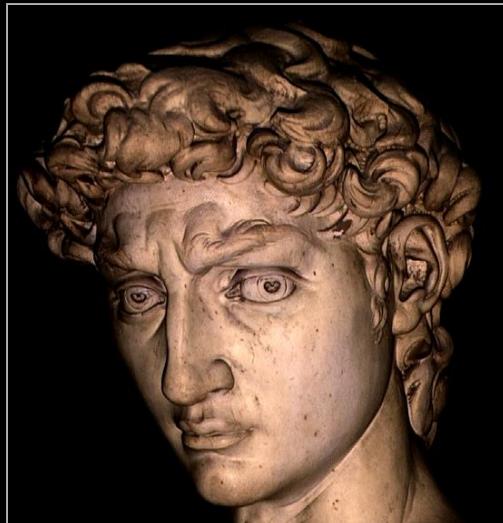
- Grenzen zwischen Objekt und Hintergrund



# Welche Linien sollte man zeichnen?

Verdeckende Konturen:

- Unstetigkeiten in der Tiefe
- Oberflächennormale senkrecht zur Blickrichtung



# Verdeckende Konturen

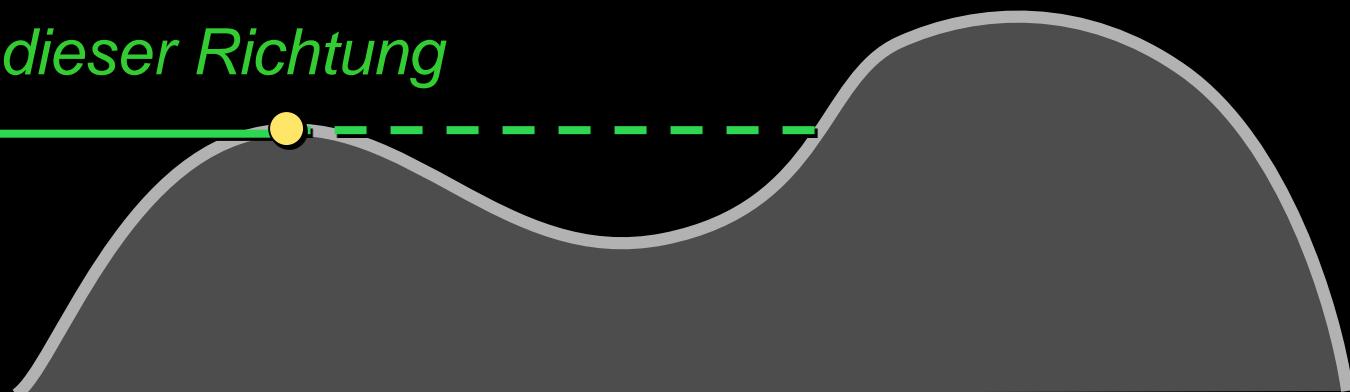
Für jede Form: Sprünge im Tiefenwert

- Auch “innere Silhouetten” genannt
- Also called “interior and exterior silhouettes”



*Kein Umriss aus dieser Blickrichtung*

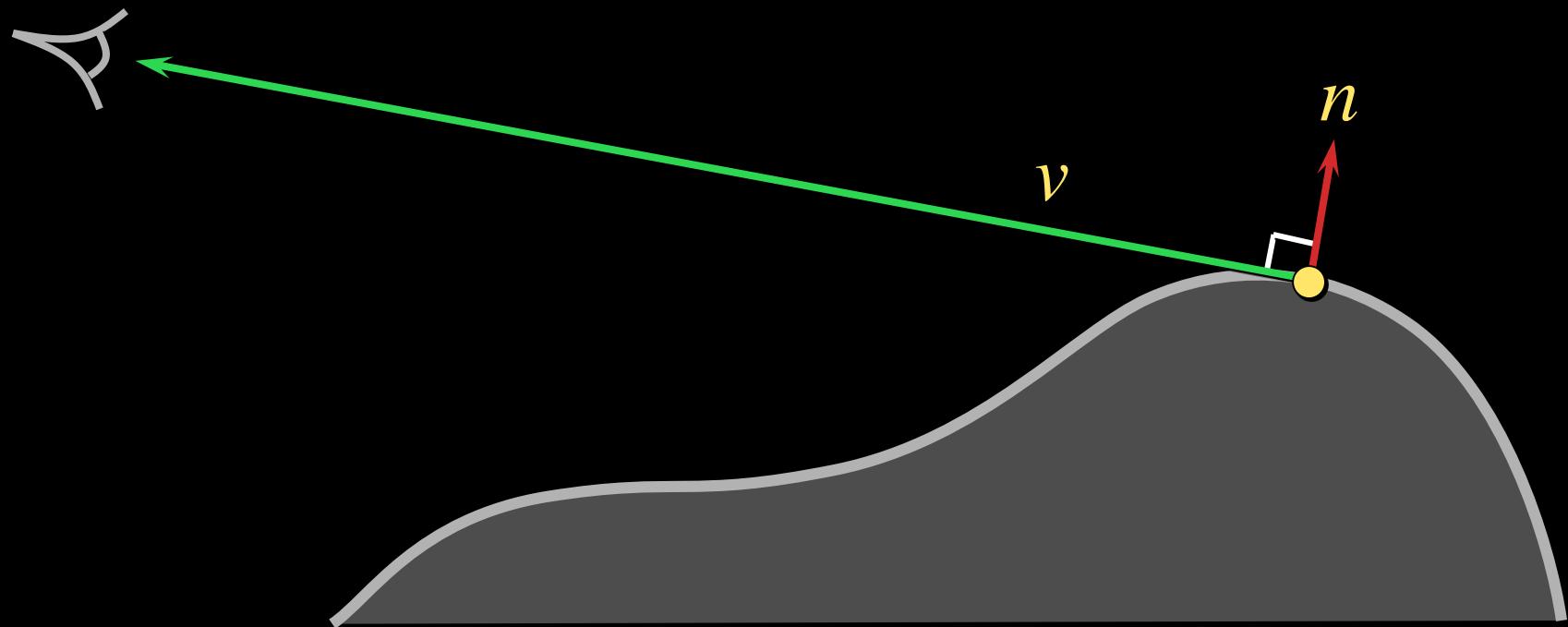
*Umriss aus dieser Richtung*



# Verdeckende Konturen

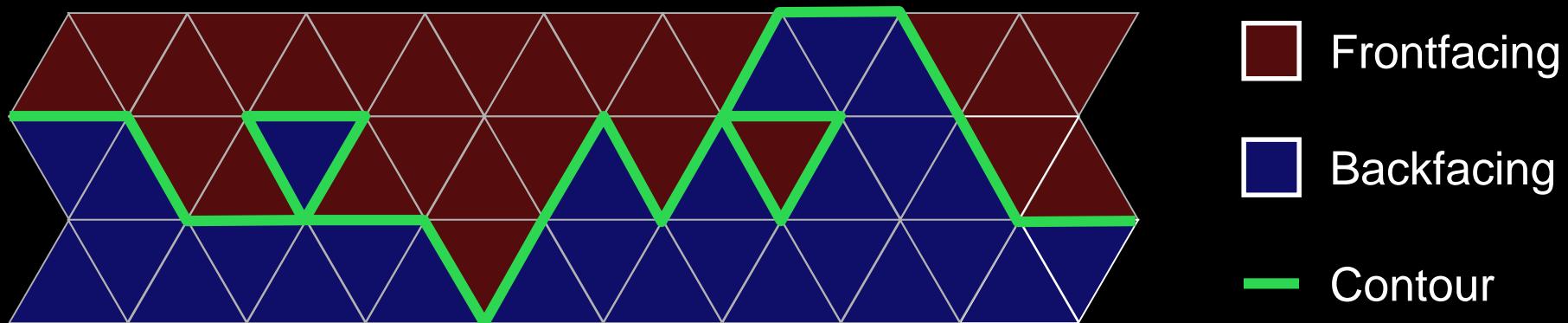
Für glatte Oberflächen: Punkte, an denen

$$n \cdot v = 0$$



# Verdeckende Konturen auf Meshes

Auf Polygonnetzen erzeugen diese Definitionen  
unschöne Linien

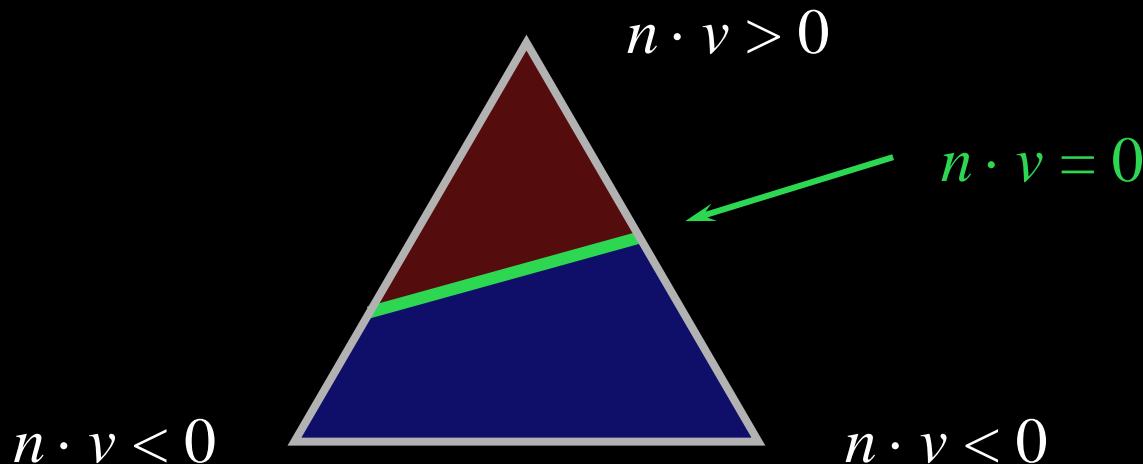


# Verdeckende Konturen auf Meshes

[Hertzmann 00]

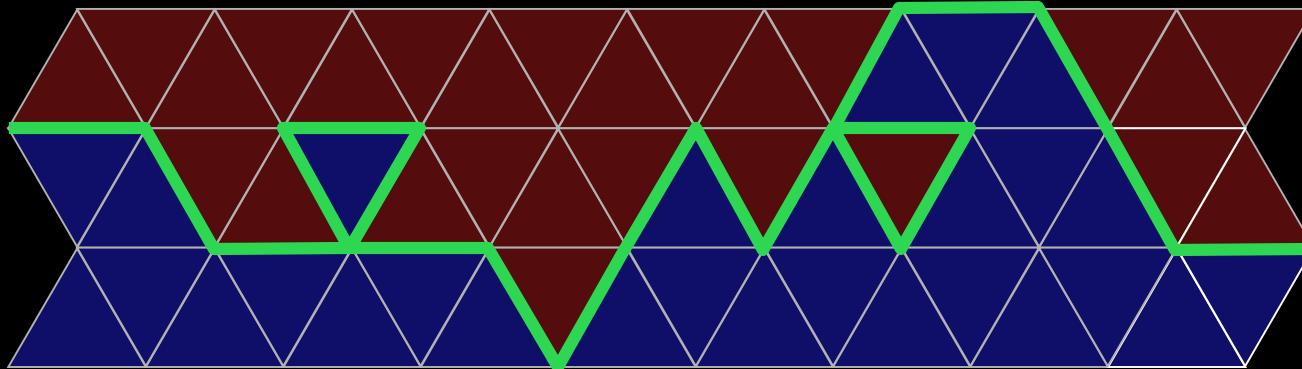
Alternative: interpoliere Normale über Fläche

- (analog zu Phong-Shading)
- Berechne  $n \cdot v$  an jedem Punkt, finde Nullstellen
- Schwierigkeit: Sichtbarkeit



# Verdeckende Konturen auf Meshes

Contours along edges

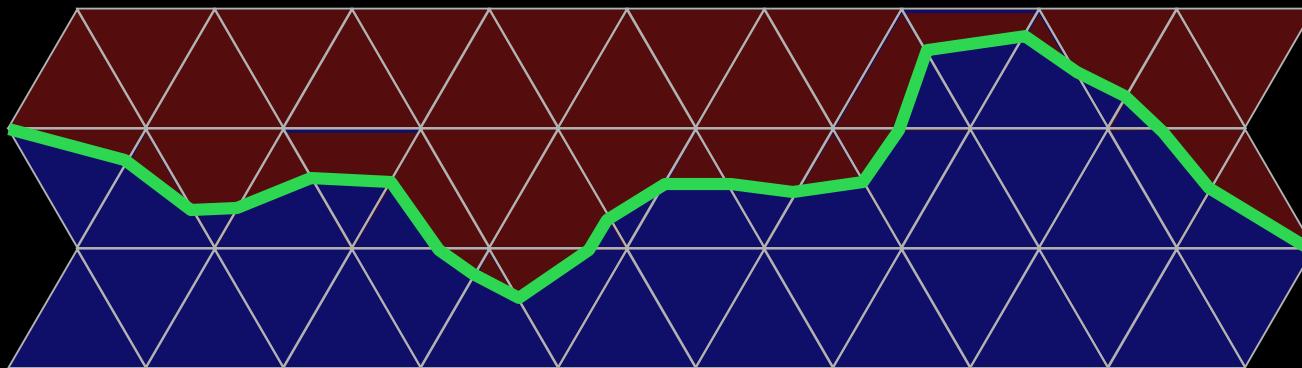


Frontfacing

Backfacing

Contour

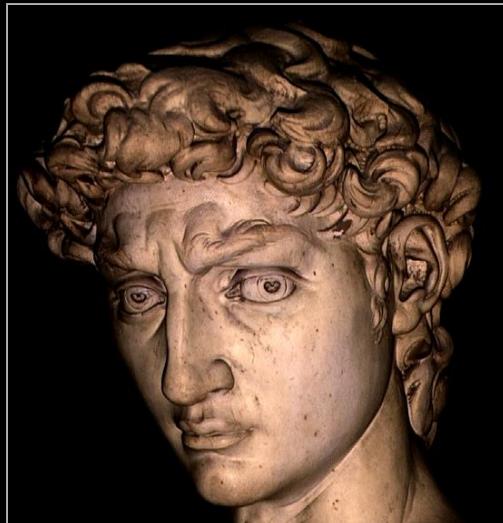
Contours within faces



# Welche Linien sollte man zeichnen?

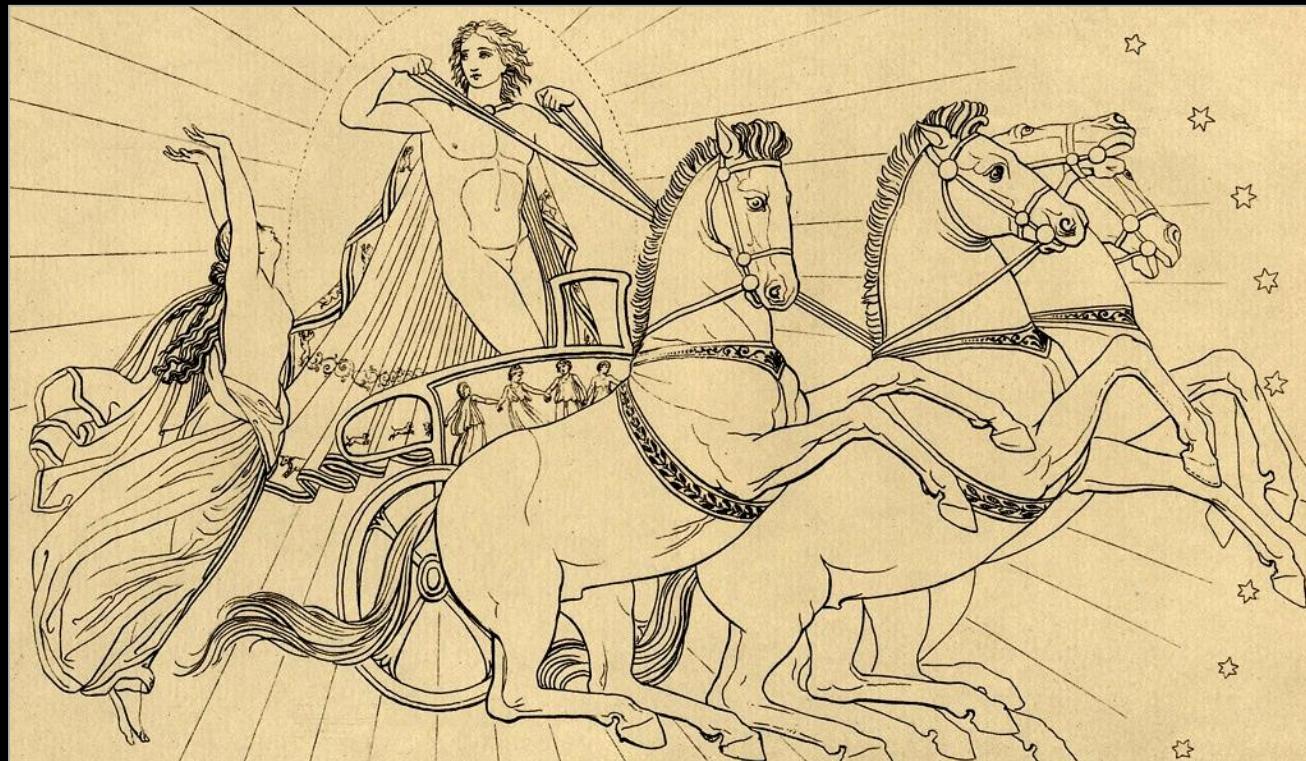
Verdeckende Konturen:

- Tiefensprünge
- Oberfläche senkrecht zur Blickrichtung



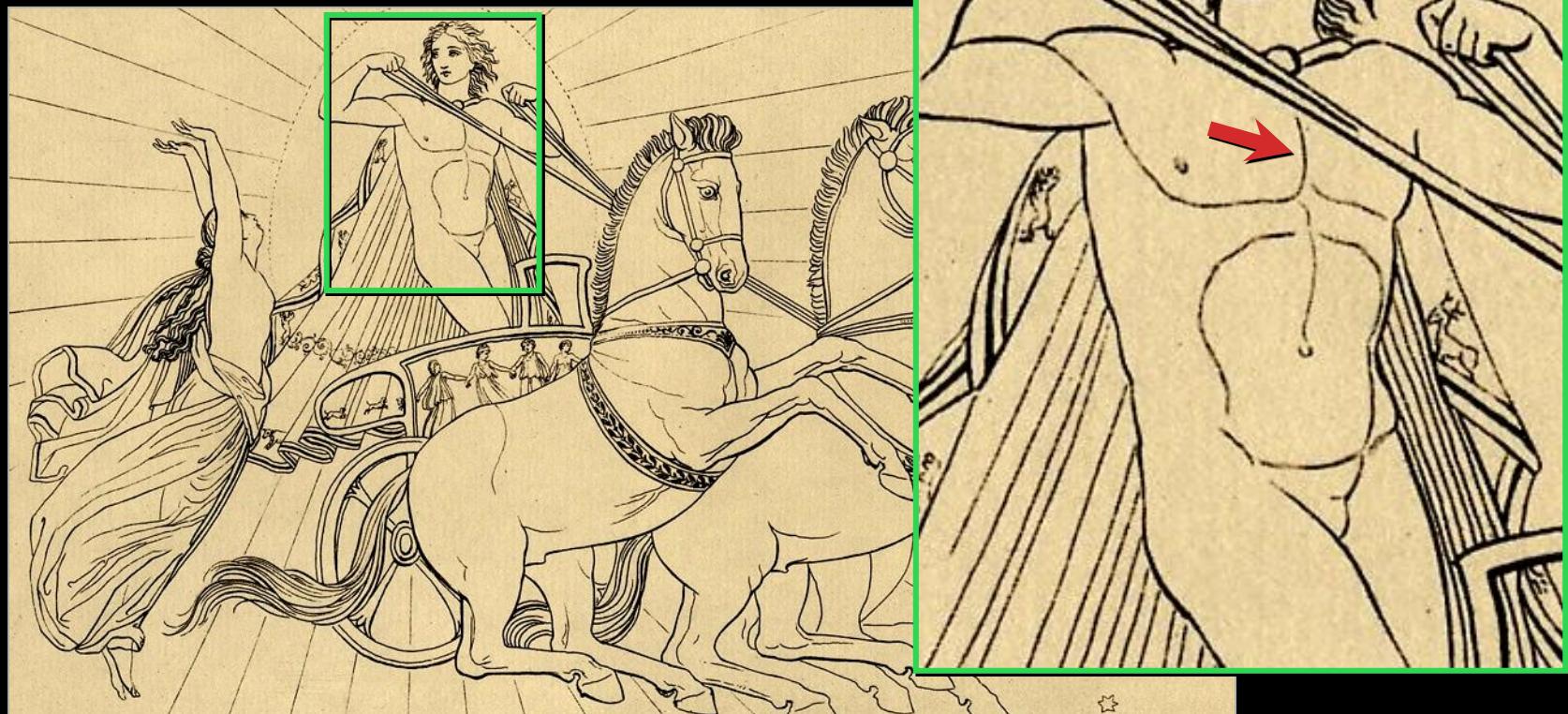
# Welche Linien sollte man zeichnen?

Es gibt auch andere Linien



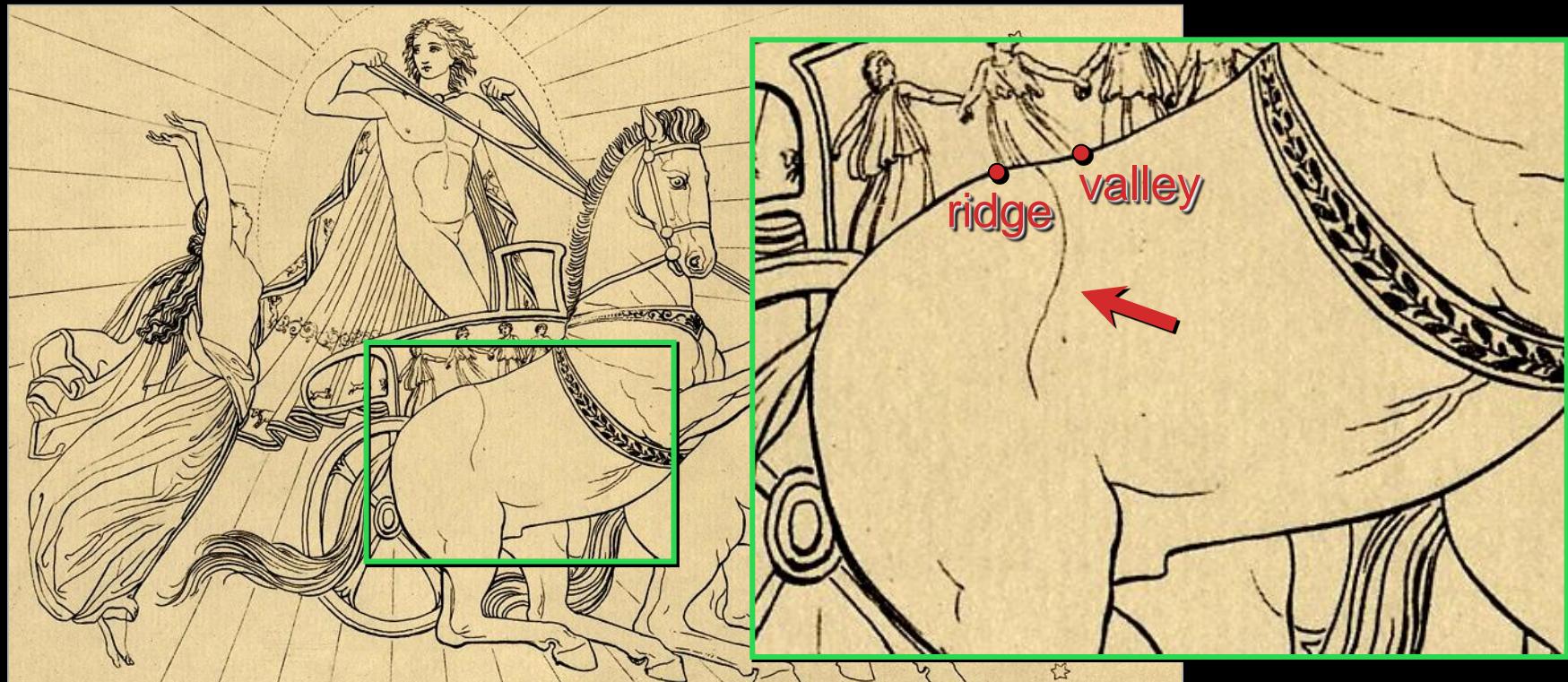
# Welche Linien sollte man zeichnen?

Es gibt auch andere Linien



# Welche Linien sollte man zeichnen?

Es gibt auch andere Linien



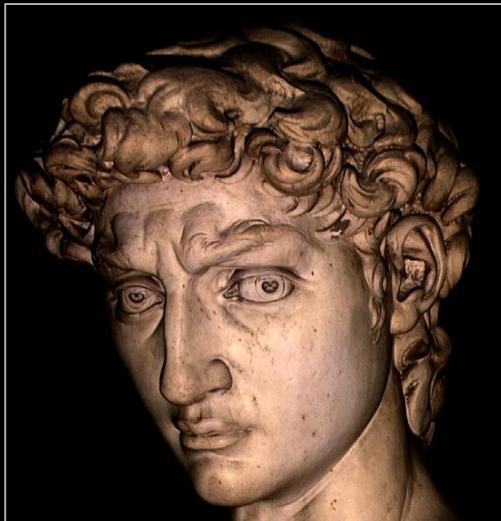
Hypothese: einige sind “beinahe” Umrisse

[Flaxman 1805]

# Suggestive Contours

“Beinahe Umrisse”:

- Punkte, die in benachbarten Ansichten Umrisse werden



contours

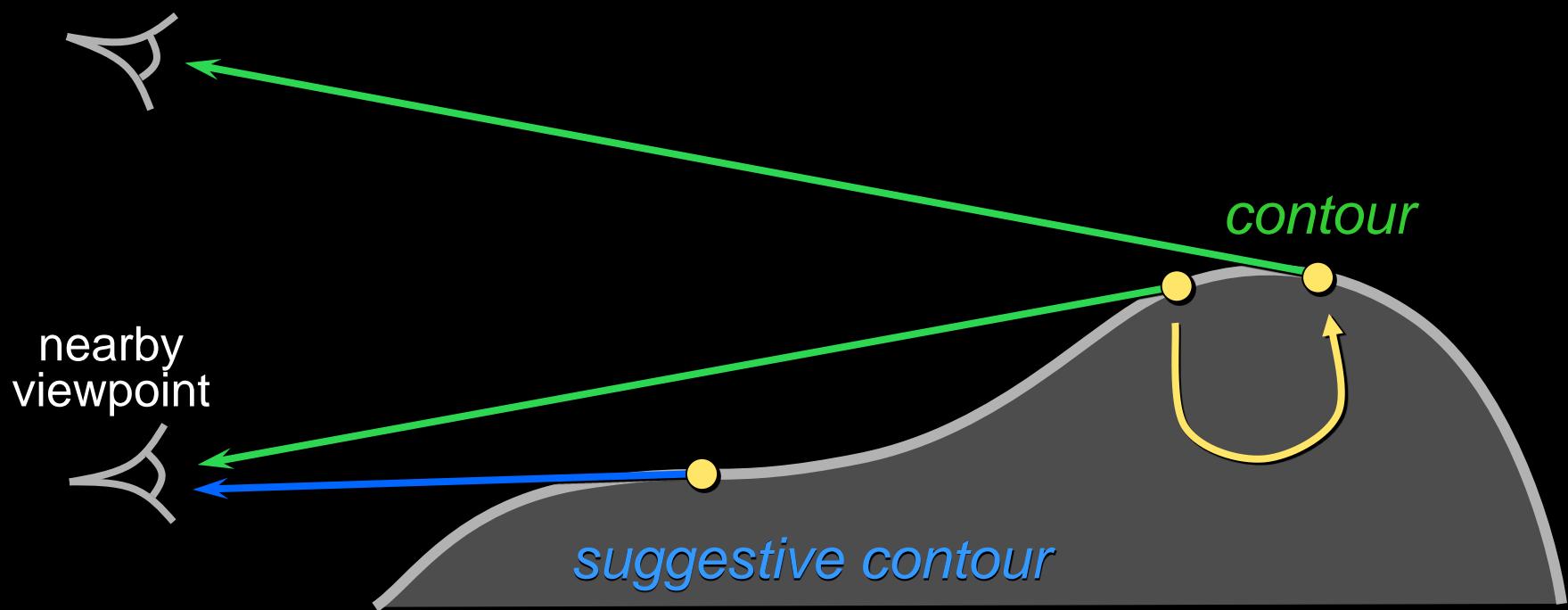


contours +  
suggestive contours

# Suggestive Contours: Definition 1

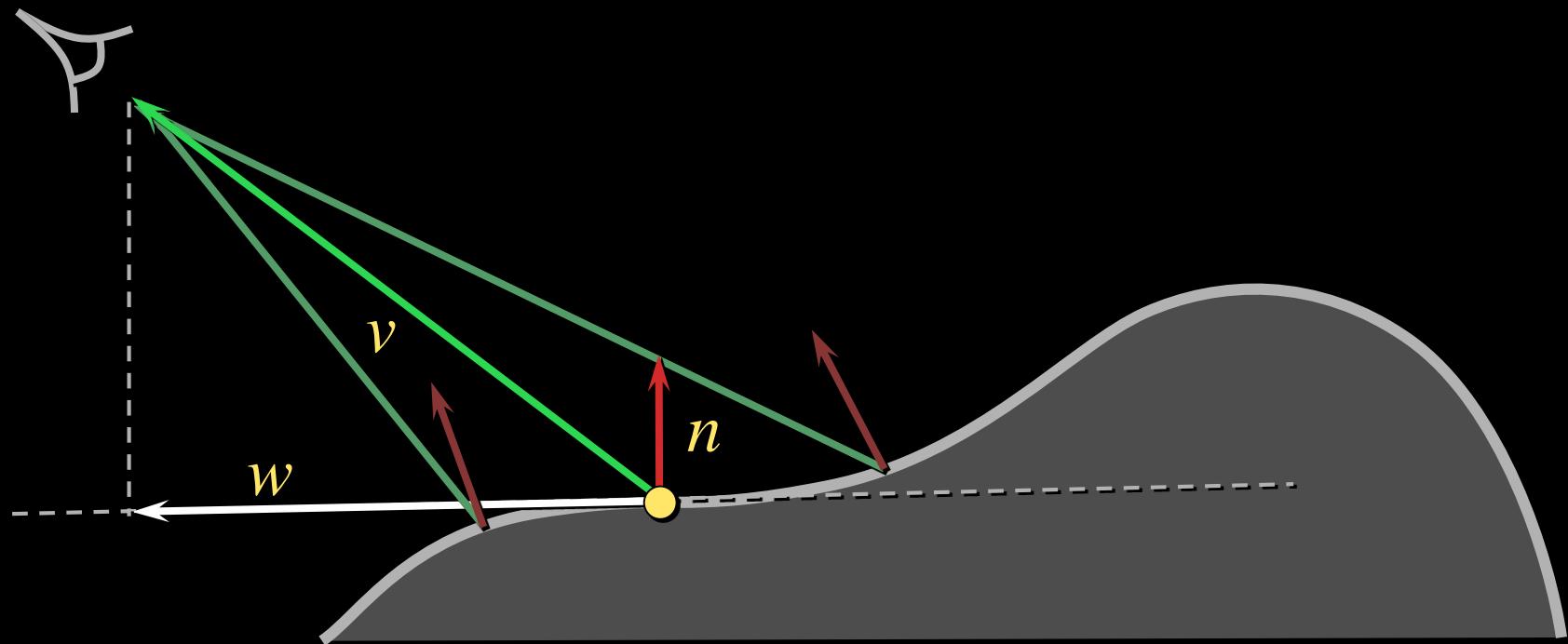
Konturen in benachbarten Blickrichtungen

(die keine Entsprechung in der aktuellen  
Richtung haben)

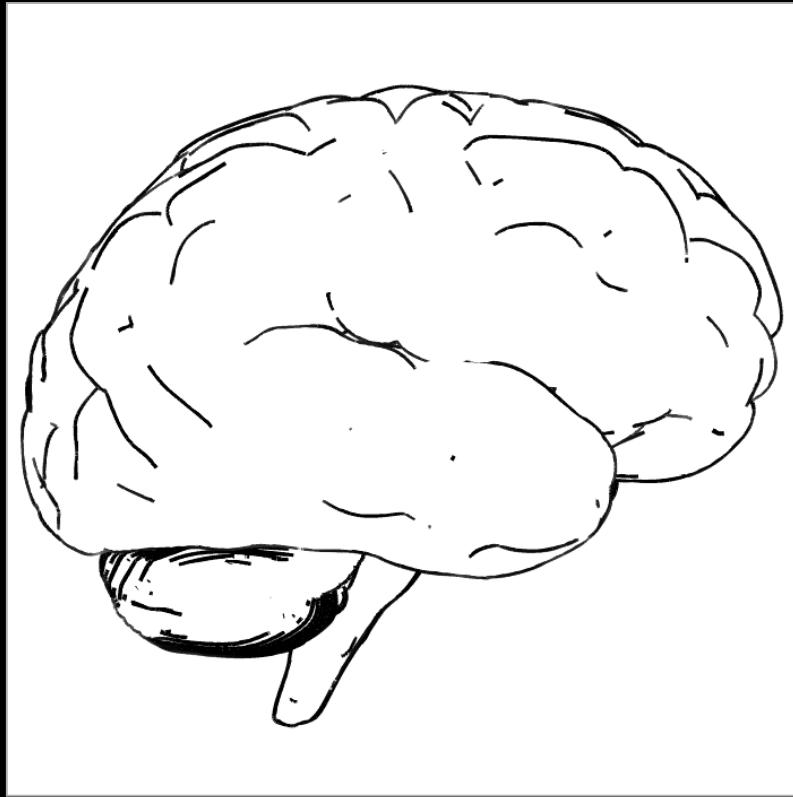


# Suggestive Contours: Definition 2

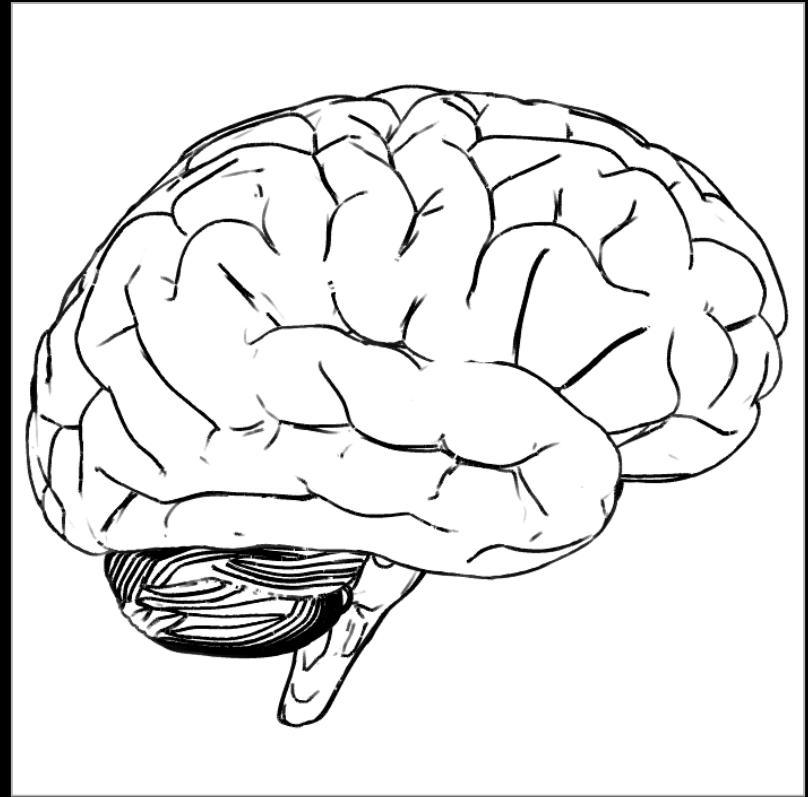
$n \cdot v$  nicht null, aber lokales Minimum  
(in der projizierten Blickrichtung  $w$ )



# Ergebnisse...

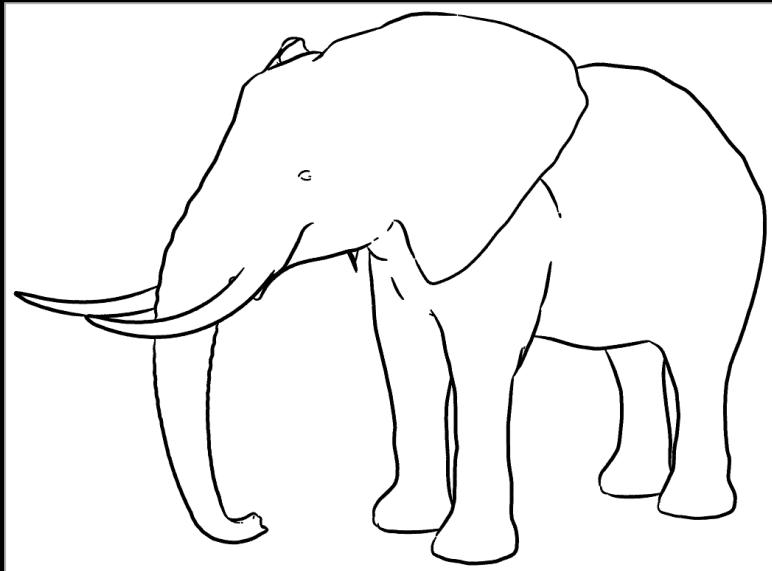


contours

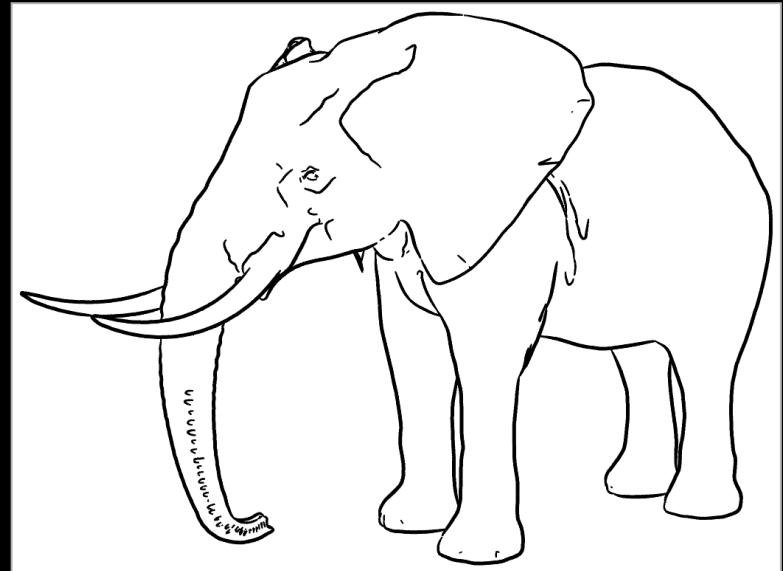


contours +  
suggestive contours

# Ergebnisse...



contours



contours +  
suggestive contours

# Abstraktion in NPR

## Details in Tuschezeichnungen

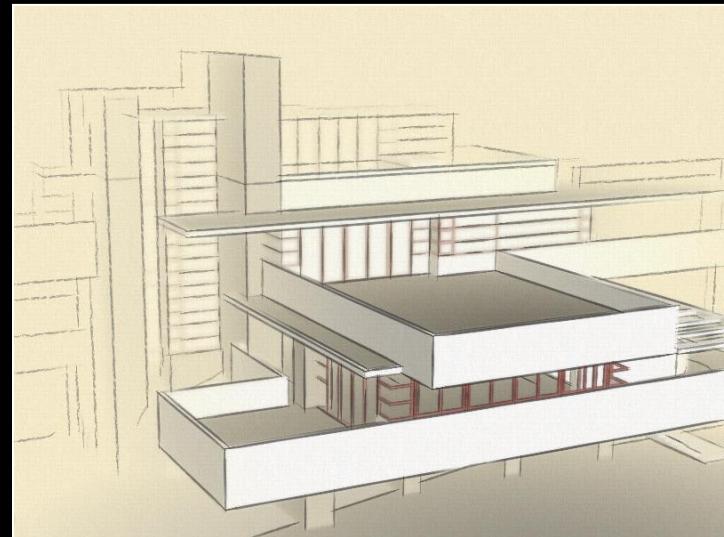
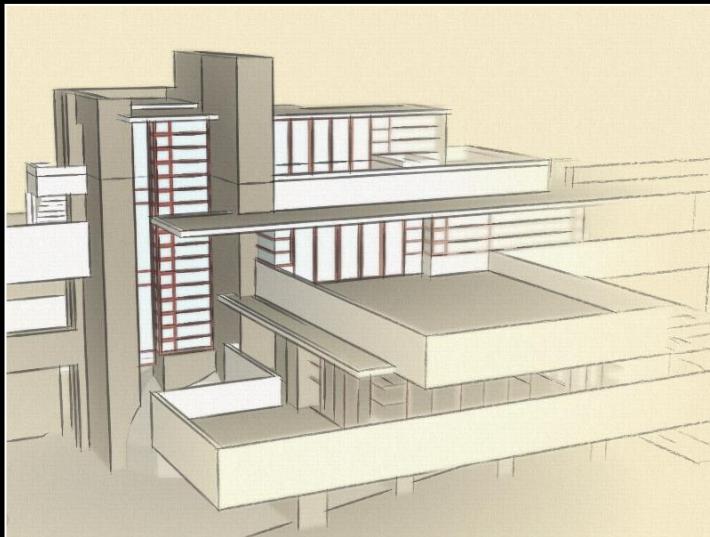
- Nutzer gibt vor, welche Regionen mit höherem Detailgrad gezeichnet werden sollen



[Winkenbach and Salesin 1994]

# Abstraktion in NPR

Kontrolle über hervorgehobene Bereiche  
Störende Unordnung / irrelevante Information  
im Bild minimieren

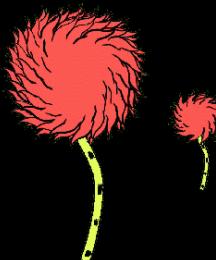


[Cole et al. 2006]

# Abstraktion in NPR

## Spezifische Inhalte render: Bäume

- Linien in der Mitte / im Inneren programmatisch auslassen



[Kowalski et al. 1999]

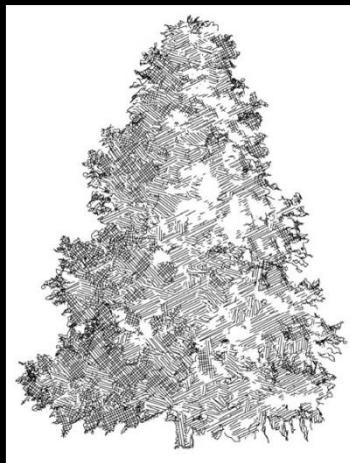


[Deussen 2000]

# Abstraktion in NPR

Elemente basierend auf Dichte und  
Unübersichtlichkeit ausdünnen

- In sehr dichten Bereichen fallen Striche weg



[Winson and Ma 2004]



[Grabli et al. 2004]

# Abstraktion in NPR

## Nutzer-gesteuerte Ansätze

- Wichtige Bereiche aus den Augenbewegungen des/der Nutzer/in ableiten [Santella and DeCarlo 2004]



[DeCarlo and Santella 2002]

# Ergebnisse...



# Zusammenfassung

NPR bietet Kontrolle über Stil  
und Abstraktion

Zutaten:  
Cartoon-Stil,  
Umrisslinien,  
Schraffur,  
Malereistil,  
Papiereffekt

