

# Nichtrealistische Computergraphik

Christian Kungel, Cornelius Nägele, Jan Tammen

Seminar Graphische Algorithmen WS 06/07  
Fakultät Informatik,  
HTWG Konstanz

24. Januar 2007



## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Nichtrealistische Computergraphik



- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



# Nichtrealistische Computergraphik



- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



# Nichtrealistische Computergraphik



- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



# Nichtrealistische Computergraphik



- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



# Nichtrealistische Computergraphik



- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



# Nichtrealistische Computergraphik

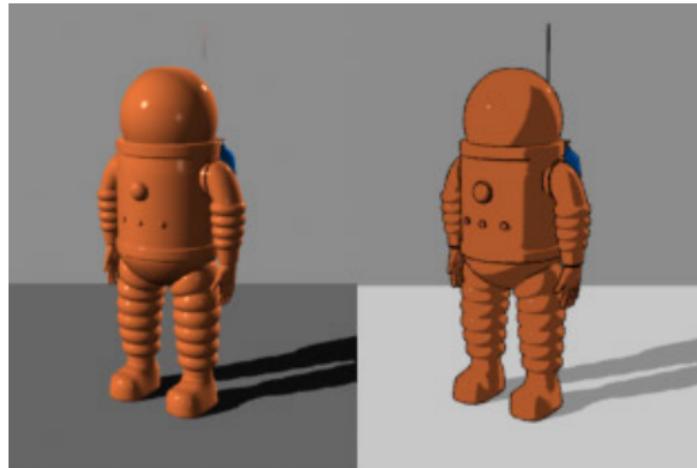


- non-photorealistic rendering (NPR)
- Entstehungsgeschichte der NPR
- Wozu wird es eingesetzt?



## Einleitung

# Beispiele



plastic shader

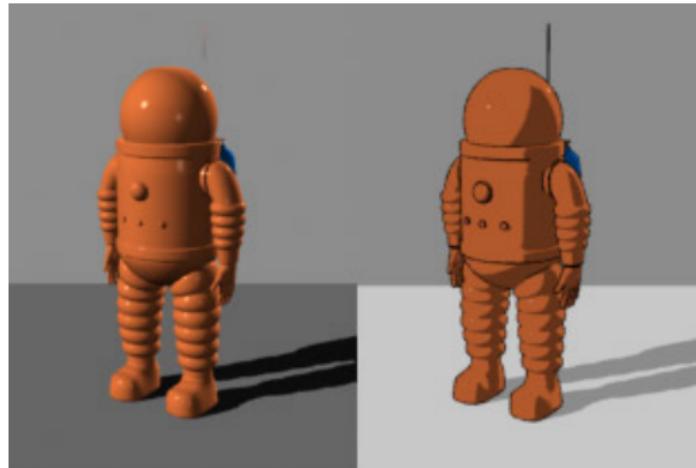
toon shader

Toon-Shader mit  
Borderdetection  
Quelle: Wikipedia



## Einleitung

# Beispiele



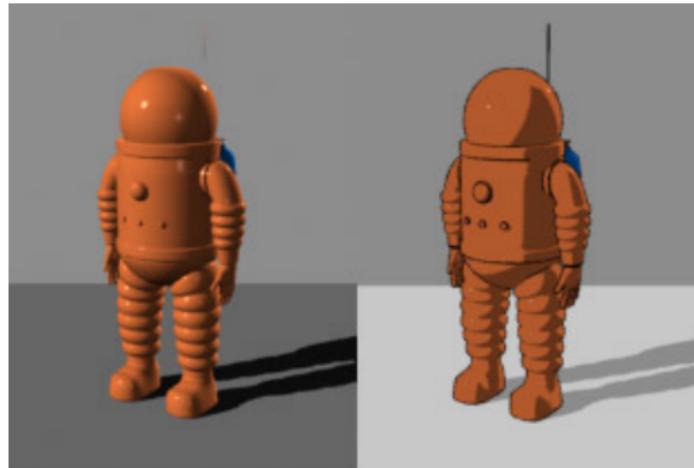
plastic shader

toon shader

Toon-Shader mit  
Borderdetection  
Quelle: Wikipedia



# Beispiele



plastic shader

toon shader

Toon-Shader mit  
Borderdetection  
Quelle: Wikipedia



# Transformationsformen

- 2D-Bild → 2D-Bild (Kohleschraffur, Wasserfarben, ...)
- 3D-Modell → 2D-Bild (Bäume)
- 3D-Modell → 3D-Modell (veränderte Texturen, Modell wirkt „zweidimensionaler“)



# Transformationsformen

- 2D-Bild → 2D-Bild (Kohleschraffur, Wasserfarben, ...)
- 3D-Modell → 2D-Bild (Bäume)
- 3D-Modell → 3D-Modell (veränderte Texturen, Modell wirkt „zweidimensionaler“)



# Transformationsformen

- 2D-Bild → 2D-Bild (Kohleschraffur, Wasserfarben, . . .)
- 3D-Modell → 2D-Bild (Bäume)
- 3D-Modell → 3D-Modell (veränderte Texturen, Modell wirkt „zweidimensionaler“)



# Einsatzebenen

**Non-Photorealistic Rendering (NPR)** kann auf drei Ebenen eingesetzt werden:

- Geometrieraum
- Projektionsraum
- Bildraum



# Einsatzebenen

**Non-Photorealistic Rendering (NPR)** kann auf drei Ebenen eingesetzt werden:

- Geometrieraum
- Projektionsraum
- Bildraum



# Einsatzebenen

**Non-Photorealistic Rendering (NPR)** kann auf drei Ebenen eingesetzt werden:

- Geometrieraum
- Projektionsraum
- Bildraum



## Techniken im Geometrieraum

# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



## Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
  - Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
  - wird daher selten bevorzugt
  - Techniken:
    - Computer Sketching
    - Noise Modifier
    - Level of Detail



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



# Techniken im Geometrieraum

- direkter Einfluss auf die 3D-Geometrie der Objekte
- Nachteil: erfordert einen hohen Zeitaufwand
- wird daher selten bevorzugt
- Techniken:
  - Computer Sketching
  - Noise Modifier
  - Level of Detail



## Computer Sketching

- Paul Bourk, 1990
  - Frage: Können CAD-Anwendungen auch unscharfe, an menschliche Skizzen erinnernde Entwürfe ausgeben?
  - Kriterien für Skizzen:
    - Linien enden nicht exakt an Schnittpunkten (Kreuzungen)
    - Linien sind nicht gradlinig sondern „verwackelt“



## Computer Sketching

- Paul Bourk, 1990
  - Frage: Können CAD-Anwendungen auch unscharfe, an menschliche Skizzen erinnernde Entwürfe ausgeben?
  - Kriterien für Skizzen:
    - Linien enden nicht exakt an Schnittpunkten (Kreuzungen)
    - Linien sind nicht gradlinig sondern „verwackelt“



## Computer Sketching

- Paul Bourk, 1990
  - Frage: Können CAD-Anwendungen auch unscharfe, an menschliche Skizzen erinnernde Entwürfe ausgeben?
  - Kriterien für Skizzen:
    - Linien enden nicht exakt an Schnittpunkten (Kreuzungen)
    - Linien sind nicht gradlinig sondern „verwackelt“



# Computer Sketching

- Paul Bourk, 1990
  - Frage: Können CAD-Anwendungen auch unscharfe, an menschliche Skizzen erinnernde Entwürfe ausgeben?
  - Kriterien für Skizzen:
    - Linien enden nicht exakt an Schnittpunkten (Kreuzungen)
    - Linien sind nicht gradlinig sondern „verwackelt“



## Computer Sketching

- Paul Bourk, 1990
  - Frage: Können CAD-Anwendungen auch unscharfe, an menschliche Skizzen erinnernde Entwürfe ausgeben?
  - Kriterien für Skizzen:
    - Linien enden nicht exakt an Schnittpunkten (Kreuzungen)
    - Linien sind nicht gradlinig sondern „verwackelt“



# Computer Sketching

- Hauptansatz: direkte Manipulation der 3D-Geometrie
- Umsetzung:
  - Linien werden um randomisierte Faktoren verlängert
  - Aufspalten der Linien und Mittelpunktverschiebung



# Computer Sketching

- Hauptansatz: direkte Manipulation der 3D-Geometrie
- Umsetzung:
  - Linien werden um randomisierte Faktoren verlängert
  - Aufspalten der Linien und Mittelpunktverschiebung



# Computer Sketching

- Hauptansatz: direkte Manipulation der 3D-Geometrie
- Umsetzung:
  - Linien werden um randomisierte Faktoren verlängert
  - Aufspalten der Linien und Mittelpunktverschiebung



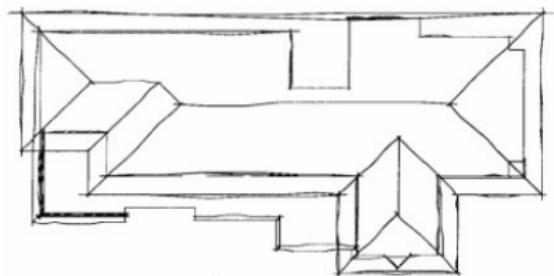
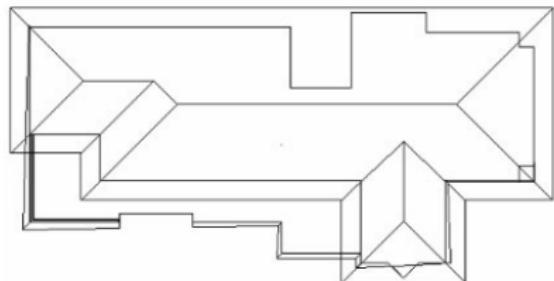
# Computer Sketching

- Hauptansatz: direkte Manipulation der 3D-Geometrie
- Umsetzung:
  - Linien werden um randomisierte Faktoren verlängert
  - Aufspalten der Linien und Mittelpunktverschiebung



Techniken im Geometrieraum

# Computer Sketching



# Noise Modifier

- „Rauschen“ in 3D-Modellen
- Geometriepunkte werden um einen zufälligen Faktor verschoben
- meist Anwendung auf glatte Flächen, um „natürliche“ Flächen zu erzeugen (Landschaften)



## Noise Modifier

- „Rauschen“ in 3D-Modellen
- Geometriepunkte werden um einen zufälligen Faktor verschoben
- meist Anwendung auf glatte Flächen, um „natürliche“ Flächen zu erzeugen (Landschaften)



## Noise Modifier

- „Rauschen“ in 3D-Modellen
- Geometriepunkte werden um einen zufälligen Faktor verschoben
- meist Anwendung auf glatte Flächen, um „natürliche“ Flächen zu erzeugen (Landschaften)



# Level of Detail

## ■ Einsatz in vielen Bereichen:

- Kartographie: angezeigte Detailstufe in Abhängigkeit vom Maßstab (Generalisierung)
- photorealistische Darstellungen: angezeigte Detailstufe der Szene in Abhängigkeit von der Betrachterposition
- NPR: Detailstufe in Abhängigkeit zur „Wichtigkeit“ der Objekte
  - Eine Möglichkeit ist die Meshsimplifizierung



# Level of Detail

- Einsatz in vielen Bereichen:

- Kartographie: angezeigte Detailstufe in Abhängigkeit vom Maßstab (Generalisierung)
- photorealistische Darstellungen: angezeigte Detailstufe der Szene in Abhängigkeit von der Betrachterposition
- NPR: Detailstufe in Abhängigkeit zur „Wichtigkeit“ der Objekte
  - Eine Möglichkeit ist die Meshsimplifizierung



# Level of Detail

## ■ Einsatz in vielen Bereichen:

- Kartographie: angezeigte Detailstufe in Abhängigkeit vom Maßstab (Generalisierung)
- photorealistische Darstellungen: angezeigte Detailstufe der Szene in Abhängigkeit von der Betrachterposition
- NPR: Detailstufe in Abhängigkeit zur „Wichtigkeit“ der Objekte
  - Eine Möglichkeit ist die Meshsimplifizierung



# Level of Detail

- Einsatz in vielen Bereichen:

- Kartographie: angezeigte Detailstufe in Abhängigkeit vom Maßstab (Generalisierung)
- photorealistische Darstellungen: angezeigte Detailstufe der Szene in Abhängigkeit von der Betrachterposition
- NPR: Detailstufe in Abhängigkeit zur „Wichtigkeit“ der Objekte
  - Eine Möglichkeit ist die Meshsimplifizierung



# Level of Detail

- Einsatz in vielen Bereichen:

- Kartographie: angezeigte Detailstufe in Abhängigkeit vom Maßstab (Generalisierung)
- photorealistische Darstellungen: angezeigte Detailstufe der Szene in Abhängigkeit von der Betrachterposition
- NPR: Detailstufe in Abhängigkeit zur „Wichtigkeit“ der Objekte
  - Eine Möglichkeit ist die Meshsimplifizierung



# Level of Detail

## ■ Meshsimplifizierung:

- reduziert die Anzahl der Polygone eines 3D Modells
- äußere Form wird dabei approximiert
- Dadurch: schnellere Verarbeitung in Echtzeitsystemen möglich



# Level of Detail

## ■ Meshsimplifizierung:

- reduziert die Anzahl der Polygone eines 3D Modells
- äußere Form wird dabei approximiert
- Dadurch: schnellere Verarbeitung in Echtzeitsystemen möglich



# Level of Detail

- Meshsimplifizierung:
  - reduziert die Anzahl der Polygone eines 3D Modells
  - äußere Form wird dabei approximiert
  - Dadurch: schnellere Verarbeitung in Echtzeitsystemen möglich



# Level of Detail

- Meshsimplifizierung:
  - reduziert die Anzahl der Polygone eines 3D Modells
  - äußere Form wird dabei approximiert
  - Dadurch: schnellere Verarbeitung in Echtzeitsystemen möglich



# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# Techniken im Projektionsraum

- meistens Kombination aus Projektions- und Bildraumverfahren
- dadurch leichteres Arbeiten mit 3D-Modellen und Erhöhung der grafischen Qualität der Ausgabe
- Techniken:
  - G-Buffer
  - Line-Rendering
  - Stroke Textures



# G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



## G-Buffer

- „Geometrie-Buffer“ Saito & Takahashi, 1990
- in den meisten kommerziellen Cartoon-Render-Paketen implementiert
- Prinzip: zusätzliche Speicherung von geometrischen Daten zur Informationsgewinnung im Bildraum
  - Flächen-Normalen des 3D-Modells
  - UV-Koordinaten des 3D-Modells
  - Z-Buffer des 3D-Modells
- Grundidee: Informationen zur Bilderzeugung aus dem G-Buffer extrahieren, analysieren und zusammenfügen.



# Line-Rendering

- Simulation der Semantik von Linien
  - geometrische Semantik:
    - Begrenzungen, Silhouetten, Diskontinuitäten (Falten)
  - stilistische Semantik:
    - Stärke der Linien, Transparenz, Linientyp (durchgezogen, gestrichelt, etc.)



# Line-Rendering

- Simulation der Semantik von Linien
- geometrische Semantik:
  - Begrenzungen, Silhouetten, Diskontinuitäten (Falten)
- stilistische Semantik:
  - Stärke der Linien, Transparenz, Linientyp (durchgezogen, gestrichelt, etc.)



# Line-Rendering

- Simulation der Semantik von Linien
- geometrische Semantik:
  - Begrenzungen, Silhouetten, Diskontinuitäten (Falten)
- stilistische Semantik:
  - Stärke der Linien, Transparenz, Linientyp (durchgezogen, gestrichelt, etc.)



# Line-Rendering

- Simulation der Semantik von Linien
- geometrische Semantik:
  - Begrenzungen, Silhouetten, Diskontinuitäten (Falten)
- stilistische Semantik:
  - Stärke der Linien, Transparenz, Linientyp (durchgezogen, gestrichelt, etc.)



# Line-Rendering

- Simulation der Semantik von Linien
- geometrische Semantik:
  - Begrenzungen, Silhouetten, Diskontinuitäten (Falten)
- stilistische Semantik:
  - Stärke der Linien, Transparenz, Linientyp (durchgezogen, gestrichelt, etc.)



# Line-Rendering

- Abspeicherung dieser zusätzlichen Attribute in geeigneter Form
  - Eine Möglichkeit: Speicherung in Matrixform
- Generierung der Attribute
  - z.B. durch Inferenzregeln zu Bestimmung der Charakteristika der einzelnen Linien
- Gute Kombinationsmöglichkeiten mit anderen NPR-Techniken (etwa G-Buffer)



# Line-Rendering

- Abspeicherung dieser zusätzlichen Attribute in geeigneter Form
  - Eine Möglichkeit: Speicherung in Matrixform
- Generierung der Attribute
  - z.B. durch Inferenzregeln zu Bestimmung der Charakteristika der einzelnen Linien
- Gute Kombinationsmöglichkeiten mit anderen NPR-Techniken (etwa G-Buffer)



# Line-Rendering

- Abspeicherung dieser zusätzlichen Attribute in geeigneter Form
  - Eine Möglichkeit: Speicherung in Matrixform
- Generierung der Attribute
  - z.B. durch Inferenzregeln zu Bestimmung der Charakteristika der einzelnen Linien
  - Gute Kombinationsmöglichkeiten mit anderen NPR-Techniken (etwa G-Buffer)



# Line-Rendering

- Abspeicherung dieser zusätzlichen Attribute in geeigneter Form
  - Eine Möglichkeit: Speicherung in Matrixform
- Generierung der Attribute
  - z.B. durch Inferenzregeln zu Bestimmung der Charakteristika der einzelnen Linien
- Gute Kombinationsmöglichkeiten mit anderen NPR-Techniken (etwa G-Buffer)



## Line-Rendering

- Abspeicherung dieser zusätzlichen Attribute in geeigneter Form
  - Eine Möglichkeit: Speicherung in Matrixform
- Generierung der Attribute
  - z.B. durch Inferenzregeln zu Bestimmung der Charakteristika der einzelnen Linien
- Gute Kombinationsmöglichkeiten mit anderen NPR-Techniken (etwa G-Buffer)



# Stroke Textures

- Winkenbach & Salesin, 1994
- Prinzip basiert auf konventionellen 2D-Malsystem
  - „strichbasierte“ Texturen werden angefertigt
  - mittels Texturemapping auf 3D-Objekte aufgebracht
  - Dabei: Anwendung des LOD-Prinzips auf die Textur



# Stroke Textures

- Winkenbach & Salesin, 1994
- Prinzip basiert auf konventionellen 2D-Malsystem
  - „strichbasierte“ Texturen werden angefertigt
  - mittels Texturemapping auf 3D-Objekte aufgebracht
  - Dabei: Anwendung des LOD-Prinzips auf die Textur



# Stroke Textures

- Winkenbach & Salesin, 1994
- Prinzip basiert auf konventionellen 2D-Malsystem
  - „strichbasierte“ Texturen werden angefertigt
  - mittels Texturemapping auf 3D-Objekte aufgebracht
  - Dabei: Anwendung des LOD-Prinzips auf die Textur



# Stroke Textures

- Winkenbach & Salesin, 1994
- Prinzip basiert auf konventionellen 2D-Malsystem
  - „strichbasierte“ Texturen werden angefertigt
  - mittels Texturemapping auf 3D-Objekte aufgebracht
  - Dabei: Anwendung des LOD-Prinzips auf die Textur

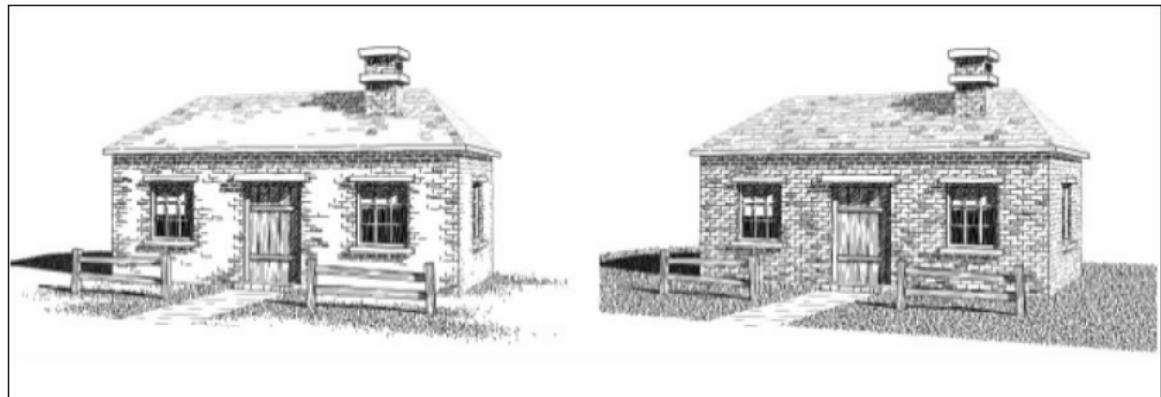


# Stroke Textures

- Winkenbach & Salesin, 1994
- Prinzip basiert auf konventionellen 2D-Malsystem
  - „strichbasierte“ Texturen werden angefertigt
  - mittels Texturemapping auf 3D-Objekte aufgebracht
  - Dabei: Anwendung des LOD-Prinzips auf die Textur



# Stroke Textures



- Liniенstärken und „Detail Tags“ sind durch den Benutzer spezifizierbar



# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Techniken im Bildraum

- vorhandenes Bild wird analysiert und neu gezeichnet
- Techniken:
  - Texture Elements
  - Hairy brushes
  - Iterated Function System (IFS)



# Techniken im Bildraum

- vorhandenes Bild wird analysiert und neu gezeichnet
- Techniken:
  - Texture Elements
  - Hairy brushes
  - Iterated Function System (IFS)



# Techniken im Bildraum

- vorhandenes Bild wird analysiert und neu gezeichnet
- Techniken:
  - Texture Elements
  - Hairy brushes
  - Iterated Function System (IFS)



# Techniken im Bildraum

- vorhandenes Bild wird analysiert und neu gezeichnet
- Techniken:
  - Texture Elements
  - Hairy brushes
  - Iterated Function System (IFS)



# Techniken im Bildraum

- vorhandenes Bild wird analysiert und neu gezeichnet
- Techniken:
  - Texture Elements
  - Hairy brushes
  - Iterated Function System (IFS)



# Texture Elements

- Mezei et al., 1974
- Ursprünglich: Synthese sehr „naturalistischer“ Bilder
- Beobachtung: in der Natur kommen sich oft wiederholende Muster vor



# Texture Elements

- Mezei et al., 1974
- Ursprünglich: Synthese sehr „naturalistischer“ Bilder
- Beobachtung: in der Natur kommen sich oft wiederholende Muster vor



# Texture Elements

- Mezei et al., 1974
- Ursprünglich: Synthese sehr „naturalistischer“ Bilder
- Beobachtung: in der Natur kommen sich oft wiederholende Muster vor



# Texture Elements

- Umsetzung: vorgefertigte grafische Subelemente werden zusammengefügt, um neue Bilder zu erzeugen
- Variationen durch Skalierung, Rotation und andere Verzerrungen
- Erzielt werden Verallgemeinerungen der Oberflächeneigenschaften, die wie menschliche Illustrationen wirken



# Texture Elements

- Umsetzung: vorgefertigte grafische Subelemente werden zusammengefügt, um neue Bilder zu erzeugen
- Variationen durch Skalierung, Rotation und andere Verzerrungen
- Erzielt werden Verallgemeinerungen der Oberflächeneigenschaften, die wie menschliche Illustrationen wirken



# Texture Elements

- Umsetzung: vorgefertigte grafische Subelemente werden zusammengefügt, um neue Bilder zu erzeugen
- Variationen durch Skalierung, Rotation und andere Verzerrungen
- Erzielt werden Verallgemeinerungen der Oberflächeneigenschaften, die wie menschliche Illustrationen wirken



# Hairy Brushes

## ■ Strassmann, 1986

- Verhalten von Pinsel und Farbe soll simuliert werden
- Ansatz: Pinsel als 1D-Abdruck der Pinselborsten
- Borsten laufen an einer parametrischen Kurve entlang, die durch Knoten definiert ist



# Hairy Brushes

- Strassmann, 1986
- Verhalten von Pinsel und Farbe soll simuliert werden
- Ansatz: Pinsel als 1D-Abdruck der Pinselborsten
- Borsten laufen an einer parametrischen Kurve entlang, die durch Knoten definiert ist



# Hairy Brushes

- Strassmann, 1986
- Verhalten von Pinsel und Farbe soll simuliert werden
- Ansatz: Pinsel als 1D-Abdruck der Pinselborsten
- Borsten laufen an einer parametrischen Kurve entlang, die durch Knoten definiert ist



# Hairy Brushes

- Strassmann, 1986
- Verhalten von Pinsel und Farbe soll simuliert werden
- Ansatz: Pinsel als 1D-Abdruck der Pinselborsten
- Borsten laufen an einer parametrischen Kurve entlang, die durch Knoten definiert ist



# Hairy Brushes

- Knoten enthalten Informationen über Position und Druck des Pinsels
- jeder „Strich“ wird mit einer speziellen Menge an Farbe gezeichnet
- Menge nimmt mit der Länge der Linie ab
- erneutes „Eintunken“ des Pinsels ist möglich



# Hairy Brushes

- Knoten enthalten Informationen über Position und Druck des Pinsels
- jeder „Strich“ wird mit einer speziellen Menge an Farbe gezeichnet
- Menge nimmt mit der Länge der Linie ab
- erneutes „Eintunken“ des Pinsels ist möglich



# Hairy Brushes

- Knoten enthalten Informationen über Position und Druck des Pinsels
- jeder „Strich“ wird mit einer speziellen Menge an Farbe gezeichnet
- Menge nimmt mit der Länge der Linie ab
- erneutes „Eintunken“ des Pinsels ist möglich



# Hairy Brushes

- Knoten enthalten Informationen über Position und Druck des Pinsels
- jeder „Strich“ wird mit einer speziellen Menge an Farbe gezeichnet
- Menge nimmt mit der Länge der Linie ab
- erneutes „Eintunken“ des Pinsels ist möglich



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- IFS: Systeme von Funktionen die wiederholt ausgeführt werden
- Einsatz: zur Beschreibung von Fraktalen
- Fraktale sind selbstbezüglich (rekursiv)
  - Beispiel: Barnsley-Farn



# Iterated Function Systems (IFS)

- Nutzung des Prinzips zur fraktalen Kompression von Bildern (Barnsley, 1988)
- Kompressionstechnik basiert auf dem „Collage- Theorem“ (Selbstähnlichkeit von Bildern)



# Iterated Function Systems (IFS)

- Nutzung des Prinzips zur fraktalen Kompression von Bildern (Barnsley, 1988)
- Kompressionstechnik basiert auf dem „Collage- Theorem“ (Selbstähnlichkeit von Bildern)



# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

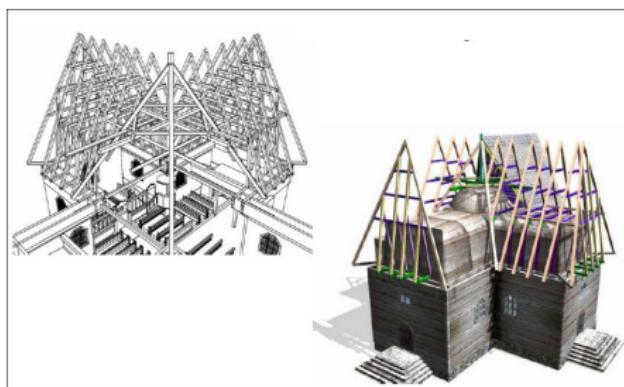
- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



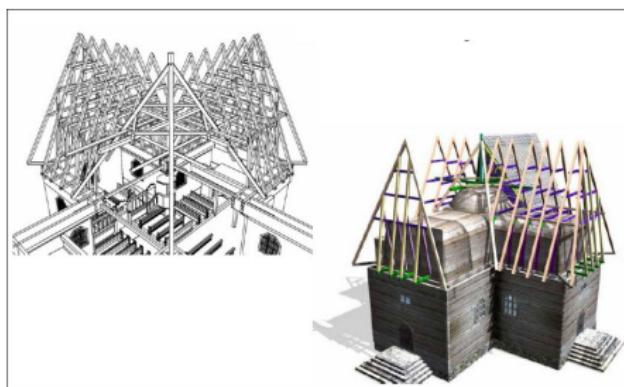
# Architektur



Abstrakte  
Landschaftsdarstellung in  
Bauplänen  
Quelle: Uni Rostock



# Architektur



Abstrakte  
Landschaftsdarstellung in  
Bauplänen  
Quelle: Uni Rostock



Einleitung  
oooo

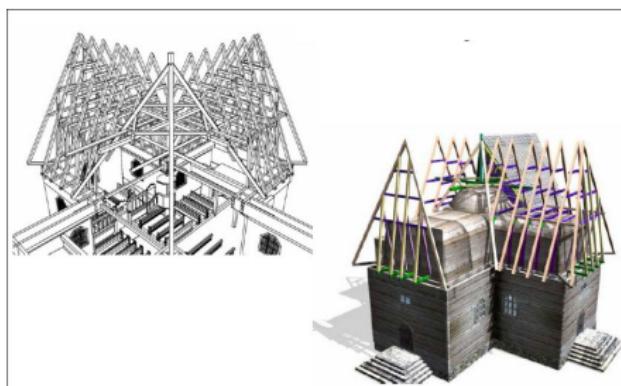
Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
o●oooo

Wasserfarben  
oooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Architektur



Abstrakte  
Landschaftsdarstellung in  
Bauplänen  
Quelle: Uni Rostock



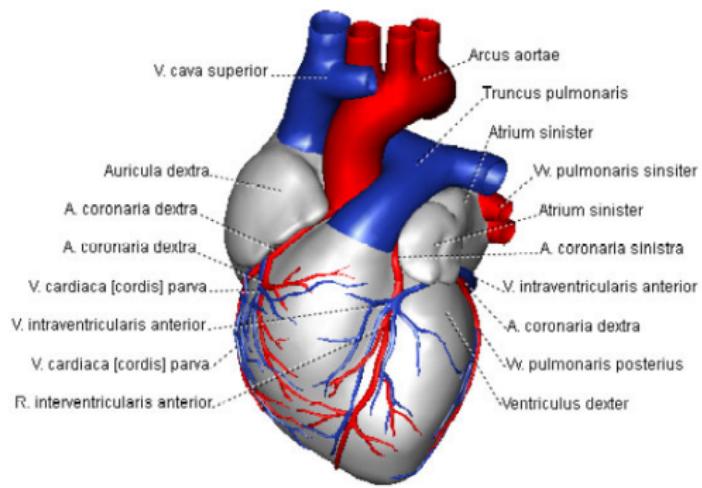
Medizin, Biologie



# Abstrakte Darstellung von Organismen

Quelle: K. Hartmann,  
Magdeburg

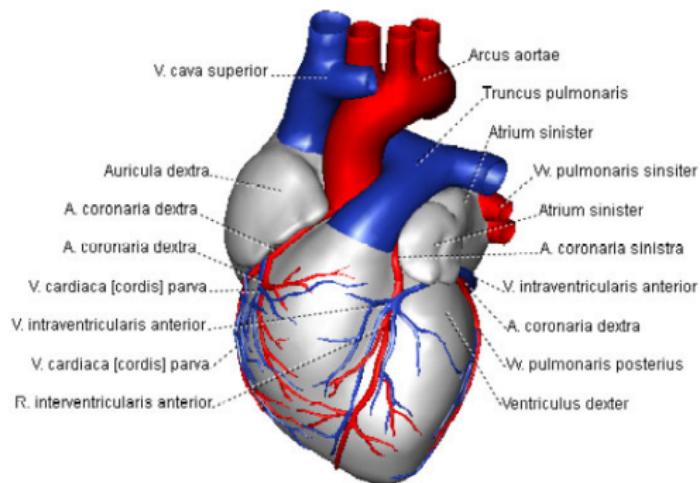
Medizin, Biologie



# Abstrakte Darstellung von Organismen

Quelle: K. Hartmann,  
Magdeburg

Medizin, Biologie



Abstrakte Darstellung von  
Organismen  
Quelle: K. Hartmann,  
Magdeburg

Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooo●ooo

Wasserfarben  
oooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Spiele



Echtzeitdarstellung von  
comichaften Umgebungen  
Zelda, ein Nintendo-Spiel  
Quelle: Wikipedia



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooo●ooo

Wasserfarben  
oooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Spiele



Echtzeitdarstellung von  
comichaften Umgebungen  
Zelda, ein Nintendo-Spiel  
Quelle: Wikipedia



## Einsatzgebiete

# Spiele



Echtzeitdarstellung von  
comichaften Umgebungen  
Zelda, ein Nintendo-Spiel  
Quelle: Wikipedia



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
oooo●oo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Kunst



Hervorhebung durch  
Verfälschung von Fotos  
Quelle: Uni Rostock



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
oooo●oo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Kunst



Hervorhebung durch  
Verfälschung von Fotos  
Quelle: Uni Rostock



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
oooo●oo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Einsatzgebiete

# Kunst

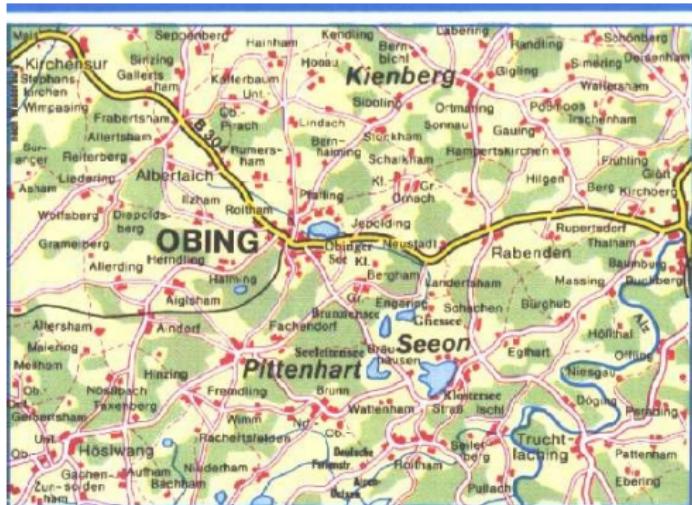


Hervorhebung durch  
Verfälschung von Fotos  
Quelle: Uni Rostock



## Einsatzgebiete

# Kartografie

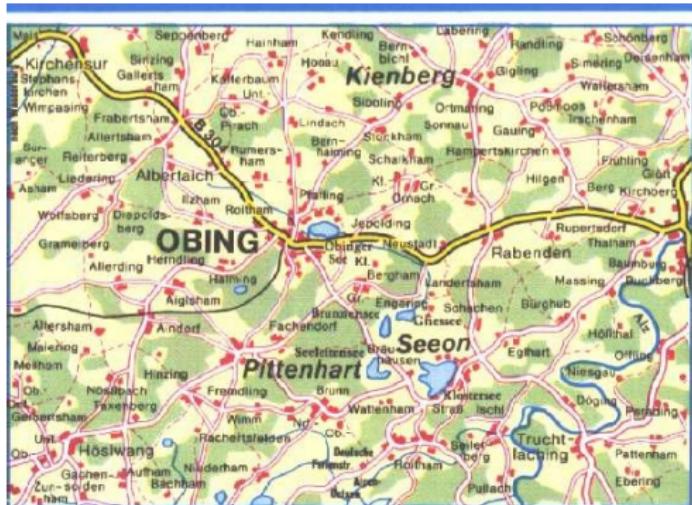


## Darstellung von Gewässern, Bewuchs und Schnee



## Einsatzgebiete

# Kartografie

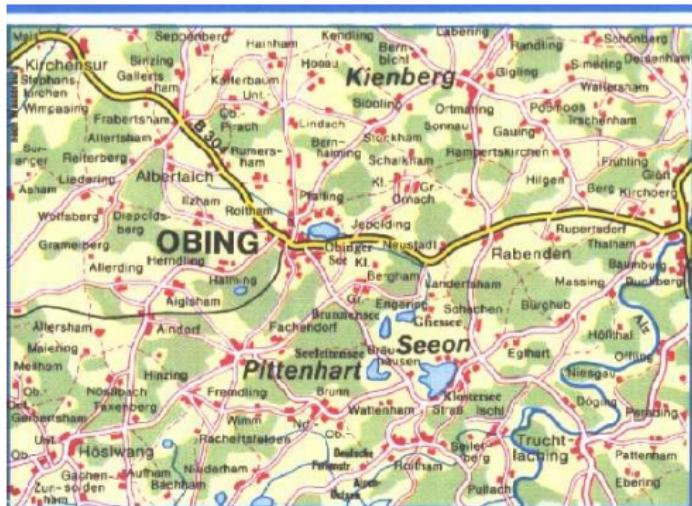


## Darstellung von Gewässern, Bewuchs und Schnee



## Einsatzgebiete

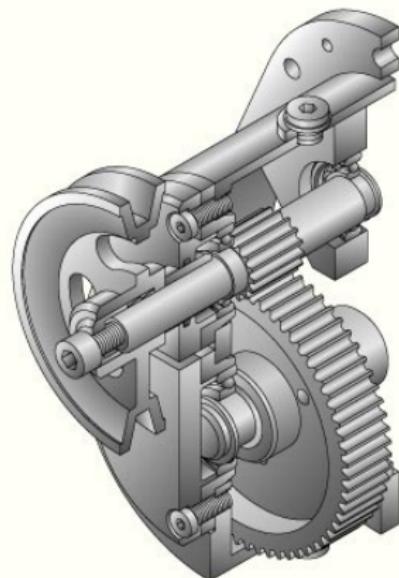
# Kartografie



## Darstellung von Gewässern, Bewuchs und Schnee



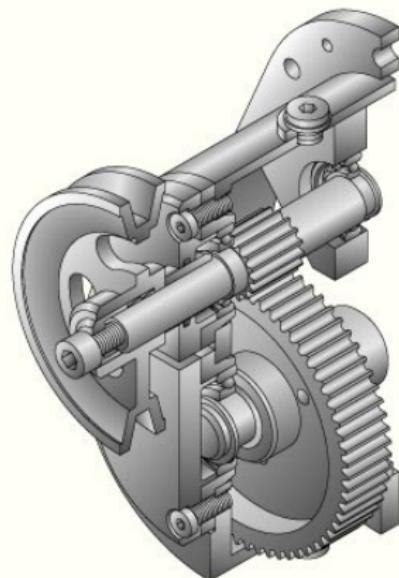
# Maschinenbau



Vereinfachte technische  
Zeichnungen von  
Baugruppen  
Quelle: Gooch



# Maschinenbau

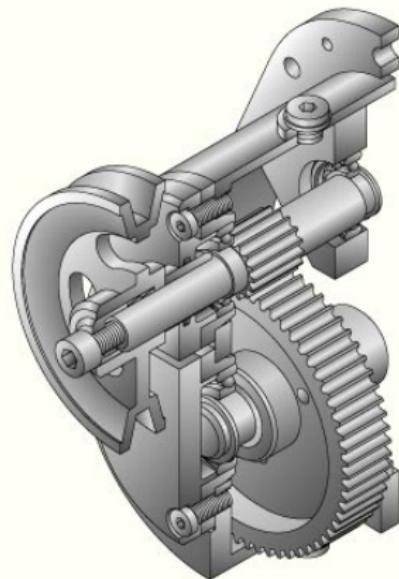


Vereinfachte technische  
Zeichnungen von  
Baugruppen  
Quelle: Gooch



## Einsatzgebiete

# Maschinenbau



Vereinfachte technische  
Zeichnungen von  
Baugruppen  
Quelle: Gooch



# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

### ■ Einführung

- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Einführung Wasserfarben

- Moderne Wasserfarbentradition: zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts
- Ermöglicht zahlreiche künstlerische Effekte
- Computer-Erzeugung durch zwei Ansätze (nach Curtis et al.): realistische physikalische Simulation (hoher Aufwand) oder Annäherung durch geeignete Filter (echtzeitgeeignet)



# Einführung Wasserfarben

- Moderne Wasserfarbentradition: zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts
- Ermöglicht zahlreiche künstlerische Effekte
- Computer-Erzeugung durch zwei Ansätze (nach Curtis et al.): realistische physikalische Simulation (hoher Aufwand) oder Annäherung durch geeignete Filter (echtzeitgeeignet)



# Einführung Wasserfarben

- Moderne Wasserfarbentradition: zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts
- Ermöglicht zahlreiche künstlerische Effekte
- Computer-Erzeugung durch zwei Ansätze (nach Curtis et al.): realistische physikalische Simulation (hoher Aufwand) oder Annäherung durch geeignete Filter (echtzeitgeeignet)



# Materialien

- Papier: meist nicht aus Zellstoff, sondern Leinen bzw. Baumwolle; grobe Struktur, dadurch Wasserabsorption und Diffusion möglich
- Bestandteile der Wasserfarbe: in Wasser gelöstes Pigment, Bindemittel sowie Tensid (oberflächenaktiver Stoff)
- Pigment: festes Material, besteht aus einzelnen Partikeln; oftmals in Puderform; kann in das Papier einsickern und dort anhaften bzw. durch das Wasser transportiert werden
- Bindemittel: Pigment kann an das Papier anhaften
- Tensid: Wasser kann in das Papier eindringen



# Materialien

- Papier: meist nicht aus Zellstoff, sondern Leinen bzw. Baumwolle; grobe Struktur, dadurch Wasserabsorption und Diffusion möglich
- Bestandteile der Wasserfarbe: in Wasser gelöstes Pigment, Bindemittel sowie Tensid (oberflächenaktiver Stoff)
- Pigment: festes Material, besteht aus einzelnen Partikeln; oftmals in Puderform; kann in das Papier einsickern und dort anhaften bzw. durch das Wasser transportiert werden
- Bindemittel: Pigment kann an das Papier anhaften
- Tensid: Wasser kann in das Papier eindringen



# Materialien

- Papier: meist nicht aus Zellstoff, sondern Leinen bzw. Baumwolle; grobe Struktur, dadurch Wasserabsorption und Diffusion möglich
- Bestandteile der Wasserfarbe: in Wasser gelöstes Pigment, Bindemittel sowie Tensid (oberflächenaktiver Stoff)
- Pigment: festes Material, besteht aus einzelnen Partikeln; oftmals in Puderform; kann in das Papier einsickern und dort anhaften bzw. durch das Wasser transportiert werden
- Bindemittel: Pigment kann an das Papier anhaften
- Tensid: Wasser kann in das Papier eindringen



# Materialien

- Papier: meist nicht aus Zellstoff, sondern Leinen bzw. Baumwolle; grobe Struktur, dadurch Wasserabsorption und Diffusion möglich
- Bestandteile der Wasserfarbe: in Wasser gelöstes Pigment, Bindemittel sowie Tensid (oberflächenaktiver Stoff)
- Pigment: festes Material, besteht aus einzelnen Partikeln; oftmals in Puderform; kann in das Papier einsickern und dort anhaften bzw. durch das Wasser transportiert werden
- Bindemittel: Pigment kann an das Papier anhaften
- Tensid: Wasser kann in das Papier eindringen



# Materialien

- Papier: meist nicht aus Zellstoff, sondern Leinen bzw. Baumwolle; grobe Struktur, dadurch Wasserabsorption und Diffusion möglich
- Bestandteile der Wasserfarbe: in Wasser gelöstes Pigment, Bindemittel sowie Tensid (oberflächenaktiver Stoff)
- Pigment: festes Material, besteht aus einzelnen Partikeln; oftmals in Puderform; kann in das Papier einsickern und dort anhaften bzw. durch das Wasser transportiert werden
- Bindemittel: Pigment kann an das Papier anhaften
- Tensid: Wasser kann in das Papier eindringen



# Haupt-Pinseltechniken

- „wet-on-wet painting“: Malen mit nassem, farbgetränkten Pinsel auf nassem Papier
- „wet-on-dry painting“: Malen auf trockenem Papier



# Haupt-Pinseltechniken

- „wet-on-wet painting“: Malen mit nassem, farbgetränkten Pinsel auf nassem Papier
- „wet-on-dry painting“: Malen auf trockenem Papier



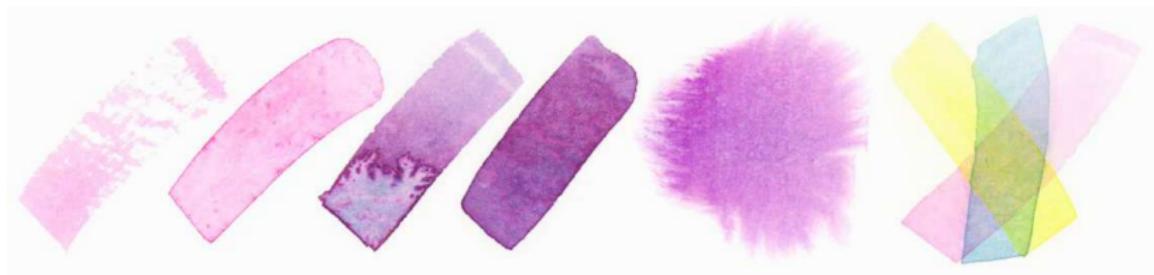
# Effekte



- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation u. Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten



# Effekte



- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation u. Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten



# Effekte



- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation u. Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten

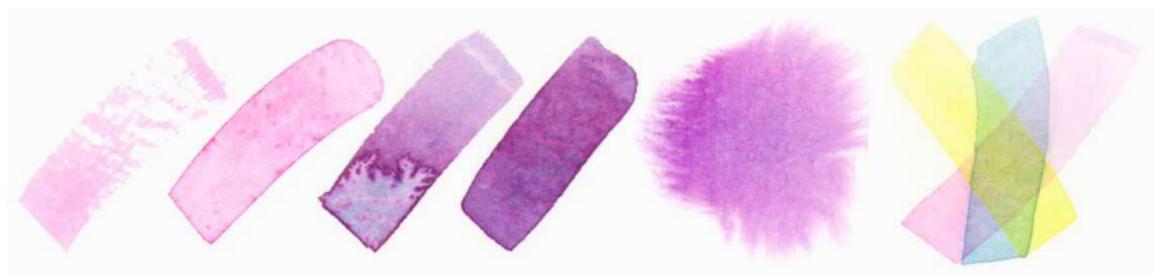


# Effekte



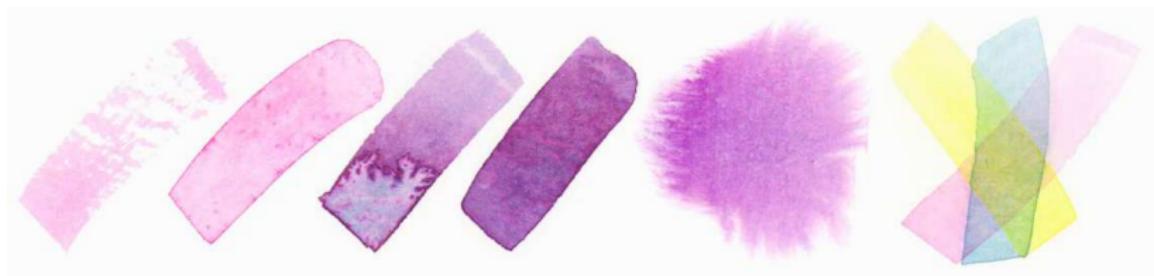
- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation u. Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten

# Effekte



- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation u. Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten

# Effekte



- *Dry-brush*: trockener Pinsel/Papier; unregelmäßige Lücken
- *Edge darkening*: Pigmente von innen n. außen; dunkle Kanten
- *Backruns*: Wasser läuft in nasse Region zurück
- *Granulation* u. *Separation*: körnige Struktur, Farbtrennung
- *Flow patterns*: freies Ausbreiten der Pinselstriche
- *Color glazing*: Übereinanderlegen von dünnen Farbschichten

# Gliederung

## 1 Einleitung

- Einleitung

## 2 Grundlegende Techniken

- Techniken im Geometrieraum
- Techniken im Projektionsraum
- Techniken im Bildraum

## 3 Einsatzgebiete

- Einsatzgebiete

## 4 Wasserfarben

- Einführung
- Computererzeugte Wasserfarben
- Echtzeit-Wasserfarben-Animationen
  - Vorgehensweise
  - Komposition von Wasserfarben-Layern

# Simulation

- Wichtig: nicht nur physikalische Eigenschaften, sondern auch künstlerische Effekte berücksichtigen!
- Bestandteile: Papierschicht, geordnete Menge von Farbschichten
- Für jede Farbschicht wird Flüssigkeitssimulation separat durchgeführt
- Zusätzlich: „wet-area“-Maske
- Nach der Simulation: Komposition mit Kubelka-Munk-Farbmodell erzeugt finale Darstellung



# Simulation

- Wichtig: nicht nur physikalische Eigenschaften, sondern auch künstlerische Effekte berücksichtigen!
- Bestandteile: Papierschicht, geordnete Menge von Farbschichten
- Für jede Farbschicht wird Flüssigkeitssimulation separat durchgeführt
- Zusätzlich: „wet-area“-Maske
- Nach der Simulation: Komposition mit Kubelka-Munk-Farbmodell erzeugt finale Darstellung



# Simulation

- Wichtig: nicht nur physikalische Eigenschaften, sondern auch künstlerische Effekte berücksichtigen!
- Bestandteile: Papierschicht, geordnete Menge von Farbschichten
- Für jede Farbschicht wird Flüssigkeitssimulation separat durchgeführt
- Zusätzlich: „wet-area“-Maske
- Nach der Simulation: Komposition mit Kubelka-Munk-Farbmodell erzeugt finale Darstellung



# Simulation

- Wichtig: nicht nur physikalische Eigenschaften, sondern auch künstlerische Effekte berücksichtigen!
- Bestandteile: Papierschicht, geordnete Menge von Farbschichten
- Für jede Farbschicht wird Flüssigkeitssimulation separat durchgeführt
- Zusätzlich: „wet-area“-Maske
- Nach der Simulation: Komposition mit Kubelka-Munk-Farbmodell erzeugt finale Darstellung



# Simulation

- Wichtig: nicht nur physikalische Eigenschaften, sondern auch künstlerische Effekte berücksichtigen!
- Bestandteile: Papierschicht, geordnete Menge von Farbschichten
- Für jede Farbschicht wird Flüssigkeitssimulation separat durchgeführt
- Zusätzlich: „wet-area“-Maske
- Nach der Simulation: Komposition mit Kubelka-Munk-Farbmodell erzeugt finale Darstellung



# Simulation: Papier

- Vereinfachtes Papier-Modell: Textur wird als Höhenfeld und Flüssigkeitskapazitätsfeld abgebildet
- Höhe:  $0 < h < 1$
- Steigung wird zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit in der Simulation benutzt
- Kapazität:  $c = h(c_{max} - c_{min}) + c_{min}$



# Simulation: Papier

- Vereinfachtes Papier-Modell: Textur wird als Höhenfeld und Flüssigkeitskapazitätsfeld abgebildet
- Höhe:  $0 < h < 1$
- Steigung wird zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit in der Simulation benutzt
- Kapazität:  $c = h(c_{max} - c_{min}) + c_{min}$



# Simulation: Papier

- Vereinfachtes Papier-Modell: Textur wird als Höhenfeld und Flüssigkeitskapazitätsfeld abgebildet
- Höhe:  $0 < h < 1$
- Steigung wird zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit in der Simulation benutzt
- Kapazität:  $c = h(c_{max} - c_{min}) + c_{min}$



# Simulation: Papier

- Vereinfachtes Papier-Modell: Textur wird als Höhenfeld und Flüssigkeitskapazitätsfeld abgebildet
- Höhe:  $0 < h < 1$
- Steigung wird zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit in der Simulation benutzt
- Kapazität:  $c = h(c_{max} - c_{min}) + c_{min}$



## Simulation: 3-Schichten-Modell

- „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



## Simulation: 3-Schichten-Modell

- 1 „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- 2 „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- 3 „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



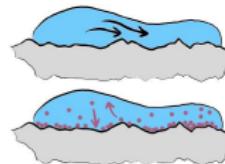
# Simulation: 3-Schichten-Modell

- 1 „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- 2 „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- 3 „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



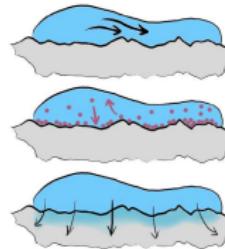
# Simulation: 3-Schichten-Modell

- 1 „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- 2 „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- 3 „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



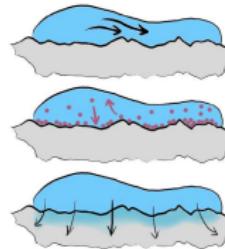
# Simulation: 3-Schichten-Modell

- 1 „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- 2 „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- 3 „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



# Simulation: 3-Schichten-Modell

- 1 „shallow-water layer“: Wasser fließt über die Oberfläche und transportiert ggf. Pigmente
- 2 „pigment-deposition layer“: Pigmente werden hier abgelagert und von hier weitertransportiert
- 3 „capillary layer“: Absorbiertes Wasser diffundiert durch Kapillarwirkung



# Simulation: Haupt-Schleife

## Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Haupt-Schleife

Eingabewerte: (Anfangswerte)

- Wet-Area-Maske  $M$
- Geschwindigkeit des Wassers  $u$  und  $v$
- Wasserdruck  $p$
- Pigmentkonzentration  $g^k$
- Wassersättigung des Papiers  $s$

Simuliert werden über einen definierten Zeitraum: Wasser- und Pigmentbewegungen, Pigmentablagerungen, Kapillarfluss.



# Simulation: Rendering und Pigmente

- Verwendung des Kubelka-Munk-Farbmodells
- Jedem RGB-Farbkanal jedem Pigments sind zwei Koeff. zugewiesen:
  - Absorptionskoeff.  $K$
  - Streukoeff.  $S$

## Synthetische Pigmente



# Simulation: Rendering und Pigmente

- Verwendung des Kubelka-Munk-Farbmodells
- Jedem RGB-Farbkanal jedem Pigments sind zwei Koeff. zugewiesen:
  - Absorptionskoeff.  $K$
  - Streuungskoeff.  $S$

## Synthetische Pigmente



# Simulation: Rendering und Pigmente

- Verwendung des Kubelka-Munk-Farbmodells
- Jedem RGB-Farbkanal jeden Pigments sind zwei Koeff. zugewiesen:
  - Absorptionskoeff.  $K$
  - Streuungskoeff.  $S$

## Synthetische Pigmente



# Simulation: Rendering und Pigmente

- Verwendung des Kubelka-Munk-Farbmodells
- Jedem RGB-Farbkanal jeden Pigments sind zwei Koeff. zugewiesen:
  - Absorptionskoeff.  $K$
  - Streuungskoeff.  $S$

## Synthetische Pigmente



# Simulation: Rendering und Pigmente

- Verwendung des Kubelka-Munk-Farbmodells
- Jedem RGB-Farbkanal jeden Pigments sind zwei Koeff. zugewiesen:
  - Absorptionskoeff.  $K$
  - Streuungskoeff.  $S$

## Synthetische Pigmente



## Computererzeugte Wasserfarben

## Simulation: Vergleich der Ergebnisse



# Anwendungen

- Interaktives Malen: Benutzer kann Startzustand der Simulation „malen“ durch Erstellung der Schichten mit Unterschichten für Pigmente, Wasser und die Wet-Area-Maske. Zusätzlich: globales Referenzbild sowie Papiertextur
- „Watercolorization“: Konvertierung eines Farbbilds in eine Wasserfarben-Illustration.
- 3D-Szenen: Erweiterung der „Watercolorization“
- Aufbauende Ansätze: Darstellung in Echtzeit



# Anwendungen

- Interaktives Malen: Benutzer kann Startzustand der Simulation „malen“ durch Erstellung der Schichten mit Unterschichten für Pigmente, Wasser und die Wet-Area-Maske. Zusätzlich: globales Referenzbild sowie Papiertextur
- „Watercolorization“: Konvertierung eines Farbbilds in eine Wasserfarben-Illustration.
- 3D-Szenen: Erweiterung der „Watercolorization“
- Aufbauende Ansätze: Darstellung in Echtzeit



# Anwendungen

- Interaktives Malen: Benutzer kann Startzustand der Simulation „malen“ durch Erstellung der Schichten mit Unterschichten für Pigmente, Wasser und die Wet-Area-Maske. Zusätzlich: globales Referenzbild sowie Papiertextur
- „Watercolorization“: Konvertierung eines Farbbilds in eine Wasserfarben-Illustration.
- 3D-Szenen: Erweiterung der „Watercolorization“
- Aufbauende Ansätze: Darstellung in Echtzeit



# Anwendungen

- Interaktives Malen: Benutzer kann Startzustand der Simulation „malen“ durch Erstellung der Schichten mit Unterschichten für Pigmente, Wasser und die Wet-Area-Maske. Zusätzlich: globales Referenzbild sowie Papiertextur
- „Watercolorization“: Konvertierung eines Farbbilds in eine Wasserfarben-Illustration.
- 3D-Szenen: Erweiterung der „Watercolorization“
- Aufbauende Ansätze: Darstellung in Echtzeit



# Gliederung

- 1 Einleitung**
  - Einleitung
- 2 Grundlegende Techniken**
  - Techniken im Geometrieraum
  - Techniken im Projektionsraum
  - Techniken im Bildraum
- 3 Einsatzgebiete**
  - Einsatzgebiete
- 4 Wasserfarben**
  - Einführung
  - Computererzeugte Wasserfarben
  - Echtzeit-Wasserfarben-Animationen**
    - Vorgehensweise
    - Komposition von Wasserfarben-Layern



# Echtzeit-Animationen

- Ansatz nach O. Deussen und T. Luft: keine exakte physikalische Simulation, sondern Mittelweg zwischen Qualität und Rechenaufwand mit Ziel: Echtzeit-Rendering von 3D-Szenen
- Aspekte: **Abstraktion und Vereinfachung, Wasserfarben-Effekte, Licht und Schatten**
- Grobe Vorgehensweise: Erzeugung einzelner abstrakter Wasserfarben-Layer, die mithilfe der Grafikkarte zusammengefügt werden



## Echtzeit-Animationen

- Ansatz nach O. Deussen und T. Luft: keine exakte physikalische Simulation, sondern Mittelweg zwischen Qualität und Rechenaufwand mit Ziel: Echtzeit-Rendering von 3D-Szenen
- Aspekte: **Abstraktion und Vereinfachung, Wasserfarben-Effekte, Licht und Schatten**
- Grobe Vorgehensweise: Erzeugung einzelner abstrakter Wasserfarben-Layer, die mithilfe der Grafikkarte zusammengefügt werden



# Echtzeit-Animationen

- Ansatz nach O. Deussen und T. Luft: keine exakte physikalische Simulation, sondern Mittelweg zwischen Qualität und Rechenaufwand mit Ziel: Echtzeit-Rendering von 3D-Szenen
- Aspekte: **Abstraktion und Vereinfachung, Wasserfarben-Effekte, Licht und Schatten**
- Grobe Vorgehensweise: Erzeugung einzelner abstrakter Wasserfarben-Layer, die mithilfe der Grafikkarte zusammengefügt werden



# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



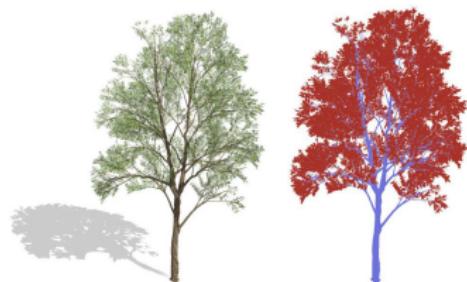
# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



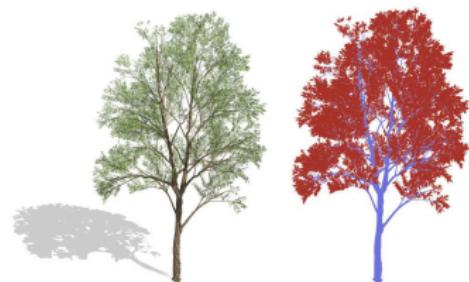
# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



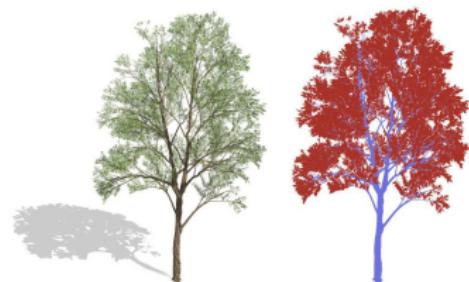
# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



# Abstraktion und Vereinfachung

- Jeder Layer enthält jeweils ein oder mehrere gleichartige Objekte
- Segmentieren der 3D-Szene anhand eindeutiger Identifikatoren  
(Ergebnis: „intensity images“)
- Low-Pass-Filter erzeugt abstrakte, weiche Formen mit definierbarem Detaillierungsgrad
- Layer enthalten außerdem Farb- sowie Transparenzinformation



# Formextraktion und Fließmuster

- Form ergibt sich aus den Intensitäts-Werten der *intensity images*
- Fließmuster beschreibt das Pigment-Verhalten am Rand des Layers; *wet-on-dry*: harte Kanten, *wet-on-wet*: weiche, federartige Kanten



# Formextraktion und Fließmuster

- Form ergibt sich aus den Intensitäts-Werten der *intensity images*
- Fließmuster beschreibt das Pigment-Verhalten am Rand des Layers; *wet-on-dry*: harte Kanten, *wet-on-wet*: weiche, federartige Kanten



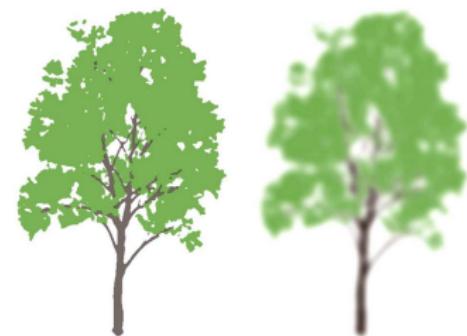
# Formextraktion und Fließmuster

- Form ergibt sich aus den Intensitäts-Werten der *intensity images*
- Fließmuster beschreibt das Pigment-Verhalten am Rand des Layers; *wet-on-dry*: harte Kanten, *wet-on-wet*: weiche, federartige Kanten



# Formextraktion und Fließmuster

- Form ergibt sich aus den Intensitäts-Werten der *intensity images*
- Fließmuster beschreibt das Pigment-Verhalten am Rand des Layers; *wet-on-dry*: harte Kanten, *wet-on-wet*: weiche, federartige Kanten



# Formextraktion und Fließmuster

- Form ergibt sich aus den Intensitäts-Werten der *intensity images*
- Fließmuster beschreibt das Pigment-Verhalten am Rand des Layers; *wet-on-dry*: harte Kanten, *wet-on-wet*: weiche, federartige Kanten



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Edge darkening

- Pigmente werden beim Trocknen zum Rand transportiert
- Imitation durch Anwendung eines Gauss-Filters, erzeugt weichen Intensitäts-Übergang an den Rändern
- Erzeugung eines Gradienten, der dem Wasserfarbenfluss folgt und die Transparenz an den Rändern verblassen lässt



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Pigment-Granulation und Transparenz

- Struktur des Papiers beeinflusst Wasserverlauf und erzeugt so Pigment-Granulation
- Imitation durch Verwendung einer zusätzlichen Papier-Textur
- Mit entsprechenden Texturen lassen sich auch ausgefranste Kanten erzeugen



# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



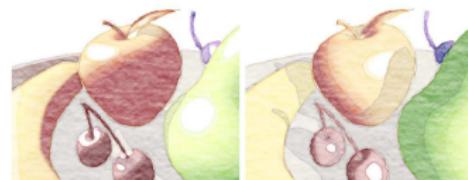
# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



# Licht (1)

- Verwendung der Beleuchtungs-Informationen aus dem 3D-Modell zur Anpassung der erzeugten bzw. zur Erstellung neuer Layer
- Phong-Beleuchtungsmodell, Komponenten: ambiente (hier konstant), diffuse und spiegelnde Reflexion
- Diffuse und spiegelnde Reflexion werden auf zwei *lighting-maps* gerendert



# Licht (2)

- spiegelnde Reflexion: erzeugt hervorgehobene Region, wird erreicht durch Ausmaskieren der *intensity-images* vor Erstellung des Layers (Bild 3 und 4)
- diffuse Reflexion: Erzeugung zusätzlicher Layer, z. B. Hervorhebung dunkler Stellen (Bild 3); weiterhin Anpassung aller Layer, zwei Farbwerte für unbeleuchtete und beleuchtete Regionen (Bild 2)



# Licht (2)

- spiegelnde Reflexion: erzeugt hervorgehobene Region, wird erreicht durch Ausmaskieren der *intensity-images* vor Erstellung des Layers (Bild 3 und 4)
- diffuse Reflexion: Erzeugung zusätzlicher Layer, z. B. Hervorhebung dunkler Stellen (Bild 3); weiterhin Anpassung aller Layer, zwei Farbwerte für unbeleuchtete und beleuchtete Regionen (Bild 2)



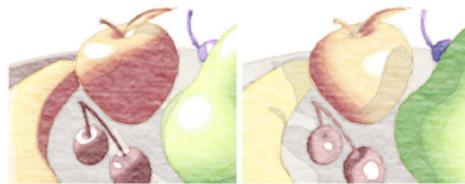
# Licht (2)

- spiegelnde Reflexion: erzeugt hervorgehobene Region, wird erreicht durch Ausmaskieren der *intensity-images* vor Erstellung des Layers (Bild 3 und 4)
- diffuse Reflexion: Erzeugung zusätzlicher Layer, z. B. Hervorhebung dunkler Stellen (Bild 3); weiterhin Anpassung aller Layer, zwei Farbwerte für unbeleuchtete und beleuchtete Regionen (Bild 2)



# Licht (2)

- spiegelnde Reflexion: erzeugt hervorgehobene Region, wird erreicht durch Ausmaskieren der *intensity-images* vor Erstellung des Layers (Bild 3 und 4)
- diffuse Reflexion: Erzeugung zusätzlicher Layer, z. B. Hervorhebung dunkler Stellen (Bild 3); weiterhin Anpassung aller Layer, zwei Farbwerte für unbeleuchtete und beleuchtete Regionen (Bild 2)



# Licht (2)

- spiegelnde Reflexion: erzeugt hervorgehobene Region, wird erreicht durch Ausmaskieren der *intensity-images* vor Erstellung des Layers (Bild 3 und 4)
- diffuse Reflexion: Erzeugung zusätzlicher Layer, z. B. Hervorhebung dunkler Stellen (Bild 3); weiterhin Anpassung aller Layer, zwei Farbwerte für unbeleuchtete und beleuchtete Regionen (Bild 2)



# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  
 $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



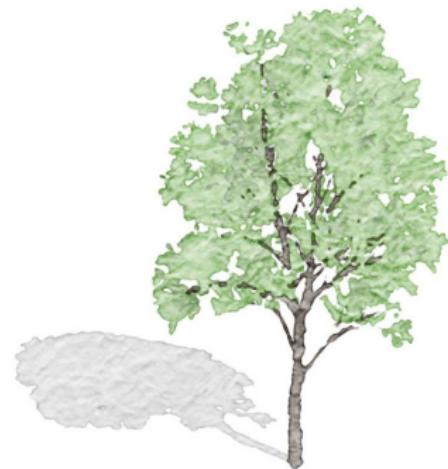
# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  
 $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



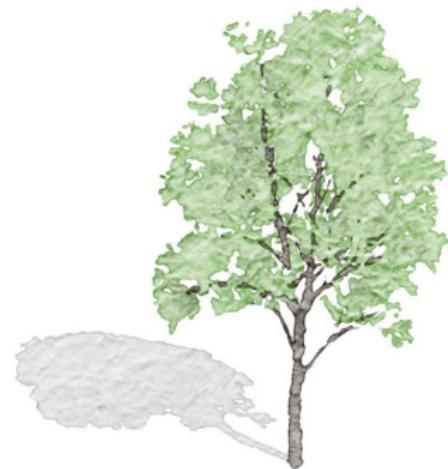
# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  
 $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



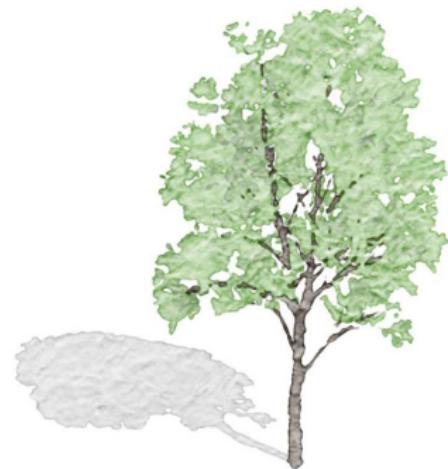
# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  
 $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



# Komposition

- Layer werden mit Standard-Funktion zur Überblendung transparenter Objekte zusammengesetzt
- Farbe an der Position  $(x, y)$  ergibt sich zu:  
$$R_{rgb} = C_a \cdot C_{rgb} + (1 - C_a) \cdot B_{rgb}$$
- $C_{rgb}$  = Farbe,  $C_a$  = Transparenz,  
 $B_{rgb}$  = Hintergrundfarbe



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooooooo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Echtzeit-Wasserfarben-Animationen

# Demo



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooooooo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooooooo  
oooooooooooooo

Echtzeit-Wasserfarben-Animationen

Danke.



Fragen?



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooooooo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Echtzeit-Wasserfarben-Animationen

Danke.



Fragen?



Einleitung  
oooo

Grundlegende Techniken  
oooooooo  
oooooooo  
oooooooo

Einsatzgebiete  
ooooooo

Wasserfarben  
ooooo  
oooooooo  
oooooooooooo

Echtzeit-Wasserfarben-Animationen

Danke.



Fragen?

