

Diplomarbeit

Einführung in das Thema Non Photorealistic  
Rendering und Vergleich der diesbezüglichen  
Softwarelösungen von Softimage|XSI,  
Cinema 4D und 3D Studio Max

Ausgeführt zum Zweck der Erlangung des akademischen Grades eines

**Dipl.-Ing. (FH) für Telekommunikation und Medien**

am Fachhochschul-Diplomstudiengang Telekommunikation und Medien St. Pölten

unter der Leitung von

Mag. Franz Schubert

und

Dipl.-Ing. Dr. Alois Frotschnig

ausgeführt von

Barbara Rotteneder

Tm0110038098

Rohrbach, am 20.06.2005

Unterschrift:

## **Ehrenwörtliche Erklärung**

Ich versichere, dass

- ich diese Diplomarbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.
  
- ich dieses Diplomarbeitsthema bisher weder im Inland noch im Ausland einem Begutachter/einer Begutachterin zur Beurteilung oder in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Diese Arbeit stimmt mit der vom Begutachter beurteilten Arbeit überein.

Rohrbach am 20.06.2005

Ort, Datum

.....

Unterschrift

## Zusammenfassung

Ziel dieser Diplomarbeit ist es im ersten Teil eine Annäherung an das Thema Non Photorealistic Rendering zu liefern und insbesondere die wichtigsten Methoden zu erläutern. Zuerst erfolgt eine Klassifizierung in zwei-, zweieinhalb- und dreidimensionale Techniken, wobei besonders auf erstgenannte eingegangen wird, da sie wichtige Fachbegriffe und Praktiken beinhalten, die auch im zweieinhalb- und dreidimensionalen Bereich (meist modifiziert) wieder auftauchen.

Der zweite Teil der Diplomarbeit soll dem/der BenutzerIn einen Überblick darüber geben, wie mit Hilfe der 3D-Animations-Programme 3D Studio Max, SoftimageXSI und Cinema 4D nicht fotorealistische Bilder erzeugt werden können und welche Vor- und Nachteile sich daraus ergeben. Dieser kann also auch als Entscheidungshilfe dienen, welches Programm für welche Zwecke geeignet ist und welche Vorkenntnisse der/die BenutzerIn haben sollte.

Schlagworte

Non Photorealistic Rendering, Halftoning Techniken, Simulation künstlerischer Medien, Toon Shaders
--

## **Abstract**

The aim of the first part of this thesis is to yield an approach to the topic of Non Photorealistic Rendering and in particular to explain the most important methods. First of all the techniques are classified into two-dimensional, two-and-a-half or three-dimensional, whereby most attention is paid to the first one, as it covers important terms and practices that are also used for the two-and-a-half and three-dimensional areas, even if mostly modified.

The second part of this work is intended to give the user an overview of the possibilities of how to create Non Photorealistic Renderings with the 3D-Animation-softwares 3D Studio Max, SoftimageXSI and Cinema 4D. As a result of this, the advantages and drawbacks of each software should be clear to the user so that he can easily decide which one fits him and his purposes best.

### Keywords

Non Photorealistic Rendering, Halftoning Methods, Simulation of artistic Media, Toon Shaders
--

# Inhaltsverzeichnis

EHRENWÖRTLICHE ERKLÄRUNG .....	2
ZUSAMMENFASSUNG .....	3
ABSTRACT .....	4
INHALTSVERZEICHNIS .....	5
1. EINLEITUNG .....	9
2. BEGRIFFSDEFINITIONEN .....	10
2.1. Photorealistic Rendering .....	10
2.2. Non Photorealistic Rendering .....	12
2.3. Sonstige Fachbegriffe im Zusammenhang mit NPR .....	14
2.3.1. Artefakte .....	14
2.3.2. Object Artifacts .....	14
2.3.3. Image Artifacts .....	14
2.3.4. Model Artifacts .....	16
2.3.5. Illustration .....	18
2.3.6. Animation .....	18
2.3.7. Algorithmus .....	19
2.3.8. B-Splines .....	20
2.3.9. Bitmap .....	21
2.3.10. Diskretisierung .....	21
3. MOTIVATION FÜR NON PHOTOREALISTIC RENDERING .....	22
4. ZIELE VON NON PHOTOREALISTIC RENDERING .....	23
5. ANWENDUNGSGEBIETE VON NPR .....	24
5.1. Wissenschaftliche und medizinische Illustrationen .....	24
5.2. Technische Zeichnungen .....	25
5.3. Archäologische Illustrationen .....	26
5.4. Kartografie .....	27
5.5. Comics .....	27

6.	KLASSIFIZIERUNG VON NPR-METHODEN .....	29
6.1.	Dimensionen der Artefaktberechnungsdaten .....	29
6.1.1.	Lineare Darstellungen .....	29
6.1.2.	Zweidimensionale Daten .....	30
6.1.3.	Kodierte zweidimensionale Datenstrukturen.....	31
6.1.4.	Dreidimensionale Daten .....	32
6.2.	Erzeugung von Artefakten.....	34
6.2.1.	Zufällige statistische Schwankungen (Random Statistical Variations) .....	34
6.2.2.	Willkürlichkeit (Arbitrariness) .....	35
6.2.3.	Determinismus(Determinism) .....	35
7.	ZWEIDIMENSIONALE NPR-TECHNIKEN.....	37
7.1.	Bildbearbeitungsmethoden - Pixelmanipulation .....	37
7.1.1.	Halftoning-Methoden .....	38
7.1.1.1.	Ordered Dithering.....	38
7.1.1.2.	Error Diffusion .....	41
7.1.1.3.	Halftoning mit Linien – Hatching Lines .....	41
7.1.2.	Screening .....	43
7.1.2.1.	Basismethode .....	43
7.1.2.2.	Prozedurales Screening .....	47
7.1.2.3.	Einbettung von Formen in Dither Screens.....	48
7.1.2.4.	Multicolor Dithering .....	52
7.1.3.	Stippling.....	52
7.1.3.1.	Automatische Methoden.....	53
7.1.3.2.	Interaktive Methoden.....	54
7.1.4.	Mosaik-Bilder .....	57
7.2.	Bildmanipulation – Pixelgruppen (Linien, Kurven und Striche).....	61
7.2.1.	Zeichnen von „inkorrekten“ Linien .....	61
7.2.2.	Zeichnen von „künstlerischen“ Linien .....	63
7.2.2.1.	Skeletal Strokes (skelettartige Striche).....	64
7.2.2.2.	Line Styles (Linienstile) .....	66
7.2.2.3.	Simulation von Wasserfarben.....	67

7.2.3.	Multiresolution Curves (Mehrfachauflösende Kurven) .....	70
7.3.	Simulieren von künstlerischen Medien .....	72
7.3.1.	Simulation von Bleistiftzeichnungen .....	72
7.3.1.1.	Observational Model .....	72
7.3.1.2.	Pencil Drawing – LIC-Methode .....	74
7.3.1.3.	Colored Pencil Drawing (CPD) – Volumetric Model .....	76
7.3.2.	Simulation von Pen and Ink (Stift und Tinte) .....	78
7.3.3.	Simulation von Painting (Malen) .....	85
7.3.3.1.	Verwendung von Cellular Automata – Wet and Sticky Method .....	85
7.3.3.2.	Computergenerierte Wasserfarben/Flüssigkeitssimulation .....	87
7.3.4.	Simulation von Holzschnitten und Kupferstichen .....	91
7.3.4.1.	Raytracing-Modell für Kupferstiche .....	91
7.3.4.2.	Verwendung von Prozeduralem Screening für Gravierungen .....	94
8.	ZWEIEINHALBDIMENSIONALE DATENSTRUKTUREN .....	98
8.1.	Anwendung von G-Buffers .....	99
8.2.	Comprehensible (verständliches) Rendering .....	100
8.3.	Interaktives Malen .....	101
8.4.	3D-Parameter für 2D-Dithering .....	104
9.	DREIDIMENSIONALE TECHNIKEN .....	107
10.	FAZIT – NPR-TECHNIKEN .....	109
11.	SOFTWAREVERGLEICH 3DS MAX, SOFTIMAGE XSI UND CINEMA 4D .....	110
11.1.	3D Studio Max .....	112
11.1.1.	Ink'n Paint Material .....	113
11.1.1.1.	Basic Material Rollout .....	115
11.1.1.2.	Paint Controls Rollout .....	116
11.1.1.3.	Ink Controls Rollout .....	119
11.1.2.	Konturenshader .....	123
11.2.	Softimage XSI .....	127
11.2.1.	XSI Toon Shader .....	127
11.2.2.	Toon_Paint_and_Host Editor .....	129
11.2.2.1.	Highlights .....	130
11.2.2.2.	Rimlights .....	132

---

11.2.2.3. Ink.....	133
11.2.2.4. Seams.....	133
11.2.2.5. Transparency.....	133
11.2.2.6. Reflection.....	134
11.2.3. XSI Lens Shader (Toon_Ink_Lens) .....	135
11.2.3.1. Basic Appearance.....	135
11.2.3.2. Taper .....	136
11.2.3.3. Variation.....	138
11.2.3.4. Pressure .....	139
11.2.3.5. Sampling.....	141
11.2.3.6. Background.....	143
11.2.3.7. Advanced.....	143
11.2.4. Erzeugen Spezieller Toon Shader Effekte.....	144
11.2.5. Weitere Möglichkeiten in Softimage XSI.....	147
11.2.5.1. Incidence Node .....	148
11.3. Cinema 4D .....	150
11.3.1. Cel Renderer .....	150
11.3.2. Sketch and Toon .....	154
11.3.2.1. Sketch and Toon Post-Effect.....	154
11.3.2.2. Sketch-Material .....	173
11.3.2.3. Sketch Style Tag.....	191
11.3.2.4. Sketch Render Tag .....	194
11.3.2.5. Sketch Shader .....	195
11.4. Vergleich von 3D Studio Max, Softimage XSI und Cinema 4D .....	196
12. FAZIT - SOFTWAREVERGLEICH.....	202
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....	204
STICHWORTVERZEICHNIS .....	205
ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	210
LITERATURVERZEICHNIS .....	216

# 1. Einleitung

Der Begriff Non Photorealistic Rendering, kurz NPR, wurde 1990 auf der SIGGRAPH (Erklärung siehe Kapitel Begriffsdefinitionen S. 9) für einen Bereich der Computergrafik definiert, der sich mit der Erschaffung nicht fotorealistischer Bilder beschäftigt. Nicht fotorealistische Darstellungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sie nicht wahrheitsgetreu, sondern auf das Wesentliche reduziert sind. So können dem Betrachter wichtige Informationen besser vermittelt werden. Anwendung finden nicht fotorealistische Darstellungen in Bereichen wie Unterhaltung, Medizin, Architektur, Maschinenbau oder Kartographie.

Seit 1990 wurden viele verschiedene Bildberechnungsmethoden und –algorithmen entwickelt, die nicht fotorealistische Bilder erzeugen. Die einzelnen Techniken arbeiten auf den verschiedensten Ebenen und sind aufgrund ihrer Anzahl und Vielfältigkeit nur schwer überschaubar.

Ziel dieser Diplomarbeit ist es, zuerst einen groben Überblick über die einzelnen Methoden zu geben und im zweiten Teil speziell auf die Softwarelösungen der Computeranimationsprogramme Softimage|XSI, Cinema 4D und 3D Studio Max einzugehen. So soll dem/der BenutzerIn eine Hilfe geboten werden, um für seine Zwecke die richtige Anwendung wählen zu können.

## 2. Begriffsdefinitionen

Um den Begriff Non Photorealistic Rendering erklären zu können, muss zunächst auf Photorealistic Rendering näher eingegangen werden.

### 2.1. Photorealistic Rendering

Das Wort Photorealistic setzt sich aus zwei Teilen zusammen: „Photo“ kommt aus dem Griechischen und bedeutet soviel wie Licht(bild)<sup>1</sup>, „Realistik“ ist lateinischen Ursprungs und steht für Wirklichkeitsnähe<sup>2</sup>. „Rendering“ wörtlich aus dem Englischen übersetzt bedeutet: „Wiedergabe oder Übersetzung; im Computerbereich der Oberbegriff für Verfahren oder Software zur Wiedergabe von zweidimensionalen Pixelbildern oder von dreidimensionalen Vektorobjekten unter Berücksichtigung von Texturen, Effekten und/oder Lichtquellen. Durch das Rendering lassen sich dreidimensionale Objekte mit realistischen räumlichen Oberflächen darstellen.“<sup>3</sup>

„Beim Photorealistic Rendering wird also versucht mit Hilfe von Licht einen Teil der Wirklichkeit in einem Bild wiederzugeben.“<sup>4</sup> Schon seit den 1960ern versucht die Computergrafik Fotografien zu imitieren. Die Techniken wurden so perfekt, dass es heute beinahe unmöglich ist computergenerierte Bilder von echten Fotografien zu unterscheiden.<sup>5</sup>

Bei einem Vergleich von Abbildung 1 und Abbildung 2 ist auf den ersten Blick nicht zu erkennen, welches Bild per Computer und welches von Hand erzeugt wurde.

---

<sup>1</sup> vgl. Bertelsmann Universal Lexikon (1989), Band 14, S.26

<sup>2</sup> vgl. Bertelsmann Universal Lexikon (1989), Band 14, S 318

<sup>3</sup> Wörterbuch der neuen Medien (2001), S. 238

<sup>4</sup> Universität Rostock, [http://www.wicg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.wicg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 1, abgerufen am 08.02.2005

<sup>5</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 1



**Abbildung 1: Fotorealistische Malerei (Hyperrealismus)**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 2



**Abbildung 2: Computergeneriertes fotorealistisches Bild**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 3

## 2.2. Non Photorealistic Rendering

Der Begriff Non Photorealistic Rendering wurde 1990 auf der SIGGRAPH definiert.<sup>6</sup> Siggraph steht für „Special Interest Group of Graphics“<sup>7</sup> und ist die Bezeichnung für eine jährlich stattfindende Konferenz für Computertechnik und interaktive Medientechniken. Hier beschäftigen sich Jahr für Jahr Computerspezialisten unter anderem mit dem Thema Non Photorealistic Rendering. Hauptsponsor dieses Treffens ist die ACM Siggraph, eine Community bestehend aus einer immer größer werdenden Gruppe von Forschern, Künstlern, Entwicklern, Filmemachern und Wissenschaftlern, die ein gemeinsames Interesse an Computergrafik und interaktiven Techniken besitzen. Die ACM (Association for Computing Machinery) ist die Dachorganisation der ACM Siggraph und ist außerdem die weltweit erste und größte Computer-Interessens-Vereinigung.<sup>8</sup>

Nicht fotorealistische Bilder werden allgemein negativ definiert. So werden alle computer-generierten Bilder, die nicht dem Bereich des Realismus zuzuordnen sind, als nicht fotorealistische Bilder bezeichnet. Darauf weist auch Craig Reynolds hin: „So non-photorealistic rendering (NPR) is any technique that produces images of simulated 3d world in a style other than *realism*.“<sup>9</sup>

Da nicht fotorealistische Bilder oft ästhetisch reizvoller, ausdrucksstärker und ansprechender sind, spielen sie auch in der Kunst eine große Rolle. So versucht die Computergrafik auch verschiedene Kunststile und Maltechniken zu imitieren.<sup>10</sup> Diese Nachahmung von Gemälden wird in Fachkreisen als „Painterly Rendering“ bezeichnet, wie beispielsweise von NPR-Experten auf dem jährlich stattfindenden Symposium on Non Photorealistic Animation and Rendering.<sup>11</sup>

---

<sup>6</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR\\_Begriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR_Begriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 1, abgerufen am 10.02.2005

<sup>7</sup> vgl. ACM Siggraph, <http://www.siggraph.org/education/>, abgerufen am 10.02.2005

<sup>8</sup> vgl. ACM Siggraph, <http://www.siggraph.org/gen-info/acmsig.shtml>, abgerufen am 10.02.2005

<sup>9</sup> Craig Reynolds, <http://www.red3d.com/cwr/npr/> abgerufen am 10.02.2005

<sup>10</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/Aquarelle2\\_Sedat.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/Aquarelle2_Sedat.pdf), S. 1, abgerufen am 13.02.2005

<sup>11</sup> vgl. NPAR (2002), S. 75 - 96

Non Photorealistic Rendering beinhaltet auch eine Reihe von Illustrationstechniken wie Sketch (Skizzen), Pen and Ink (Tinte) und Etching (Kupferstiche). Methoden die Bilder von 3D-Szenen erzeugen, die wie traditionelle animierte Filme aussehen, werden als „Toon Shading“ bezeichnet. Sie erlauben eine nahtlose Kombination von 3D-Elementen und Cel Animation (Animation mit Hilfe von Celluloid Folien) und sind unter anderem auch für Werbezwecke besonders interessant.<sup>12</sup>

Im Gegensatz zu fotorealistischen Bildern werden nicht fotorealistische Bilder nicht danach beurteilt, wie genau sie die Wirklichkeit wiedergeben, sondern ob sie eine Illusion der Wirklichkeit schaffen können. Im Mittelpunkt von nicht fotorealistischen Bildern stehen vor allem die Übermittlung von Informationen und der Aspekt „wie von Hand erzeugt“.<sup>13</sup>

Zu den in den Bildern enthaltenen Informationen ist zu sagen, dass nicht fotorealistische Darstellungen, genauso wie handgezeichnete Grafiken, oft welche beinhalten, die mit Fotografien nicht übermittelt werden können. Beim Ansehen einer Fotografie eines Segelbootes auf hoher See bei Sonnenuntergang kann der Betrachter Informationen wie Tageszeit, Wetter oder Windrichtung herauslesen. Für jemanden, der ein Segelboot bauen will, hat diese Fotografie jedoch keinen Nutzen. Ein Segelbootbauer wird ihr technische Zeichnungen und Entwürfe vorziehen. Möchte hingegen jemand nur die Idee eines Segelbootes kommunizieren, genügt ihm eine Zeichnung mit einem Halbkreis für das Boot und einem Dreieck für das Segel.<sup>14</sup>

Um den Eindruck eines handgemachten Bildes zu erwecken, muss bei der Entwicklung von fotorealistischen Bildern das Problem behandelt werden, wie man mit dem Computer Bilder erzeugen kann, die Unregelmäßigkeiten und Fehler, die bei von Menschen erstellten Bildern zwangsläufig vorkommen, aufweisen.<sup>15</sup>

Verschiedene Techniken zur Erzeugung von solchen Artefakten werden im Laufe dieser Diplomarbeit noch näher erläutert.

---

<sup>12</sup> vgl. Craig Reynolds, <http://www.red3d.com/cwr/npr/> abgerufen am 10.02.2005

<sup>13</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 1 f.

<sup>14</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 1

<sup>15</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 2

## **2.3. Sonstige Fachbegriffe im Zusammenhang mit NPR**

Im Folgenden wird die Bedeutung von Fachbegriffen erklärt, die eng mit Non Photorealistic Rendering verknüpft und zum Verständnis dieses Themas notwendig sind.

### **2.3.1. Artefakte**

In der Videotechnik werden Artefakte als unerwünschte Effekte bzw. Bildstörungen definiert. Aber auch bei Bildern, die einer Datenreduktion unterzogen wurden, wie es beispielsweise bei nicht fotorealistischen Darstellungen der Fall ist, spricht man von Artefakten.<sup>16</sup>

Sowohl in der Videotechnik als auch im Fotorealismus werden Artefakte als unangenehme und zu minimierende Fehler angesehen. Im Gegensatz dazu sind sie für nicht fotorealistische Bilder charakterisierend und werden in diesem Bereich gezielt eingesetzt.<sup>17</sup>

### **2.3.2. Object Artifacts**

Artefakte stellen einen der Hauptunterschiede zwischen fotorealistischen und nicht fotorealistischen Bildern dar. In ersteren soll versucht werden, die Anzahl der Artefakte so gering wie möglich zu halten und somit eine Übereinstimmung der Eigenschaften zwischen Bild und Modell erreicht werden. So sind hier alle Objektartefakte in einem Bild kodiert.<sup>18</sup>

### **2.3.3. Image Artifacts**

In dieser Diplomarbeit werden alle Artefakte, die von der Art und Weise bzw. vom Stil wie das Bild erzeugt wird (Rendermethode) herrühren, als Bildartefakte bezeichnet.<sup>19</sup>

---

<sup>16</sup> vgl. BET Broadcast Engineering and Training – Fernsehen/Video/Audio [http://www.bet.de/lexikon/lexikon\\_frame.htm](http://www.bet.de/lexikon/lexikon_frame.htm) abgerufen am 04.04.2005

<sup>17</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 31

<sup>18</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 12

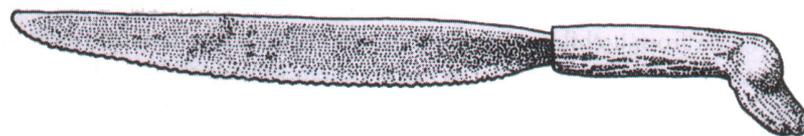
<sup>19</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 13

Gute fotorealistische Bilder beinhalten keine Bildartefakte, die für das bloße Auge sichtbar sind, weil die Pixel (quadratische Bildpunkte eines vom Computer generierten Bildes), aus welchen ein Bild besteht, sehr klein sind. Dieser Umstand wird durch den Begriff Auflösung ausgedrückt. Ein traditioneller Film hat beispielsweise eine Auflösung von 4.000 dpi (dots per inch = Pixel pro Zoll, wobei ein Zoll 2,54 cm sind). Bei dieser hohen Auflösung sind die Artefakte der aneinander gereihten Bilder für das bloße Auge nicht erkennbar, da es für den Betrachter so aussieht, als würde alles nahtlos ineinander gehen. Bei geringerer Auflösung besteht das Bild aus weniger Pixel und daher ist ein flüssiger Übergang zwischen einzelnen Bildteilen wie beispielsweise zwischen Vorder- und Hintergrund nicht möglich.

Im Gegensatz hierzu versucht NPR generell händisch gezeichnete Bilder zu imitieren und daher können bzw. sollen die Bildartefakte mit bloßem Auge erkannt werden.<sup>20</sup>

Ein Beispiel für Bildartefakte, die als Ausdrucksmittel dienen, ist die Verwendung von Punkten. Diese Art Oberflächen zu charakterisieren wird als „Stippling“ bezeichnet und in Kapitel 7.1.3.noch genauer erläutert.<sup>21</sup>

In Abbildung 3 ist eine handgezeichnete Säge, deren Oberfläche aus Punkten besteht, zu sehen. Der Betrachter nimmt jedoch nicht eine Ansammlung von Punkten wahr, sondern interpretiert die Punktdichte als Helligkeit bzw. Dunkelheit dieses Teils der Zeichnung.<sup>22</sup> So spiegeln sich Licht und Schatten in dem Bild wieder und es wirkt nicht flachgedrückt.



**Abbildung 3: Beispiel einer handgezeichneten Punktdarstellung einer alten Säge**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 13

---

<sup>20</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 13

<sup>21</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 27

<sup>22</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 13

Wichtig bei der Verwendung von Bildartefakten, wie im obigen Beispiel von Punkten, ist die Qualität dieser. Denn wenn sie schlecht ist, kann der Betrachter das Bild nicht richtig interpretieren und die Artefakte haben ihren Zweck nicht erfüllt. Denn es ist immer die Aufgabe des Menschen die Aussage eines Bildes zu erfassen.<sup>23</sup> So ist es in Abbildung 4 aufgrund der schlechten Qualität der Punkte nicht möglich die Darstellung richtig aufzufassen, denn die Punkte sollen Schneeflocken repräsentieren, aufgrund ihrer Regelmäßigkeit sieht es aber aus, als ob sie erst im Nachhinein hinzugefügt wurden.



**Abbildung 4: Bild mit Punkten von mangelnder Qualität,**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 14

### 2.3.4. Model Artifacts

Artefakte in einem Bild, die sich daraus ergeben wie das geometrische Modell das originale repräsentiert, werden als Modellartefakte bezeichnet.<sup>24</sup> Es stimmt das geometrische Modell also nicht exakt mit dem Objekt, das dargestellt wird, überein. Es werden bestimmte Eigenschaften eines Modells so verbessert, dass durch das entstehende Bild mehr Informationen vermittelt werden können. Der Prozess dieser Veränderung wird Graphical Abstraction (grafische Abstraktion) genannt.<sup>25</sup>

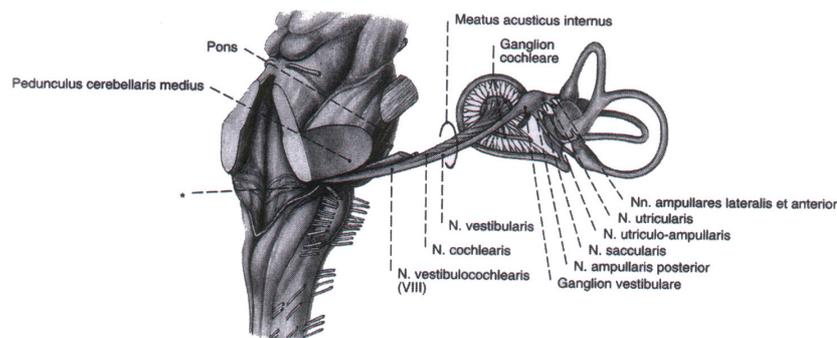
<sup>23</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S.14

<sup>24</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 13

<sup>25</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 14 f.

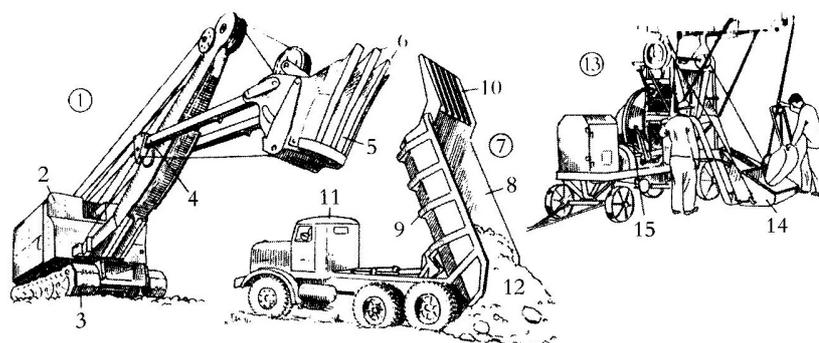
Gründe für die Anwendung von grafischer Abstraktion:

1. Sie ermöglicht es, bestimmte Eigenschaften und Funktionen des geometrischen Modells im Bild zu verstärken bzw. zu übertreiben. (Siehe Abbildung 5)
2. Grafische Abstraktion gestattet es, relevante Details zu zeigen und unwichtige Teile unsichtbar zu machen bzw. wegzulassen, ohne dass dem Betrachter etwas fehlt. (Siehe Abbildung 6)
3. Sie erlaubt die bessere Wahrnehmung von bestimmten Eigenschaften. (Siehe Abbildung 7, wo die Ohren immer als Frontalansicht gezeichnet sind (Hauptmarkenzeichen dieser Maus). Dem Betrachter fällt aber nicht auf, dass die Ohren nicht in der richtigen Ansicht gezeichnet sind.)<sup>26</sup>



**Abbildung 5: Häutiges Labyrinth stark vergrößert**

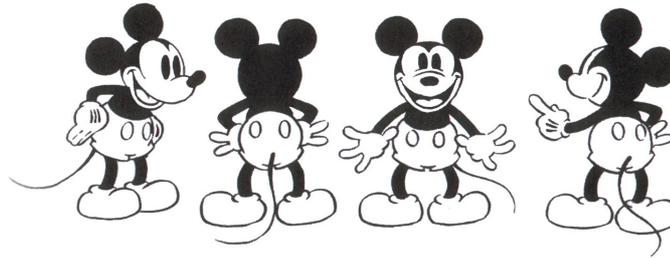
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 15



**Abbildung 6: Handgezeichnete Skizzen - Abstraktion**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 16

<sup>26</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 15 f.



**Abbildung 7: Mickey Mouse in verschiedenen Ansichten**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 17

Beim Erzeugen von nicht fotorealistischen Bildern ist es aber nicht nur möglich Eigenschaften, Fähigkeiten, etc. durch die Verwendung von Modellartefakten zu verstärken, es ist ein Muss.<sup>27</sup>

### **2.3.5. Illustration**

Unter Illustration versteht man „die bildliche Darstellung und Ausdeutung vorgegebener Textinhalte, weitgehend gleichbedeutend mit der Buch-Illustration. Im Mittelalter war die Miniaturmalerei die Hauptform der Illustration. Im gedruckten Buch wurden ihre Aufgaben vom Holzschnitt und Kupferstich, von der Radierung und seit dem 19. Jahrhundert auch vom Holzstich und von der Lithographie übernommen.“<sup>28</sup>

Illustrationen dienen also in erster Linie dazu dem Betrachter Textinhalte auf einem Blick und verständlich zu vermitteln.

### **2.3.6. Animation**

In den letzten Jahren wurde eine Reihe von Computeranimationsfilmen produziert und im Kino der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Spätestens seit diesem Zeitpunkt ist der

<sup>27</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 16

<sup>28</sup> Bertelsmann Universal Lexikon (1988), Band 8, Seite 227

Begriff „Animation“ in aller Munde. Trotzdem soll er für diese Diplomarbeit eindeutig definiert werden.

Animation sind „bewegte Sequenzen, im einfachsten Fall durch schnell hintereinander dargestellte Grafiken, Logos oder Bilder. Bewegte Realbilder werden im Allgemeinen als Videoclip bezeichnet, alle anderen Darstellungen von Bewegungsabläufen als Animation. Je flüssiger die Animation erscheinen soll, desto mehr Einzelbilder müssen pro Sekunde wiedergegeben werden.“ „Animationen lassen sich mit Computerprogrammen erzeugen. Dabei wird zwischen 2D- und 3D-Animationen unterschieden. Bei 2D-Pfadanimationen werden ein Bildhintergrund, der Pfad, die animierten Objekte, sowie die Dauer und Kameraperspektive festgelegt. Bei der 2D-Charakteranimation werden Bewegungen durch ein trickfilmähnliches Abspielen verschiedener Grafiken realisiert (Animated Gif). Bei der 3D-Animation werden dagegen dreidimensionale Objekte im Raum unter Berücksichtigung verschiedener Oberflächen, Beleuchtungen, Reflexionen und Kameraperspektiven bewegt.“<sup>29</sup>

### **2.3.7. Algorithmus**

Seit der „Computer Revolution“ des 20. Jahrhunderts ist es den Menschen möglich Algorithmen zu entwickeln, die sich wiederholende, geistige Aufgaben automatisieren. Beispiele für solche Angelegenheiten sind das Suchen von bestimmten Namen in Telefonbüchern oder das Sortieren der Studentendaten anhand ihrer Matrikelnummer. Computer und andere Maschinen können diese Aufgaben übernehmen, sind aber dadurch gekennzeichnet, dass sie Anweisungen nur Schritt für Schritt ausführen, nicht aber kreative Prozesse verstehen oder sogar übernehmen können.<sup>30</sup>

Ein Algorithmus ist also nur ein Lösungsweg, der um zu einem befriedigenden Ergebnis zu kommen, bestimmten formalen Ansprüchen genügen muss. Wird die folgende Definition nicht in allen Punkten erfüllt, ist der Algorithmus zum Scheitern verurteilt.

---

<sup>29</sup> Wörterbuch der neuen Medien (2001), S. 20

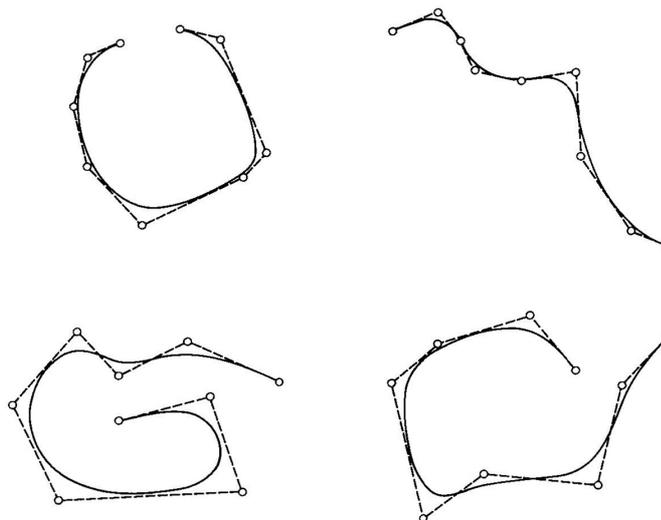
<sup>30</sup> vgl. Schneider/Gersting (2000), S. 17

Ein Algorithmus ist „eine wohlgeordnete Menge von eindeutigen und tatsächlich ausführbaren Operationen, die wenn sie durchgeführt werden, ein Ergebnis hervorbringen und nach endlicher Zeit zum Abschluss kommen“.<sup>31</sup>

### 2.3.8. B-Splines

Eine B-Spline-Kurve geht nicht direkt durch ihre Kontrollpunkte, sondern nähert sich diesen nur. Es liegt also ein weicher Kurvenverlauf zwischen den Stützpunkten vor. B-Splines sind stückweise kubische (gleichmäßig) Polynome, und zwar von einem Intervall zum nächsten.<sup>32</sup>

Abbildung 8 zeigt vier Versionen kubischer B-Splines und deren Kontrollpunkten.



**Abbildung 8: Verschiedene Versionen kubischer B-Splines**

Entnommen aus Watt (1991), S. 126

<sup>31</sup> Schneider/Gersting (2000), S. 11

<sup>32</sup> vgl. Watt (1991), S. 123

### 2.3.9. Bitmap

Bitmap ist der „Oberbegriff für ein aus einzelnen Bildpunkten (Pixel) bestehendes digitales Bild. Jedes Pixel kann über eine eigene Farbe verfügen und separat bearbeitet werden.“<sup>33</sup>

### 2.3.10. Diskretisierung

Diskret bedeutet in der Mathematik „nicht zusammenhängend, vereinzelt, gesondert“<sup>34</sup> und ist das Gegenteil von kontinuierlich („ohne zeitliche oder räumliche Unterbrechung, aufeinander folgend“<sup>35</sup>). Als Diskretisierung kann also der Prozess des nicht zusammenhängend, einzeln oder gesondert Machens bezeichnet werden.

Diskretisierung bedeutet in der Kartografie, die auch ein Anwendungsgebiet von NPR ist, „die Zerlegung räumlicher Kontinua, wie Oberflächen, geschwungene Linien etc. in kleine Abschnitte bzw. einzelne Punkte“<sup>36</sup>. Diese Definition kann auch für den Bereich der NPR übernommen werden, bedeutet also die Zerlegung des Ausgangsbildes in genau definierbare Bereiche.

---

<sup>33</sup> Wörterbuch der neuen Medien (2001), S. 42

<sup>34</sup> Bertelsmann Universal Lexikon (1990), Fremdwörter, S. 162

<sup>35</sup> Bertelsmann Universal Lexikon (1990), Fremdwörter, S. 375

<sup>36</sup> Wikipedia, die freie Enzyklopedie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Diskretisierung> abgerufen am 13.04.2005

### 3. Motivation für Non Photorealistic Rendering

In diesem Kapitel soll geklärt werden, welche Gründe für die Verwendung von nicht fotorealistischen Bildern sprechen.

Auch nach Aufkommen der Fotografie gibt es immer noch Bereiche wie zum Beispiel Medizin oder Kartografie, in denen handgezeichnete Bilder Fotografien vorgezogen werden.<sup>37</sup> Aufgrund der Detailtreue von fotorealistischen Darstellungen ist der Informationsgehalt sehr hoch und eine Fokussierung auf einzelne Objekte wird erschwert.<sup>38</sup> Nicht fotorealistische Bilder sind besser dazu geeignet, dem Betrachter bestimmte Informationen zu übermitteln, da keine physikalischen Gesetze gelten und individuelle Eindrücke übermittelt werden können.<sup>39</sup> So ist beispielsweise ein Röntgenbild eines verletzten Knies für einen Laien schwierig zu erfassen, eine computergenerierte abstrakte Illustration der Verletzung hingegen hilft dem Patienten, das Problem und dessen Behandlung zu verstehen.<sup>40</sup>

Methoden und Techniken, die von Forschern entwickelt wurden um künstlerische Illustrationen computergestützt zu erzeugen, sind vor allem für Menschen von Nutzen, denen die Möglichkeiten und Fähigkeiten fehlen, schöne, künstlerische Arbeiten zu erschaffen. So sind diese zwar eine Unterstützung um zu ansehnlichen Ergebnissen zu kommen, die verwendeten Algorithmen können aber aus einem schlechten Bild kein gutes machen.<sup>41</sup>

Ein großer Vorteil von computergenerierten Bildern gegenüber händisch gezeichneten ist die Abänderbarkeit. So sind online stehende Unterlagen mit interaktiven Grafiken von großem Nutzen für die Leser.<sup>42</sup>

---

<sup>37</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 5

<sup>38</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 2, abgerufen am 10.02.2005

<sup>39</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 4

<sup>40</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 2

<sup>41</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 3

<sup>42</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 10

## 4. Ziele von Non Photorealistic Rendering

Ziel von NPR ist es, das Aussehen eines Bildes formal spezifizieren zu können und Computerprogramme zu schreiben, die nicht fotorealistische Bilder erzeugen.<sup>43</sup> Das heißt die Darstellungen müssen zuerst auf ihre Form hin untersucht und gegliedert werden und erst danach kann eine Entwicklung von Methoden und Techniken, die nicht fotorealistische Bilder mit dem Computer erzeugen, stattfinden.

Aus ersterem folgt ein weiteres Ziel von NPR, denn es muss eine grafische Oberfläche geschaffen werden, mit deren Hilfe der/die BenutzerIn Informationen austauschen kann. Denn erst dann ist der Stil eines erzeugten Bildes auch flexibel und an die jeweiligen Anforderungen anpassbar.<sup>44</sup>

Wie bereits genannt, ist auch die Übermittlung von speziellen Informationen ein wichtiger Aspekt von nicht fotorealistischen Bildern. So liegt ein weiteres Ziel dieser Darstellungen in der Reduzierung auf das Wesentliche einer Szene durch das Weglassen oder ungenauer Darstellen von vernachlässigbaren bzw. durch das Hervorheben von bedeutungsvollen Dingen. Auf diese Weise werden dem Betrachter wichtige Informationen besser vermittelt, da die Aufmerksamkeit auf die signifikanten Details gelenkt wird.<sup>45</sup>

Thomas Strothotte und Stefan Schlechtweg bezeichnen die Erzeugung von Bildern, die mit Hilfe eines Computers und nach den Wünschen des/der Benutzers/Benutzerin generiert werden und außerdem im Bezug auf Qualität und Aussagekraft dem Original um nichts nachstehen bzw. es sogar übertreffen als das ultimative Ziel von NPR.<sup>46</sup>

---

<sup>43</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 7

<sup>44</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 24

<sup>45</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 2, abgerufen am 10.02.2005

<sup>46</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 24

## 5. Anwendungsgebiete von NPR

Im folgenden Kapitel wird ein Überblick über die wichtigsten Anwendungsgebiete von Non Photorealistic Rendering gegeben und die Gründe für den Einsatz in den einzelnen Bereichen nochmals kurz erläutert.

### 5.1. Wissenschaftliche und medizinische Illustrationen

Die ersten medizinischen Illustrationen wurden 1543 in Versalius' „De Humani Corpus Fabrica“, dem ersten Medizinbuch so wie wir es heute kennen, veröffentlicht. Zu diesem Zeitpunkt waren diese Illustrationen noch ein Bereich der Kunst und sehr genau und sorgfältig gezeichnet. Im Laufe der Zeit wurden diese aber immer mehr zu einem Teilbereich der wissenschaftlichen Forschung. So bieten heutzutage Universitäten sogar Kurse zur Erstellung von wissenschaftlichen und medizinischen Illustrationen an. Als Konsequenz dieser Entwicklung gibt es auch eigene Konventionen und Standards für diese Darstellungen. Solche Regeln sind beispielsweise die Verwendung der Farbe blau für Venen und die Rotfärbung der Arterien in medizinischen Unterlagen. Trotz der durchgehenden Verwendung solcher Konventionen, die der geübte Leser zu deuten weiß, gibt es in jedem Buch eine „Übersetzungs-Tabelle“ um es auch dem Laien zu ermöglichen, die Illustrationen richtig zu interpretieren.<sup>47</sup>

Wie bereits in einem anderen Teil dieser Arbeit aufgezeigt, liegt der besondere Vorteil nicht fotorealistischer Bilder im Bereich der Wissenschaft und der Medizin in der Möglichkeit der Reduzierung auf wesentliche Details und der Veränderung einzelner Elemente hinsichtlich ihrer Größe, Farbe und Form. Dadurch ist es auch Menschen, die nicht auf Wissenschaft oder Medizin spezialisiert sind, möglich die Informationen, die in diesen Illustrationen stecken zu verstehen.

---

<sup>47</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 25

## 5.2. Technische Zeichnungen

Von Hand erzeugte technische Illustrationen weisen im Allgemeinen weniger Details auf, als jene in den Bereichen Medizin und Wissenschaft. Grund dafür ist, dass industrielle Produkte mit Hilfe von einfachen Strukturen dargestellt werden können. Die fehlende Genauigkeit ist darauf zurückzuführen, dass die Details nicht bekannt oder dass sie zur Kommunikation des Inhalts nicht notwendig sind. Um optimale Ergebnisse im technischen Bereich erzielen zu können und die Verständigung zwischen den Fachleuten zu erleichtern, wurden technische Zeichnungen durch ISO-Normen standardisiert. Die Durchführung dieser Regeln wird durch spezielle Software (CAD-Programme) erleichtert.<sup>48</sup> CAD bedeutet „computer aided design“. Wörtlich übersetzt computerunterstütztes Gestalten. Mit CAD werden in erster Linie alle Verfahren und Systeme zur computergestützten Entwicklung und Konstruktion der zu fertigen Güter über die Berechnung von Bauteilen und Materialien, den Entwurf von Konstruktionsplänen bis hin zu bewegten Computersimulationen beschrieben. Einsatzgebiete sind der allgemeine Maschinenbau, der Automobilbau und das Bauwesen.<sup>49</sup>

Oben genannte Einsatzgebiete von technischen Zeichnungen weisen wieder charakteristische Merkmale nicht fotorealistischer Bilder auf. Im Maschinenbau werden beispielsweise wichtige Objekte durch kräftige Linien dargestellt und unwichtige Objekte, die nur zur Orientierung im Bild dienen, werden nur angedeutet, also durch dünne Linien abgebildet. Auch in der Architektur findet eine Auslöschung bzw. Reduzierung unrelevanter Details statt. Hier wird etwa die Umgebung durch einfache Striche oder Formen angedeutet.<sup>50</sup>

Besonders wichtig in Verbindung mit technischen Zeichnungen ist die Möglichkeit, dass in nicht fotorealistischen Illustrationen zusätzliche (abstrakte) Grafiken wie Beschriftungen oder Pfeile eingebaut werden können. Diese bieten eine zusätzliche Information und erleichtern dem Betrachter das Verstehen der Zeichnung. Bedeutend ist dies aber nicht nur für

---

<sup>48</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 26

<sup>49</sup> Wörterbuch der neuen Medien (2001), S. 50 f.

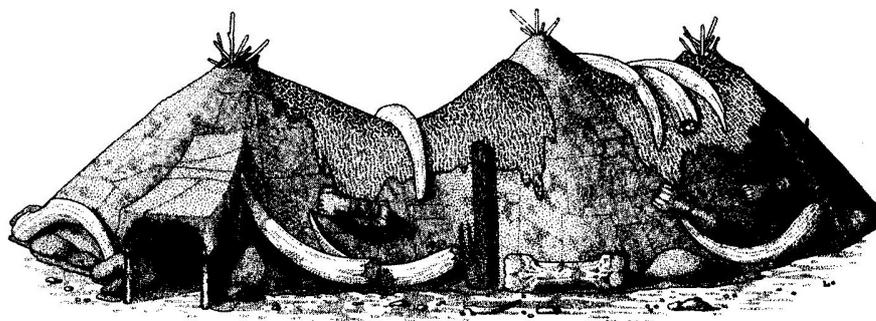
<sup>50</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPR/Begriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 9, abgerufen am 10.02.2005

Fachbereiche wie Maschinenbau oder Architektur, sondern auch für den Laien, der mit technischen Zeichnungen, in Form von Gebrauchsanweisungen, fast täglich in Berührung kommt.<sup>51</sup>

Neben der computerunterstützten Erzeugung von nicht fotorealistischen Illustrationen ist es eine weitere Herausforderung mit Hilfe von bestimmten Ausgangsdaten zusätzliche Informationen in den Bildern zu platzieren.<sup>52</sup>

### 5.3. Archäologische Illustrationen

Wissenschaftler verwenden für die Darstellung von sichtbaren Phänomenen häufig die bereits erwähnte Stippling-Methode. Durch die Verwendung von Punkten können einerseits einzelne Details, andererseits auch großflächige Muster festgehalten werden. So können beispielsweise in Abbildung 9 die verschiedensten Naturmaterialien auf einfache Weise anschaulich dargestellt werden.<sup>53</sup>



**Abbildung 9: Beispiel einer handgezeichneten archäologischen Illustration**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 28

<sup>51</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 26

<sup>52</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 26

<sup>53</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 27

Auch in diesem Anwendungsbereich von nicht fotorealistischen Bildern kann das Auge des Betrachters auf einen bzw. mehrere bestimmte Aspekte der Illustration gelenkt werden. In obigem Fall stehen die Eigenschaften der Naturmaterialien und deren Oberflächenbeschaffenheit im Mittelpunkt. Anhand der unterschiedlichen Maserungen und Punktdichten können diese leicht unterschieden werden.

## 5.4. Kartografie

Die nicht-wahrheitsgetreue Abbildung der Wirklichkeit ist für die Zweckmäßigkeit von Landkarten, Stadtplänen, Straßenkarten, usw. immens wichtig. Denn nur durch die Abstrahierung je nach Maßstab wird eine optimale Informationsübermittlung gewährleistet. „So werden beispielsweise Großstädte auf Landkarten nur durch rote Flächen dargestellt, die in Stadtplänen zur Beschreibung von Häuserblocks eingesetzt werden. Auch Straßen und Flüsse werden nur als Linien dargestellt und besitzen keine dem Maßstab angemessene Breite.“<sup>54</sup>

## 5.5. Comics

Comics bedienen sich hauptsächlich der Veränderung von Form, Farbe und Design der Aussagegeometrie, um dem Betrachter bestimmte Informationen vermitteln zu können. Zur Verstärkung werden zusätzliche Elemente wie zum Beispiel Bewegungslinien oder Sprechblasen eingesetzt.<sup>55</sup>

Die Erzeugung von Comics ist unweigerlich mit dem Begriff Animation verbunden, wobei die Anwendung von nicht fotorealistischen Bildern in zwei Bereiche eingeteilt werden kann. So können die Animationsdaten entweder durch Anwendung von NPR auf bewegte Bilder visualisiert werden. Es kann aber auch eine Bearbeitung von statischen Bildern durch

---

<sup>54</sup> Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 10, abgerufen am 10.02.2005

<sup>55</sup> vgl. Universität Rostock, [http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung_Baalcke.pdf), S. 8, abgerufen am 10.02.2005

zusätzliche Markierungen wie beispielsweise Bewegungslinien stattfinden. Der Bereich der nicht fotorealistischen Animation hat in den letzten Jahren stark an Bedeutung gewonnen und wird daher schon als eigenes Entwicklungsfeld, das sehr umfangreich ist, angesehen.<sup>56</sup> Aus diesem Grund wird dieses Thema im Laufe dieser Diplomarbeit nicht genauer behandelt.

---

<sup>56</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 305

## 6. Klassifizierung von NPR-Methoden

Die zur Realisierung von NPR verwendeten Techniken können anhand der verwendeten Quelldaten oder Artefakte klassifiziert werden. Durch eine solche Einteilung ist es möglich, die verschiedenen Methoden leichter zu verstehen und auf diesem großen Gebiet den Überblick zu behalten.

Wie bereits erwähnt stehen bei der Umsetzung von NPR die Ausgangsinformationen zur Erzeugung von Bild- und Modellartefakten im Mittelpunkt, denn diese sind entscheidend dafür, wie das generierte Bild aussehen wird. Die Grundinformationen können einerseits sehr vielfältig sein, andererseits aber nicht alle benötigten Parameter für das zu erzeugende Bild festlegen. Die Quelldaten generieren mit Hilfe von Algorithmen Artefakte und können aufgrund ihrer Dimension eingeteilt werden.<sup>57</sup>

### 6.1. Dimensionen der Artefaktberechnungsdaten

Artefakte können anhand der Dimension der Datenquellen klassifiziert werden. So können die Grundinformationen aus einer (lineare Darstellungen), zwei (zweidimensionale Daten) oder drei (dreidimensionale Daten) Dimensionen stammen.<sup>58</sup>

#### 6.1.1. Lineare Darstellungen

Die Quelldaten basieren auf Symbolen, die erzeugt werden, damit der Anwender weiß, wie er sich bestimmte Artefakte aussuchen kann. Ein Beispiel dafür ist ein Algorithmus, der das Subjekt eines Satzes, der ein Bild beschreibt, festlegt und das dementsprechende Hauptobjekt des dazugehörigen Bildes durch eine grafische Methode heraushebt.

---

<sup>57</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 17

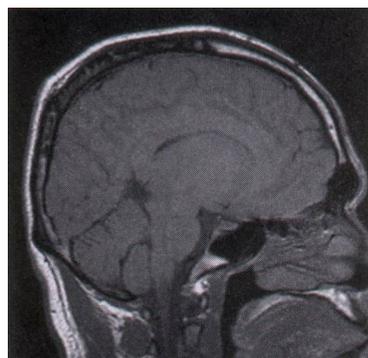
<sup>58</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 17

Teilaspekte dieses Themas werden im Bereich „Information Visualization“ angewendet, der aber nicht Teil dieser Diplomarbeit ist.<sup>59</sup>

### 6.1.2. Zweidimensionale Daten

Nicht fotorealistische Bilder können durch das Analysieren anderer zweidimensionaler Grafiken erzeugt werden. Die aus der Vorlage herausgesuchten Informationen werden zu dem gewünschten, nicht fotorealistischen Bild zusammengesetzt. Ein Beispiel hierfür ist das Analysieren der Positionen der Kanten eines fotorealistischen Bildes mit Hilfe eines speziellen Computerprogrammes. Diese Kanten können dann durch das Hinzufügen von Linien im Originalbild verbessert bzw. verstärkt werden. Aufgrund der vorgetäuschten Bildartefakte ist das Ergebnis ein nicht fotorealistisches Bild.<sup>60</sup>

Diese Methode wird häufig für medizinische Illustrationen eingesetzt, wo eine Maschine ein zweidimensionales Bild erzeugt. Durch die Kantenverbesserung bzw. deren Ermittlung und Sichtbarmachung kann die Aufmerksamkeit des Arztes auf bestimmte Bereiche gelenkt werden.<sup>61</sup> Vergleiche Abbildung 10 und Abbildung 11.

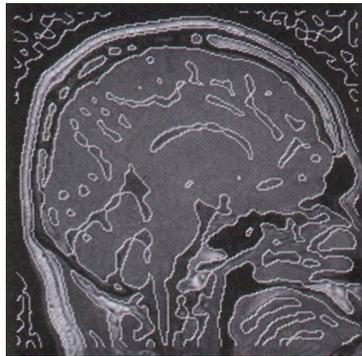


**Abbildung 10: Medizinisches Originalbild - Querschnitt des menschlichen Gehirns**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 19

<sup>59</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 17 f.

<sup>60</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 18

<sup>61</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 18



**Abbildung 11: Kantenermittlung und -sichtbarmachung des medizinischen Bildes**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 19

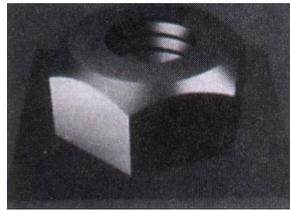
### 6.1.3. Kodierte zweidimensionale Datenstrukturen

In einigen Fällen ist es möglich Datenstrukturen so zu erweitern, dass sie Richtlinien für nicht fotorealistic Teile eines Bildes hervorbringen. So werden ausgewählte dreidimensionale Informationen in zweidimensionalen Datenstrukturen verwendet. Ein Beispiel hierfür liefert der Vergleich zwischen Abbildung 12 und Abbildung 13. Erstere zeigt eine fotorealistic Abbildung einer Schraubenmutter. Da hier aber Teile des Objektes im Schatten liegen, ist die Anwendung der in Punkt 6.1.2. beschriebenen automatischen Kantenverstärkung nicht möglich. Durch die Verwendung einer zusätzlichen zweidimensionalen Datenstruktur, den G-Buffer, kann dieses Problem gelöst werden. Der Buffer beinhaltet für jedes einzelne Pixel des Bildes einen Normalvektor. Dadurch kann eine zusätzliche Information (die dritte Dimension) über die einzelnen Bildpunkte gespeichert werden. So können Unregelmäßigkeiten festgestellt und Linien, die diese bezeichnen, zum Originalbild hinzugefügt werden.<sup>62</sup>

Das veränderte Ergebnis nach der Verwendung eines G-Buffers ist in Abbildung 13 deutlich zu sehen.

---

<sup>62</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 18



**Abbildung 12: Fotorealistisches Bild einer Schraubenmutter**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 19



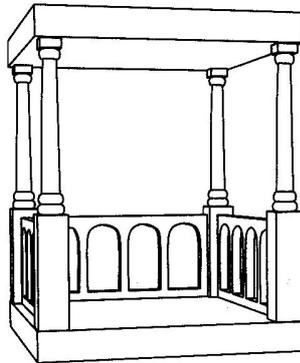
**Abbildung 13: Verbesserung des Bildes durch eine zweieinhalbdimensionale Methode**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 19

#### **6.1.4. Dreidimensionale Daten**

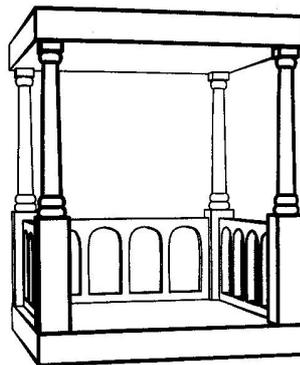
Für den Rendering-Prozess ist es von großem Vorteil, wenn ein dreidimensionales geometrisches Modell des zu erzeugenden Objektes vorhanden ist. So kann beispielsweise aus einer gewöhnlichen Strichzeichnung wie in Abbildung 14, durch die Verwendung von verschiedenen Tiefenmerkmalen (hier Liniendicke) eine Grafik mit Tiefenwirkung erzeugt werden (siehe Abbildung 15). Wobei die dicken Linien den Vordergrund und die dünneren die Bildteile des Hintergrunds bezeichnen.<sup>63</sup>

---

<sup>63</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 18



**Abbildung 14: Originalbild bestehend aus einfachen Linien**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 20



**Abbildung 15: Hinzugefügte Tiefenwirkung zum Linienbild**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 20

Die Beispiele der Punkte 6.1.1. bis 6.1.4. sind dem Bereich der Bildartefakte zuzuordnen. Diese Einteilung trifft aber genauso auf die Modellartefakte zu. Siehe Abbildung 16.<sup>64</sup>

---

<sup>64</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 20

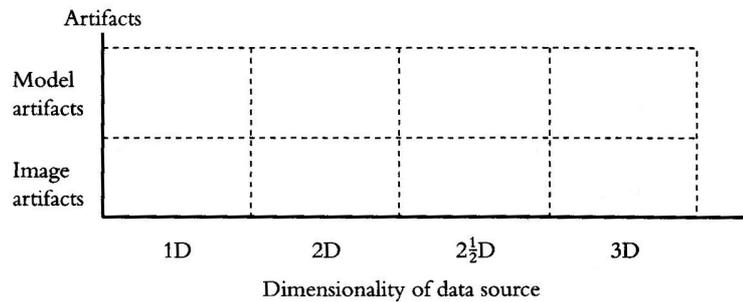


Abbildung 16: Klassifizierung der Artefakte durch die Dimension der Datenquelle

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 20

## 6.2. Erzeugung von Artefakten

Nach der Analyse der Ausgangsdaten stehen eine Reihe von Artefakten zur Verfügung, um die gewünschte Bildinformation übermitteln zu können. Aufgrund der Vielzahl wurde eine Entwicklung von Methoden zur Auswahl der, für seine Zwecke richtigen Artefakte notwendig. Diese Arbeitsweisen können nun entsprechend den Eigenschaften der Artefakte klassifiziert werden.<sup>65</sup>

### 6.2.1. Zufällige statistische Schwankungen (Random Statistical Variations)

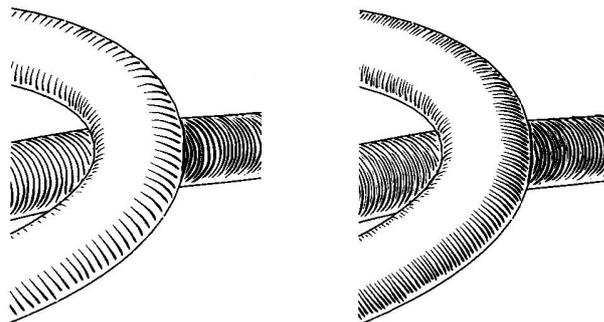
Zufällige statistische Schwankungen sind oft ausschlaggebend dafür, ob der Betrachter die Unregelmäßigkeiten als Bildartefakte und nicht als Modell- oder Objektartefakte wahrnimmt. Beispiel hierfür ist ein regelmäßiges Feld von Punkten, welches aufgrund seiner Gleichmäßigkeit nicht mit bestimmten Eigenschaften verbunden wird. Wird das Feld jedoch durch zufällige Unregelmäßigkeiten aufgelockert, kann der Betrachter der Punktanordnung bestimmte Eigenschaften wie zum Beispiel Dichte oder Richtung zuordnen.<sup>66</sup>

<sup>65</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 21

<sup>66</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 21

### 6.2.2. Willkürlichkeit (Arbitrariness)

Einige Objekt- oder Modelleigenschaften können durch unterschiedliche Artefakte dargestellt werden. So wird in Abbildung 17 je nach Schraffur, also Dicke, Länge und Dichte der einzelnen Linien, die Krümmung der Fläche unterschiedlich abgebildet.<sup>67</sup>



**Abbildung 17: Willkürliche Platzierung von Schraffierungen**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 22

### 6.2.3. Determinismus(Determinism)

Determinismus kommt vom Lateinischen „determinare“ und bedeutet soviel wie „begrenzen, bestimmen“. Er ist eine philosophische Denkrichtung und geht davon aus, dass alle Ereignisse nach feststehenden Gesetzen ablaufen und durch diese vollständig bestimmt bzw. determiniert sind.<sup>68</sup>

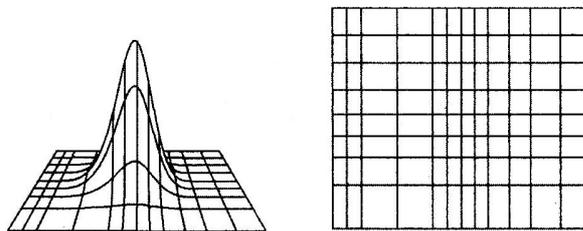
„Deterministen sind also der Auffassung, dass bei bekannten Naturgesetzen und dem vollständig bekannten Zustand eines Systems, der weitere Ablauf aller Ereignisse prinzipiell vorherbestimmt ist und folglich weder ein echter Zufall, noch Wunder bzw. ähnliche nicht-physische Phänomene existieren. Dies kann, muss jedoch nicht, eine Berechenbarkeit des Systems zur Folge haben, was unter anderem dessen Vorhersagbarkeit beeinflusst.“<sup>69</sup>

<sup>67</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 21

<sup>68</sup> vgl. Wikipedia Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Determinismus> abgerufen am 13.03.2005

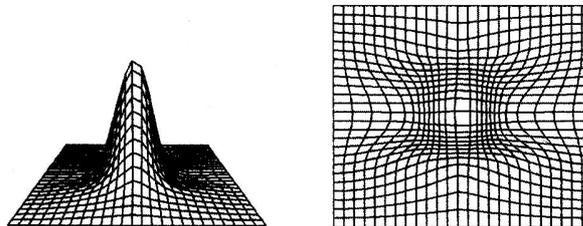
<sup>69</sup> Wikipedia Die freie Enzyklopädie, <http://de.wikipedia.org/wiki/Determinismus> abgerufen am 13.03.2005

Im Bereich Non Photorealistic Rendering bedeutet dies, dass (in einigen Fällen) mit Hilfe von bestimmten Rahmenbedingungen, betreffend die Eigenschaften eines Bildes, bestimmte, nicht beeinflussbare Parameter erzeugt werden können. Beispiele hierfür sind Abbildung 18 und 19. In ersterem ist aufgrund der einfachen Positionierung der Linien in der Ansicht von oben auf das Objekt die kurvige Form nicht offensichtlich. In Abbildung 19 hingegen ist die Krümmung des Objektes aus jeder Sicht erkennbar und so kann eine aussagekräftige Top-Ansicht erzeugt werden.<sup>70</sup>



**Abbildung 18: Einfache Positionierung der Linien**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 23



**Abbildung 19: Krümmung des Objektes aus allen Richtungen sichtbar**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 23

<sup>70</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 21 f.

## 7. Zweidimensionale NPR-Techniken

Das folgende Kapitel soll einen groben Überblick über die wichtigsten Techniken zur Erzeugung von nicht fotorealistischen Bildern geben. Aufgrund deren Vielzahl ist eine detaillierte Erklärung der einzelnen Algorithmen und mathematischen Probleme in dieser Arbeit nicht möglich.

### 7.1. Bildbearbeitungsmethoden - Pixelmanipulation

Das ursprüngliche Ziel der in diesem Abschnitt beschriebenen Methoden war die Reduzierung von Artefakten fotorealistischer Bilder. Sie bieten aber auch Möglichkeiten um genau den gegenteiligen Effekt, nämlich das Einfügen von Artefakten, zu erreichen und so einfache nicht fotorealistische Bilder zu erzeugen.<sup>71</sup>

Die folgenden Algorithmen basieren auf der Manipulation der einzelnen Pixel eines Bildes und können entweder auf von einem fotorealistischen Renderer erzeugte oder auf gescannte Bilder angewendet werden, wobei meist letzteres der Fall ist.

Alle Lösungen, die in diesem Kapitel vorgestellt werden, verwenden eine „Intensity Ramp“. Ein Beispiel einer auf Graustufen basierenden ist in Abbildung 20 zu sehen. Der Begriff Intensity bedeutet in diesem Zusammenhang schwarz (Wert 1.0, auf der linken Seite) und für weiß (Wert 0.0, auf der rechten Seite) wird im folgenden Brightness (Helligkeit) verwendet.<sup>72</sup>



**Abbildung 20: Intensity Ramp basierend auf Graustufen**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 32

<sup>71</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 37

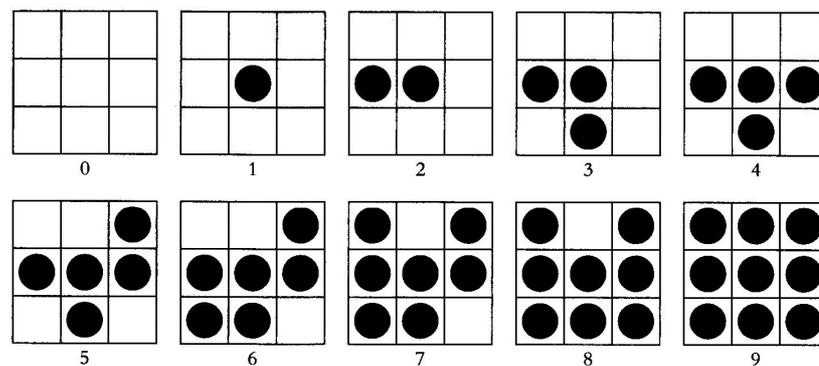
<sup>72</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 31

## 7.1.1. Halftoning-Methoden

Bevor Zeitungen oder Bücher in schwarz-weiß gedruckt werden können, müssen sie hinsichtlich ihrer Intensitätsverteilung bearbeitet werden, da die Bilder, ob in Farbe oder Graustufen, nur mit Hilfe der zwei Farben schwarz und weiß dargestellt werden. Der Prozess um diese Gesamtintensität des Bildes annähernd gleich zu halten wird Halftoning genannt.<sup>73</sup>

### 7.1.1.1. Ordered Dithering

Anfangs wurde bei Halftoning jede Auflösungseinheit durch einen schwarzen Punkt, dessen Größe proportional zur Intensität des korrespondierenden Bereichs des Originalbildes ist, ersetzt.<sup>74</sup> Moderne grafische Geräte arbeiten mit kleinen, unsichtbaren, quadratischen Einheiten, den sogenannten Pixeln, die einzeln angesprochen und coloriert werden können. Da diese alle dieselbe Größe haben, ist eine Zuordnung der Intensität über die Größe nicht mehr möglich. Dieses Problem wird durch die Aufteilung der Pixel in Gruppen gelöst. So können in einer  $n \times n$  Pixel großen Matrix durch das Setzen von ein bis  $n$  Punkten verschiedene Intensitäts-Levels erreicht werden.<sup>75</sup> Abbildung 21 zeigt 10 mögliche Muster einer  $3 \times 3$  Matrix.



**Abbildung 21: Repräsentative Intensitäts-Levels einer  $3 \times 3$  Pixel Matrix**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 33

<sup>73</sup> vgl. Wellesley College, <http://www.wellesley.edu/CS/pmetaxas/pck50-metaxas.pdf>, S. 1, abgerufen am 15.03.2005

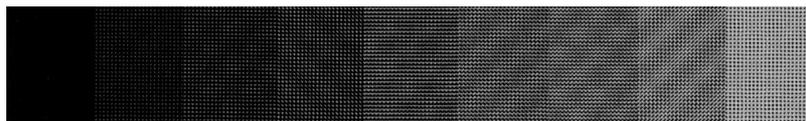
<sup>74</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 32

<sup>75</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 33

Diese Halftoning-Methode berechnet die Durchschnittsintensität eines  $n \times n$  Pixel großen Bereiches im Originalbild und ersetzt diese durch das entsprechende  $n \times n$  große Muster für die gewünschte Intensität. Um diese Muster zu beschreiben werden Dither-Matrizen verwendet, die den Intensitäts-Level jeder einzelnen Zelle beinhalten. Um das richtige Muster für einen Bereich zu erhalten werden alle Pixel, die durch eine Zelle mit einem Intensitäts-Level, der geringer als die gewünschte Intensität ist, nicht gesetzt. Dieses Setzen bzw. Nichtsetzen von Pixeln aufgrund eines bestimmten Schwellenwertes wird Threshold Quantization genannt. Mit einer  $n \times n$  Dither-Matrix können  $n^2+1$  Intensitäts-Level dargestellt werden.<sup>76</sup>

Diese moderne Methode des Halftoning wird als Ordered Dithering bezeichnet, da die Anordnung der Punkte innerhalb einer Gruppe (Cluster) nicht durch den Dither-Algorithmus verändert wird, sondern die Dither-Matrix die Position der einzelnen Punkte bestimmt.<sup>77</sup>

Wendet man den Orderd-Dithering-Algorithmus auf die Intensity Ramp aus Abbildung 20 an, so wird diese in  $n^2+1$  Bereiche (in diesem Fall 10) "diskretisiert", die jeweils mit einem, der Intensität entsprechendem, Muster gefüllt sind. Diese Dither-Muster müssen bestimmte Eigenschaften besitzen, so dürfen sie beispielsweise nicht regelmäßig sein. Die blockförmigen Artefakte, die in Abbildung 22 entstehen sind auf die Diskretisierung zurückzuführen.<sup>78</sup>



**Abbildung 22: Intensity Ramp nach Anwendung der Muster aus Abbildung 21**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 35

Bei fotorealistischen Bildern dienen Dither-Matrizen bei Ordered Dithering also zur gleichmäßigen Verteilung der Pixel und zur Vermeidung von Mustern. Im Gegensatz dazu

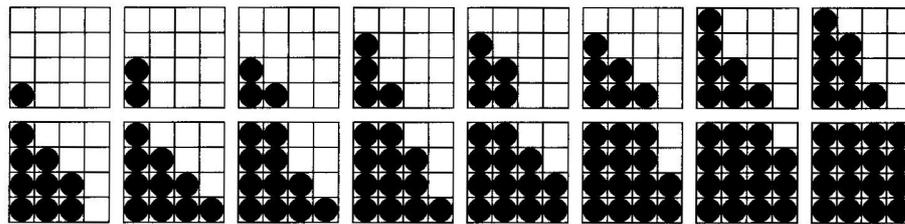
<sup>76</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 33 f.

<sup>77</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 35

<sup>78</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 34

können durch die Gruppierung der Pixel zu sichtbaren Mustern interessante Effekte für nicht fotorealistische Bilder erreicht werden.<sup>79</sup>

Abbildung 23 zeigt Muster, die durch eine Dither-Matrix für nicht fotorealistische Bilder erzeugt wurden. Die Matrix formt dreieckige Muster und baut sich von der linken unteren Ecke diagonal nach rechts oben auf.<sup>80</sup>



**Abbildung 23: dreieckiges Dither-Muster für nicht fotorealistische Bilder**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 38

In Abbildung 24 ist ein Bild, das oben genannte Matrix verwendet, abgebildet. Die dreieckigen Muster sind nicht eindeutig sichtbar, da die Matrix relativ klein ist (4 x 4). Je größer also die Matrix, desto besser sind die Muster zu erkennen, desto mehr „gewünschte“ Artefakte gibt es.<sup>81</sup>



**Abbildung 24: Nicht fotorealistisches Bild, erzeugt mit Abbildung 23**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 37

<sup>79</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 37

<sup>80</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 38

<sup>81</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 38

### 7.1.1.2. Error Diffusion

Auch wenn die Dither-Matrizen sorgfältig aufgebaut sind, kann es vorkommen, dass das erzeugte Bild sichtbare Artefakte aufweist. Um dieses Problem zu umgehen werden Error-Diffusion-Techniken verwendet. Mit Error ist in diesem Zusammenhang die Differenz zwischen dem exakten Pixelwert des Originalbildes und dem entsprechenden Wert, der im veränderten Bild dargestellt wird. Die Error Diffusion verteilt diese Differenz auf die benachbarten Pixel, daraus folgt ein weicher Übergang im resultierenden Bild.<sup>82</sup> Es erfolgt also eine Streuung des Differenzwertes auf die umliegenden Pixel.

Die bekannteste Error-Diffusion-Technik wurde 1975 von Robert W. Floyd und Louis Steinberg entwickelt. Dieser Algorithmus wird als einer der „klassischen Algorithmen“ im Bereich der Computergrafik angesehen.<sup>83</sup>

Nicht fotorealistische Bilder verwenden Error Diffusion für die anfängliche Verteilung der Pixel. Diese Aufteilung wird danach verändert, um explizit gewünschte Bildartefakte zur Darstellung hinzuzufügen.<sup>84</sup>

### 7.1.1.3. Halftoning mit Linien – Hatching Lines

Die folgende Methode wendet Halftoning und Error Diffusion an, setzt aber anstelle eines schwarzen Pixels eine kurze Linie in einer bestimmten Richtung im erzeugten Bild. Da Linien mehr Fläche haben als Punkte, wird das Resultat viel dunkler. Aus diesem Grund ist eine Veränderung des verwendeten Floyd-Steinberg-Algorithmus nicht nur hinsichtlich der Linien als Ausgabeform nötig, sondern auch die Error-Verteilung muss umgestaltet werden, um eine Verdunkelung des Bildes zu verhindern. Die verwendeten Linien werden auch Hatching Lines genannt, da sie den Eindruck eines schraffierten Bildes vermitteln.<sup>85</sup>

---

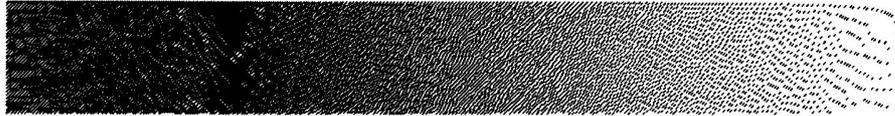
<sup>82</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 35

<sup>83</sup> vgl. Wellesley College, <http://www.wellesley.edu/CS/pmetaxas/pck50-metaxas.pdf>, S. 2, abgerufen am 15.03.2005

<sup>84</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 39

<sup>85</sup> vgl. Microsoft Research, <http://research.microsoft.com/~hoppe/hatching.pdf>, S. 1, abgerufen am 16.03.2005

Abbildung 25 zeigt die Graustufen-Intensity-Ramp unter der Verwendung des adaptierten Floyd-Steinberg-Algorithmus.

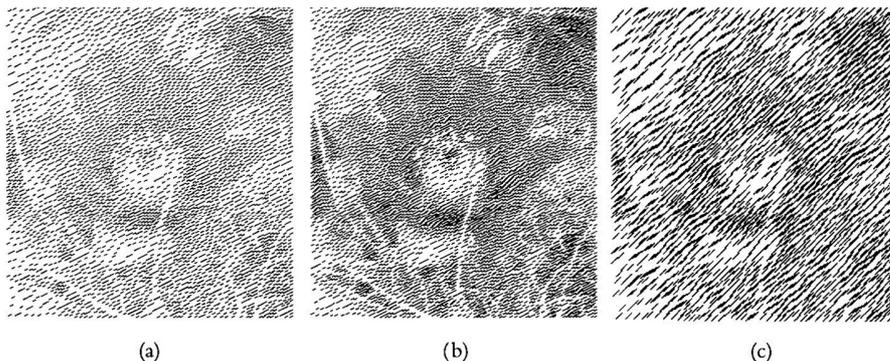


**Abbildung 25: Dithered Intensity Ramp mit kurzen Linien**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 41

Obwohl Error Diffusion eigentlich Artefakte verringert, kommt es hier zu unerwünschten Artefakten wie die Verbindung einzelner Linien, die bei der Verwendung von Punkten nicht vorkommen. Um diese Probleme zu vermeiden gibt es verschiedene Lösungsansätze wie beispielsweise eine zufällige Änderung der Platzierung von Linien also eine Veränderung der Position der Endpunkte oder die Berücksichtigung der geometrischen Eigenschaften des Modells oder die Anpassung der Parameter des Halftoning-Algorithmus.<sup>86</sup>

In Abbildung 26 sind drei Beispiele für die Verwendung des Floyd-Steinberg-Algorithmus zu sehen. Die in Neigung, Länge und Dichte der Linien variieren. Darstellung (a) zeigt eine Neigung von 30 Grad und eine Linienlänge von ungefähr 3 Pixel, (b) etwas mehr Dichte als (a) und (c) eine Neigung von 45 Grad und einen Linienlänge von cirka 5 Pixel.<sup>87</sup>



**Abbildung 26: Hatching Lines erzeugt mit Hilfe des Floyd-Steinberg-Algorithmus**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 40

<sup>86</sup> vgl. Microsoft Research, <http://research.microsoft.com/~hoppe/hatching.pdf>, S. 1, abgerufen am 16.03.2005

<sup>87</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 40

Vorteile dieser aus Linien bestehenden Bilder (Hatched Illustrations) sind die einfache Reproduzierbarkeit, relativ wenig erforderlicher Speicherplatz und die Möglichkeit der Übermittlung von Informationen mit variierbarem Detaillevel.<sup>88</sup>

## 7.1.2. Screening

Im Gegensatz zu den in Kapitel 7.1.1. vorgestellten Halftoning-Methoden erlaubt Screening dem/der BenutzerIn eine Kontrolle über das Muster des für einen Intensitätslevel verwendeten Blockes. Die Muster sind für ein nicht fotorealistisches Bild ausschlaggebend, da sie zusätzliche Informationen übermitteln und den Gesamteindruck wesentlich beeinflussen können. So kann eine Darstellung aus der Nähe betrachtet eine andere Information liefern, als von der Ferne. Screening wird auch als Image-independent Dithering bezeichnet, da die verwendeten Muster unabhängig vom Eingangsbild sind.<sup>89</sup>

### 7.1.2.1. Basismethode

Screening ist eigentlich eine Halftoning-Methode, die aber zwei Bilder, das Graustufen-Originalbild und eine  $n \times m$  Schwellenwert-Matrix, die die Intensitätswerte enthält, kombiniert. Es wird also der Intensitätswert an einer bestimmten Position im Originalbild mit dem Wert an derselben Stelle in der Schwellenwert-Matrix verglichen. Wenn die Intensität des Originalpixels größer als der Schwellwert ist, wird ein Pixel im neuen Bild gesetzt, ist sie kleiner, wird es nicht gesetzt. Die Schwellenwert-Matrix kann auch durch ein zweites Graustufenbild, den sogenannten Dither Screen, ersetzt werden, in dem sich die Matrix sowohl in die horizontale als auch in die vertikale Richtung so oft wiederholt, bis es der Größe des Originalbildes entspricht.<sup>90</sup>

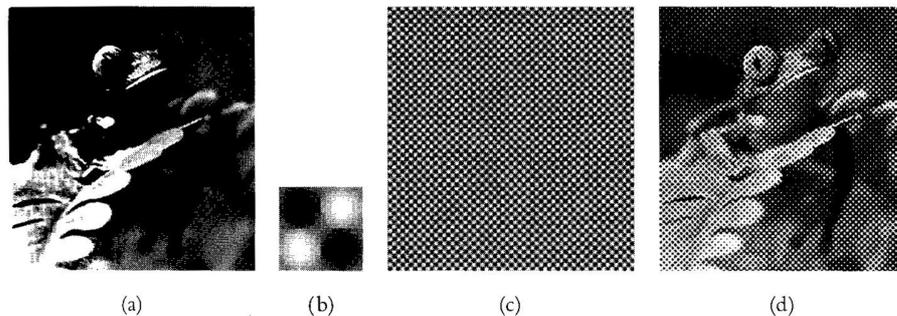
---

<sup>88</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 160

<sup>89</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 41

<sup>90</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 42

Abbildung 27 zeigt ein Beispiel der Basismethode des Screening, wobei (a) das Originalbild (b) die verwendete Schwellenwertmatrix (c) den Dither Screen, der durch Wiederholung der Schwellenwertmatrix entstand, und (d) das resultierende Bild darstellt.



**Abbildung 27: Beispiel Screening Basismethode**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 40

Der Name Screening kommt daher, weil es so aussieht, als ob der Dither Screen mit dem Muster transparent über das Bild gelegt wurde.<sup>91</sup>

Obwohl jedes willkürliche Bild als Schwellenwertmatrix verwendet werden kann, sollten die folgenden zwei Qualitätsmerkmale eingehalten werden um gleichmäßig gute Ergebnisse zu erreichen. Ersteres ist die gleichmäßige Verteilung der Schwellenwerte (Uniform Distribution Of Threshold Values) d. h. die Anzahl der Pixel jedes Intensitätswertes des Dither Screens sollte gerade sein, um eine Reproduktion der maximalen Anzahl an Grautönen gewährleisten zu können. Zweites Qualitätsmerkmal ist die homogene räumliche Verteilung der Schwellenwerte (Homogeneous Spatial Distribution Of Threshold Values) über den Dither Screen, um ähnliche Grautöne wie im Originalbild zu erhalten. Diese beiden Anforderungen treffen auf den in Abbildung 27 verwendeten Dither Screen zu.<sup>92</sup>

Treffen oben genannte Qualitätsmerkmale auf einen Dither Screen nicht zu, muss dieser bearbeitet werden. Um die Intensitätsverteilung adaptieren zu können, muss vorerst festgestellt

<sup>91</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 43

<sup>92</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 43

werden, welche Intensitäten im Dither Screen vorkommen und wie sie verteilt sind. In der Signal- und Bildbearbeitung werden zu diesem Zweck Histogramme erstellt.<sup>93</sup>

Ein Histogramm eines Bildes, auch Probability Mass Function (PMF) genannt, ist ein statistisches Messinstrument, welches die Wahrscheinlichkeit mit welcher ein Pixel eines Bildes einen bestimmten Intensitätswert hat, beschreibt. Um das Histogramm zu errechnen wird die Anzahl der Pixel jedes Intensitätswertes gezählt und diese Werte dann durch die Gesamtanzahl der verfügbaren Pixel dividiert. Ausgegeben wird dann eine Liste, die die Verteilung der verschiedenen Graustufen eines Bildes beschreibt, wobei die Summe der ausgegebenen Werte immer eins ist.<sup>94</sup>

Um eine gleichmäßige Verteilung der Graustufen zu erreichen, wird eine Histogramm-Equalization (Angleichung) durchgeführt, deren Ergebnis dann die Cumulative Mass Function (CMF) ist. Diese Funktion ist ein statistisches Messinstrument für die Wahrscheinlichkeit, dass ein Pixel eine angegebene Intensität oder weniger besitzt.<sup>95</sup>

Abbildung 29 zeigt (a) eine Fotografie und (b) das dazu gehörige Histogramm, dass mit Hilfe des Programmes Adobe Photoshop 7.0 erstellt wurde.

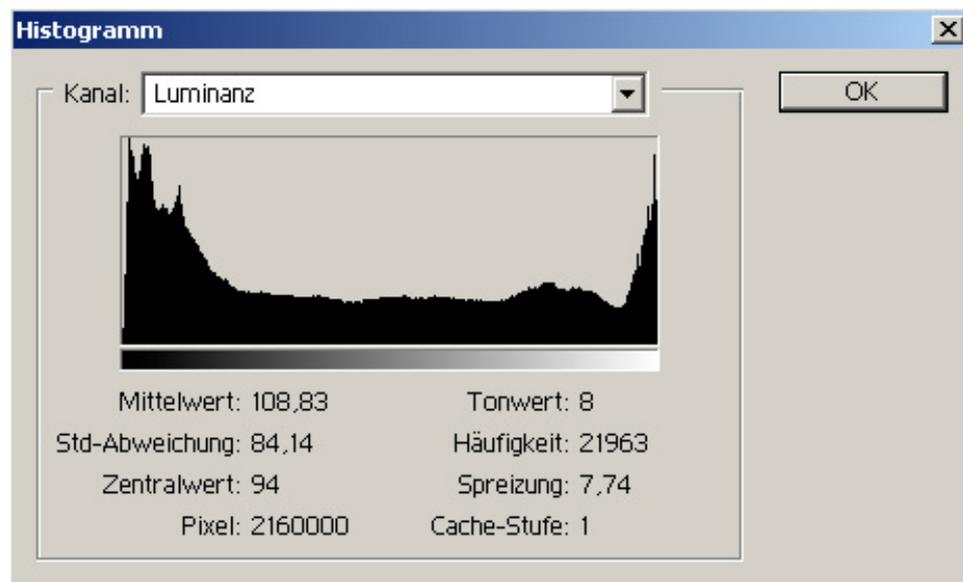


(a)

<sup>93</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 44

<sup>94</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 44

<sup>95</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 45



(b)

**Abbildung 28: Photoshop-Histogramm einer Fotografie**

Das Histogramm eines Bildes ist in Adobe Photoshop 7.0 im Menüpunkt Bild/Histogramm zu finden. Dieses wird standardmäßig für das gesamte Bild angezeigt, kann aber auch auf einen ausgewählten Bildausschnitt angewendet werden. Die grafische Darstellung der Helligkeitswerte des Bildes erleichtert dem/der BenutzerIn die Interpretation der Werte. Die x-Achse bezeichnet hierbei die Helligkeitswerte der Pixel von schwarz (ganz links) bis weiß (ganz rechts). Die Anzahl der Pixel die einen bestimmten Tonwert besitzen kann überblicksmäßig anhand der Höhe des Graphen festgestellt werden, die genaue Anzahl kann im Feld Häufigkeit nach der Platzierung des Mauszeigers an der jeweiligen Stelle ermittelt werden. Auch Tonwert und Spreizung (Anzahl der Pixel eines Wertes in Prozent) verändern sich mit der Position des Mauszeigers. Der Mittelwert gibt den durchschnittlichen Helligkeitswert und die Standard-Abweichung die Schwankung der Helligkeitswerte an.

Obige Definitionen stammen aus der Photoshop-Hilfe, wo diese auch noch genauer nachgelesen werden können.

### 7.1.2.2. Prozedurales Screening

Die bisher genannten Algorithmen können auf jedes Graustufenbild, das als Dither Screen genutzt wird, angewendet werden. Um eine bestimmte Textur in ein Bild einzufügen müssen prozedurale Methoden zur Generierung dieser Oberflächenstrukturen verwendet werden.<sup>96</sup>

Prozedur bedeutet „Behandlung, Verfahren“<sup>97</sup>, prozedural kann also auch als verfahrenstechnisch bezeichnet werden und charakterisiert somit eine schrittweise Abfolge bestimmter Methoden. Prozedurale Texturen basieren auf mathematischen Funktionen oder Computerprogrammen. Sie sind in der Regel abstrakt und haben keine bestimmte Größe, sind also auflösungsunabhängig.<sup>98</sup>

Daraus ergeben sich folgende Vorteile prozeduraler Dither Screens:

1. Sie werden direkt erzeugt, benötigen also kein zweites Eingangsbild.
2. Sie können in jeder Größe angefertigt werden.
3. Es können sich nicht wiederholende Texturen in jeder Größe generiert werden.<sup>99</sup>

Der Nachteil von prozeduralen Dither Screens ist jedoch, dass sie nur mit Hilfe von mathematischen Ausdrücken beschrieben werden können.<sup>100</sup>

Um die erforderlichen Eigenschaften für Dither Screens zu erfüllen, werden die Werte mit Hilfe einer Funktion (Dither Kernel) gleichmäßig verteilt und danach ein Intensitätslevel für ein paar Eingangswerte errechnet. Um die Dither Kernel für das Dithering verwenden zu können, muss sie auf das Originalbild abgebildet werden, was mit Hilfe einer zweiten Funktion, der sogenannten Mapping-Funktion, geschieht. Dann erst können die Eingangswerte mit den von der Dither Kernel errechneten Werten verglichen und entschieden werden, ob ein bestimmtes Pixel im resultierenden Bild gesetzt wird, oder nicht.<sup>101</sup>

---

<sup>96</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 48

<sup>97</sup> Bertelsmann Universal Lexikon, Fremdwörter (1990), S. 584

<sup>98</sup> vgl. Kerlow (2004), S. 253

<sup>99</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 48

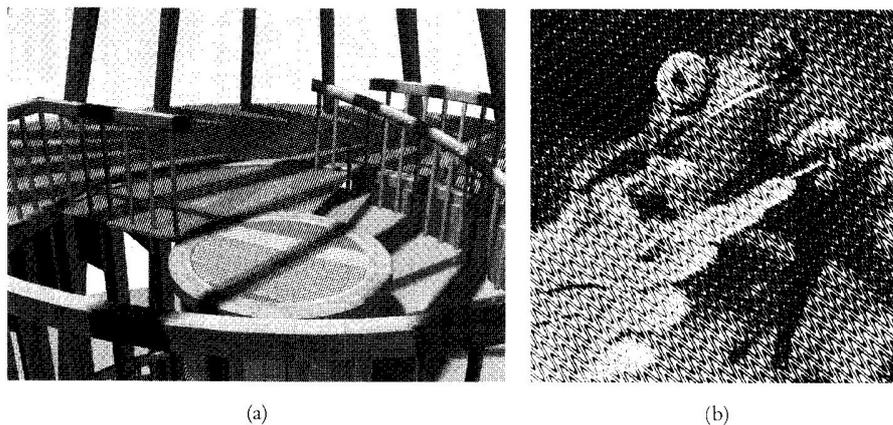
<sup>100</sup> vgl. Kerlow (2004), S. 153

<sup>101</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 49

Im Allgemeinen wird die Form der Textur durch die Dither Kernel kontrolliert und die Eigenschaften Skalierung und Orientierung durch die Mapping-Funktion. Um Abweichungen der Oberflächenstruktur zum Bild hinzuzufügen, können Displacement Maps (Deformationsabbildungen) verwendet werden.<sup>102</sup>

Eine andere Möglichkeit die Eigenschaften einer prozeduralen Textur zu beeinflussen, ist diese von den lokalen Eigenschaften des Originalbildes abhängig zu machen. Diese bildbasierende Kontrolle verwendet sogenannte Hilfsbilder (Auxiliary Images), die eine Abbildung spezieller Eigenschaften wie z. B. den Detailreichtum eines Bereiches beinhalten.<sup>103</sup>

In Abbildung 29 sind zwei Beispiele für die Anwendung von prozeduralem Screening zu sehen, wobei in (a) nur einzelne Bereiche und in (b) das ganze Bild bearbeitet wurde.



**Abbildung 29: 2 Beispiele prozedurales Screening**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 53

### 7.1.2.3. Einbettung von Formen in Dither Screens

Der größte Vorteil des Screening gegenüber Ordered Dithering und Error Diffusion ist die Möglichkeit die Form der ins Bild eingefügten Artefakte durch den Aufbau des Dither Screens

<sup>102</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 50

<sup>103</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 51

kontrollieren zu können. Manuell einen korrekten Dither Screen zu erzeugen ist ein langwieriger Prozess, eine enorme Arbeitserleichterung ist daher die Verwendung von Buchstaben oder Texten als Dither Screens.<sup>104</sup>

Die Anwendung von Buchstabenkombinationen um Intensitätslevels auszudrücken war eine frühe Form des Dithering, die auch Symbol-based Screening genannt wird. Hier kommt es häufig zur Anwendung von Dither Rows, d. h. derselbe Text wird in jeder Zeile, jedoch mit unterschiedlicher Intensität, verwendet.<sup>105</sup>

Diese Textlinien müssen aber nicht zwingend horizontal und parallel zu den Bildecken verlaufen, wie auch in Abbildung 30 zu sehen ist. Wobei (a) das ganze Bild und (b) eine vergrößerte Region rund um das Auge darstellt.<sup>106</sup>

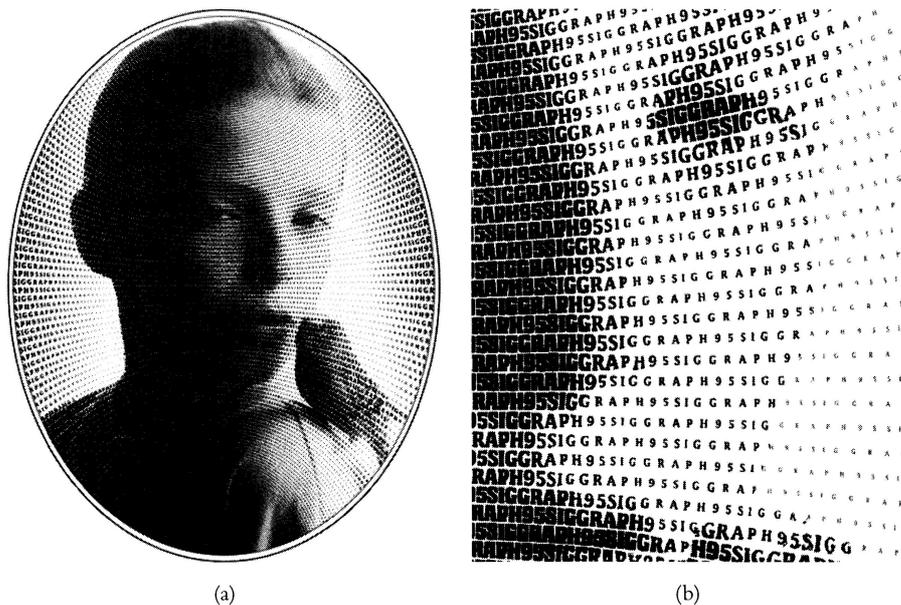


Abbildung 30: Symbol-basiertes Screening

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 56

<sup>104</sup> vgl. Ostromoukhov/Hersch (1995), S. 219

<sup>105</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 53

<sup>106</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 54

Es gibt aber nicht nur die Möglichkeit Text und Symbole als Dither Screen zu verwenden, sondern es können auch bestimmte Grafiken angedeutet werden. Diese sind aber generell nicht nur innerhalb eines Blockes, sondern darüber hinaus verteilt. Um mögliche Unterbrechungen an den Blockkanten zu vermeiden ermöglicht Kontur-basiertes Screening die Interpolation zwischen Blöcken und Intensitätslevels.<sup>107</sup>

Eines der bekanntesten Beispiele für Kontur-basiertes Screening stammt von M. C. Escher: der Holzschnitt „Sky and Water“, wo eine Gans fließend in einen Fisch übergeht. Abbildung 31 zeigt die Anwendung dieses Bildes auf eine Intensity Ramp.<sup>108</sup>



**Abbildung 31: Kontur-basiertes Screening**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 56

Diese Methode erlaubt dem/der BenutzerIn einerseits eine beliebige Anzahl an Objekten, zwischen welchen geblendet werden soll, zu definieren. Andererseits können auch für verschiedene Intensitätslevels unterschiedliche Dither Screens verwendet werden.<sup>109</sup>

Die Form jedes Objekts wird durch eine bestimmte Anzahl von Konturpunkten, die bei jeder Form gleich sind, beschrieben. Dadurch wird das Blenden zwischen zwei Objekten ermöglicht, da immer die Positionen der einzelnen Punkte verglichen werden können. Zuallererst müssen jedoch die Konturen für eine bestimmte Anzahl an Intensitätslevels definiert werden. Danach erfolgt die Skalierung dieser auf die Größe des Screen-Elements, dessen Intensitätslevel die Kontur darstellt (bei Intensität 1 wird der ganze Bildschirm ausgefüllt, bei Intensität 0,5 der halbe, usw.). Dann erst erfolgt die Interpolation zwischen den

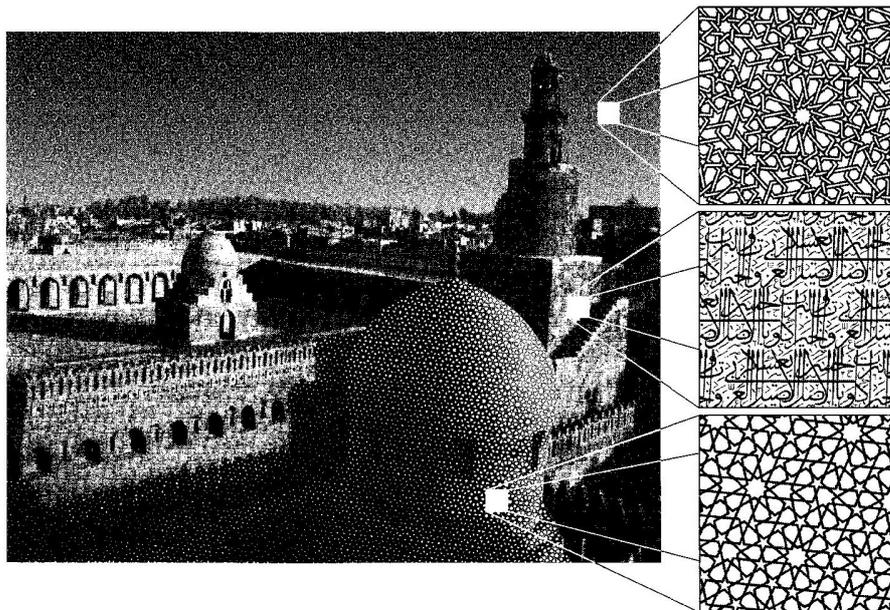
<sup>107</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 55 f.

<sup>108</sup> vgl. Ostromoukhov/Hersch (1995), S. 219

<sup>109</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 57

Formen, um alle erforderlichen Intensitätswerte zu erhalten. Als nächster Schritt erfolgt das Rastern des Screens, damit die einzelnen Formen zum Zielbild hinzugefügt werden können. Die Unterteilung des Zielbildes in Blöcke muss erfolgen, damit später in jeden Block ein Screen-Element eingefügt werden kann. Der letzte Schritt vor der Ausgabe ist die Anpassung der Screen-Elemente an Form und Orientierung des Zielblockes.<sup>110</sup>

In Abbildung 32 ist ein Bild einer Moschee zu sehen, welches mit 3 verschiedenen Dither Screens erzeugt wurde. Eine Kombination verschiedener Muster verstärkt die Aussage eines Bildes und der/die BenutzerIn kann künstlerische Aspekte schaffen, deshalb wird diese Methode auch als Artistic Screening bezeichnet.<sup>111</sup>



**Abbildung 32: Artistic Screening einer Moschee**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 61

<sup>110</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 57 - 59

<sup>111</sup> vgl. Ostromoukhov/Hersch (1995), S. 225

#### **7.1.2.4. Multicolor Dithering**

Diese Methode wird für Bilder verwendet, deren Bildpunkte aus künstlerischen Formen bestehen (Buchstaben, Ornamente, etc.), wie Designs für Werbungen und Plakate, als auch Sicherheitsdrucke. Sie liefert außerdem neue Perspektiven für Drucke mit Spezialtinte wie beispielsweise floureszierende oder metallische.<sup>112</sup>

Multicolor Dithering bedient sich einer Verallgemeinerung des Standard Bi-Level Ditherings und läuft in drei Hauptschritten ab. Zuerst erfolgt eine Umwandlung/Trennung der Bildfarben des Originalbildes in druckbare Farben, also z. B. die Umwandlung von RGB-Farben (rot, grün, blau) in das CMYK-Farbsystem (cyan, magenta, yellow, key). Es erfolgt jedoch immer nur eine Annäherung an die Originalfarbe, daher wird die Differenz (Error) auf die benachbarten Pixel aufgeteilt. Als nächster Schritt erfolgt das Halftoning jedes druckbaren Farb-Layers. Letztendlich muss eine nochmalige Farbkorrektur stattfinden, um dem Erscheinungsbild des Originals möglichst nahe zu kommen.<sup>113</sup>

#### **7.1.3. Stippling**

Eine weitere Methode die bei Halftoning entstehenden Artefakte zu reduzieren ist die Veränderung der Verteilung der Punkte. Mit Hilfe von Stippling können sowohl der Gesamtton als auch die Oberflächenstruktur eines Bildes durch die Platzierung von kleinen, gleichen Punkten, die zufällig verteilt sind, erzeugt werden. Da Stippling von Hand sehr zeitaufwändig und schwierig zu lernen ist, wurden Methoden entwickelt, die eine Erzeugung mit Hilfe des Computers, auch für Laien erlauben.<sup>114</sup>

---

<sup>112</sup> vgl. Ostromoukhov/Hersch (1999), S. 425

<sup>113</sup> vgl. Ostromoukhov/Hersch (1999), S. 425

<sup>114</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 61

Stippling ist für die Repräsentation feiner Details, auch komplexerer Bilder, und weicher, runder Objekte, ohne scharfe Kanten sehr gut geeignet. Deshalb findet diese Methode auch häufig in den Bereichen Medizin und Archäologie Anwendung.<sup>115</sup>

### 7.1.3.1. Automatische Methoden

Um die gleichmäßige, aber zufällige, Verteilung der Punkte bei Stippling automatisch zu erreichen gibt es verschiedene Methoden. Die gängigste ist die sogenannte Rejection-Methode, bei welcher die Verteilung der Punkte von der Höhe (Intensität) der Oberfläche abhängig gemacht wird. Zuallererst wird eine passende, zufällige Verteilung der Punkte vorgenommen. Danach wird für jeden Punkt ein zufälliger Wert zwischen null und eins ermittelt, ist dieser niedriger als die Höhe der Oberfläche, bleibt der Punkt, ist er höher wird dieser entfernt.<sup>116</sup>

Anforderungen an die Punkte nach der Verteilung:

1. Lineare Intensität d. h. das Verhältnis zwischen den Eingangswerten und den Ausgangswerten sollte konstant sein.
2. Überlappung von Punkten sollte vermieden werden, außer es wird ausdrücklich gewünscht, um eine sehr hohe Intensität erreichen zu können.
3. Es sollten keine sichtbaren Muster durch die Verteilung entstehen.<sup>117</sup>

Die einfachste Art der Verteilung sind vertikale Linien, die in einem Rechteck, mit zufällig ausgewählten Höhen zwischen null und eins positioniert werden. Diese Verteilung gewährleistet aber weder lineare Intensität noch werden sich überlappende Punkte vermieden. Deshalb findet die Sobol-Sequenz, die quasi zufällig Zahlen zwischen null und eins basierend auf Operationen für die Darstellung von Binärzahlen generiert, hier Anwendung.<sup>118</sup>

---

<sup>115</sup> vgl. Secord (2002), S. 37

<sup>116</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 61 f.

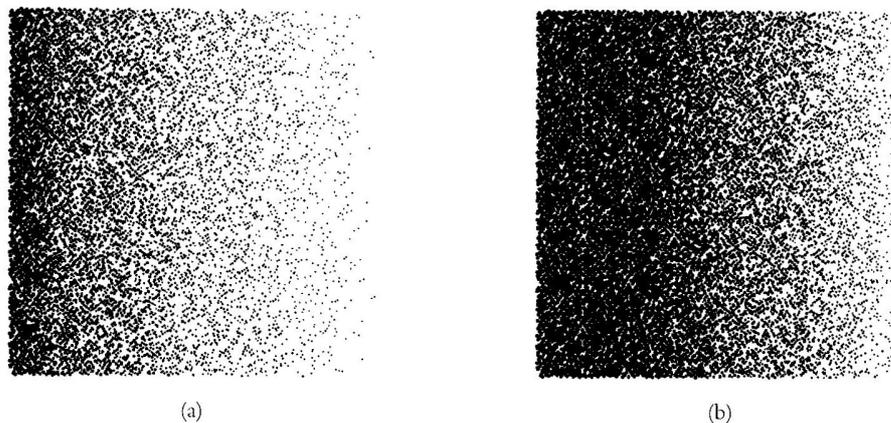
<sup>117</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 62

<sup>118</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 63

Die trotzdem entstehenden sichtbaren Muster werden mit Hilfe eines Jitters, der Bildschwankungen erzeugt, minimiert, der jedoch die generierte Intensität wieder verschlechtert.<sup>119</sup>

Ein Problem der automatischen Methoden ist es, sowohl eine gleichmäßige Verteilung der Punkte, als auch eine lineare Intensität zu erreichen. Durch die Verwendung einer Intensitäts-Map kann eine automatische Korrektur erfolgen und so dieses Problem gelöst werden.<sup>120</sup>

Abbildung 33 zeigt (a) eine unkorrigierte und (b) eine korrigierte Version eines Bildes, unter der Verwendung der Sobol-Sequenz, zur Verteilung der Punkte.<sup>121</sup>



**Abbildung 33: Unkorrigiertes und korrigiertes Stipple-Bild**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 67

### 7.1.3.2. Interaktive Methoden

Automatische Methoden für Stippling beziehen keine zusätzlichen Informationen oder Bildeigenschaften mit ein. Ecken und Kanten, die besonders wichtig für das Erkennen von Objekten sind, können in Stipple-Bildern durch Unregelmäßigkeiten in der Verteilung der Punkte korrekt dargestellt werden, wenn die Verteilung von den Eigenschaften des Original-

<sup>119</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 65

<sup>120</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 66

<sup>121</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 67

bildes abhängt. Obwohl eine algorithmische Bestimmung der Unregelmäßigkeiten möglich ist, können durch die manuelle Definition bessere Ergebnisse erreicht werden. So kann mit Hilfe von interaktiven Methoden eine lokale oder globale Veränderung der Punkteverteilung durch den/die BenutzerIn stattfinden.<sup>122</sup>

Eine Veränderung der Punkteigenschaften ist aber nicht nur zur Verstärkung von Objektanten und -ecken, sondern auch zur Erzeugung von bestimmten künstlerischen Aspekten in Stipple-Bildern nötig.<sup>123</sup>

Das Ziel interaktiver Stippling-Methoden ist die Darstellung eines Graustufenbildes durch eine diskrete Punktrepräsentation, die Halftoning erlaubt und zusätzliche geometrische Bedingungen erfüllt. Das resultierende Bild besteht aus n diskreten Elementen, den für Stipple-Bilder charakteristischen Punkten. Da der geometrische Error von der Verteilung der Punkte abhängt, wird dieser durch die Varianz der Distanz zwischen den Punkten definiert.<sup>124</sup>

Um eine erste Punkteverteilung zu erreichen, können Halftoning-Methoden verwendet werden, zur Modifizierung der Punkteverteilung müssen aber folgende Überlegungen miteinbezogen werden.<sup>125</sup>

- Keine Platzierung von Punkten in weißen bzw. sehr hellen Bereichen
- Die Punkte sollen sich innerhalb des Objekts, das mit der Stipple-Methode erzeugt werden soll, befinden.
- Verschiedene Tonwerte, von hell bis dunkel, können durch eine sich ändernde Anzahl der Punkte oder durch eine Veränderung der Punktgröße erreicht werden.<sup>126</sup>

Die Punkte können mit Hilfe des Voronoi-Schemas gleichmäßig verteilt werden. Dieses unterteilt die geometrischen Objekte zunächst in Zellen, ermittelt dann die mit Punkten zu

---

<sup>122</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 67 f.

<sup>123</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 69

<sup>124</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 68

<sup>125</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 69

<sup>126</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 69

füllenden Regionen, sowie deren Begrenzungen und verschiebt zuletzt den Punkt in den Schwerpunkt der Voronoi-Region. Diese Schleife wird solange wiederholt, bis die gewünschte Verteilung erreicht ist. Um eine Verschiebung der Punkte in Bereiche anderer Intensität zu vermeiden, wird diese von einem Graustufenbild, welches Schwellenwerte beinhaltet, abhängig gemacht.<sup>127</sup>

Das Ergebnis nach Durchführung all dieser Schritte, ist zwar ein „korrektes“, aber synthetisch wirkendes Bild. Um diesen Eindruck zu vermeiden sollte Benutzerinteraktion stattfinden.<sup>128</sup>

Interaktionstechniken basieren auf der Verwendung von Pinseln, die auch aus Bildmanipulations- und Zeichenprogrammen bekannt sind. Für die Bearbeitung von Stipple-Bildern sind folgende Pinselarten sehr hilfreich.<sup>129</sup>

- Selection Brush (Auswahl)  
Mit Hilfe dieses Pinsels können größere Bereiche eines Bildes ausgewählt und dann bearbeitet werden.
- Relaxation Brush (Entspannung)  
Dieser Pinsel minimiert die Anzahl der Punkte der ausgewählten Bereiche.
- Jitter Brush (Bildschwankungen)  
Durch die Verwendung des Jitter-Pinsels werden kleine, willkürliche Positionsänderungen der Punkte erreicht. So können Bereiche mit zu gleichmäßiger Punkteverteilung bearbeitet werden.
- Shape Brush (Form)  
Dieser Pinsel erlaubt die Modifizierung der Form der Punkte, sodass eine Vergrößerung oder Verkleinerung von Punkten möglich ist.<sup>130</sup>

Abbildung 34 zeigt ein Stipple-Bild, das mit allen beschriebenen Pinselarten bearbeitet wurde.

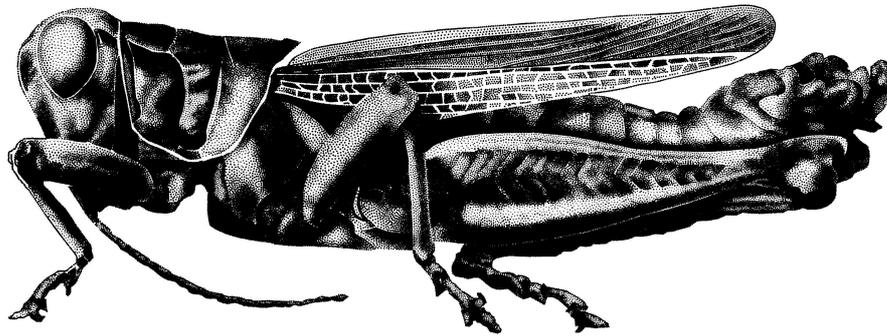
---

<sup>127</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 70

<sup>128</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 70

<sup>129</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 70

<sup>130</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 71



**Abbildung 34: Interaktiv bearbeitetes Stipple-Bild**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 71

#### 7.1.4. Mosaik-Bilder

Mosaik-Bilder bestehen aus vielen kleinen Bildern, die zusätzliche Informationen übermitteln können. Diese Methode generiert aus dem Originalbild ein aus sogenannten Tiles (Kacheln) bestehendes Bild. Diese Mosaikbausteine müssen größer als ein Pixel sein und den Tonwerten des Originalbildes entsprechen.<sup>131</sup>

Die Erzeugung eines Mosaik-Bildes erfolgt in vier Hauptschritten:<sup>132</sup>

1. Auswahl der Bilder, die als Tiles verwendet werden:

Im Allgemeinen ist die Auswahl der Mosaikbausteine eine künstlerische Entscheidung, es sollte aber trotzdem darauf geachtet werden, dass diese zum Zielbild passen. Die Bilder können entweder eine kleine Version des Zielbildes, die eine Farbkorrektur mit sich zieht, oder auch mehrere, verschiedene Darstellungen, die in einer Datenbank gegeben sind, sein. Letzteres erfordert einen Algorithmus, der ein passendes Bild für eine spezielle Kachelposition aussucht.<sup>133</sup>

---

<sup>131</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 72

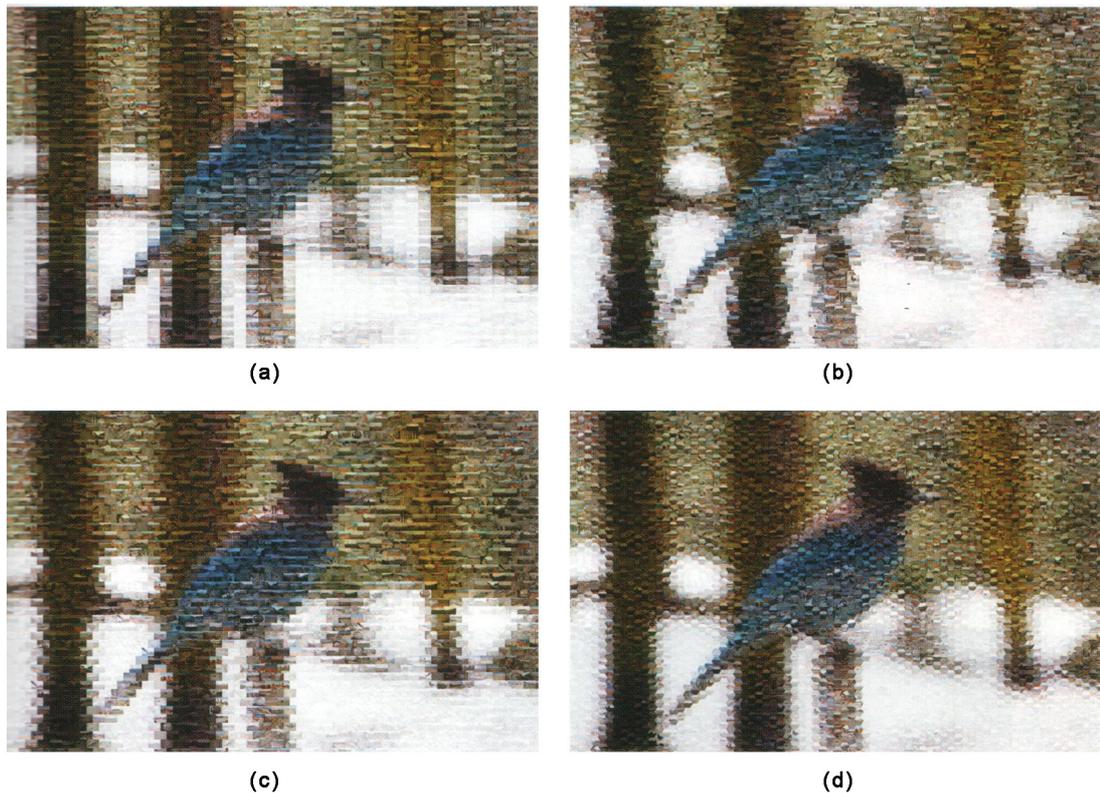
<sup>132</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 72

<sup>133</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 75 f.

## 2. Auswahl eines Tiling Grid:

Der Raster an dem die Tiles ausgerichtet werden, kann regelmäßig oder zerstreut (Scattered) sein. Wobei letzteres den Eindruck von vielen übereinander liegenden Fotos, die ein Gesamtbild formen, vermittelt. Diese Technik rotiert die einzelnen Tiles zufällig, um den Eindruck der Regelmäßigkeit zu verhindern und wird beispielsweise für Werbeplakate eingesetzt.<sup>134</sup>

Abbildung 35 zeigt unterschiedliche Mosaikstrukturen aufgrund der Verwendung von verschiedenen Mosaikrastern. Wobei in (a) ein regelmäßiges, in (b) ein zerstreutes, in (c) ein versetztes (winkeliges) und in (d) ein sechseckiges Raster verwendet wurde.



**Abbildung 35: Mosaikbilder mit unterschiedlichen Rastern**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 73

<sup>134</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 72 f.

Ausgehend von einem regelmäßigen, rechteckigen Raster gibt es 2 verschiedene Möglichkeiten das Originalbild zu unterteilen. So können die einzelnen Tiles in Reihen und Spalten, eine Kachel neben der anderen, platziert werden oder es erfolgt ein Winkelabgleich in jeder Reihe, dessen Ergebnis das Muster einer Ziegelmauer ist. Regelmäßige Raster sind meist rechteckig und die einzelnen Tiles von gleicher Größe. Eine Anpassung der Kachelgröße an den Detailreichtum eines Bereiches findet in sogenannten Multiresolution-Mosaiken statt. Um den Level of Detail feststellen zu können, wird das Originalbild in vier Quadranten unterteilt. Für jeden dieser Quadranten wird das Detaillevel errechnet und anhand eines Schwellenwertes entschieden, ob dieselbe Prozedur für diesen Bereich wiederholt werden soll. Ist die Unterteilung in verschieden große Bereiche abgeschlossen, werden die Tiles dementsprechend skaliert und danach positioniert.<sup>135</sup>

### 3. Anordnung der Tiles innerhalb des Tiling Grid:

Die Platzierung der Bilder kann auf verschiedene Arten erfolgen:<sup>136</sup>

- Für alle Bereiche wird dasselbe Bild verwendet, das meist eine kleine Version des Zielbildes ist.
- Zufällige Anordnung verschiedener Tiles, Nachteil ist die erforderliche Farbkorrektur.
- Manuelle Anordnung der Tiles durch Augenmaß
- Platzierung der Tiles anhand der Durchschnittsfarbe auf den am Besten passenden Bereich
- Platzierung der Tiles anhand der Durchschnittsfarbe und anderer Eigenschaften wie z. B. vorkommende Kanten

### 4. Farbkorrektur der Tiles:

Wie bereits erwähnt ist eine Farbkorrektur nur dann nötig, wenn die einzelnen Tiles nicht so ausgewählt wurden, dass sie ohnehin den richtigen Farbton für den Bereich des Zielbildes besitzen.<sup>137</sup>

---

<sup>135</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 74

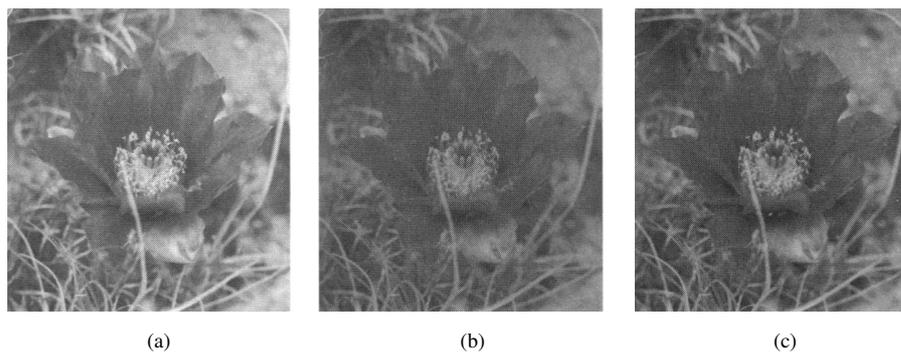
<sup>136</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 75

<sup>137</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 76

Die Farbkorrektur wird durch die Kombination von Skaling (Skalierung - die durchschnittliche Tile-Farbe wird an die gewünschte Farbe angepasst) und Shifting (Verschieben - die Korrektur der Farbe erfolgt durch die Verschiebung um den Differenzfarbwert) durchgeführt. Wobei die Kombination dieser beiden Funktionen bedeutet, dass die Farbwerte verschoben werden, solange ein bestimmter Farbbereich nicht verlassen wird. Ist das jedoch der Fall wird so weit wie möglich verschoben und diese resultierende Farbe dann skaliert, um die gewünschte Farbe zu erhalten.<sup>138</sup>

Sollen keine Graustufenbilder, sondern farbige Tiles bezüglich ihrer Farbe korrigiert werden, wird die hier beschriebene Technik auf die einzelnen Farbkanäle angewendet.<sup>139</sup>

In Abbildung 36 ist die Veränderung eines Bildes (a) durch Anwendung von (b) Skaling und (c) Shifting zu sehen.



**Abbildung 36: Color Shifting und Color Skaling**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 77

<sup>138</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 77 f.

<sup>139</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 79

## 7.2. Bildmanipulation – Pixelgruppen (Linien, Kurven und Striche)

Im Gegensatz zu Kapitel 7.1., wo die Veränderung einzelner Pixel im Vordergrund stand, beschäftigt sich der folgende Abschnitt mit der Manipulation von Pixelgruppen (Linien).<sup>140</sup>

### 7.2.1. Zeichnen von „inkorrekten“ Linien

Wie bereits erwähnt sind in manchen Bereichen wie z. B. der Architektur Zeichnungen oder Skizzen (Sketches) erwünscht, die dem Betrachter einen handgezeichneten Eindruck übermitteln. Um dieses Ziel erreichen zu können, dürfen die gezeichneten Linien nicht vollkommen korrekt sein. Dieses Charakteristikum handgezeichneter Bilder wird auch als „Incorrectness“ bezeichnet.<sup>141</sup>

Folgende vier Faktoren verursachen die Incorrectness der Linien in handgezeichneten Bildern.<sup>142</sup>

#### 1. Wiggleness (Wackeligkeit)

Kein Mensch ist, ohne Hilfsmittel, in der Lage vollkommen gerade Linien zu zeichnen. Diese kleinen Unebenheiten werden sowohl vom Menschen als auch von weiteren Faktoren wie Papier, Zeichenstift und Farbe beeinflusst. Je skizzenhafter eine Zeichnung ist, desto ungenauer sind die Linien.

#### 2. Line Length (Linienlänge)

Ein weiteres Merkmal von handgezeichneten Bildern ist die ungenaue Linienlänge. D. h. dass die Linien nicht genau am Start- und Endpunkt beginnen bzw. enden, sondern entweder kürzer sind, oder über diesen Punkt hinausgehen.

---

<sup>140</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 83

<sup>141</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 84

<sup>142</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 85

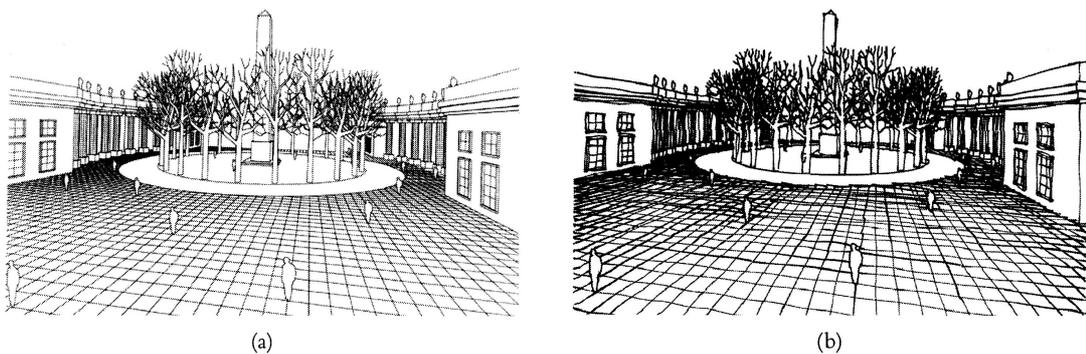
3. Line Thickness and Brightness (Liniendicke und -helligkeit)

Liniendicke und -helligkeit hängen von dem von dem/der BenutzerIn ausgeübten Druck auf das Malwerkzeug ab. Eine schnelle Bewegung verursacht weniger Druck als eine langsame und die erzeugten Linien sind dünner und heller.

4. Line Ends (Linienenden)

Wie die Liniendicke hängt auch das Aussehen der Linienenden von der Zeichengeschwindigkeit und vom verwendeten Malwerkzeug ab. So kann das Ende einer Linie beispielsweise eine Punkt- oder Hakenform haben.

Erste Schritte handgezeichnete Effekte in einen Computerausdruck einzubauen führten über die Manipulation der Ausgabe-Hardware (Plotter oder Drucker).<sup>143</sup> So hat beispielsweise bei einem Plotter der Stift, aus dem die Tinte kommt, wesentlichen Einfluss auf das zu erzeugende Bild, ist dieser locker montiert bewirkt er wackelige Linien. Weitere Faktoren wie der Typ des Tintenstiftes und Geschwindigkeit des Druckvorganges spielen eine Rolle, wenn ein Bild generiert wird. Abbildung 37 (a) zeigt einen herkömmlichen Computerausdruck. Im Vergleich hierzu sieht der Ausdruck in Abbildung 37 (b) wie eine handgezeichnete Skizze aus.<sup>144</sup>



**Abbildung 37: (a) Normaler Computerausdruck (b) Freihand-Computerausdruck**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 87

<sup>143</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 84

<sup>144</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 86

Obwohl diese Hardware-basierte Methode recht gute Ergebnisse liefert, ist sie nicht generell einsetzbar, da sie eine Modifizierung des Plotters erfordert und keine eindeutige Kontrolle der einzelnen Parameter zulässt.<sup>145</sup> Außerdem sinkt die Verwendung von Plottern, denn sie werden von Laserdruckern abgelöst, die kleiner, billiger und schneller sind. Da diese Laserdrucker durch Programmiersprachen wie PostScript oder PCL gesteuert werden, müssen eben diese bearbeitet werden, um charakteristische Skizzen generieren zu können.<sup>146</sup>

Der erste Schritt um diese Software-basierte Lösung umsetzen zu können ist die Definition von Variablen, die die bereits genannten Eigenschaften einer Linie genau beschreiben. Beispiel für drei Basisvariablen sind die Liniendicke (Dicke der gesamten Linie, Dicke am Ende einer Linie, Linien-Dropoff: ob sich die Liniendicke schrittweise oder abrupt ändert), die Linienendpunkte und die Variable Line Squiggle. Letztere gibt die Verschnörkelung der Linie an, wobei die Linie zuerst in kleine Segmente unterteilt wird, die dann mehr oder weniger gekrümmt werden.<sup>147</sup>

## **7.2.2. Zeichnen von „künstlerischen“ Linien**

Wenn ein Künstler ein Bild fertigt, zeichnet er meist zuerst eine grobe Skizze, die ihm einen Gesamteindruck verschafft. Über diese Linien kommt dann die Verfeinerung der Zeichnung mit den verschiedensten Farben. Dieser Ablauf auf den Computer übertragen liefert ein Modell, die sogenannte Path and Style Metaphor, für die Erzeugung von künstlerischen nicht fotorealistischen Bildern.<sup>148</sup> Wobei der Pfad (Path) die Position und die Richtung und der Stil (Style) die Abweichung des zweiten Zeichenvorganges gegenüber dem ersten angibt und somit die charakteristische Erscheinung des Bildes ausmacht. Der Pfad kann sowohl interaktiv, beispielsweise mit Hilfe der Maus, festgelegt werden, als auch auf einem 2D- oder 3D-Modell basieren.<sup>149</sup>

---

<sup>145</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 86

<sup>146</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 87

<sup>147</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 88

<sup>148</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 89

<sup>149</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 90

### 7.2.2.1. Skeletal Strokes (skelettartige Striche)

Viele vektororientierte Zeichenprogramme erlauben bei der Erzeugung eines Bildes nur eine konstante Liniendicke. Zeichnen mit Skeletal Strokes ist eine interaktive Technik, die Verformung von vordefinierten Bildern entlang eines gegebenen Pfades verwendet.

Die Basis dieser Methode ist die Definition eines Skeletal Strokes. Dieser besteht aus einem Bild, das Flesh genannt wird und sich aus Punkten, geschlossenen Polygonen oder Bézier-Kurven zusammensetzt. Das Bild ist um einen Reference Backbone (Rückgrat) und eine Reference Thickness Line (Liniendicke), die normal auf den Backbone steht und durch die maximale Dicke des Striches definiert ist, platziert. Der Reference Backbone bietet eine Referenz x-Achse für die Punkte, die das Flesh definieren. Die Reference Thickness Line ist ein Maßstab um den seitlichen Abstand der Punkte vom Backbone, kann also als y-Achse angesehen werden.<sup>150</sup>

Abbildung 38 zeigt die Definition eines Skeletal Stroke, wobei der große Pfeil, der nach rechts zeigt, der Reference Backbone ist, und der kleine Pfeil, der nach oben zeigt, die Reference Thickness Line ist.

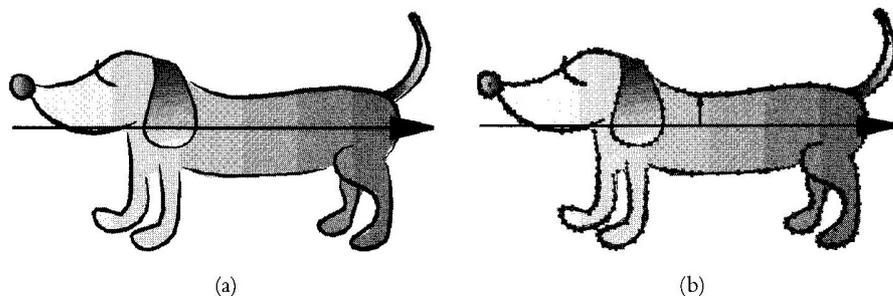


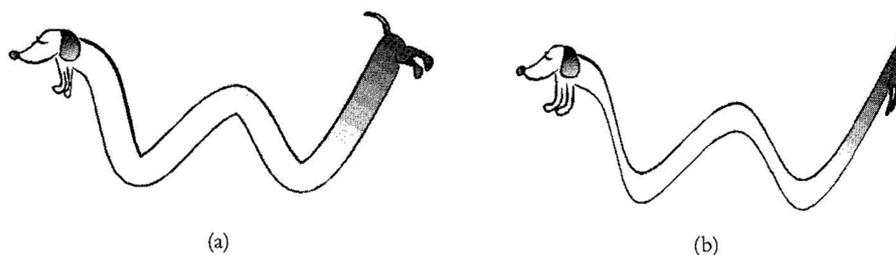
Abbildung 38: Skeletal Stroke (a) Backbone (b) zusätzlich Reference Thickness

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 91

Um den Skeletal Stroke auf den Pfad anzuwenden wird der Backbone mit dem Pfad verbunden und das Flesh wird dementsprechend deformiert. Die Kontrolle des Schubwinkels mit dem der Skeletal Stroke auf den Pfad angebracht wird, ermöglicht zwei Stile: Sausage Style

<sup>150</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 90

(Würstchen) und Ribbon Style (Band). Bei ersterem ist der Schubwinkel relativ zur Tangente des Pfades und der Skeletal Stroke ist normal zum Pfad und macht dieselben Kurven wie dieser. Beim Ribbon Style bleibt der Schubwinkel konstant im Bezug auf das globale Koordinatensystem. Die resultierenden Bilder sind mit den Ergebnissen einer Kalligraphie-Füllfeder zu vergleichen. Abbildung 39 zeigt ein Beispiel für Sausage Style und eines für Ribbon Style.<sup>151</sup>



**Abbildung 39: Skeletal Stroke – (a) Sausage Style (b) Ribbon Style**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 92

Biegt man ein physikalisches Objekt, wird die Innenseite zusammengestaucht und die Außenseite gedehnt. Je nach Material dieses Gegenstandes kann es aufgrund der Zusammenstauchung bzw. Auseinanderzerrung zu Deformationen kommen. Ähnliche Probleme können in Bereichen sehr enger Kurven bei Stroke-Elementen auftreten, wie beispielsweise eine Überlappung an den Innenseiten der Kurven. Um dieses Problem zu umgehen, wird ein Deformationsmodell verwendet, welches das Verhalten des Flesh, besonders bei starken Biegungen, beschreibt.<sup>152</sup>

Neben der Verformung des Strokes durch einen vorgegebenen Pfad, bietet das Skeletal-Stroke-Modell noch spezifischere Möglichkeiten wie z. B. Higher Order Strokes, die andere Striche als Elemente beinhalten, und Animation, um Cartoon-ähnliche Resultate zu erhalten.<sup>153</sup>

<sup>151</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 91 f.

<sup>152</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 92

<sup>153</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 93

### 7.2.2.2. Line Styles (Linienstile)

Mit der Skeletal-Stroke-Methode wird das Erscheinungsbild der Linien nur durch den Stil festgelegt. Line Styles verwenden auch Pfadinformationen wie beispielsweise Lichtverteilung durch die Überlagerung von zwei verschiedenen Kurven: dem Pfad und dem Stil, wobei ersterer die Position und die Richtung und letzterer die Abweichung vom Pfad angibt. Der Stil beschreibt wie eine gerade Linie deformiert werden würde.<sup>154</sup>

Um die Stil-Geometrie auf dem Pfad abzubilden, wird eine Differenzvektor-Methode verwendet, die hier nicht näher wird. Sind die Länge des Pfades und des Stils nicht identisch, müssen diese skaliert werden, wobei sich der Skalierungsfaktor aus dem Verhältnis der beiden zueinander ergibt.

Die Abbildung der geometrischen Eigenschaften resultiert in einem Skelett der Kurve, die gezeichnet werden soll. Das hinzuzufügende Flesh ergibt sich durch Interpolation der angegebenen Druck- und Sättigungswerte.<sup>155</sup>

Wie schon bei Skeletal Strokes, können auch bei der Verwendung von Line Styles Probleme in Bereichen enger Kurven auftreten, hier bedingt durch die Unterteilung der Linie in Segmente, vor der Anwendung der Differenz-Vektor-Methode, wenn die dort ermittelten Punkte für bestimmte Parameter zu eng aneinander liegen.<sup>156</sup>

Der vom Renderer zur Verfügung gestellte Pfad beinhaltet mehr als nur geometrische Informationen und erlaubt daher erweiterte Funktionen des Line Style-Modells. So können beispielsweise auch Angaben über Ausleuchtung und Tiefe, die als Druck und Sättigung kodiert sind, genutzt werden. Durch das Treffen von Pfad und Stil ergibt sich die Möglichkeit einen Stil in Striche zu unterteilen, da diese nicht immer einzeln, sondern teilweise mehrere auf einmal gezeichnet werden.<sup>157</sup>

---

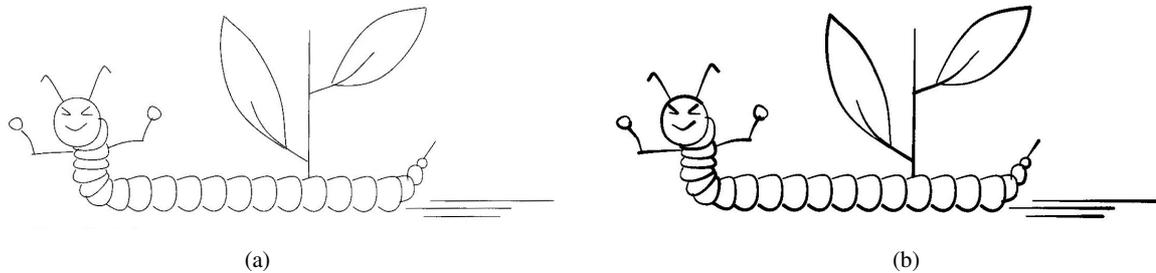
<sup>154</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 94

<sup>155</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 96

<sup>156</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 97

<sup>157</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 98

Abbildung 40 zeigt (a) den Pfad und (b) die Anwendung von Linienstilen.



**Abbildung 40: Anwendung von Linienstilen**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 99 und 100

### 7.2.2.3. Simulation von Wasserfarben

Im Gegensatz zu den Methoden Skeletal Strokes und Line Styles, die Vektor-orientiert sind, ist eine Verwendung der Style and Path Metaphor auch im Pixel-basierten Bereich, der als Umgebung für die Simulation von Wasserfarben-Gemälden verwendet wird, möglich.<sup>158</sup>

Die folgende Technik stellt eine Simulation von traditioneller Japanischer Kunst, auch als Sumi-e bekannt, dar. Charakteristisch für diese Bilder ist, dass sie nur aus wenigen Pinselstrichen in gleicher Farbe bestehen.<sup>159</sup>

Dieses objekt-orientierte Modell besteht aus vier Hauptteilen: dem Pinsel (Brush), der Neigung (Dip), dem Strich (Stroke) und dem Papier (Paper).<sup>160</sup>

Der Pinsel wird als Gesamtheit von vielen einzelnen Borsten, die alle eine verschiedene Menge an Farbe und eine bestimmte Position innerhalb des Pinsels besitzen, angesehen. Die Neigung des Pinsels beschreibt die Position von diesem, wenn er mit dem Papier in Berührung

<sup>158</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 99

<sup>159</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 100

<sup>160</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 100

kommt. Der Strich besteht aus einem Parametersatz, der Informationen wie die Position, den zugeführten Druck, den bereits zurückgelegten Weg oder die Form beinhaltet. Das Papier ist für das Rendern der Farbe, wie sie vom Pinsel kommt, verantwortlich.<sup>161</sup>

Der erste Schritt in der Umsetzung ist die Definition eines Striches mit Hilfe einer von dem/der BenutzerIn eingegebenen Liste, die die Positionswerte beinhaltet. Der auf den Pinsel angewendete Druck wird per Tastatur ebenfalls von dem/der BenutzerIn eingegeben. Danach werden zwei kubische (würfelförmige) B-Splines generiert, einer für die Positionswerte und der andere für die Druckwerte und die Distanz entlang des Striches.<sup>162</sup> Diese Kurve wird in Segmente unterteilt und ihre Verbindungsknoten ergeben dann den Pfad. Für jedes Segment wird ein Viereck mit bestimmten Eigenschaften definiert. Die Mitte des Pinsels wird entlang des Pfades geführt und die Vierecke werden gefüllt.<sup>163</sup> Die Vierecke bilden den Körper des Striches und zwei Dreiecke definieren jeweils Beginn und Ende.<sup>164</sup>

Durch die Änderung einiger Parameter können bestimmte Effekte, die durch das Zeichnen mit der Hand entstehen simuliert werden. So wurde beispielsweise bisher nicht berücksichtigt, dass nach einer bestimmten Anzahl an Pinselstrichen sich nur mehr wenig bzw. keine Farbe mehr auf dem Pinsel befindet. Dieser Zeitpunkt ist für die einzelnen Pinselborsten verschieden und daher ergibt sich der Lösungsansatz jede Borste mit einer endlichen Menge an Farbe zu füllen.<sup>165</sup> Da bei jedem Schritt die Füllmenge aller Borsten berechnet werden muss, ist diese Methode, trotz guter Ergebnisse, sehr zeitaufwändig.<sup>166</sup>

Eine andere Möglichkeit um Pinselstriche für Sumi-e-Zeichnungen zu erzeugen ist die Verwendung von Uniform (gleichmäßigen) Cubic B-Splines. In diesem Modell besteht ein Pinselstrich aus den drei Komponenten Trajectory (Pfad des Striches), Thickness (Dicke des

---

<sup>161</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 101 f.

<sup>162</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 31

<sup>163</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 102 f.

<sup>164</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 32

<sup>165</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 103

<sup>166</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 105

Striches an einem Punkt des Pfades) und Shade (die Farbe des Striches an einem Punkt des Pfades).<sup>167</sup>

Der Pfad wird durch einen kubischen B-Spline dargestellt, wobei die Anzahl der Knoten, wie die Kontrollpunkte genannt werden (nicht gleich der Anzahl der Punkte, aus denen der Spline besteht) von dem/der BenutzerIn eingegeben wird und die Form des Pinselstriches bestimmt. Die Dicke des Pinselstriches wird durch die Anzahl der Borstenpunkte, die entlang einer Offsetkurve des Pfades geführt werden, bestimmt. An jedem Knoten des Trajectory-Splines wird der angewendete Druck von dem/der BenutzerIn angegeben und dementsprechend erfolgt eine Überblendung des Offsetpfades jeder einzelnen Borste zwischen den Kontrollpunkten anhand dieser Werte. Durch die Verbindung der Knoten der benachbarten Pfade, wird eine Reihe von Vierecken gebildet, die mit der Farbe gefüllt werden. Diese Methode ermöglicht dem/der BenutzerIn die Eingabe einer Anfangs- und Endfarbe für jede einzelne Borste, was zu sehr realistischen Ergebnissen führt.<sup>168</sup>

Ein Bild, das mit dieser Methode, die auch als Hairy Brushes bezeichnet wird, generiert wurde, ist in Abbildung 41 zu sehen.



**Abbildung 41: Anwendung von Hairy Brushes**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 106

<sup>167</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 36

<sup>168</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 36

Bei den eben besprochenen Methoden werden die physikalischen Eigenschaften des Mediums und das Verhalten der einzelnen Pinselborsten nicht berücksichtigt.<sup>169</sup> Die physikalische Simulation von Painting-Methoden wird in Kapitel 7.3.3. erläutert.

### 7.2.3. Multiresolution Curves (Mehrfachauflösende Kurven)

Die Style and Path Metaphor kann sehr gute Ergebnisse erzielen, ist aber nicht für alle Bereiche geeignet. Deshalb wurden Multiresolution Techniken zur Darstellung von Kurven entwickelt.<sup>170</sup>

Um Kurven mit verschiedenen Detailstufen darzustellen, haben sich Wavelets (Wellendarstellungen) als sehr nützlich erwiesen. Diese Darstellungsform beschreibt eine Kurve durch Kontrollpunkte, deren Anzahl durch die Verwendung eines Analysefilters verringert werden kann. Dieser Prozess, der die mehrfachauflösende Kurve in eine niedriger auflösende umwandelt, wird Decomposition genannt. Für den umgekehrten Fall, von niedriger Auflösung zu hoher, wird ein Synthesefilter verwendet.<sup>171</sup>

Diese Technik knüpft an die Style and Path Metaphor an, da die Kurve mit der niedrigsten Auflösung als Pfad, und die zu dieser hinzugefügten Details (in den verschiedenen Stufen des Rekonstruktionsprozesses) als Stil behandelt werden.

Die Style and Path Methode unterstützt 2 verschiedene Arten Operationen auszuführen. Wobei die erste die Veränderung der allgemeinen Form der Kurve und die zweite die Modifizierung von lokalen Details ermöglicht.<sup>172</sup>

Im Gegensatz zu anderen Methoden kann die Kurve auf verschiedenen Ebenen bearbeitet werden, was aber Know-How des/der Benutzers/Benutzerin bezüglich Kurveneigenschaften und Algorithmen erfordert. Vorteil ist hingegen die Möglichkeit die Form der Linien

---

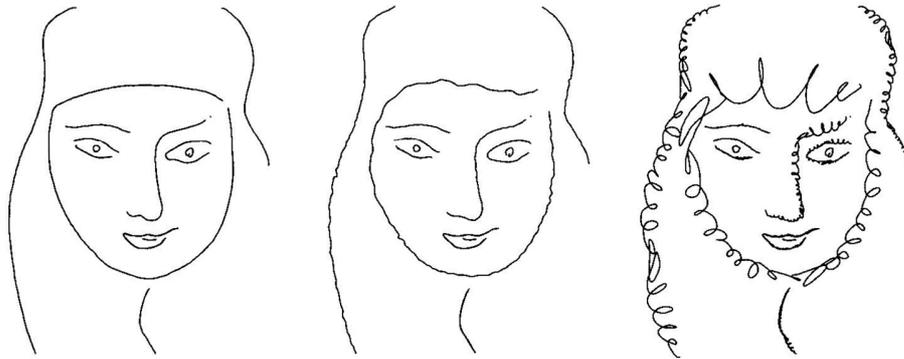
<sup>169</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 35

<sup>170</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 106

<sup>171</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 107

<sup>172</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 108

kontrollieren zu können. Abbildung 42 zeigt ein Beispiel für die Änderung der Linienform, also des Details, wobei der Gesamtkurs der Linien aber unverändert bleibt.<sup>173</sup>



**Abbildung 42: Multiresolution-Curves**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 109

---

<sup>173</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 109

## 7.3. Simulieren von künstlerischen Medien

Dieses Kapitel erläutert Methoden die, im Gegensatz zu den in Punkt 7.2.2. vorgestellten, nicht nur künstlerische Linien generieren, sondern sowohl die physikalischen Eigenschaften der Materialien miteinbeziehen, als auch den Prozess des Kreativen Schaffens des Menschen. Letzteres kann nur durch die Imitation der Ergebnisse einer künstlerischen Entwicklung geschehen.<sup>174</sup>

### 7.3.1. Simulation von Bleistiftzeichnungen

Der einfachste Ansatz zur Generierung von Strichzeichnungen mittels Computer ist die Verwendung von sogenannten „Line-Drawing Primitives“ (Siehe Kapitel 7.2.), die in Standard-Grafikpaketen angeboten werden. Diese können passend für die Anforderungen von handgezeichneten Skizzen eingestellt werden.

Eine andere Annäherung ist die Simulation der physischen Eigenschaften von Bleistift und Papier auf mikroskopischer Ebene.<sup>175</sup>

#### 7.3.1.1. Observational Model

Um eine Bleistiftzeichnung simulieren zu können muss vorerst eine genaue Untersuchung beispielsweise mit Hilfe eines Elektronenmikroskops, stattfinden.<sup>176</sup> Erst dann können die Härte der Bleistiftmine und die Form der Bleistiftspitze in die Bilderzeugung miteinbezogen werden.<sup>177</sup>

Eine Bleistiftmine besteht aus verschiedenen Anteilen von Graphit, Wachs und Ton, wobei der Wachsanteil fix um 5% liegt und nur das Verhältnis von Graphit und Ton die Härte des

---

<sup>174</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 113

<sup>175</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 129

<sup>176</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 8

<sup>177</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 9

Bleistiftes ausmacht.<sup>178</sup> Bleistifte mit harter Mine beinhalten mehr Ton als Graphit und hinterlassen weniger Minenpartikel auf dem Papier als weichere.

Die Form der Spitze des Bleistiftes wird mit Hilfe eines Polygons mit drei oder mehr Ecken beschrieben und hängt davon ab, wie dieser zugespitzt ist. Außerdem beeinflusst sie auch die Form der Linie, die auf dem Papier entsteht.<sup>179</sup>

Der vom Bleistift auf das Papier ausgeübte Druck wird durch Koeffizienten beschrieben und prägt ebenfalls das Erscheinungsbild der Linie, da er die Menge der zu platzierenden Partikel bestimmt.<sup>180</sup>

Das verwendete Papier wird als dreidimensionales Feld dargestellt, das entsprechend der Papiermaserung gerastert wird. Die Gitternetzpunkte des entstandenen Gitternetzes weisen unterschiedliche Höhen auf, wodurch die Menge der aufzunehmenden Partikel beeinflusst wird (höher liegende Bereiche nehmen mehr Partikel auf als niedriger liegende. Die kleinste Einheit des Gitternetzes ist eine Zelle, die ein Maximalvolumen an Minenpartikel aufnehmen kann und auch als Grain bezeichnet wird. Für jede Zelle, die mit dem Stift in Berührung kommt, wird die jeweilige Menge an Grafit, Wachs und Ton berechnet.<sup>181</sup>

Diese Methode ermöglicht auch das Radieren und Blenden (Abrunden von Ecken oder weiche Verläufe), wobei die Verteilung bzw. Löschung von Minenpartikeln wieder mit Hilfe der Höhe der einzelnen Grains reguliert wird.<sup>182</sup>

Kern des Observational Models ist die Interaktion zwischen Papier und Stift, wobei ersteres auf die Stifthärte und den ausgeübten Druck reagiert.<sup>183</sup>

---

<sup>178</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 129

<sup>179</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 11

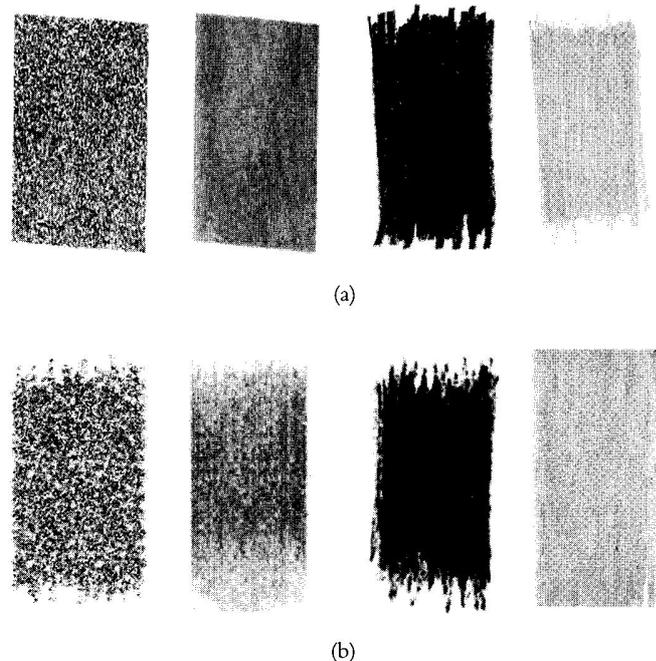
<sup>180</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 132

<sup>181</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 11

<sup>182</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 13

<sup>183</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 11

Der in Abbildung 43 gezeigte Vergleich zwischen handgezeichneten und simulierten Bleistiftschattierungen verdeutlicht die guten Ergebnisse des Observational Models, wobei (a) die handgezeichneten und (b) die simulierten Schattierungen sind.



**Abbildung 43: (a) Handgezeichnete (b) Simulierte Bleistiftschattierungen**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 137

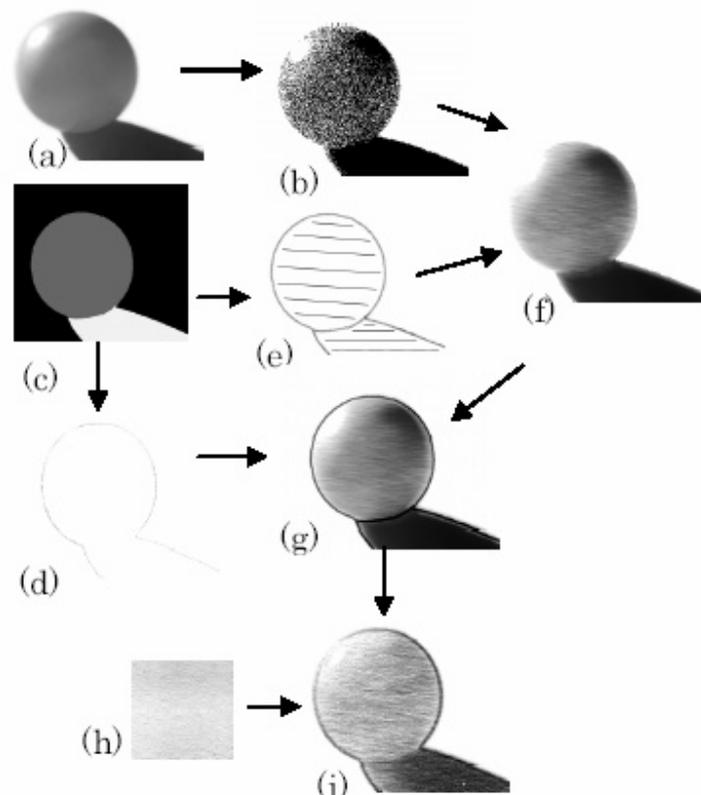
### 7.3.1.2. Pencil Drawing – LIC-Methode

Diese Methode ist total automatisch und verwendet die Texturbasierte Vektorfeld Visualisierungstechnik LIC (Line Integral Convolution – Integrale Linienbiegung).<sup>184</sup>

Der Prozess der Generierung der Bleistiftzeichnung kann anhand von Abbildung 44 erklärt werden. Als erster Schritt wird Weißes Rauschen erzeugt (b), die Grundlage hierfür bildet das Eingangsbild (a). Danach erfolgt die Unterteilung des Eingangsbildes (a) in verschiedene

<sup>184</sup> vgl. ARTIS/A Team of the GRAVIR – IMAG Research Lab, <http://artis.imag.fr/~Cyril.Soler/DEA0405/Sujets/automatic-generation-of-pencil.pdf>, abgerufen am 02.05.2005

Bereiche, bezogen auf ihre Textur und Intensitätswerte (c). Nach dem Extrahieren der Bereichsgrenzen (d), wird dann das Vektorfeld generiert (e), das die Ausrichtung der Striche bestimmt. Durch Anwendung der LIC auf das Weiße Rauschen (a) und das Vektorfeld (e) entsteht die rohe Bleistiftzeichnung (f), zu der dann noch die Objektgrenzen (d) hinzugefügt werden (g). Durch das Hinzufügen eines Paper Samples (Papierstück) (h) entsteht dann die fertige Bleistiftzeichnung (i).<sup>185</sup>



**Abbildung 44: Prozessablauf: Automatisches Pencil Drawing mit LIC**

Entnommen aus ARTIS/A Team of the GRAVIR – IMAG Research Lab,  
<http://artis.imag.fr/~Cyril.Soler/DEA0405/Sujets /automatic-generation-of-pencil.pdf>,  
 abgerufen am 02.05.2005

Eine mit dieser Technik generierte Bleistiftzeichnung ist in Abbildung 45 zu sehen.

<sup>185</sup> vgl. ARTIS/A Team of the GRAVIR – IMAG Research Lab, <http://artis.imag.fr/~Cyril.Soler/DEA0405/Sujets /automatic-generation-of-pencil.pdf>, abgerufen am 02.05.2005



**Abbildung 45: Pencil Drawing mit der LIC-Methode**

Entnommen aus ARTIS/A Team of the GRAVIR – IMAG Research Lab,  
<http://artis.imag.fr/~Cyril.Soler/DEA0405/Sujets /automatic-generation-of-pencil.pdf>,  
abgerufen am 02.05.2005

### 7.3.1.3. Colored Pencil Drawing (CPD) – Volumetric Model

Die Grundbausteine für diese Methode bieten drei volumetrische Modelle. Das erste beschäftigt sich mit der Mikrostruktur des Papiers, das zweite mit der Simulation des Farbstiftes und das dritte mit der Verteilung der Farbpartikel wenn Wasser über die Zeichnung verteilt wird.<sup>186</sup>

Die Beschaffenheit des Papiers wird durch mehrere Schichten Papierfasern und Bindemittel dargestellt, wobei erstere durch Zylinder, deren Länge, Radius, Orientierung und Position zufällig ist, und letztere durch mikroskopisch kleine Scheiben simuliert werden. Das simulierte Papier wird in Voxel (Pixel im dreidimensionalen Raum) unterteilt, die Werte für die Dichte des Papiers an dieser Stelle enthalten. Auch die Pigmentmenge wird hier gespeichert und während des Zeichnen- und „Wasch“-Prozesses laufend angepasst. Die Verteilung der Partikel erfolgt dann mit Hilfe der Offset-Distance-Accessibility-Methode (ODA), die hier aufgrund ihrer Komplexität nicht näher erläutert wird.<sup>187</sup>

<sup>186</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 16

<sup>187</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 17

In Abbildung 46 ist ein Beispiel für eine Grafik, die mit Hilfe des Volumetrischen Modells für Farbstiftzeichnungen generiert wurde zu sehen.



**Abbildung 46: Volumetric Colored Pencil Drawing**

Entnommen aus Gooch/Gooch (2001), S. 18

### 7.3.2. Simulation von Pen and Ink (Stift und Tinte)

Die Eigenheiten von Pen-and-Ink-Illustrationen machen diese sowohl für künstlerische Zwecke als auch für erklärende Bilder interessant.<sup>188</sup> Formen werden hier durch die Verwendung von Outlines (Konturen), die die Umrisse und Flächen eines Objektes beschreiben, und Shading (Schattierung) dargestellt. Wobei die schattierten Bereiche des Bildes den Tone (Farbton) an dieser Stelle bestimmen, also die Darstellung der Lichtmenge, die von einem bestimmten Punkt an der Oberfläche des Objektes in die Richtung des Betrachters reflektiert wird. Da Pen-and-Ink-Illustrationen aus einzelnen Strichen bestehen, wird die Durchschnittsmenge an reflektiertem Licht in einzelnen Bereichen berechnet.<sup>189</sup>

Die Striche aus denen Pen-and-Ink-Illustrationen bestehen, beschreiben gleichzeitig Tone und Textur und sie wirken zusammen um diese auszudrücken.<sup>190</sup> Da Tone und Textur hier, im Gegensatz zu Standard-Rendering-Methoden, keine separaten Elemente sind, müssen Standard-Routinen um folgende Punkte erweitert werden:<sup>191</sup>

- Zweidimensionale räumliche Unterteilung von Flächen
- Rendering von Tone und Textur
- Clipping (Anbringen der Striche auf die zu schattierenden Bereiche)
- Outlining (Miteinbeziehen der Textur der eingeschlossenen Fläche und angrenzenden Bereichen)

Ausgangssituation zur Erzeugung von einzelnen Strichen in Pen-and-Ink-Illustrationen ist eine gerade Linie, die in Segmente unterteilt wird. Die Größe dieser wird zufällig ermittelt, um natürliche Unregelmäßigkeiten einzubauen. Jedes einzelne Segment dieser Kette kann als Kontrollpolygon fungieren und das Aussehen des Striches wesentlich beeinflussen. Methoden zur Erzeugung von Strichen wurden bereits in Kapitel 7.2. vorgestellt.

---

<sup>188</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 155

<sup>189</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 19

<sup>190</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 155 f.

<sup>191</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 20

Der nächste Schritt nach dem Rastern der Linie bzw. der Kurve ist das Clipping. Die einfachste Methode hierfür ist nach dem Zeichnen des Striches an der jeweiligen Stelle (Ecke) zu enden und einen zufälligen Offset hinzuzufügen, um so eine ausgefrante Ecke zu erhalten und zu viel Gleichmäßigkeit zu vermeiden.<sup>192</sup>

Nach der Erzeugung von Strichen müssen diese kombiniert werden um einen Bereich des Bildes füllen zu können. Diese (zufällige) Anordnung von Strichen wird auch als Stroke Texture bezeichnet, die Tone und Textur dementsprechend repräsentieren muss.

Die Darstellung und Kombination der Striche hängt davon ab, welche Informationen das Bild liefern soll, also vom verwendeten Material und den Lichtverhältnissen. Ein weiterer Einflussfaktor ist die verwendete Papiergröße bzw. Auflösung des Bildschirms da kleinere Illustrationen normalerweise aus weniger Strichen bestehen als größere.<sup>193</sup>

Basisprinzip für die Texturierung von Flächen ist die Platzierung von mehr Strichen in dunklen als in helleren Bereichen des Bildes. Daher muss die Verteilung der Striche auf dem Tone des Originalbildes basieren, was mit Hilfe eines Difference-Image-Algorithmus (DIA) umgesetzt wird.<sup>194</sup> Da dieser Algorithmus aber keine Oberflächen- oder Materialeigenschaften miteinbezieht erfolgt eine Ordnung der Striche. Innerhalb dieser Anordnung werden dann in hellen Bereichen nur die signifikantesten Striche dargestellt, während die dort wegfallenden, unwichtigen Striche in dunkleren Bereichen hinzugefügt werden.<sup>195</sup> Zur Umsetzung dieses Prinzips muss jedem Strich, zusätzlich zur Position, ein Prioritätswert zugewiesen werden. Die so erzeugten Texturen, die Tone und Textur darstellen, werden Prioritized Stroke Textures genannt.<sup>196</sup>

Abbildung 47 zeigt den Vergleich zwischen Standard Stroke Textures, hier sind die Linien willkürlich platziert, und Prioritized Stroke Textures, deren Linien eine bestimmte Anordnung besitzen.

---

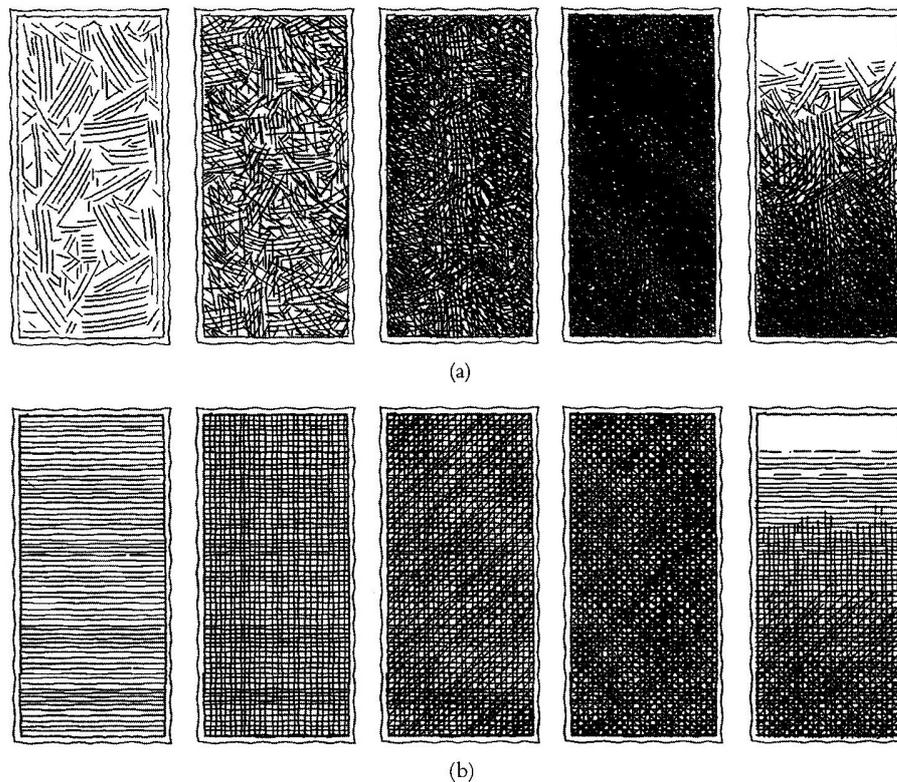
<sup>192</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 157

<sup>193</sup> vgl. Winkenbach/Salesin (1996), S. 469 ff.

<sup>194</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 160

<sup>195</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 161

<sup>196</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 162



**Abbildung 47: (a) Standard Stroke Textures (b) Prioritized Stroke Textures**  
Entnommen aus Gooch/Gooch (2001), S. 24 und 25

Vorteil von Prioritized Stroke Textures ist beispielsweise die Möglichkeit die Striche mit der höchsten Priorität als Kontur zu definieren und so sehr schnell Umrisse generieren zu können.<sup>197</sup> Diese sogenannten Outlines können in 2 Variationen vorkommen: als Boundary Outlines oder als Interior Outlines. Erstere bezeichnen die Kontur rund um die sichtbaren Teile des Objektes, letztere werden innerhalb von Polygonen verwendet, um beispielsweise die Richtung des Schattens anzugeben. Outlines werden nur dargestellt, wenn die Flächen die sie teilen nicht unterschiedlich genug sind um durch ihre Schattierung allein unterschieden werden zu können. Außerdem hängen sie von der Betrachtungsrichtung ab, da Teile des Objektes je nach Betrachtungswinkel ineinander verschwimmen können und daher die Trennlinien nicht dargestellt werden.<sup>198</sup>

<sup>197</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 21

<sup>198</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 163 f.

Einen weiteren Vorzug von Prioritized Stroke Textures bietet die Andeutung der Textur über eine Fläche, die auch Abstraction oder Indication genannt wird.<sup>199</sup> Hier werden Texturedetails häufig nur in der Nähe der Ecken oder im Vordergrund platziert. Eine Anwendung einer Indication ist in Abbildung 48 zu sehen, wobei (a) ein Haus ohne und (b) eines mit Indication zeigt.<sup>200</sup>



**Abbildung 48: Anwendung von Indication**  
Entnommen aus Gooch/Gooch (2001), S. 22

Die algorithmische Durchführung von Indication kann durch Berechnung der zu zeichnenden Teile bzw. der Bereiche, die ausgelassen werden erfolgen. Aber auch der/die BenutzerIn kann durch Interaktion diese Bereiche, mit Hilfe eines „Radierers“ für unwichtige oder eines Auswahlwerkzeuges für wichtige Gebiete, auswählen.<sup>201</sup>

Da Schatten in Bildern dem Betrachter wichtige Tiefeninformationen liefern, werden sie auch in Illustrationen hinzugefügt. Die einfachste Methode für Pen-and-Ink-Illustrationen ist die Verwendung von Cross Hatching (Hatching von Linien im 90-Grad-Winkel) zur Verdunkelung der Schattenbereiche. Diese Linien entstammen einem 3D-Modell oder werden von dem/der BenutzerIn eingegeben. Außerdem kann die Orientierung dieser Linien auf der Position der Lichtquelle basieren. Eine andere Möglichkeit zur Darstellung von Schatten ist

<sup>199</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 169

<sup>200</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 22

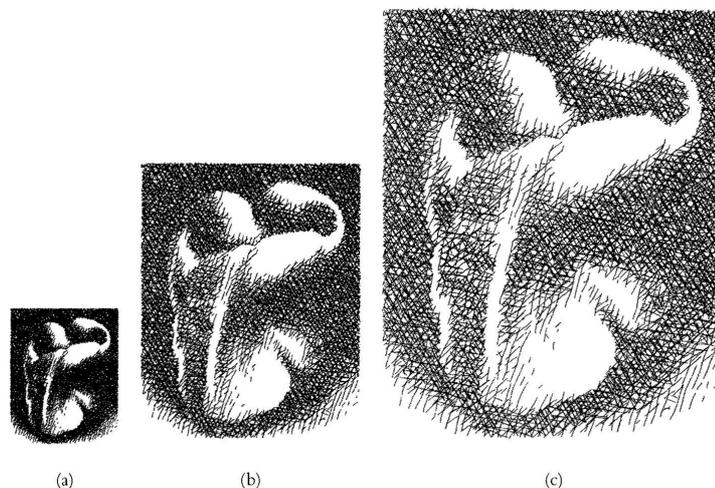
<sup>201</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 169

die Line-Thickening-Methode, die Ecken, die Schatten werfen, dicker erscheinen lässt. Es ist aber auch eine Kombination der beiden Methoden möglich.<sup>202</sup>

In den meisten Illustrationen sind die einzelnen Striche nach der Krümmung des gezeichneten Objektes ausgerichtet. Ob sich diese nach der maximalen, minimalen oder durchschnittlichen Rundung richten sollen, wird von dem/der BenutzerIn vorgegeben.<sup>203</sup>

Um runde Objekte in Pen-and-Ink-Illustrationen darstellen zu können, werden NURBS (Non Uniform Rational B-Splines) verwendet, die mittels Controlled Density Hatching (Siehe Kapitel 7.1.1.) dargestellt werden.<sup>204</sup>

Werden Pen-and-Ink-Illustrationen ohne Änderungen durchzuführen skaliert, verursacht dies eine Veränderung des Gesamt-Tones und des Erscheinungsbildes, wie in Abbildung 49 zu erkennen ist, wobei (b) das Originalbild (a) das verkleinerte und (c) das vergrößerte Bild ist.<sup>205</sup>



**Abbildung 49: Einfache Skalierung des Originalbildes (b)**

Entnommen aus Salisbury/Anderson/Lischinski/Salesin (1996), S. 461

<sup>202</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 164

<sup>203</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 166 f.

<sup>204</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 22

<sup>205</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 171

Werden Pen-and-Ink-Illustrationen skaliert, müssen sowohl der Bildcharakter, als auch Bildeigenschaften wiedergegeben werden. Letzteres bedeutet, dass abrupte Änderungen oder fließende Übergänge (Discontinuity Edges) durch die Skalierung nicht beeinträchtigt werden dürfen.<sup>206</sup>

Folgende Schritte bieten keine zufriedenstellende Lösung für eben genanntes Problem:

- Anpassen der Größe der einzelnen Striche an die Skalierung: dies kann den Bildcharakter beeinflussen
- Anpassen des Maßstabes des Graustufenbildes und Hinzufügen neuer Stroke Textures: Problem hierbei sind scharfe Kanten, die dadurch „verwaschen“ wirken können.
- Wiederholung des Zeichenprozesses am skalierten Bild: Die Ergebnisse dieser Methode hängen stark davon ab, wie detailreich das Bild gezeichnet wurde.<sup>207</sup>

Um Skalierungsunabhängigkeit von Pen-and-Ink-Illustrationen gewährleisten zu können, wird zuerst eine abgetastete Version des Graustufen-Referenzbildes (Zeiger zu den verwendeten Stroke Textures und eine Sammlung von Discontinuity Edges, die mit Hilfe eines Kantenerkennungsalgorithmus oder durch Benutzereingabe gefunden wurden) gespeichert. Als nächste Schritte erfolgen die Skalierung des Referenzbildes und die Schraffierung durch die Striche. Der lokale Tone einer Textur wird während des Rendering-Prozesses vor der Hinzufügung des nächsten Striches berechnet. Wäre der Tone der resultierenden Stroke Texture dunkler als der des Originalbildes, wird er nicht gesetzt.<sup>208</sup>

Abbildung 50 zeigt nun die Skalierung desselben Bildes wie in Abbildung 49, unter Verwendung der eben beschriebenen Methode. Zu bemerken ist hierbei, dass der Tone des verkleinerten Bildes (a) und des vergrößerten (c) ungefähr dem des Originalbildes in (b) entsprechen.<sup>209</sup>

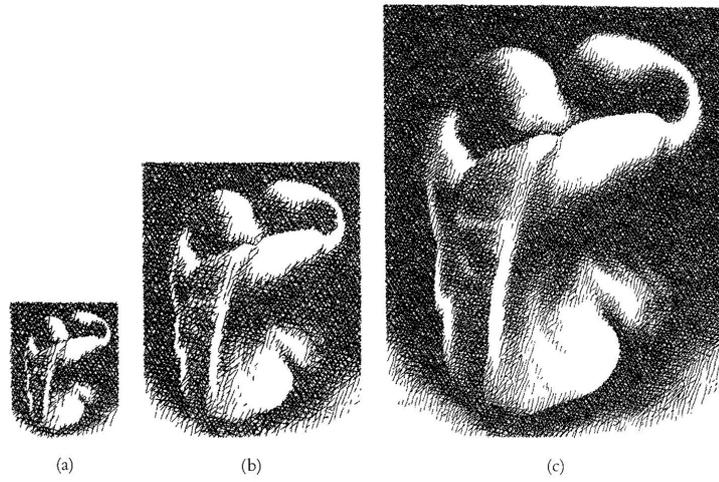
---

<sup>206</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 172

<sup>207</sup> vgl. Salisbury/Anderson, Lischinski/Salesin (1996), S. 462 ff.

<sup>208</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 26

<sup>209</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 179



**Abbildung 50: Skalierung - gleichbleibender Bildcharakter und Tone**  
Entnommen aus Salisbury/Anderson/Lischinski/Salesin (1996), S. 464

### 7.3.3. Simulation von Painting (Malen)

Die Simulation von Wasserfarben auf Papier beinhaltet folgende Punkte:

- Simulation der physischen Eigenschaften von Papier, Pinsel, Farbpartikel und Wasser
- Simulation der Effekte des Malprozesses (Farbfluss, Absorption von Farbe und Wasser in das Papier, Alterung des Bildes, usw.)<sup>210</sup>

Eine Umsetzung dieser Komponenten kann auf zwei verschiedene Arten erfolgen: entweder durch die Verwendung eines diskreten (unstetigen) Simulationsmodells (wie das Cellular-Automata-System) oder eines konstanten/stetigen Modells, dessen Ergebnis dann diskretisiert wird (Beispiel hierfür ist das Fluid-Simulation-Modell).<sup>211</sup>

#### 7.3.3.1. Verwendung von Cellular Automata – Wet and Sticky Method

Cellular Automata ist eine Berechnungsmethode, wo Zellen, die zu jedem Zeitpunkt einen bestimmten Status, abhängig von der Zelle selbst und den benachbarten Zellen, haben, als regelmäßiges Gitternetz angeordnet werden. Die Komponenten eines CA sind also das regelmäßige Netz aus Zellen (Cells), eine endliche Anzahl von Zuständen (States), eine endliche Anzahl an Einflüssen der Nachbarzellen (Neighborhood) und eine lokale Überleitungsfunktion (Transition Function).<sup>212</sup>

Um die Farbabgabe vom Pinsel und die Verteilung der Farbe am Papier zu simulieren, wird ein zweidimensionales Cellular Automata, mit einem endlich großen Gitternetz als Papier, verwendet. Innerhalb dieser Zellenanordnung kann jede einzelne Zelle, die als Container dargestellt wird, eine bestimmte Menge an Wasser und Farbe aufnehmen. Ist diese Maximalmenge erreicht, läuft der Überschuss in die Nachbarzellen, wobei immer die vier direkt benachbarten Zellen berücksichtigt werden.<sup>213</sup>

---

<sup>210</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 114

<sup>211</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 114

<sup>212</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 115

<sup>213</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 117

Damit das Papier aber nicht flach und unstrukturiert dargestellt wird, muss eine Faserstruktur hergestellt werden. Dies wird durch eine unterschiedliche Maximalflüssigkeitsmenge der einzelnen Container erreicht, die zufällig generiert oder interaktiv von dem/der BenutzerIn vorgenommen wird.<sup>214</sup> Für jede einzelne Zelle müssen also die Parameter Position, Farbe (sofern das Papier nicht weiß ist), Absorption, Wasser- und Pigmentinhalt gesetzt werden. Zusätzliche globale Parameter sind die Luftfeuchtigkeit, die Erdanziehungskraft, die Spannkraft des Wassers und das Gewicht der Farbpigmente.<sup>215</sup>

Wasserfarbenzeichnungen werden mit Pinseln, deren Borsten zylindrisch angeordnet sind, simuliert. Um realistische Effekte zu erhalten wird die endliche Farbmenge an jeder einzelnen Borste, mit Hilfe eines zweiten CA das den Pinsel darstellt, nachgeahmt. Denn die Farbe kann während des Zeichenprozesses nur auf das Papier fließen, wenn noch Farbpartikel auf den Borsten vorhanden sind.<sup>216</sup> Das Zeichnen eines Striches bedeutet die Übergabe der Farbe vom Pinsel auf das Papier. Die Zellen des CA, das den Pinsel darstellt, geben die Flüssigkeit an die Container des CA, welches das Papier verkörpert, ab. Deshalb muss nach diesem Vorgang der Status der Zellen neu berechnet werden. Erst dann kann mit Hilfe der lokalen Überleitungsfunktion (wenn nötig) die Verteilung der Farbe stattfinden.<sup>217</sup>

Die Verteilung der Flüssigkeit durch die lokale Überleitungsfunktion erfolgt in vier Schritten:

1. Übergabe und Streuung der Wasserpartikel an Nachbarzellen
2. Übergabe der Farbpartikel mit dem Wasser (Menge hängt von der Konzentration der Farbe im abgegebenen Wasser ab)
3. Übergabe von Farbpartikeln um die Konzentration der Farbe in den Zellen auszugleichen
4. Wasserverdunstung<sup>218</sup>

Diese Methode zur Simulation von Wasserfarben liefert ein Feld mit Werten, also den Zuständen der Zellen, die korrekt visualisiert werden müssen, um schlussendlich ein Bild zu

---

<sup>214</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 118

<sup>215</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 40

<sup>216</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 119

<sup>217</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 120 f.

<sup>218</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 121 f.

erhalten. Da sie auf einem zweidimensionalen Feld von Zellen basiert, können diese Werte direkt auf die Farbwerte in einem Bitmap übertragen werden, da alle Partikel die selbe Farbe haben und die Konzentration der Farbe im Wasser direkt in Sättigungswerte umgesetzt werden kann. Diese Technik ist also, wie bereits erwähnt, für monochrome Gemälde, wie sie in der japanischen Kunst vorkommen, sehr gut geeignet.<sup>219</sup> Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 51 zu sehen.



**Abbildung 51: Wasserfarbensimulation - Cellular-Automata-Technik**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 129

### 7.3.3.2. Computergenerierte Wasserfarben/Flüssigkeitssimulation

Die in Punkt 7.3.3.1. beschriebene Methode verwendet CA als Basis für die Simulation von Wasserfarben. Auch hier finden Cellular Automata Anwendung, jedoch nur als Hilfsmittel und nicht als Grundlage.<sup>220</sup>

Das Malen mit Wasserfarben ist eine interessante künstlerische Technik, da eine Reihe von einzigartigen Effekten erzeugt werden können. Bei der Umsetzung muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass Farben nur dann frei fließen können, wenn der Untergrund nass ist (Wet-On-Wet-Methode). Andererseits können aber auch auf trockenem Papier (Wet-On-Dry-Methode) besondere Ergebnisse erzielt werden.<sup>221</sup>

<sup>219</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 127 f.

<sup>220</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 123

<sup>221</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 123

Die wichtigsten Effekte die mit Hilfe der Wet-On-Dry- bzw. Wet-On-Wet-Methode erzeugt werden können:

- **Dry Brush Effect**

Ein Pinsel, der schon fast trocken ist, hinterlässt nur an den höher liegenden Fasern des Papiers Farbe.

- **Edge Darkening Effect**

Wenn die aufgetragene Farbe trocknet, sammeln sich Farbpigmente an den Ecken/Kanten eines Pinselstriches, die deshalb dunkler sind als andere Bereiche.

- **Intentional Back-Runs**

Kommt auf eine bereits feuchte Stelle nochmals Wasser, so fließen diese Bereiche auseinander und die Farbpigmente werden in diese Verzweigungen transportiert.

- **Flow Patterns**

Fließmuster entstehen, wenn das nasse Papier eine freie Verteilung der Farbpigmente zulässt.

- **Color Glazing**

Als Color Glazing wird der Prozess des Übereinanderplatzierens dünner, flacher Schichten von Wasserfarbe bezeichnet.<sup>222</sup>

Um solche Effekte umsetzen zu können, wird ein Mehrschichtenmodell verwendet. Eine Zeichenschicht besteht aus mehreren Schichten (Washes), die während des Malprozesses übereinander platziert werden. Auf jeder einzelnen Schicht wird der Bereich, auf dem der Simulationsprozess stattfinden soll, durch eine Wet-Area-Mask eingeschränkt. Diese Maske ist ein einfaches Bitmap, in dem die Werte 0, für trockene, und 1, für nasse Bereiche gespeichert sind. Die Flüssigkeitssimulation erfolgt in jeder Schicht unabhängig und erst dann werden die Washes kombiniert.<sup>223</sup>

Die unterste Schicht des „Stapels“ von Washes ist immer die Papieroberfläche, die wie bei der CA-Methode aus einzelnen Zellen mit unterschiedlicher Kapazität, besteht.<sup>224</sup>

---

<sup>222</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 46

<sup>223</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 124

<sup>224</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 124

Jedes einzelne Wash besteht wiederum aus 3 Schichten: dem Shallow Water Layer, dem Pigment Deposition Layer und dem Capillary Layer. Im Shallow Water Layer fließt das Wasser über die von der Wet-Area-Mask begrenzte Oberfläche, wodurch Farbpigmente gelöst, transportiert oder abgelagert werden. Um diese Wasserbewegung zu simulieren müssen Parameter wie Geschwindigkeit und Druck des Wassers, die Pigmentkonzentration und die Neigung der Papieroberfläche miteinbezogen werden. Die Pigmentpartikel werden zwischen dem Shallow Water Layer und dem Pigment Deposition Layer durch Adsorption (Anlagerung von Pigmenten an den Feststoff) und der Desorption (Lösung der Farbpigmente) übergeben. Im Capillary Layer wird die Wet-Area-Mask durch die Simulation des Wassertransportes durch die Poren des Papiers erweitert, weil sie durch die Wassersättigung des Papiers und die Kapazität der zu speichernden Flüssigkeitsmenge manipuliert wird.<sup>225</sup>

Als Eingabe für jedes Wash dienen die Werte der Eingangs-Wet-Area-Mask, der Geschwindigkeit und des Druckes des Wassers und der Pigmentkonzentration, die vom Pinselstrich, der die nasse Farbe am Papier platziert, herrühren.<sup>226</sup>

Die Simulation kann in vier, sich immer wiederholende, Hauptschritte eingeteilt werden:

### **1. Wassertransport in den Shallow Water Layer**

Hier wird der Wasserfluss, der zu einem Konzentrationsausgleich zwischen Bereichen mit höherer Konzentration und Bereichen mit niedrigerer Konzentration führt, durch die Wet-Area-Mask eingeschränkt.

### **2. Pigmenttransport**

Der Transport der Pigmente innerhalb des Shallow Water Layer hängt von der lokalen Geschwindigkeit des Wassers, die bereits im ersten Schritt ermittelt wurde, ab.

### **3. Adsorption und Desorption der Pigmente**

Zu jedem Zeitpunkt wird eine bestimmte Anzahl Partikel im Pigment Deposition Layer aufgenommen und eine bestimmte Anzahl auch wieder gelöst. Dieser Transfer zwischen dem Shallow Water Layer und dem Pigment Deposition Layer simuliert die Pigmentablagerung auf dem Papier.

---

<sup>225</sup> vgl. Gooch/Gooch (2001), S. 47

<sup>226</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 125

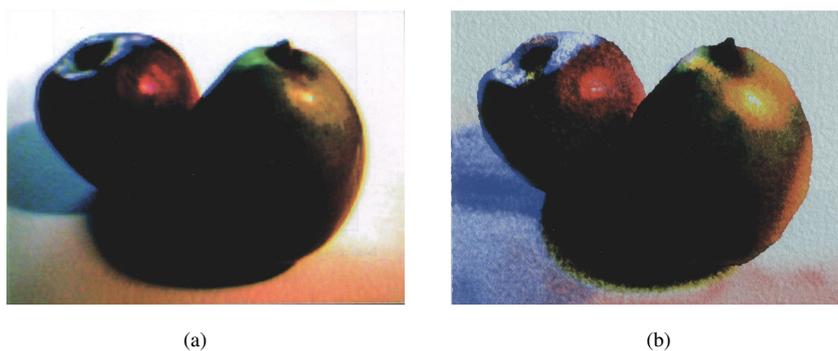
#### 4. Capillary Flow

Nach einem Pinselstrich dehnt sich der nasse Bereich durch den haarförmigen Fluss aus, die Wet-Area-Mask wird also erweitert. Da die Flüssigkeit von einer zur nächsten Zelle transferiert wird, wenn in einer Zelle das Maximum erreicht ist, kann sie sich so auch auf Zellen außerhalb der Wet-Area-Mask ausbreiten.<sup>227</sup>

Auch diese Methode zur Simulation von Wasserfarben liefert ein Feld mit Zustandswerten der Zellen. Hier ist aber die Anzahl der Farben nicht auf eine limitiert, weshalb mehrere Washes miteinander kombiniert werden müssen. Die Errechnung der Farbe für jedes Pixel erfolgt durch ein nicht deckendes Übereinanderlegen der Layer. Denn werden verschiedene Wasserfarben an einer Stelle aufgetragen, so scheinen die untenliegenden Schichten immer durch. Dieser Prozess wird als Optical Composition bezeichnet.

Für diese Kombination der Washes gibt es verschiedene Methoden, wie beispielsweise das Kubelka-Munk-Modell, deren Kern die Bestimmung jedes Pigments durch Adsorption-Koeffizienten, die die Menge des absorbierten Lichts kontrollieren, und Scattering-Koeffizienten, die für die Streuung des zurückgeworfenen Lichts verantwortlich sind, ist. Mit Hilfe dieser Koeffizienten und der Schichtdicke können zuerst die Reflexion und Übertragung eines Washes, dann die von zwei aufeinander liegenden Schichten, ermittelt werden.<sup>228</sup>

Abbildung 52 zeigt (a) ein Eingangsbild und (b) das Computergenerierte Wasserfarbenbild.



**Abbildung 52: Originalbild und computergeneriertes Wasserfarbenbild**

Entnommen aus Gooch/Gooch (2001), S. 45

<sup>227</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 126 f.

<sup>228</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 128

### 7.3.4. Simulation von Holzschnitten und Kupferstichen

Die Simulation von Holzschnitten und Kupferstichen, die beide Gravierungstechniken (Engravings) sind, basiert auf der Modifizierung von Standard-Computergrafik-Techniken. Es erfolgt keine physikalische Simulation des Gravierungsprozesses, sondern nur eine Imitation des Ergebnisses, was auch als Reproduktion bezeichnet wird.<sup>229</sup>

Als Gravierung wird in der Printtechnik die Herstellung von erhabenen (Kupferstich) oder vertieften (Holzschnitt) Mustern und Zeichnungen auf Metall Holz, Elfenbein und Stein mit Hilfe von Gravierwerk-zeugen wie beispielsweise Graviernadel oder mit Graviermaschinen bezeichnet.<sup>230</sup>

#### 7.3.4.1. Raytracing-Modell für Kupferstiche

Diese Methode verwendet einen Raytracer, dessen Geometrieerzeugungsroutinen nicht manipuliert werden. Veränderungen finden nur bei der Berechnung der Intensitätswerte der einzelnen Pixel statt.<sup>231</sup>

Raytracing bedeutet „wörtlich übersetzt etwa Strahlverfolgung“ und ist die „Bezeichnung eines sehr aufwendigen, computergestützten Bildberechnungsverfahrens, bei dem dreidimensionale Objekte mit imaginären Lichtquellen beleuchtet werden. Raytracing berücksichtigt dabei Lichtwinkel, -brechungen, -reflexionen und Schattenwürfe und liefert dadurch sehr realistische räumliche Oberflächen oder Szenen.“<sup>232</sup>

Grundsätzlich wird bei Raytracing von einem Beobachter ausgegangen, der einen Punkt einer Oberfläche betrachtet und diesen als Resultat des Zusammenwirkens der Oberfläche bzw. dessen Material und der Lichtstrahlen, die aus dem Raum kommen, wahrnimmt. Raytracing

---

<sup>229</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 138 f.

<sup>230</sup> vgl. Bertelsmann Universal Lexikon (1988), Band 7, Seite 119

<sup>231</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 139

<sup>232</sup> Wörterbuch der neuen Medien (2001), S. 235

bietet eine komplette Simulation der Ausleuchtungsverhältnisse, da nicht nur die direkten Lichtstrahlen, sondern auch die, die von anderen Objekten reflektiert werden, miteinbezogen werden.<sup>233</sup>

Als Basis für Raytracing dient eine sogenannte Ray Query (Strahlenabfrage), wobei hier für jedes Pixel des Ausgangsbildes ein Strahl in das Bild gesendet wird, bis er auf ein Objekt innerhalb der Szene trifft, den ersten Intersection Point (Schnittpunkt). In diesem Punkt werden dann das berührte Objekt, dessen Materialeigenschaften, der Einfallswinkel des Strahles und die Intensitätswerte entsprechend der globalen Ausleuchtung berechnet. Wie bereits erwähnt, müssen bei der Imitation von Kupferstichen die Intensitätswerte abgeändert werden. Nach der erfolgten Bestimmung der Farbintensitätswerte, müssen zusätzlich noch Schraffierungsparameter erzeugt werden und es muss eine Nachbearbeitung erfolgen, um die optischen Eigenschaften von Kupferstichen zu erhalten.<sup>234</sup>

Die Parameter für die in Kupferstichen typischen Schraffierungen, die die Oberfläche des Objektes visualisieren, werden gemeinsam mit den Materialeigenschaften für jedes Objekt gespeichert und für jedes Pixel berechnet, was je nach Berechnungsmethode zu kreisförmigen oder geraden Schraffierungslinien (Hatching Lines) führt. Durch die Verwendung mehrerer Planes können verschiedene Bereiche eines Bildes unterschiedlich schraffiert werden. Um den Kupferstich-Look möglichst getreu zu imitieren, wird die Dicke der Schraffierungslinien von den Lichtbedingungen abhängig gemacht. Die verschiedenen Materialien der Objekte werden durch die Verwendung von Gewichtungsparemtern miteinbezogen.<sup>235</sup>

Das bereits generierte Bild muss nun noch in zweifacher Hinsicht manipuliert werden. So findet zuerst eine Diskretisierung statt und danach können noch zusätzliche Informationen hinzugefügt werden. Letzteres betrifft die plötzlichen (geometrischen) Änderungen in einem

---

<sup>233</sup> vgl. Watt (1991), S. 151

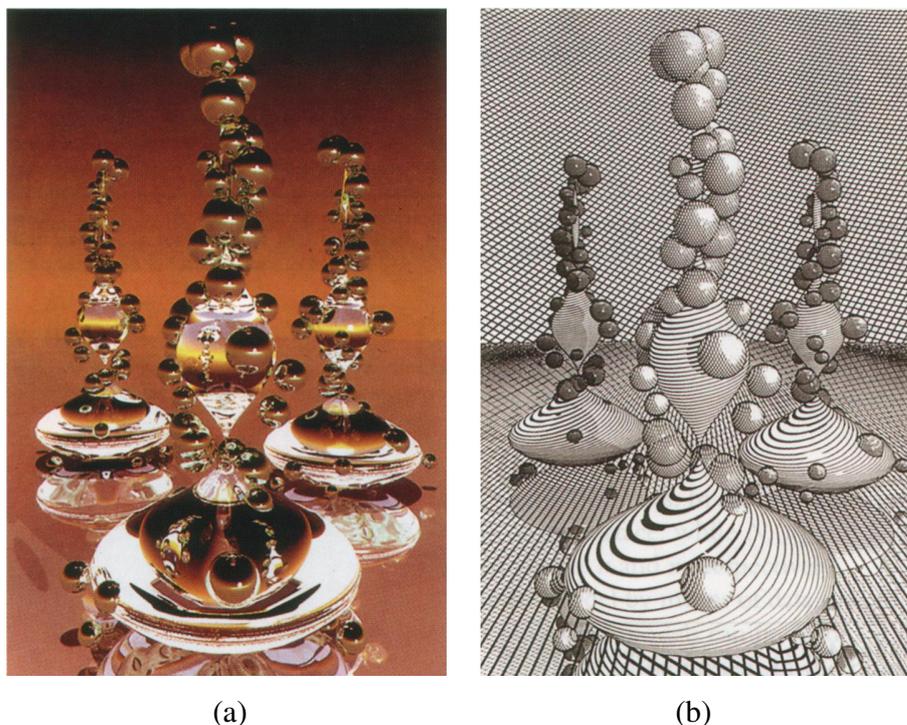
<sup>234</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 139 f.

<sup>235</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 140 f.

Bild (Ecken und Kanten), die verbessert werden müssen, da sie aufgrund der Bearbeitung nicht mehr so gut zu erkennen sind bzw. ihrer Aufgabe im Bild nicht mehr entsprechen.<sup>236</sup>

Schlussendlich müssen nun das erzeugte Pixelbild und das Ergebnisbild des Edge-Detection-Algorithmus kombiniert werden. Als erster Schritt findet die Diskretisierung der Schraffierungsmuster statt, welches dann mit den errechneten zusätzlichen Ecken und Kanten zusammengefügt wird.<sup>237</sup>

Abbildung 53 zeigt (a) ein Originalbild und die (b) durch die Raytracing-Methode entstandene Kupferstichimitation.



**Abbildung 53: (a) Originalbild (b) Kupferstichimitation - Raytracing-Methode**

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 145

<sup>236</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 142

<sup>237</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 143

Nachteil dieser Methode ist, dass die Anwendung von Raytracing auf Bilder mit hoher Auflösung, die für Kupferstiche benötigt wird, oder auf komplexe Darstellungen sehr zeitaufwändig ist.<sup>238</sup>

#### 7.3.4.2. Verwendung von Prozeduralem Screening für Gravierungen

Als Dither Screen wird hier ein Basic Engraving Layer definiert, der die Grundbausteine für eine Gravierung repräsentiert. Die Tatsache dass die Liniendicke von der Lichtintensität abhängt wird durch dickere bzw. dünnere Linien in den jeweiligen Bereichen umgesetzt.<sup>239</sup>

Der Basic Engraving Layer wird in einem UV-Koordinatensystem definiert und verformt, damit die Linien nicht ganz gerade, sondern geschwungen sind. Um verschiedene Effekte wie beispielsweise Cross Hatching zu erhalten, können mehrere solcher Layer kombiniert werden, wodurch ein neuer Dither Screen, mit den gewünschten Eigenschaften, entsteht. Eine Überlagerung der Layer erfolgt sequentiell, d. h. es wird zum Ergebnis immer ein Layer hinzugefügt. Deshalb gibt es sogenannte Merging Rules, die die Überlagerung zweier Layer, des Current Layer (CL) und des Resulting Layer (RL), bestimmen.<sup>240</sup>

Solche Überlagerungsregeln sind beispielsweise:

COPY            Einfaches Kopieren der Werte von CL nach RL  
 MULTIPLY    Multiplizieren der Screen-Intensitäten von CL und RL an jeder Position  
 ADD            Addieren der Screen-Intensitäten von CL und RL an jeder Position<sup>241</sup>

Um das gewünschte Resultat zu erhalten, können diese Regeln auch mit verschiedenen Shift- und Scale-Operatoren (Verschiebung und Skalierung) kombiniert werden. Dadurch wird der Engraving Layer an den abzudeckenden Bereich angepasst.<sup>242</sup>

<sup>238</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 144

<sup>239</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 146

<sup>240</sup> vgl. Ostromoukhov (1999), S. 419

<sup>241</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 147 f.

<sup>242</sup> vgl. Ostromoukhov (1999), S. 419

Aufgrund der Überlagerung mehrerer Layer kann es einerseits dazu kommen, dass die Schwellenwerte über- bzw. unterschritten werden, was mit Hilfe einer Trimming-Funktion behoben werden kann. Andererseits ist eine Veränderung des Tones möglich, sodass manche Bereiche heller oder dunkler erscheinen, als sie sollten. Dieses Problem kann nur durch Miteinbeziehen von lokalen Faktoren wie beispielsweise das Ausgabemedium gelöst werden.<sup>243</sup>

Nach der Definition der Grundbausteine müssen diese auf ein gegebenes Graustufenbild angewandt werden, was anhand folgender Prozedur geschehen kann:

- Identifizieren der Bereiche, die unterschiedlich graviert werden sollen (verschiedene Schattierungen)
- Transformieren des Basic Engraving Layers für jeden dieser Bereiche, sodass dieser komplett abgedeckt wird und den Bildeigenschaften an dieser Stelle folgt (Orientierung der Schraffurlinien)
- Durchführen von Shift- und Scale-Operationen (Ergebnis ist eine Maske für jeden Layer)
- Überlagerung der Engraving Layer nacheinander
- Korrektur des zusammengeführten Dither Screens
- Anbringen des Dither Screens auf das Bild<sup>244</sup>

Dieser Prozess kann anhand Abbildung 54 nachvollzogen werden. Wobei in (a) zuerst einzelne Layer für verschiedene Bereiche des Originalbildes definiert werden, und nach der Anwendung von Shift- und Scale-Operationen (b) die Masken für die einzelnen Layer gebildet werden können. In (c) sind dann die daraus entstehenden einzelnen Gravierungen zu sehen.<sup>245</sup>

---

<sup>243</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 148 f.

<sup>244</sup> vgl. Ostromoukhov (1999), S. 420

<sup>245</sup> vgl. Ostromoukhov (1999), S. 420

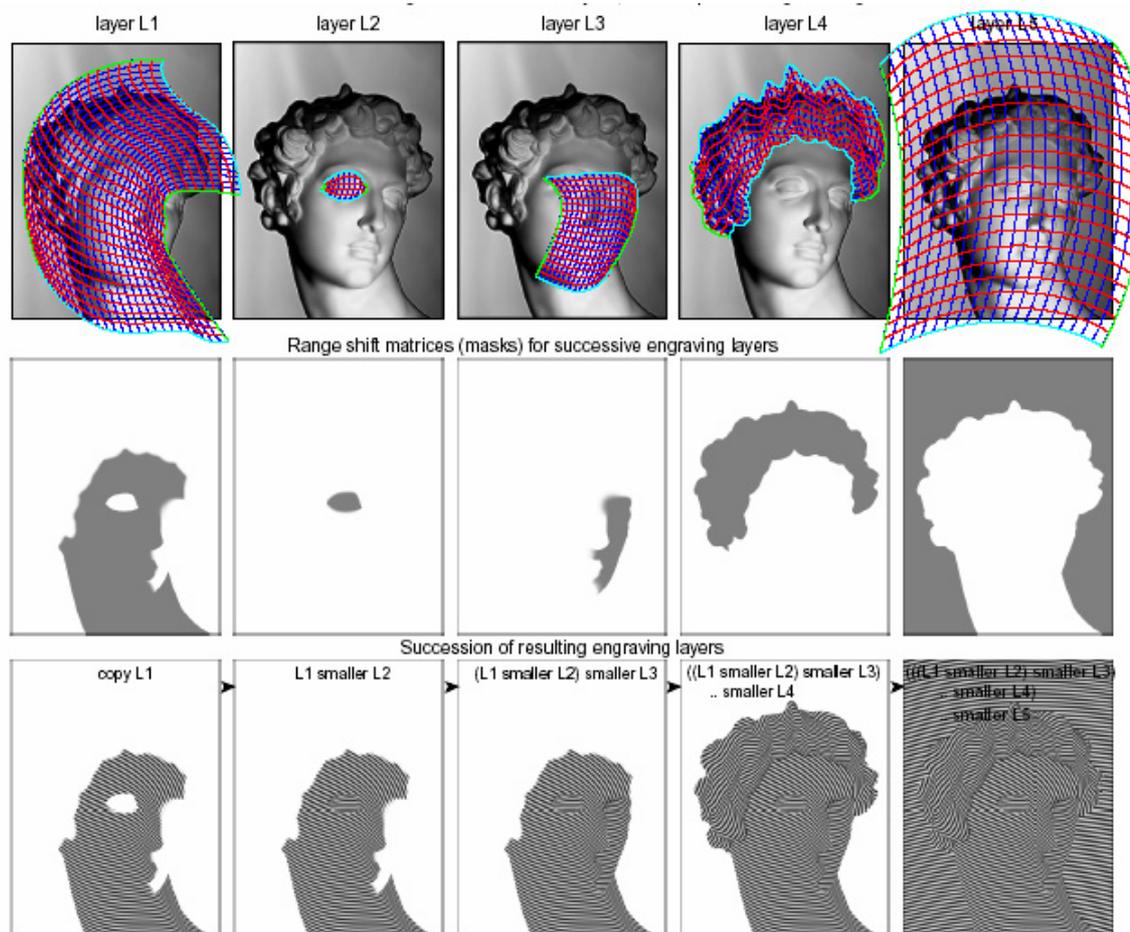


Abbildung 54: Erzeugungsprozess einer Gravierung

Entnommen aus <http://www.iro.umontreal.ca/~ostrom/publications/pdf/SIGGRAPH99>

FacialEngraving\_1200dpi.pdf, S. 4, abgerufen am 03.05.2005

Der resultierende Dither Screen (letztes Bild rechts unten in Abbildung 54) wird dann auf das Originalbild angewendet, was zu Abbildung 55, der fertigen Gravierung, führt.<sup>246</sup>

<sup>246</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 151



**Abbildung 55: Digital generierte Gravierung - prozedurales Screening**

Entnommen aus <http://www.iro.umontreal.ca/~ostrom/publications/pdf/SIGGRAPH99>

[FacialEngraving\\_1200dpi.pdf](#), S. 5, abgerufen am 03.05.2005

## 8. Zweieinhalbdimensionale Datenstrukturen

Das folgende Kapitel beschäftigt sich mit dem Speichern dreidimensionaler Informationen, wie beispielsweise Tiefenwerte, in zweidimensionalen Datenstrukturen (einem Bild).<sup>247</sup>

Alle bis jetzt verwendeten Bilder liefern nur Informationen, die fürs menschliche Auge sichtbar sind und mit einer gewöhnlichen Fotokamera abgebildet werden können. So wurden nur offensichtliche Eigenschaften wie Größe, Farbe und Form eines Objektes übermittelt. Um auch die versteckten Eigenheiten eines Gegenstandes aufzeigen zu können, gibt es spezielle Aufnahmegерäte, die beispielsweise Röntgenaufnahmen oder wärmespezifische Bilder liefern und so versteckte, für den Betrachter nicht sichtbare, Eigenschaften zum Vorschein bringen.<sup>248</sup>

Normalerweise produziert ein Renderer ein Bitmap, in dem für jedes Pixel ein Farbwert die aktuelle Farbe des Szenenobjektes an der jeweiligen Stelle repräsentiert. Dieser Wert wird unter Verwendung von Geometrie- und Lichtinformationen der Szene ermittelt. Spezielle Render-techniken können Bitmaps generieren, wo jedes Pixel beispielsweise die ID (Identification) des Szenenobjektes zu dem das Pixel gehört, die Distanz eines gegebenen Punktes eines Gegenstandes zur Betrachtungsfläche (Z-Tiefe) oder die Koordinaten der Oberflächennormalen an einem bestimmten Punkt darstellt. Diese Bitmaps speichern geometrische Eigenschaften einer Szene und werden auch Geometric Buffers oder kurz G-Buffers genannt. Sie können als zusätzliche Eingangsdaten für die Generierung von nicht fotorealistischen Bildern dienen.<sup>249</sup>

---

<sup>247</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 203

<sup>248</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 183 f.

<sup>249</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 184 f.

## 8.1. Anwendung von G-Buffers

Ein computergeneriertes Bild, wo jedes Objekt durch eine eindeutige Farbe gekennzeichnet ist, ermöglicht einen Objekt-ID-Buffer, da die Anzahl der sichtbaren Objekte durch einfaches Zählen der Farb- bzw. Grauwerte möglich ist. Vorteil eines ID-Buffers ist die Erleichterung der Auswahl eines Gegenstandes.<sup>250</sup> So können dann alle Pixel eines Objektes auf schwarz und die restlichen auf weiß gesetzt, und so eine Maske für dieses Objekt erzeugt werden. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 56 zu sehen, wo mit Hilfe des (a) Objekt-ID-Buffers (b) eine Maske erzeugt wird, die (c) eine Auswahl dieses Objektes erlaubt.<sup>251</sup>

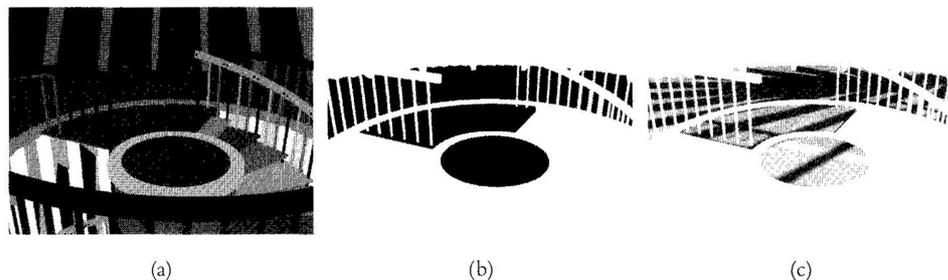


Abbildung 56: Anwendung eines Objekt-ID-Buffers

Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 186

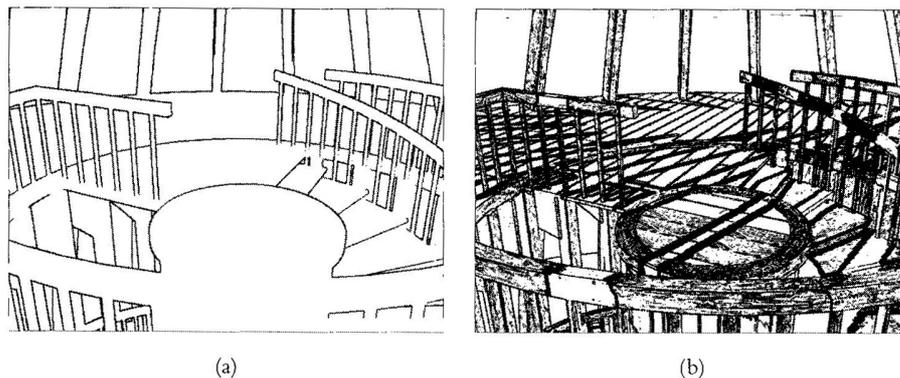
Der bekannteste Geometrische Buffer im Bereich der Computergrafik ist der Z-Buffer, der für jedes Pixel den Wert der Z-Achse, also die Tiefeninformation, speichert. Haben zwei benachbarte Pixel den gleichen (Farb)Wert, so liegen sie gleich weit von der Betrachtungsfläche entfernt. Leichte Veränderungen innerhalb angrenzender Pixel implizieren einen weichen Übergang der Distanz, plötzliche Abweichungen werden als größere Differenz zweier Entfernungen zur Betrachtungsfläche interpretiert. Letztere erscheinen vor allem an Objektgrenzen und bei der Überschneidung von Gegenständen. Diese starken Veränderungen im Z-Buffer können also zur Erkennung von Objektkonturen dienen und mittels Kantenerkennungsfiltern wie beispielsweise dem Sobol-Operator aufgefunden werden.<sup>252</sup>

<sup>250</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 185

<sup>251</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 186

<sup>252</sup> vgl. University of Calgary, <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~jungle/ski/graph99/papers/veryovka.pdf>, S. 5, abgerufen am 10.04.2005

Abbildung 57 zeigt den Unterschied, wenn ein Kantenerkennungsfilter (a) auf einen Z-Buffer und (b) auf das normale gerenderte Bild angewendet wird. So werden in (b) nicht nur die Objektkonturen, sondern auch andere Farbveränderungen, die nicht von geometrischen Eigenschaften sondern von Licht- und Materialveränderungen herrühren, gefunden.



**Abbildung 57: Kantenerkennung (a) Z-Buffer (b) Originalbild**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 187

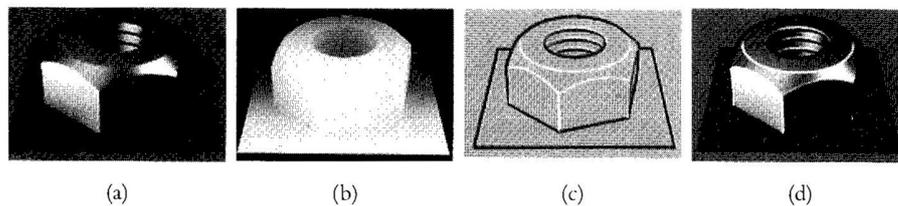
## 8.2. Comprehensible (verständliches) Rendering

Bei vielen computergenerierten Bildern besteht das Problem, dass Inhalte nicht immer unmissverständlich transportiert werden. So ist beispielsweise die Differenzierung angrenzender Objekte mit gleicher Farbe oft nicht möglich. Werden Illustrationen von Hand gezeichnet, so bedient sich der Künstler häufig Methoden, die physikalisch nicht simuliert werden können, wie das Hinzufügen von Konturen, um die Unterscheidung zweier Objekte zu ermöglichen.<sup>253</sup>

Lösung dieses Problems ist die Verwendung eines Z-Buffers, der Kantenerkennung ermöglicht und so eine Verbesserung der Objektgrenzen zulässt. Ein Beispiel für die Verwendung eines Z-Buffers, um die Inhalte unmissverständlich transportieren zu können, ist in Abbildung 58 zu sehen: (a) zeigt das gerenderte Originalbild, und (b) den Z-Buffer, der durch (c) Verwendung der Unstetigkeiten (d) die Konturen des Objektes abgrenzt. So ist eine genaue

<sup>253</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 188

Unterscheidung des Objektes auch in dunkleren Schattenbereichen wo die Farbe des Objekts in die Farbe des Hintergrunds übergeht, möglich.<sup>254</sup>



**Abbildung 58: Verbesserung der Objektgrenzen durch Z-Buffer**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 189

### 8.3. Interaktives Malen

Z-Buffer können aber nicht nur zur automatischen Bilderzeugung verwendet werden, sondern bieten auch Möglichkeiten Interaktion mit Bildern zu verbessern oder sogar neue Interaktionshilfen zu kreieren.<sup>255</sup>

Standard Mal- und Zeichenprogramme wie beispielsweise Corel Draw oder Adobe Photoshop platzieren geometrische Elemente (Punkte, Linien, Formen) oder Pinselstriche so, dass diese einen bestimmten Bereich in einem Bild abdecken. Dies erfolgt durch einfaches Kopieren des Elements/der Markierung an die passenden Pixelposition, unabhängig von den sich (möglicherweise) bereits an dieser Stelle befindlichen Pixelwerten. Aus diesem Grund und der Tatsache dass diese Programme zweidimensional sind, können dreidimensionale Effekte nur durch manuelle Bearbeitung durch den/die BenutzerIn hinzugefügt werden.

Die Nutzung dreidimensionaler Informationen in interaktiven Systemen wird durch die Verwendung von G-Buffers ermöglicht. So kann interaktives Malen und Zeichnen als Nachbearbeitungsschritt eines fotorealistischen Renderers dienen.<sup>256</sup>

<sup>254</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 188 f.

<sup>255</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 191

<sup>256</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 191

Für interaktives Painting können G-Buffer wie die bereits erwähnten ID-Buffer und Z-Buffer, aber auch andere wie der N-Buffer (beinhaltet die Oberflächennormalen an einem Punkt des Objektes), der Material-Buffer (Materialeigenschaften werden so gespeichert, dass verschiedene Materialien unterschieden werden können) oder der Shadow-Buffer (für jede Lichtquelle werden Schattenmasken generiert, in einer Maske sind dann die gesamten Lichtbedingungen einer Szene gespeichert) verwendet werden.<sup>257</sup>

All diese Werte werden pixel-basiert gespeichert und können daher in einem erweiterten Bitmap kombiniert werden, das dann die Grundlage für die Mal- und Zeichenoperationen bildet. Alle Daten eines Punktes sind innerhalb dieser interaktiven Umgebung schnell und leicht abrufbar. Wird nun auf dieser „Leinwand“ gezeichnet, so werden die gespeicherten Informationen verwendet um die Mal-Tools oder Operationen zu beeinflussen. So können beispielsweise die Pinselstriche ihre Größe je nach Tiefeninformation ändern, die Linien werden immer dünner je weiter sie von der Betrachtungsfläche entfernt sind.

Die interessanteste Anwendung eines Z-Buffers ist die perspektivische Texturierung von Objekten bzw. einzelnen Bereichen, die mit Hilfe des Mal- oder Zeichenprogramms ausgewählt werden können.<sup>258</sup>

Besonders architektonische Illustrationen machen Gebrauch davon, dass Bereiche, die auf einer Fläche liegen aber nicht miteinander verbunden sind, ausgewählt werden können. Dies kann durch Verwendung eines N-Buffers, da diese Objekte dieselben Normalvektorkoordinaten besitzen, geschehen. Mit Hilfe verschiedener G-Buffer ist es möglich, zusätzliche Bildelemente in eine Grafik einzufügen, die perspektivisch und von der Entfernung zum Betrachter richtig sitzen. In der Architektur werden häufig Bäume oder andere zusätzliche Elemente im Bild platziert.<sup>259</sup>

Abbildung 59 zeigt verschiedene Bilder eines Modells, die durch Anwendung unterschiedlicher Mal-Tools entstanden sind. In (a) ist das Ergebnisbild eines fotorealistischen Renderers zu

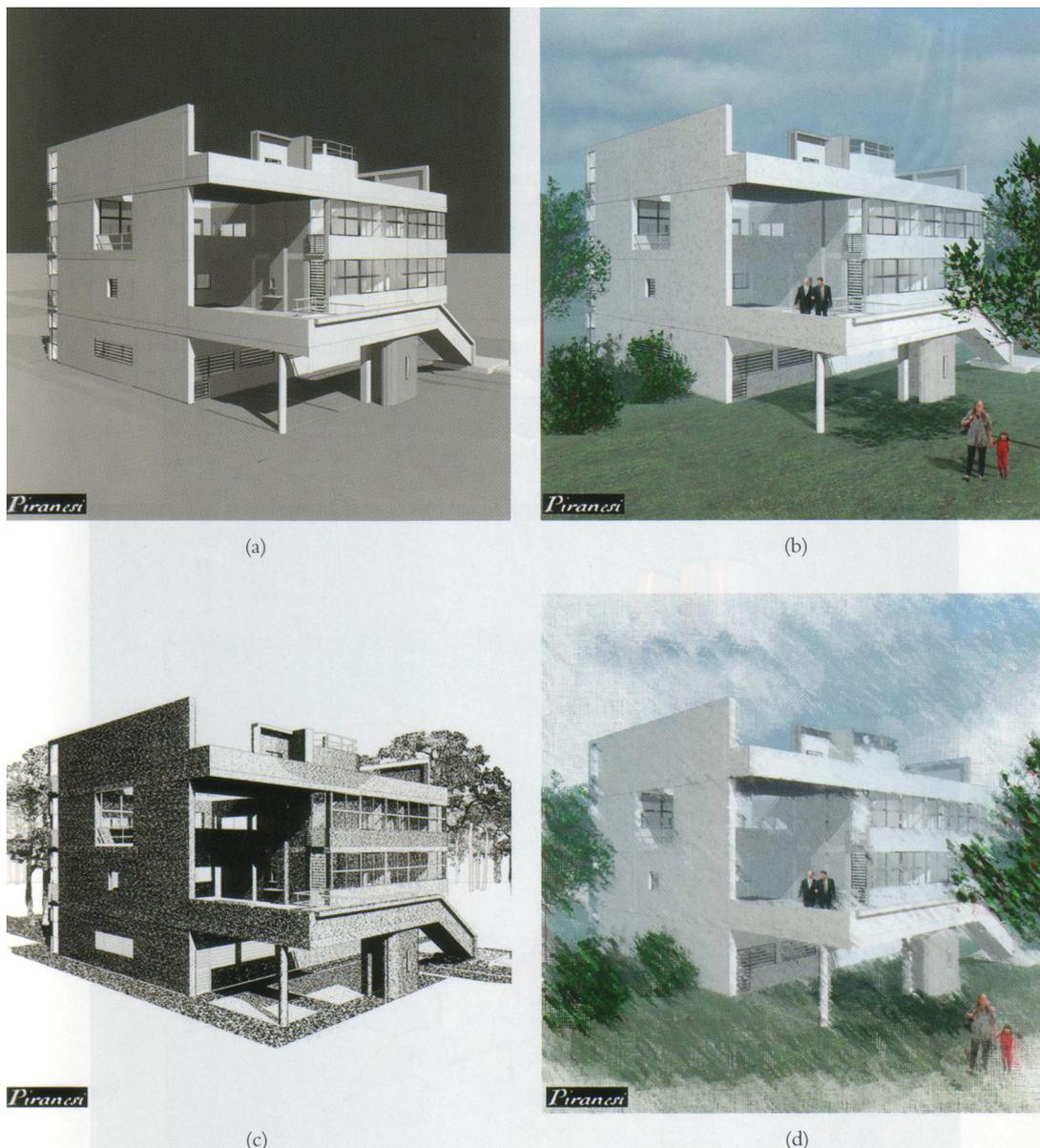
---

<sup>257</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 191 f.

<sup>258</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 192

<sup>259</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 193

sehen, das als Ausgangsbild verwendet wird. (b) zeigt dieses Bild, erweitert mit zusätzlichen Bildern wie Bäumen und Menschen, deren Größe von der Perspektive abhängt. Die Texturen dieses Bildes wurden in (c) so verändert, dass ein Pen-and-Ink-Style entsteht. In (d) ist die Anwendung von Pinselstrichen, die je nach Entfernung anders erscheinen, zu sehen.<sup>260</sup>



**Abbildung 59: Anwendung von G-Buffers in der Architektur**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 195

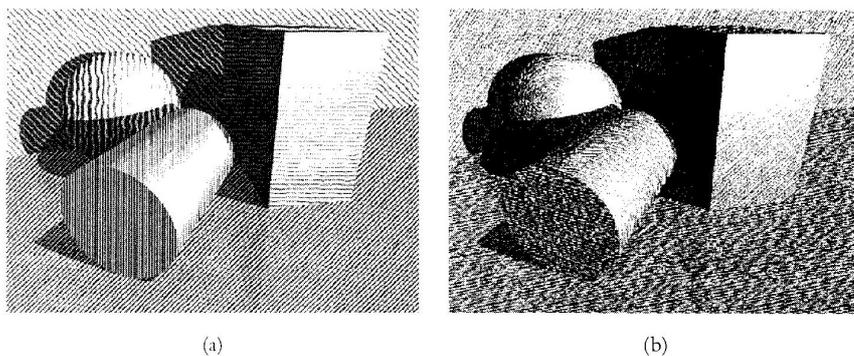
<sup>260</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 193

## 8.4. 3D-Parameter für 2D-Dithering

Ziel der in Kapitel 7.1.1. beschriebenen Halbtoning-Methoden war die Reproduktion eines Farb- oder Graustufenbildes durch die Verwendung von zwei Farben (schwarz und weiß). Das entstandene Bi-Level-Bild sollte durch die Anpassung des Tones das Original so gut wie möglich imitieren. Da das Originalbild keine dreidimensionalen Informationen beinhaltet, kann nur versucht werden, es so erscheinen zu lassen, als ob dreidimensionale Szenen Halbtoning-Texturen verwendet hätten.<sup>261</sup>

Ziel dieser Methode ist die verbesserte Darstellung von Geometrie, Beleuchtung und von dem/der BenutzerIn definierte Eigenschaften durch die Festlegung des Dither Screens (Texturen) basierend auf G-Buffers wie beispielsweise ID-, N- oder Z-Buffer.<sup>262</sup>

Werden Dither Screens mit Hilfe von Prozeduralem Screening generiert, so ist eine Auswahl der verschiedenen Funktionen (Displacement-, Mappingfunktion, Dither Kernel) für jedes Objekt möglich. Daher kann beispielsweise ein ID-Buffer Skalierung, Richtung und „Welligkeit“ einer Textur kontrollieren, was zu einer besseren Erkennbarkeit der einzelnen Szenenobjekte führt. Dieser Effekt ist in Abbildung 60 (a) zu sehen.<sup>263</sup>



**Abbildung 60: Prozedurales Screening (a) ID-Buffer (b) zusätzlich N-Buffer**

Entnommen aus University of Calgary, <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~jungle/skiagraph99/papers/veryovka.pdf>, S. 5, abgerufen am 10.04.2005

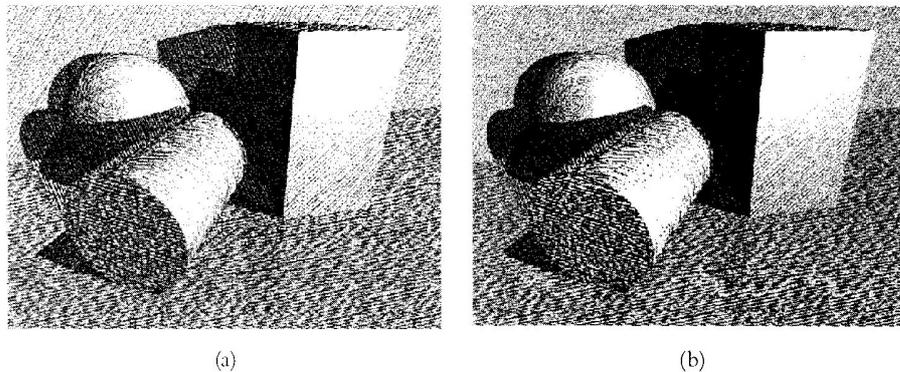
<sup>261</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 194

<sup>262</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 196

<sup>263</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 196

Ein Nachteil ist, dass die Visualisierung der Kurven noch zu gering ist. Daher muss die Ausrichtung der Linien mit einem Wert, der die Geometrie beschreibt, wie der Normalvektor, passieren. Das Ergebnis des N-Buffers zeigt Abbildung 60 (b).<sup>264</sup>

Um die nicht beleuchteten Teile der Szene zu vereinheitlichen, wird ein Lighting-Buffer, der Informationen darüber beinhaltet welche Bereiche direkt/indirekt beleuchtet werden und welche ganz im Schatten liegen, hinzugefügt. Dieser Effekt kann in Abbildung 61 (a) beobachtet werden.<sup>265</sup>



**Abbildung 61: Prozedurales Screening (a) Lighting Buffer (b) Z-Buffer**

Entnommen aus University of Calgary, <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~jungle/skiagraph99/papers/veryovka.pdf>, S. 5, abgerufen am 10.04.2005

Die Tiefenwahrnehmung des computergenerierten Bildes kann durch die Verwendung eines Z-Buffers verbessert werden. Durch die Veränderung des Kontrastes der Halftoning Textur (Dither Screen) kann ein leichter Nebel simuliert werden, der die Objekte weiter weg erscheinen lässt, was in Abbildung 61 (b) zu erkennen ist.

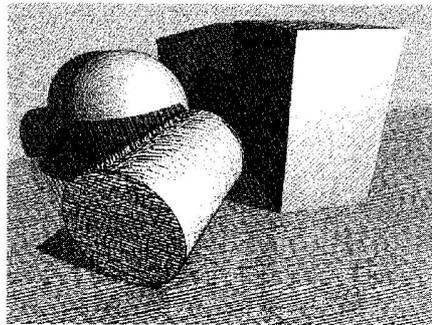
Eine zusätzliche Verbesserung der Szene kann durch die Generierung von Konturenlinien erfolgen, die durch die erste oder zweite Ableitung des Z-Buffers ermittelt werden kann.<sup>266</sup>

<sup>264</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 197

<sup>265</sup> vgl. University of Calgary, <http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~jungle/skiagraph99/papers/veryovka.pdf>, S. 5, abgerufen am 10.04.2005

<sup>266</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 198

Die fertige Illustration nach Anwendung aller vier genannten G-Buffers und dem Hinzufügen der Konturenlinien ist in Abbildung 62 zu sehen.



**Abbildung 62: Procedural Screening – ID-, N-, Lighting- und Z-Buffer**  
Entnommen aus Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 199

## 9. Dreidimensionale Techniken

Im Gegensatz zu zwei- und zweieinhalbdimensionalen Methoden, die unabhängig von der Geometrie hinter dem Bild arbeiten, spielen hier bei der Visualisierung die geometrischen Eigenschaften der benutzten Objekte eine wesentliche Rolle, da diese zur Bestimmung der Parameter dienen.<sup>267</sup>

Geometrische Modelle sind allgemein mathematische Beschreibungen einer Szene hinsichtlich Form und anderen Eigenschaften. Im dreidimensionalen Bereich können Bilder aus zwei Arten von Modellen entstehen: Surface Models (konzentrieren sich auf die Beschreibung der Objektoberfläche) und Volume Models (Beschreibung des vom Objekt festgelegten Rauminhaltes), wobei die meisten NPR-Applikationen das Surface Model verwenden. Die Eigenschaften dieser Modelle können benutzt werden, um Effekte zu generieren, die bereits als Modellartefakte vorgestellt wurden.<sup>268</sup>

Geometrische Modelle bestehen in NPR nicht nur aus der Beschreibung der Form des Objektes, sondern es sind auch Materialeigenschaften der Oberflächen vorhanden. Die Objektform kann mit Hilfe eines Polygonal Models oder eines Free-Form Surface Models erstellt werden.<sup>269</sup> Erstere bestehen aus Polygon Meshes, wobei ein Polygon Mesh als eine Ansammlung von Eckpunkten, Kanten und Polygonen, die miteinander verbunden sind, angesehen werden kann.<sup>270</sup> Free-Form Surface Models hingegen basieren auf sogenannten Kontrollpunkten, deren Verbindungslinien nicht gerade sind, sondern durch Interpolation errechnet werden. Polygonal Models können nur eine Annäherung an die geometrische Form bieten, Free-Form Surface Models können im Gegensatz dazu die Geometrie des Objektes exakt repräsentieren, was einerseits wünschenswert ist, auf der anderen Seite aber den Renderprozess enorm verlängern kann.<sup>271</sup>

---

<sup>267</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 203

<sup>268</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 203

<sup>269</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 204

<sup>270</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 211

<sup>271</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 233

Sowohl für Polygonal Models als auch für Free-Form Surface Models wurden Techniken entwickelt, um nicht fotorealistische Szenen erzeugen zu können. Dies betrifft häufig Methoden, die im zweidimensionalen Bereich bereits vorgestellt wurden und auch hier, auf den 3D Bereich adaptiert, Anwendung finden, wie beispielsweise Stippling oder Hatching. Aber auch Simulationen künstlerischer Medien und Animation, besonders im Comicbereich, spielen hier eine große Rolle.<sup>272</sup>

Diese Methoden werden hier nicht näher erklärt. Vielmehr wird anhand des Vergleiches der Softwarelösungen von 3D Studio Max, SoftimageXSI und Cinema 4D im nächsten Kapitel erörtert, welche nicht fotorealistischen Effekte mit diesen Standardprogrammen möglich sind.

Abgesehen von den geometrischen Objekten einer Szene, beeinflussen auch die Lichtbeschaffenheit und die Kameraeinstellungen das nicht fotorealistische Bild.<sup>273</sup> Eine weitere Möglichkeit, nicht fotorealistische Inhalte zu transportieren, ist die Deformation entweder der geometrischen Objekte oder des fertigen Bildes. So können beispielsweise wichtige Informationen vergrößert dargestellt werden, und unwichtige verkleinert.<sup>274</sup>

---

<sup>272</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 204

<sup>273</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 204

<sup>274</sup> vgl. Strothotte/Schlechtweg (2002), S. 269

## 10. Fazit – NPR-Techniken

Offensichtlich ist der Vorteil dreidimensionaler Methoden gegenüber zwei- und zweieinhalbdimensionalen, denn die Veränderung von Geometrie- Licht- und Kameraeigenschaften ermöglicht die Bearbeitung und Verbesserung des Bildes in viele Richtungen. Daher ist der/die BenutzerIn nicht auf die Qualität eines Eingangsbildes angewiesen und kann bessere Ergebnisse erzielen. Aber natürlich ist auch der Aufwand größer, wenn mit Modellen gearbeitet wird bzw. welche erzeugt werden, als wenn man ein fertiges Bild als Ausgangsmaterial benutzt.

Ein weiterer Vorzug ist die Möglichkeit der automatischen Interpolation zwischen Bildern bei der Animation, was eine erhebliche Arbeitserleichterung bedeutet. Zwar wird hier bei der Animationszeit gespart, aber Modelling, Rendering, etc. der 3D-Szenen verlängern die gesamte Produktionszeit wieder.

Der Zeitaufwand von dreidimensionalen Anwendungen steht nicht immer in Relation mit den Ergebnissen, was zwangsläufig wieder zu der Verwendung von zwei- oder zweieinhalbdimensionalen Techniken führt, da sie für bestimmte Bereiche sehr gute Resultate liefern.

## 11. Softwarevergleich 3ds Max, Softimage|XSI und Cinema 4D

Dieses Kapitel liefert dem/der BenutzerIn einen Überblick, welche nicht fotorealistischen Effekte mit welchem Standard-3D-Programm möglich sind. Vorwegzunehmen ist, dass es auch softwareunabhängige Plug In's gibt, die hier aber nicht erläutert werden, da dies einerseits den Rahmen der Diplomarbeit sprengen würde und andererseits diese dem/der BenutzerIn auch häufig nicht zur Verfügung stehen, da sie sehr teuer sind. Nach der Feststellung der Möglichkeiten der einzelnen Programme werden diese verglichen.

Zuallererst muss noch der Begriff „Toon“ näher erläutert werden, da die Lösungen häufig im Zusammenhang mit diesem stehen.

Eine gute Erklärung zu diesem Thema liefert ein Interview mit Michael Arias, dem Erfinder des Softimage Toon Shaders und Project Leader von Asia & Toon Software Development/ Softimage Special Projects, auf der Cyber Adventure Tsuka Website. Dieses Interview ist zwar auf Softimage bezogen, beinhaltet aber auch allgemein relevante Inhalte.

### **Was ist Toon Rendering?**

Michael Arias definiert Toon Rendering als eine Methode den Look von Cel Animations (Cartoons) durch die Verwendung von dreidimensionalen Animationstechniken zu simulieren und so deren Eigenschaften, wie beispielsweise Konturenlinien und volle Farbschattierung, zu erreichen. Dadurch ist es möglich 3D Modelle und Animationen so zu rendern, dass sie von traditionellen Cel Animations nicht zu unterscheiden sind. Da die imitierten Bilder oft sogenannte „Ink-and-Paint“-Methoden verwenden, werden diese Begriffe wieder aufgefasst und Konturenlinien als Ink und Schattierung, Füllung als Paint bezeichnet.<sup>275</sup>

---

<sup>275</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech2.htm>, abgerufen am 10.05.2005

### **Was sind Toon Shader?**

Um ein Toon-Rendering zu erzeugen werden spezielle Programme, Shaders, benutzt. Der Mental Ray Renderer verwendet diese, um Ink und Paint Effekte entstehen zu lassen. Toon Shading wird angewendet um flache Farbeffekte und Schattierungen auf Oberflächen zu erzeugen.<sup>276</sup>

### **Sollten spezielle Modelling-Techniken für Toon Rendering verwendet werden?**

Free-Form Surfaces (wie NURBS) sind besonders gut für Toon Rendering geeignet, weil das Ergebnis meist sehr weiche („smooth“) Oberflächen sind, was sehr wichtig für die Simulation von Cel Animation ist.

Polygonal Surfaces hingegen können, wenn nicht auf die Imitation von Smoothness geachtet wird, unregelmäßige Konturen an Kanten und Ecken aufweisen. Sind Oberflächen sehr weich schattiert, wie mit dem Phong- oder Lambert-Shader, so werden Abweichungen in der Rundung schon durch die Schattierung selbst „unsichtbar“ gemacht. Diese Möglichkeit hat natürlich ihre Grenzen, denn sind die einzelnen Polygone zu groß, so ist die Flachheit dieser zu offensichtlich und kann nicht mehr kaschiert werden. Daher müssen Polygon Models mit hohem Level of Detail (viele Polygone) erzeugt werden.<sup>277</sup>

Der praktische Grund für die Verwendung von Toon Shaders um Cel Animationen zu imitieren ist die Aufwandsminimierung, die aufgrund der 3D Computergrafiken möglich ist. Außerdem ist eine Kombination mit traditionellen Cel Animations-Elementen nahtlos möglich. Ein Beispiel hierfür liefert Dreamworks' „Prinz von Ägypten“, in dem die Szenen in denen Sklaven die ägyptischen Pyramiden bauen, tausende Characters, Kamerabewegungen, Schatten und andere Elemente beinhalten, die mit der traditionellen Cel Animation praktisch unmöglich umzusetzen gewesen wären.<sup>278</sup>

---

<sup>276</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech2.htm>, abgerufen am 10.05.2005

<sup>277</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech2.htm>, abgerufen am 10.05.2005

<sup>278</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech1.htm>, abgerufen am 10.05.2005

## 11.1. 3D Studio Max

3D Studio Max ist ein dreidimensionales Visualisierungs-, Modellier- und Animationsprogramm der Firma Autodesk Media and Entertainment, deren Firmensitz sich in Kanada befindet. Die neueste Version 3ds Max 7 kostet derzeit 3.500,-- US Dollar und kann auf der Homepage <http://www.discreet.com> erworben werden. Die Verbreitung von 3D Studio Max ist sowohl im professionellen als auch im semi-professionellen Bereich sehr hoch.

3D Studio Max wurde für Architekten, Videoproduzenten, Fernsehstudios, Designer und Künstler entwickelt, es wird aber auch im Maschinen- und Anlagenbau zur Visualisierung komplexer technischer Zusammenhänge verwendet.<sup>279</sup> 3D Studio Max ist vor allem für die Entwicklung von Computerspielen sehr beliebt. So wurde es beispielsweise für die Games Star Wars, Indiana Jones und Price of Persia eingesetzt. Aber auch die Verwendung dieses Programms bei internationalen Filmproduktionen wie Blade Trinity, Catwoman, The Day After Tomorrow und Cinderella Story zeigt die Möglichkeiten und die Professionalität von 3D Studio Max.<sup>280</sup>

3D Studio Max wendet sich aber nicht nur an Profis, eine kurze Lernkurve und eine ausge dehnte Werkzeugpalette sollen Studenten und andere Interessierte ansprechen. Diesem Ziel wird auch mit einem eigenen Unterrichtsprogramm für höhere Schulen (DDA – Discreet Design Academy) Rechnung getragen.<sup>281</sup>

3D Studio Max greift das Thema Non Photorealistic Rendering mit dem Ink'n Paint Material, das Raytracer-Einstellungen verwendet und Cartoon-Effekte erzeugt, auf. Vorteil dieser Annäherung ist, dass in einer Szene reale 3D-Objekte mit den „flachen“ Cortoon-Objekten kombiniert werden können.<sup>282</sup>

---

<sup>279</sup> vgl. Immler (1999), S. 23

<sup>280</sup> vgl. Autodesk, <http://www4.discreet.com/3dsmax>, abgerufen am 05.06.2005

<sup>281</sup> vgl. Autodesk, <http://www4.discreet.com/3dsmax/3dsmax.php?id=977>, abgerufen am 05.06.2005

<sup>282</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1483, abgerufen am 08.05.2005

Die im folgenden Kapitel vorgestellten Eigenschaften und Möglichkeiten von 3D Studio Max beziehen sich auf die Programmversion 3ds max 7.

### 11.1.1. Ink'n Paint Material

Das Ink'n Paint Material ist über den Material Editor > Type Button (Default auf Standard) > Material Map Browser > Ink'n Paint erhältlich. Bevor nun auf die einzelnen Rollouts eingegangen wird, soll ein Bild mit einfachen geometrischen Formen, die Standardeinstellungen des Ink'n Paint Materials veranschaulichen. Siehe Abbildung 63.

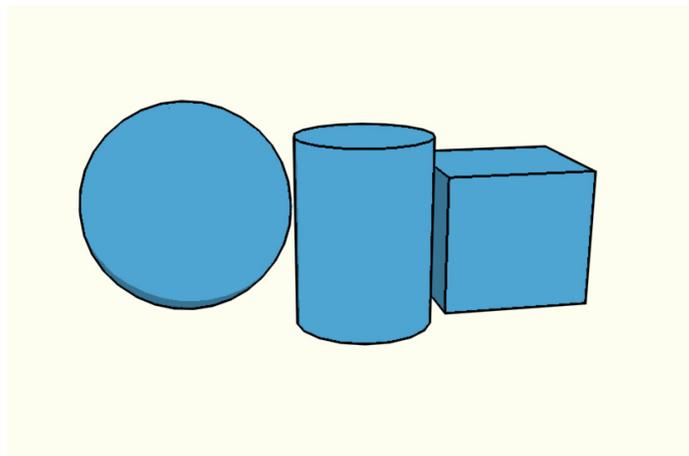


Abbildung 63: Ink'n Paint Material – Standardeinstellungen

Wie in Abbildung 64 zu sehen ist, gliedert sich das Interface in 3 Hauptbereiche: Basic Material Extensions, Paint Controls und Ink Controls, die grau hinterlegt sind. Antialiasing wird hier vernachlässigt, da die Global Settings verwendet werden können. Die Unterscheidung in Paint and Ink wird in 3D Studio Max so gehandhabt, dass Ink die Konturenlinien und Paint die Füllfarbe bezeichnet.<sup>283</sup>

Sind die Einstellungen der grau hinterlegten Hauptbereiche nicht sichtbar, so befindet sich auf der linken Seite des Balkens ein Plus, wird dieses angeklickt erscheint hier ein Minus (wie in

<sup>283</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1483 f., abgerufen am 08.05.2005

Abbildung 64) und der Teil, der die Unterparameter beinhaltet wird unter dem zugehörigen Punkt „herausgeklappt“. Diese Hauptpunkte, die weitere Einstellungsparameter beinhalten werden in 3D Studio Max auch als Rollouts bezeichnet.

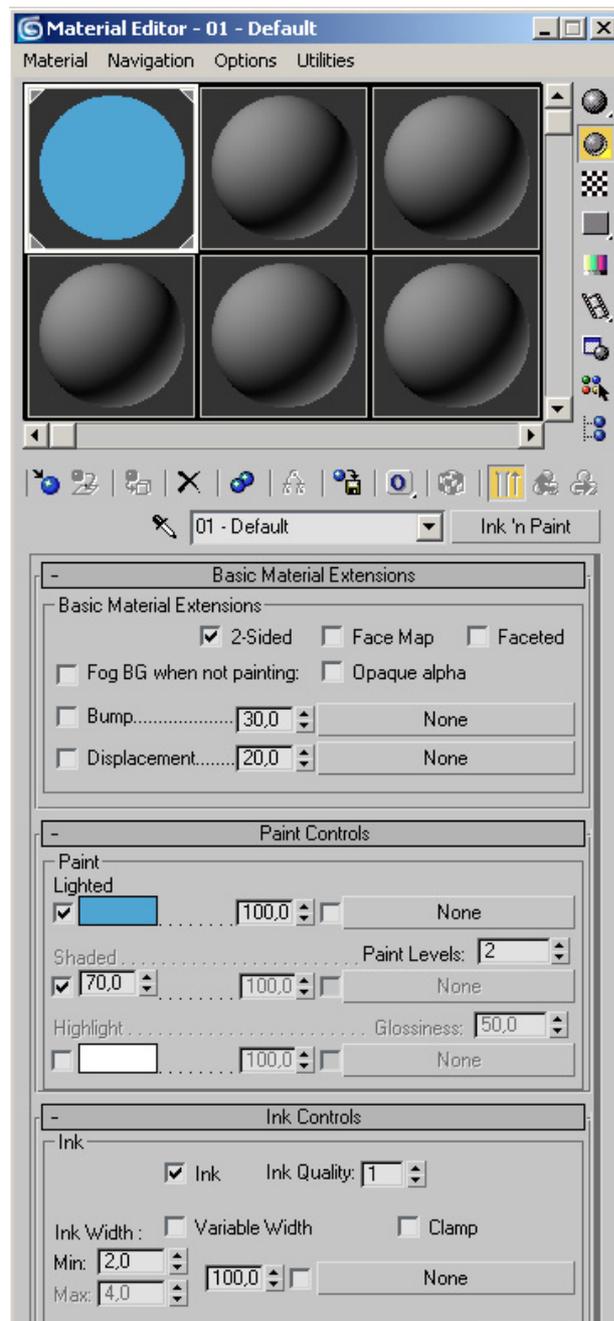


Abbildung 64: Materialeditor –Ink'n Paint Material

### 11.1.1.1. Basic Material Rollout

Das erste Rollout beinhaltet allgemeine Einstellungen, die das Paint'n Ink Material betreffen. Siehe Abbildung 64.

- **2-sided**

2-sided wendet das Material auf beide Seiten der ausgewählten Fläche an.

- **Face Map**

Face Map wendet das Material auf die Geometrieflächen des Objektes an. Es sind keine Mapping-Koordinaten erforderlich.

- **Faceted**

Aktiviertes Faceted bewirkt, dass jede Objektfläche flach gerendert wird.<sup>284</sup>

- **Fog BG when not painting**

Ist die Paint-Komponente auf Off gestellt, so werden diese Bereiche in der Hintergrundfarbe gezeichnet. Durch Aktivierung dieses Buttons wird dieser durch einen Nebel zwischen Kamera und Objekt beeinflusst.

- **Opaque Alpha**

Ist dieser Button aktiv, so ist der Alpha Kanal undurchsichtig, auch wenn Pen oder Ink auf off geschaltet sind.

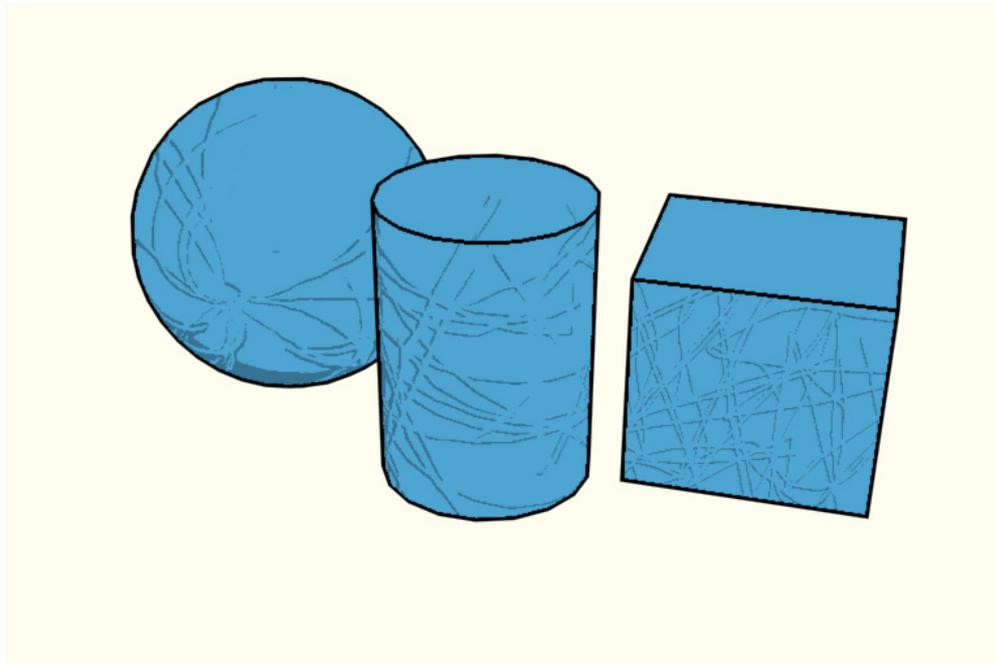
- **Bump**

Wenn dieser Button aktiv ist, so wird das Einfügen von Vertiefungen/Erhöhungen mit Hilfe einer Bump Map (Graustufenbild) ermöglicht, hierbei aber die Geometrie nicht verändert. Die Höhe bzw. Tiefe kann durch die Zahl reguliert werden. Das Bild bzw. ein Shader aus der Bibliothek wird durch Anklicken des Bump Buttons eingefügt. Beispiel Siehe Abbildung 65.<sup>285</sup>

---

<sup>284</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1484, abgerufen am 08.05.2005

<sup>285</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1484, abgerufen am 08.05.2005



**Abbildung 65: Bump Mapping - Ink'n Paint Material**

- **Displacement**

Das Anklicken dieses Buttons ermöglicht das Hinzufügen einer Displacement Map, die im Gegensatz zur Bump Map, die Geometrie des Objektes verändert und somit auch Einfluss auf die Schatten des Objektes hat. Auch hier kann die Stärke der Displacement Map durch einen Wert kontrolliert und das Bild per Button eingefügt werden.<sup>286</sup>

#### **11.1.1.2. Paint Controls Rollout**

Das zweite Rollout ermöglicht die Kontrolle des Paint, also der Farbe innerhalb der Konturenlinien. Hier können drei verschiedene Eigenschaften modifiziert werden, wie in Abbildung 64 zu sehen ist.

---

<sup>286</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1485, abgerufen am 08.05.2005

- **Lighted**

Lighted ezeichnet die Füllfarbe für die beleuchteten Bereiche eines Objektes. Ist dieser Button nicht aktiviert, so wird keine Füllfarbe angezeigt und nur die Konturen (Ink) gerendert, wie in Abbildung 66 zu sehen ist. Außerdem kann hier, wie in fast allen Bereichen dieser Ebene, die Farbe durch eine Textur bzw. einen Shader ersetzt werden. Ob diese voll deckend ist, oder nicht wird durch nebenstehenden Wert reguliert.<sup>287</sup>

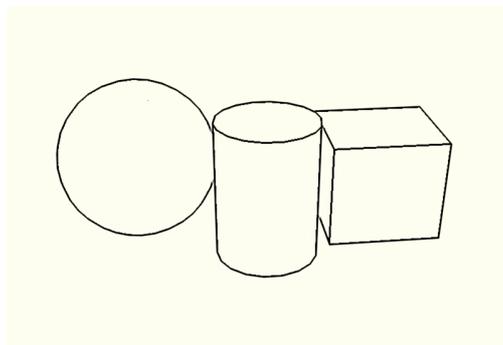


Abbildung 66: Outlines – Paint off

- **Paint Levels**

Diese Option ermöglicht die Eingabe der Anzahl der Farbschattierungen zwischen den beleuchteten Bereichen und den im Schatten liegenden (von 1 - keine Schatten, bis 255).

- **Shaded**

Der Wert im linken Feld gibt die Menge an Licht die sich an den unbeleuchteten Stellen befindet in Prozent an. Wird dieser Button deaktiviert, erscheint ein Farbfeld mit dem den Schattenbereichen eine eigene Farbe zugewiesen werden kann. Das Zahlenfeld in der Mitte bezieht sich wieder auf eine Textur, deren Einfügen durch die Deaktivierung des Buttons möglich geworden ist.<sup>288</sup>

In Abbildung 67 ist die Verwendung einer eigenen Schattenfarbe (rot) und außerdem eine Erhöhung der Paint Levels auf vier zu sehen.

<sup>287</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1485, abgerufen am 08.05.2005

<sup>288</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1485, abgerufen am 08.05.2005

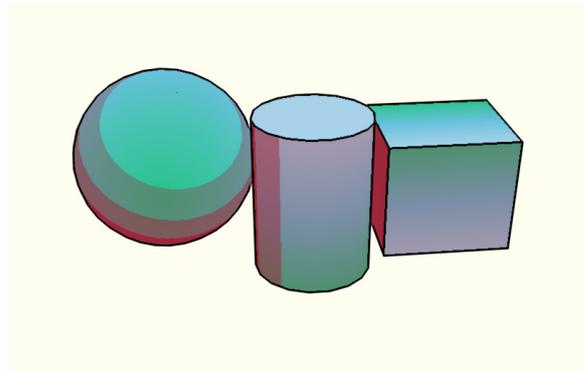


Abbildung 67: Gradient Shader, 4 Paint Levels und Shadercolor rot

- **Highlight**

Hier kann die Farbe des Glanzlichtes festgelegt und dieses ein- oder ausgeschaltet werden (Default ist auf Off). Hierzu ist zu sagen, dass Glanzlichter einen wesentlichen Einfluss darauf haben, ob eine Szene drei- (mit - siehe Abbildung 68 (b)) oder zweidimensional (ohne - siehe Abbildung 68 (a)) wirkt. Mit Hilfe des Glossiness-Wertes kann das Glanzlicht selbst beeinflusst werden, je größer dieser Wert ist, desto kleiner ist das Glanzlicht. Dieses kann wieder mit einer Textur oder einem Shader gefüllt und die Transparenz mittels eines Zahlenwertes kontrolliert werden.<sup>289</sup>

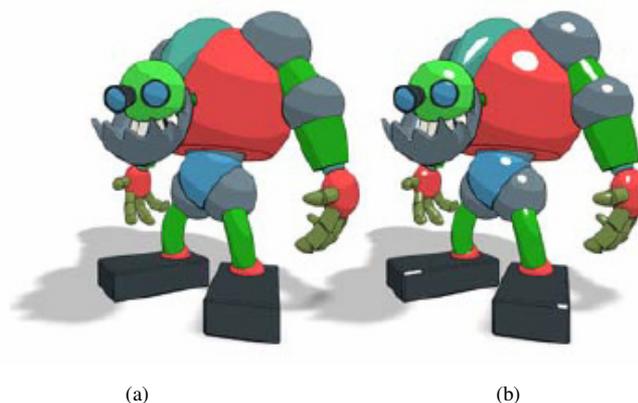


Abbildung 68: Rendern ohne und mit Glanzlichtern

Entnommen aus Discreet, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1486, abgerufen am 08.05.2005

<sup>289</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1486, abgerufen am 08.05.2005

### 11.1.1.3. Ink Controls Rollout

In 3D Studio Max bildet die Tinte (Ink), die ebenso wie die Füllfarbe ein- bzw. ausgeschaltet werden kann, den Linienteil des Materials. Auch hier gibt es eine Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten.<sup>290</sup>

- **Ink Quality**

Diese beeinflusst die Form des „Pinsels“, wobei 1 die einfachste (ein „+“) und 3 die aufwändigste Form (annähernd rund) ist. Außerdem werden je nach Qualität mehr (bei 3), oder weniger (bei 1) Pixel für die Berechnung herangezogen. Diese Eigenschaft sollte nur von 1 abweichen, wenn in Unterobjekten zu viele Artefakte vorkommen. Ansonsten wird fast keine Verbesserung der Linienqualität erreicht, sondern nur die Renderzeit erhöht.

- **Ink Width**

Hier kann die Liniendicke in Pixel eingestellt werden. Durch aktivieren des Buttons kann eine variable Tintendicke zwischen Minimum und Maximum eingegeben werden, wodurch das Objekt nicht mehr so konstant und einheitlich wirkt. Abbildung 69 zeigt geometrische Objekte mit (a) 1 Pixel Liniendicke, (b) 5 Pixel, im Vergleich dazu ist in Abbildung 70 eine variabler Liniendicke zwischen 1 und 5 Pixel zu sehen.<sup>291</sup>

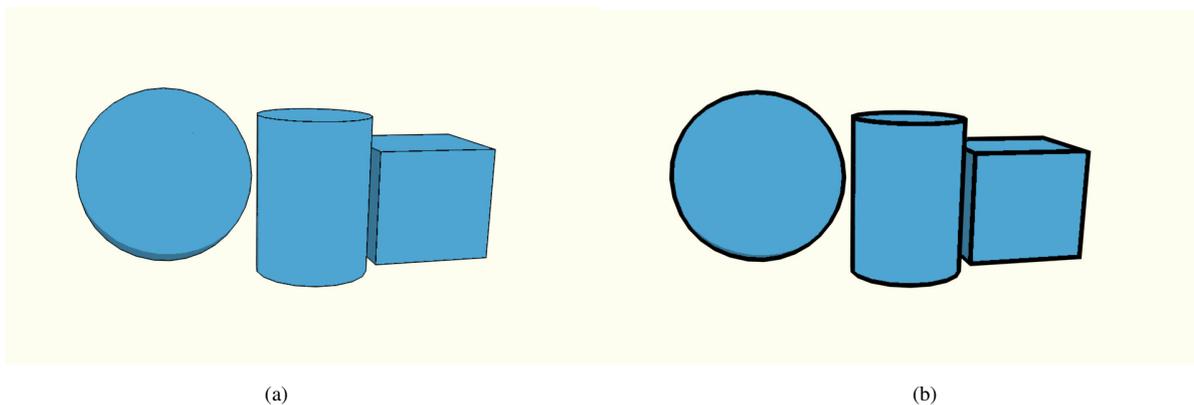


Abbildung 69: Fixe Ink Width 1 und 5 Pixel

<sup>290</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1487, abgerufen am 08.05.2005

<sup>291</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1488, abgerufen am 08.05.2005

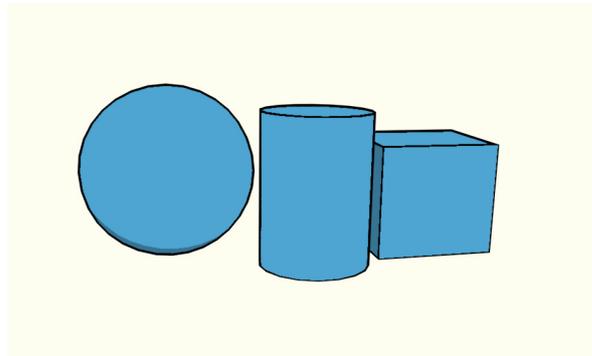


Abbildung 70: Variable Ink Width 1 bis 5 Pixel

Wird eine variable Liniendicke verwendet, so kann es aufgrund der Lichtverhältnisse einer Szene vorkommen, dass die Konturen an manchen Stellen verschwindend dünn werden. Dieser Effekt kann durch Aktivierung des Clamp-Buttons, der die Tinte zwingt zwischen dem Minimal- und Maximalwert zu bleiben, verhindert werden.<sup>292</sup>

Eine weitere Möglichkeit die Linien hinsichtlich ihrer Erscheinungsform zu beeinflussen, ist die Verwendung eines Shaders oder einer Textur. Ein Beispiel hierfür ist in Abbildung 71 zu sehen. In (a) wurde ein Gradient-Shader und in (b) ein Noise-Shader verwendet.<sup>293</sup>

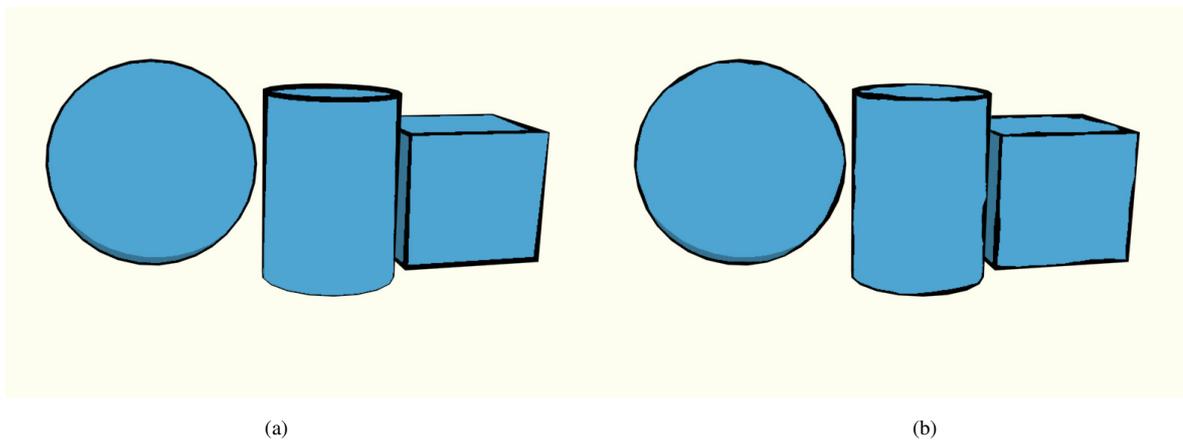


Abbildung 71: Ink bearbeitet mit Gradient- und Noise-Shader

<sup>292</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1489, abgerufen am 08.05.2005

<sup>293</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1488, abgerufen am 08.05.2005

Die verschiedenen Linien, die nun näher erklärt werden, können alle in ihrer Farbe verändert und zusätzliche Shader und Texturen, deren Transparenz anpassbar ist, eingefügt werden. Auch das Aktivieren/Deaktivieren der einzelnen Linien ist möglich.

- **Outline**

Als Outline werden die Konturenlinien bezeichnet, die vor dem Hintergrund bzw. vor einem anderen Objekt auf dem gerenderten Bild erscheinen, sie können also mit der Kameraperspektive variieren. Der Wert Intersection Bias dient zur Verringerung von Artefakten, die auftreten können, wenn sich zwei Objekte überschneiden.<sup>294</sup> Abbildung 72 zeigt blaue Outlines, wobei alle Lines mit einem Noise-Shader verändert wurden.

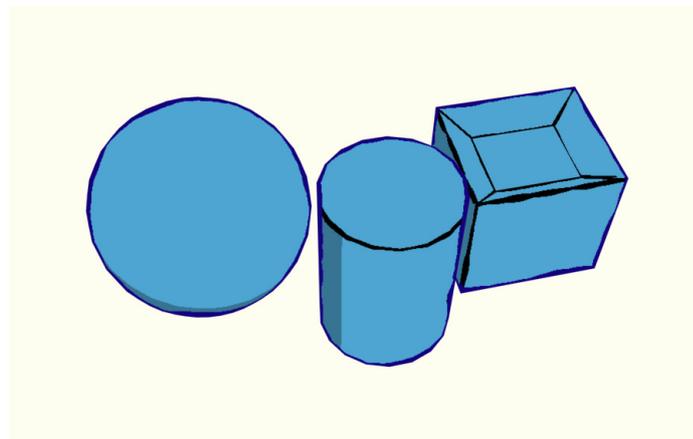


Abbildung 72: Blaue Outlines und Noise-Shader

- **Overlap**

Mit Overlap werden jene Bereiche bezeichnet, an denen sich das Objekt selbst überlappt. Der Punkt Overlap Bias dient wieder zur Beseitigung von Artefakten.

- **Underlap**

Underlap ist ähnlich wie Overlap, nur wird die Tinte auf das weiter entfernt liegende Objekt angebracht. Bias ist auch hier zur Verringerung von Artefakten gedacht.<sup>295</sup>

---

<sup>294</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1489, abgerufen am 08.05.2005

<sup>295</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1489 f., abgerufen am 08.05.2005

- **SmGroup**

Diese Option füllt die Ecken, der nicht abgerundeten Objekte mit Tinte

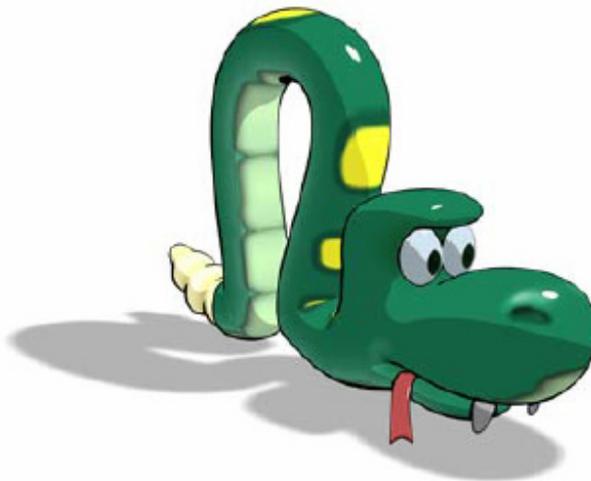
- **Mat ID**

Mat ID bezeichnet die Tinte, die zwischen zwei Material ID Values gezeichnet wird.

- **Only Adjacent Faces**

Ist dieser Button aktiviert, so wird die Material ID Edge zwischen zwei benachbarten Flächen gezeichnet, mit „off“ wird genau das Gegenteil erreicht.<sup>296</sup>

In Abbildung 73 ist eine Schlange, welche mit dem Ink'n Paint Material gerendert wurde, zu sehen. Sie zeigt welche guten Ergebnisse mit diesem Material in 3D Studio Max hinsichtlich Non Photorealistic Rendering erreicht werden können.



**Abbildung 73: Mit Ink'n Paint gerenderte Schlange**

Entnommen aus Discreet, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1489, abgerufen am 08.05.2005

---

<sup>296</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1489 f., abgerufen am 08.05.2005

## 11.1.2. Konturenshader

Eine weitere Möglichkeit nicht fotorealistische Bilder in 3D Studio Max zu generieren, liefert der Contours-Shader.

Als allererster Schritt muss überprüft werden, ob die Mental Ray Extensions ermöglicht werden: Customize Menü > Preferences > Mental Ray Panel > General > Enable Mental Ray Extensions aktivieren.<sup>297</sup>

Wählt man nun ein beliebiges Material (abgesehen vom Mult/Sub-Object und den Mental-Ray-Shadern) aus, so findet sich ganz unten im Material Editor das Mental Ray Connection Rollout. (Siehe Abbildung 74)<sup>298</sup>

Noch vor dem Hinzufügen einer Kontur, muss Rendering Menu > Render > Common > Assign Renderer aus dem Dropdown-Feld anstelle des standardmäßig eingestellten Scanline der Mental Ray Renderer eingestellt werden.<sup>299</sup> Wird dieser Schritt vergessen, so werden beim Rendern keine Konturen angezeigt.

Danach erst kann im Rollout für jedes beliebige Material eine Kontur, durch Anklicken des Kontur-Map-Buttons (Default: None), erstellt werden.<sup>300</sup>

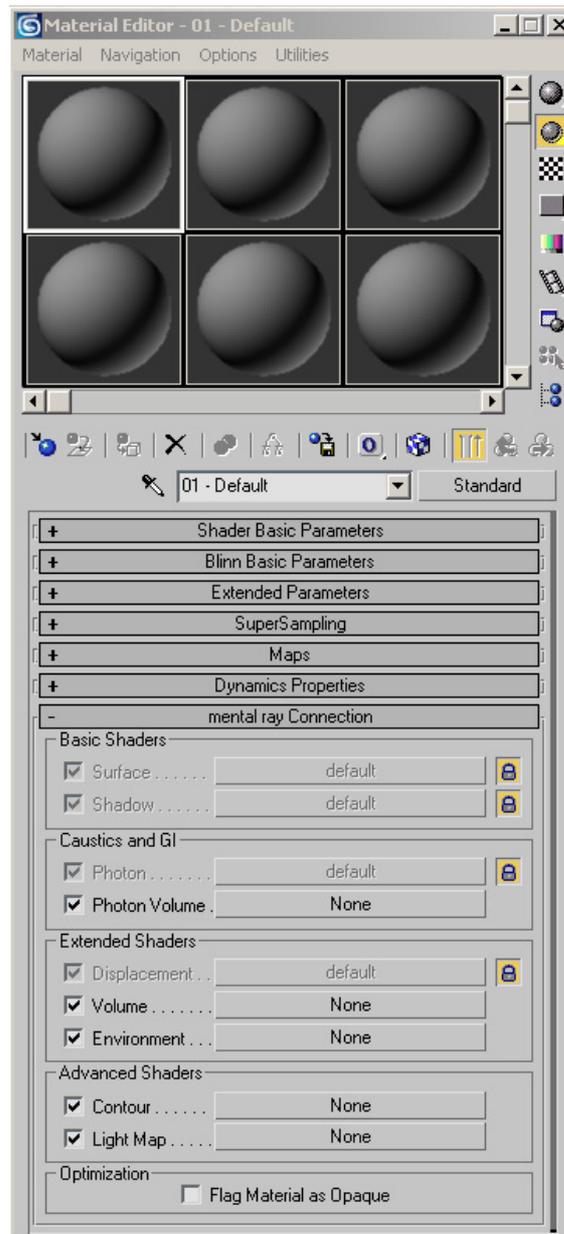
---

<sup>297</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol3.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol3.pdf), S. 861, abgerufen am 08.05.2005

<sup>298</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), S. 1365., abgerufen am 08.05.2005

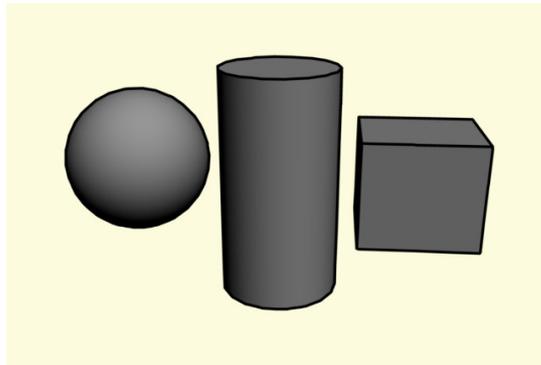
<sup>299</sup> vgl. Autodesk, [ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol3.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol3.pdf), S. 79, abgerufen am 08.05.2005

<sup>300</sup> vgl. Held/Abadi (2004), S. 577

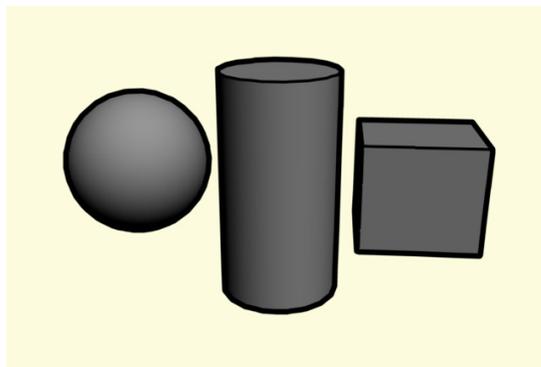


**Abbildung 74: Mental Ray Connection Rollout**

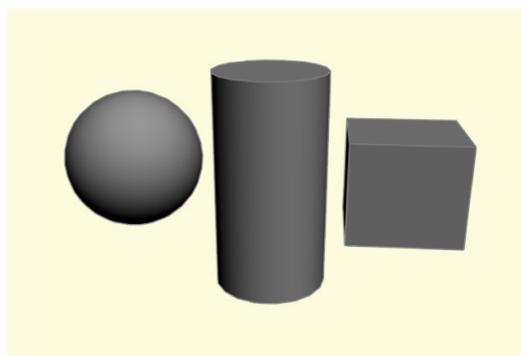
Beispiele für solche Konturenshader sind Simple- (Abbildung 75), Curvature- (Abbildung 76) oder DepthFade-Shader (Abbildung 77).



**Abbildung 75: Simple-Konturens shader auf Standardmaterial**



**Abbildung 76: Curvature-Konturens shader auf Standardmaterial**



**Abbildung 77: Depth Fade-Konturens shader auf Standardmaterial**

Die Variationsmöglichkeiten innerhalb dieser Shader betreffen meist die Liniendicke und ihre Farbe. Komplexere Shader bieten natürlich einige Einstellungsmöglichkeiten.

Nach Anwendung des Konturensaders muss im Render Menu > Renderer > Contours die Konturen auf enable gesetzt werden, da die Konturen sonst nicht gerendert werden.<sup>301</sup>

Vorteil des Konturensaders gegenüber dem Paint'n Ink Material ist die Möglichkeit diesen auf fast alle Materialien anwenden zu können (bei Paint'n Ink nur über Paint steuerbar). Jedoch ist die Variationsmöglichkeit betreffend die Konturen bei Paint'n Ink größer und auch die Renderzeit kann unter der des Konturshaders gehalten werden, was schon beim Rendern der einfachen geometrischen Formen auffällt. Daher ist Paint'n Ink besonders für Comics geeignet, Konturensader können, durch die große Auswahl an Materialien, auch in anderen Bereichen angewendet werden.

---

<sup>301</sup> vgl. Held/Abadi (2004), S. 578

## 11.2. Softimage|XSI

Die 3D-Animationssoftware Softimage|XSI der Firma Avid wird hauptsächlich für die Erstellung von Computeranimationen in modernen Filmen wie beispielsweise The Last Samurai, Videospielen und in der Werbung eingesetzt. Softimage|XSI richtet sich vor allem an Profis, da ihnen hier aufgrund der Komplexität fast keine Grenzen gesetzt sind. Die neueste Programmversion Softimage|XSI v.4.2. ist auf der Website <http://www.softimage.com> erhältlich und kostet zwischen 500,-- US Dollar (Foundation-Version) und 7.000,-- US Dollar (Advanced-Version).

Je ein Hauptfirmensitz in Amerika, in Europa und in Asien verdeutlicht die Größe des Unternehmens. Wie schon bei 3D Studio Max, ist es auch hier ein Ziel jedem Interessierten die Möglichkeit zu bieten dieses Programm, wenn das überhaupt möglich ist, schnell zu erlernen. Zu diesem Zweck werden auf der Website nicht nur Tutorials bereitgestellt, sondern die Palette reicht von Training Centers über spezielle Kurse bis hin zu Zertifizierungen.<sup>302</sup>

Den Bereich Non Photorealistic Rendering betreffend, steht auch in Softimage|XSI die Imitation von Cel Animations, mit Hilfe des Toon Shaders, im Vordergrund.

### 11.2.1. XSI Toon Shader

Toon Rendering in Softimage|XSI funktioniert unter der Zuhilfenahme von zwei Shadern (einen Linsen-Shader und einen Material-Shader), die zusammenarbeiten um den Cel-Animation-Style des Paint (beleuchtete und unbeleuchtete Oberflächenschattierung) und Ink (Konturenlinien) zu erreichen. Zusätzlich zu den Strahlen, die normalerweise von der Kamera in den Raum geschickt werden, um die Szene nachzeichnen zu können, bewirkt der Toon Lens

---

<sup>302</sup> vgl. <http://www.softimage.com>, abgerufen am 05.06.2005

Shader zusätzliche Strahlen, die zur Auffindung von Diskontinuitäten betreffend Rundung, Tiefe, Farbe, Licht, usw. dienen. An diesen Stellen werden dann die Konturen gezeichnet.<sup>303</sup>

Der erste Schritt bei Verwendung des Toon Shaders, ist das Hinzufügen des Material Shaders zum selektierten Objekt: Get > Material > Toon. Dadurch erscheint der Toon\_Paint\_and\_Host Editor (siehe Abbildung 78). Die Base Color repräsentiert die Farbe des Objektes, ohne Lichteinflüsse, die von Lichtquellen herrühren, zu beachten.<sup>304</sup>

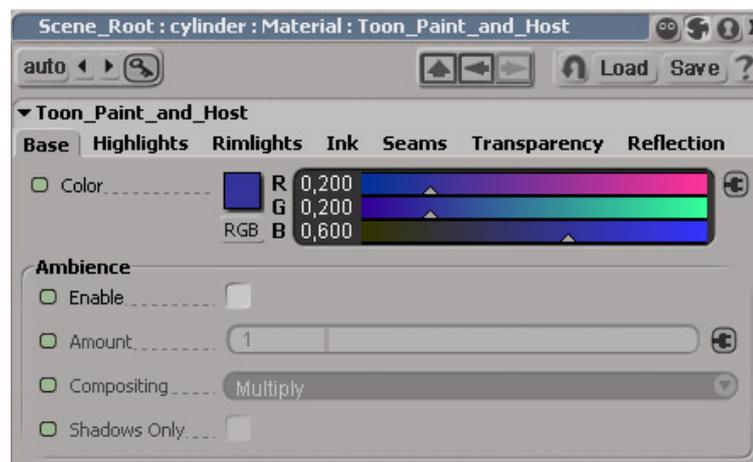


Abbildung 78: Toon\_Paint\_and\_Host Editor

Bevor nun die Eigenschaften der Füllfarbe näher erläutert werden, soll der Linsenshader zur Kamera hinzugefügt werden. Denn wenn auch die Konturen sichtbar sind, ist es für den/die BenutzerIn einfacher die Füllfarbeneigenschaften zu manipulieren, da das Ergebnis auch mit Konturenlinien sichtbar ist.<sup>305</sup>

Das Hinzufügen des Linsenshaders ist im Kamera-Property-Editor (durch Doppelklicken auf Kamera im Explorer) im Reiter Lens Shader durch Add > Toon\_Ink\_Lens möglich. Ist dieser

<sup>303</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech3.htm>, abgerufen am 10.05.2005

<sup>304</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3\\_/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3_/toon/toontut.doc), S. 3, abgerufen am 11.05.2005

<sup>305</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech3.htm>, abgerufen am 10.05.2005

markiert so kann er mit Inspect bearbeitet werden. Vorher sollen aber die Einstellungen des Paint noch genauer betrachtet werden.<sup>306</sup>

### 11.2.2. Toon\_Paint\_and\_Host Editor

In Abbildung 79 ist ein gerendertes Bild einfacher geometrischer Formen mit den Standardeinstellungen des Material- und Lens-Shaders zu sehen.

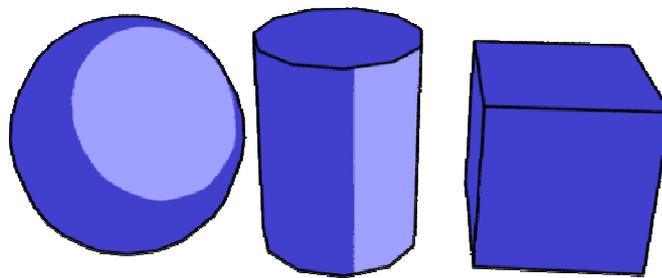


Abbildung 79: Standardeinstellungen Toon- und Lens-Shader

Die dunkelblaue Farbe ist die eingestellte Base Color. Durch Aktivierung von Ambience kann diese durch die globale Ambience Color beeinflusst werden.

Die hellblaue Farbe sind die Glanzlichter, die nun im Reiter Highlights (siehe Abbildung 80) des Toon\_Paint\_and\_Host Editors verändert werden sollen. Die folgenden Definitionen stammen aus der Softimage|XSI 3.0 Hilfe und können dort noch genauer nachgelesen werden.

---

<sup>306</sup> vgl. Cyber Adventure Tsuka, <http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech3.htm>, abgerufen am 10.05.2005

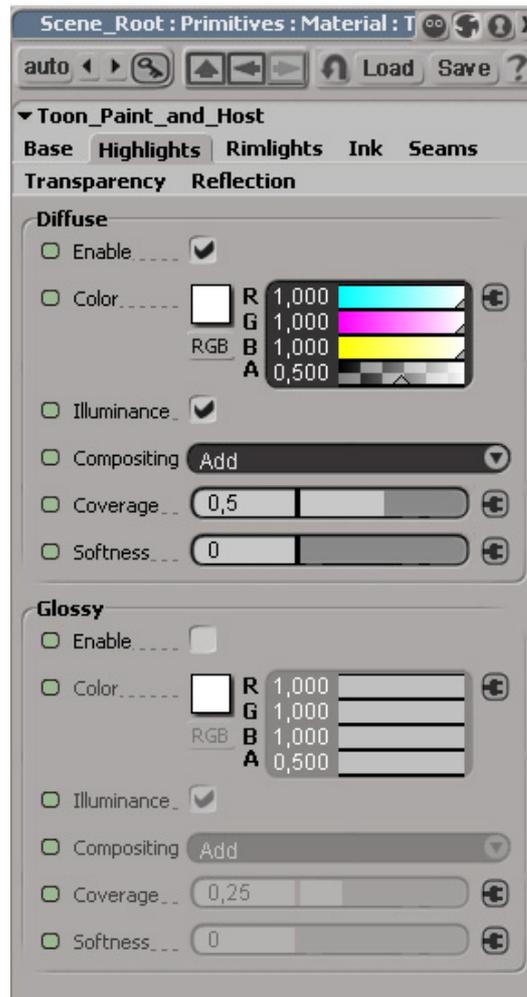


Abbildung 80: Toon\_Paint\_and\_Host Editor - Highlights

### 11.2.2.1. Highlights

#### Diffuse - Glossy

Diffuse Highlights sind für raue Oberflächen geeignet, Glossy für glänzende. Dementsprechend hat das Glanzlicht einen weichen Verlauf oder es ist dominant und sehr hart. Bei beiden Arten sind die folgenden Einstellungen möglich.

#### Color

Hier kann die Farbe des Glanzlichtes verändert werden, diese wird dann über die Base Color geblendet (Transparenzanpassung durch Alpha Kanal möglich).

### **Illuminance**

Ist dieser Button aktiv, so wird das Highlight durch die Beleuchtung beeinflusst.

### **Compositing**

Hier wird die Kombination zwischen Highlight und Base Color beispielsweise durch Addition, Subtraktion oder Multiplikation festgelegt.

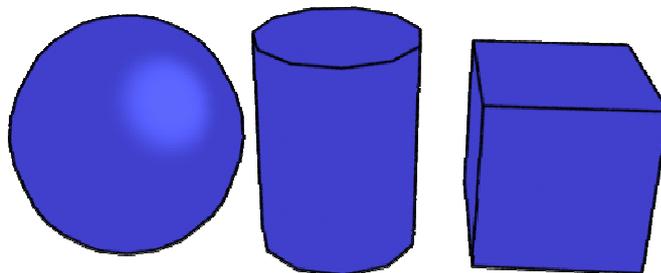
### **Coverage**

Durch die Eingabe eines Wertes zwischen 0 (kein Highlight) und 1 (volle Fläche) kann die Größe des Glanzlichtes bestimmt werden.

### **Softness**

Diese Aktion erlaubt einen weichen Verlauf zwischen Base und Highlight Color.

Abbildung 81 zeigt die Verwendung eines Coverage- und Softness-Wertes von 0,15.



**Abbildung 81: Toon Shader mit weichem Glanzlicht**

Die Parameter Color, Coverage und Softness können weiters durch das Einfügen von Shadern oder Maps (Stecker Symbol) noch weiter verändert werden, so wie in Abbildung 82 für die Farbe ein Bild, mit Alphakanal eingefügt wurde.

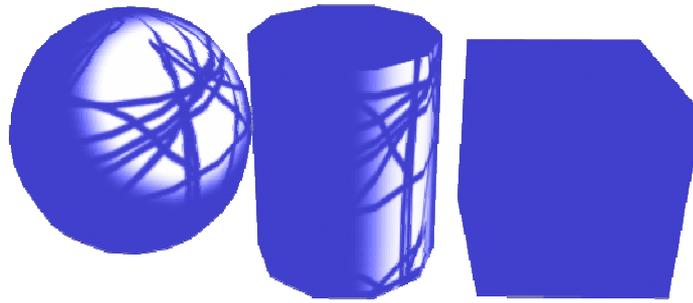


Abbildung 82: Glanzlicht durch Alpha-Map ersetzt

### 11.2.2.2. Rimlights

Rimlights sind wie Highlights Farbbereiche, die über die Base Color gezeichnet werden. Sie hängen aber nicht mit den Lichtverhältnissen der Szene zusammen, sondern werden von einem auf die Oberfläche einfallenden Vektor bestimmt, wobei hier zuerst Layer 1, darüber dann Layer 2 angewendet wird. Die Einstellungsmöglichkeiten sind ähnlich wie bei den Highlights, abgesehen von den Vektoreinstellungen.

#### Order

Hier wird festgelegt, ob die Rimlights über oder unter den Highlights liegen.

#### Vector

Hier wird die Richtung des Vektors eingestellt, standardmäßig ist diese die Kamerarichtung.

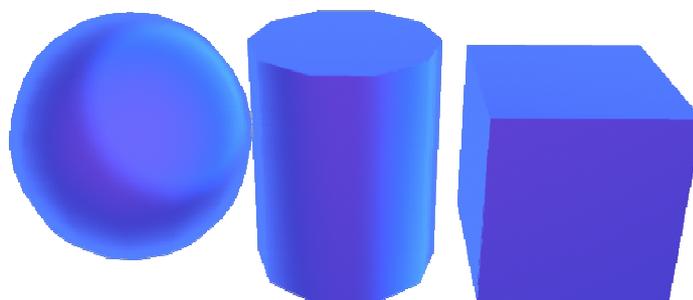


Abbildung 83: Pinkfarbige Rimlights

### 11.2.2.3. Ink

Dieser Reiter ermöglicht das Überschreiben des Camera-Lens-Shaders. Hier kann kontrolliert werden, welche Linien gerendert werden sollen (Shilouettes oder Interiors), welche Farbe und Dicke sie haben sollen und wie das Compositing stattfinden soll. Auch hier können wieder Maps und Shaders eingefügt werden, um bestimmte Effekte zu erreichen. Da die Konturenlinien, die mit Hilfe des Lens Shaders erzeugt werden, mehr Parameter und Einstellungsmöglichkeiten aufweisen, werden diese dann näher erläutert.

### 11.2.2.4. Seams

Hier können Konturen zwischen Objekten ein-/ausgeblendet werden, siehe Abbildung 84.

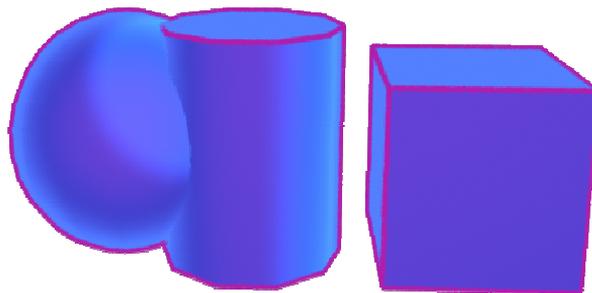
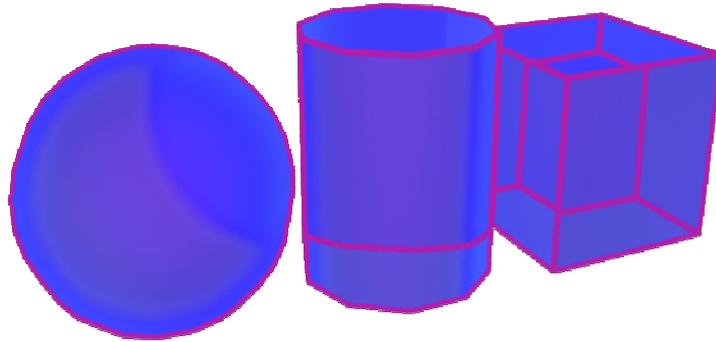


Abbildung 84: Konturenblending

### 11.2.2.5. Transparency

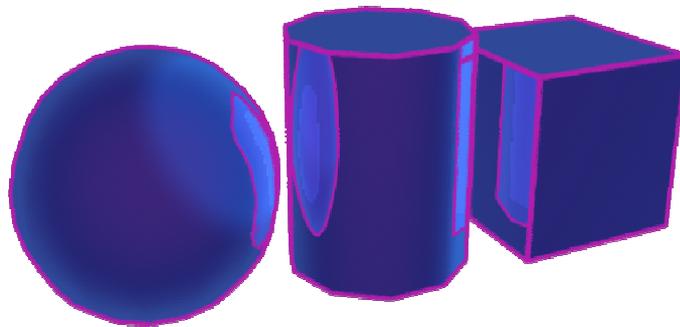
Dieser Reiter ist für das Rendern von lichtbrechenden und transparenten Oberflächen interessant. Sollen diese Parameter Einfluss auf die Ink-Linien haben, so muss im Lens Shader > Sampling > Trace Depth ein Wert größer als 1 eingegeben werden. Durch die Verwendung von Transparenz werden natürlich auch die Konturen der Rückseite eines Objektes sichtbar, wie in Abbildung 85 zu sehen ist.



**Abbildung 85: Toon Shader Transparency**

#### **11.2.2.6. Reflection**

In diesem Bereich befinden sich Parameter, die reflektierende Oberflächen betreffen, durch aktivieren spiegeln sich Konturen von benachbarten Objekten auf der Oberfläche, siehe Abbildung 86.



**Abbildung 86: Toon Shader Reflection**

Das Toon-Material erzeugt generell gute Ergebnisse und erlaubt eine Vielzahl an Veränderungen und Variationen.

### 11.2.3. XSI Lens Shader (Toon\_Ink\_Lens)

Der Lens Shader liefert die Konturenlinien zum Toon-Material von Softimage|XSI, die für Cartoon-Effekte unerlässlich sind. Der große Nachteil des Lens Shaders ist die erhebliche Verlangsamung des Renderprozesses bei dessen Verwendung.<sup>307</sup>

Wie bereits erwähnt wird dieser zur Kamera hinzugefügt und kann, wenn er markiert ist durch Inspect genauer bearbeitet werden, siehe Abbildung 87.

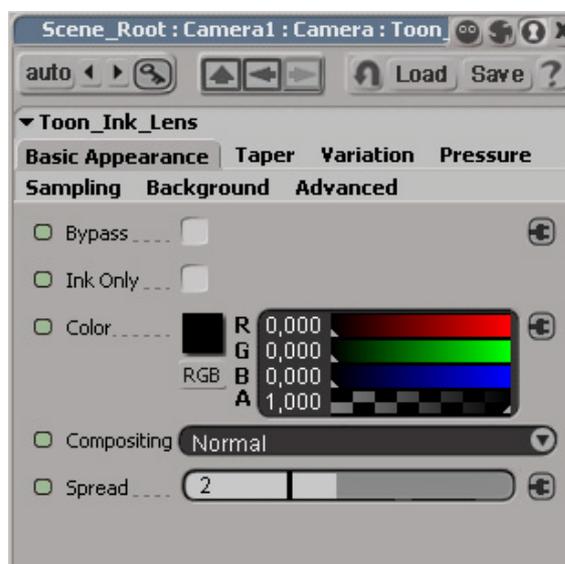


Abbildung 87: Toon\_Ink\_Lens Shader Property Page

#### 11.2.3.1. Basic Appearance

In den Basiseinstellungen können Füllfarbe (Ink Only) als auch Konturen (Bypass) ein- und ausgeschaltet werden. Wie auch beim Ink-Reiter des Toon-Materials ist eine Veränderung der Farbe, des Compositing und der Liniendicke bzw. Ausweitung (Spread) sowie in manchen Bereichen die Modifizierung mittels Shader möglich.<sup>308</sup>

<sup>307</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3\\_/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3_/toon/toontut.doc), S. 15, abgerufen am 11.05.2005

<sup>308</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3\\_/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3_/toon/toontut.doc), S. 16, abgerufen am 11.05.2005

### 11.2.3.2. Taper

Tapering ist eine prozedurale Variation der Konturendicke. So können Linien, die der Kamera direkt zugewandt sind dicker gerendert werden, als andere. Diese Einstellungsmöglichkeiten (siehe Abbildung 88) sind für künstlerische Zwecke, um Objektform und Platzierung zu verstärken, ideal.

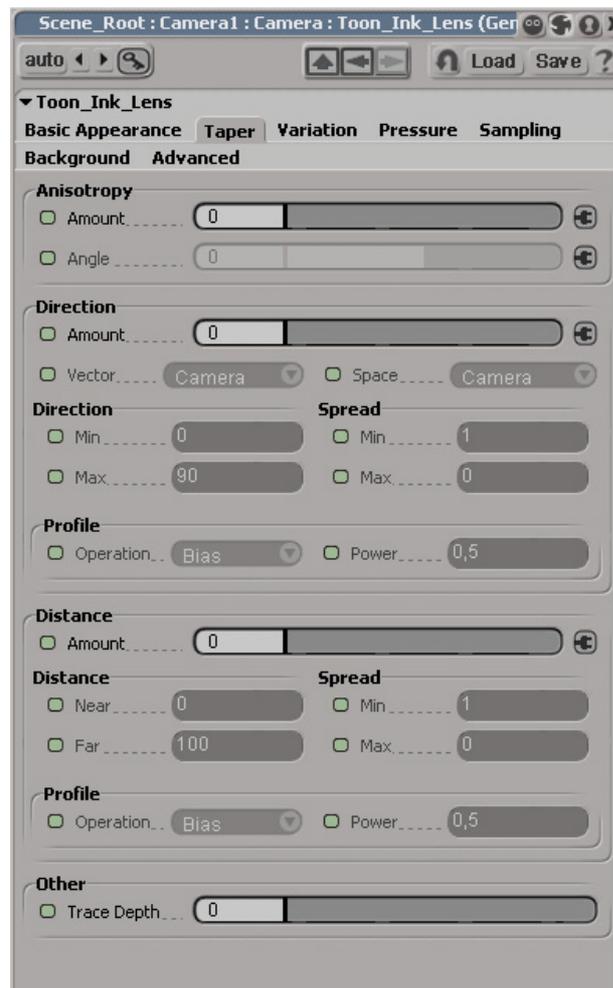


Abbildung 88: Toon\_Ink\_Lens – Taper-Einstellungen

#### Anisotropy

Angle gibt den Winkel der Verteilung der Tinte an, so können beispielsweise kalligraphische Striche simuliert werden. Amount bezeichnet immer die Stärke des Effektes (0 kein Effekt).

### Direction

Die Konturendicke wird kann hier als Funktion der Oberflächenrichtung angesehen werden, standardmäßig ist der Einfallswinkel der Kamera ausschlaggebend, sodass Linien, die gerade zur Kamera gerichtet sind, am dicksten dargestellt werden. Mit Vector kann ein neuer Einfallswinkel und mit Space das zu verwendende Koordinatensystem definiert werden. Der Custom Vector wird dann automatisch initialisiert

Bei Direction kann die Spanne der Richtungen, und bei Spread die Spanne der Werte, auf die der Effekt wirkt, eingegeben werden.

Profile ermöglicht einen nicht-linearen Einfluss auf den Effekt, so dass Liniendickenveränderungen entweder weiche/geblendete oder harte Übergänge erzeugt werden (Power 0,5 verursacht eine lineare Funktion).

### Distance

Die Distance-Parameter beeinflussen die Kontur anhand der Distanz von der Kamera, was zum Kreieren von Tiefeneffekten dient (siehe Abbildung 89). Distance bezeichnet die Spanne der Werte, innerhalb derer der Effekt zum Tragen kommt. Spread gibt die Spanne der Konturenwerte, die beeinflusst werden, an.

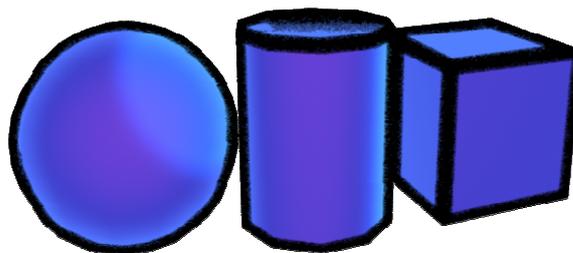


Abbildung 89: Variierte Konturen durch Distanz

### Other

Variieren der Konturdicke anhand von strahlen-basiert errechneter Tiefe (Ray-traced) ist hier möglich, bei Eingabe des Wertes 0 ist kein Effekt zu sehen.

### 11.2.3.3. Variation

Variation erlaubt eine pseudo-zufällige Variation der Kontureigenschaften. So können natürliche Eigenheiten und Differenzen, die durch Zeichnen per Hand entstehen nachgeahmt werden. Die möglichen Einstellungsparameter sind in Abbildung 90 zu sehen.

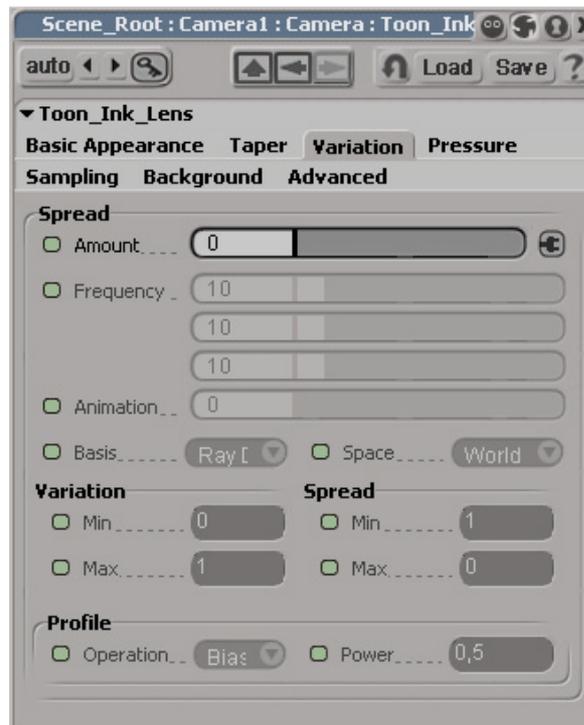
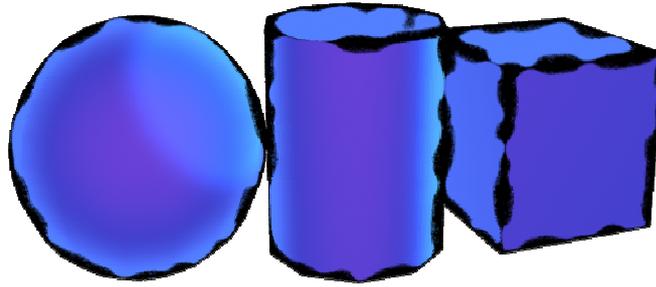


Abbildung 90: Toon\_Ink\_Lens – Variation-Einstellungen

#### Spread

Mit Spread kann die Ausweitung (regelmäßig oder unregelmäßig) der Konturen festgelegt werden. Die drei Frequenzbalken (für x, y und z) legen die räumliche Frequenz der zufälligen Variation fest. Höhere Werte bewirken starke Veränderungen (wie ein Noise-Shader, siehe Abbildung 91) und niedrigere weiche Kanten. Höhere Animationswerte als 0 führen zu sich bewegenden Konturen.



**Abbildung 91: Variation – hohe Frequenzeinstellung**

### **Variation**

Diese Variable bezeichnet die Spanne der Werte, auf die der Effekt angewandt wird.

### **Spread**

Diese Option beeinflusst die Ausweitung der Tinte auf die die Oberflächenrichtungen projiziert werden.

### **Profile**

Hier ist das Spezifizieren eines nicht linearen Einflusses auf den Effekt, um weiche oder harte Kanten definieren zu können, möglich.

#### **11.2.3.4. Pressure**

In diesem Reiter kann der Druck von Stift bzw. Pinsel durch die Veränderung von Saturation (Sättigung) und Brightness (Helligkeit) modifiziert werden, siehe Abbildung 92.

### **Brightness**

Hier kann die Intensität der Kantenfarbe bezogen auf die Ausweitung der Linie eingestellt werden. Minimale Brightness mit 0,5 bedeutet, dass die Tinte um die Hälfte ihrer Originalintensität (Min Spread) dunkler wird.



Abbildung 92: Toon\_Ink\_Lens – Pressure-Einstellungen

### Saturation

Die Sättigung der Tinte kann, bezogen auf die Ausweitung dieser, variiert werden. Alpha ist analog hierzu. Um die Wirkung dieser Veränderungen besser sehen zu können, zeigt Abbildung 93 nur die Outlines, wobei (a) die Standardeinstellungen und (b) aktiviertes Alpha, was zu dunkleren Konturen führt, zeigt.

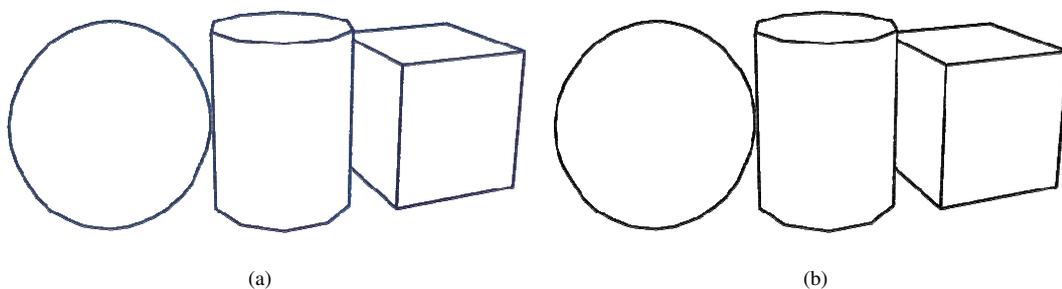


Abbildung 93: Veränderung des Druckes durch Saturation

### 11.2.3.5. Sampling

Die Parameter dieses Reiters beeinflussen Abtastung und Erkennung der Kanten (Abbildung 94). So können durch hohe maximale Sample-Werte mehr Strahlen in den Raum geschickt werden, was zu qualitativ höherwertigen Konturen führt. Niedrige Werte resultieren daher in qualitativ minderwertigeren Konturen. An diesem Punkt können die Renderzeiten, aufgrund der Erhöhung der Strahlen, massiv erhöht werden.

Die Trace Depth gibt die minimale Tiefe zur Berechnung von Konturen an. An dieser Stelle ist das Aktivieren/Deaktivieren bestimmter Konturen (Environment, Object, Material) möglich.

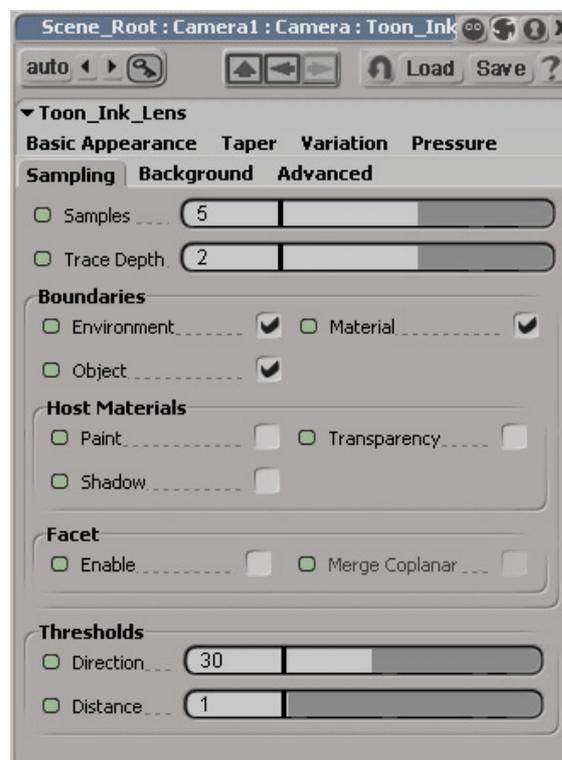


Abbildung 94: Toon\_Ink\_Lens – Sampling-Einstellungen

#### Host Materials

Diese Optionen bieten Eigenschaften in Verbindung mit dem Toon Host Material Shader um die Platzierung der Tinte zu verändern. So werden bei der Aktivierung von Paint Konturenlinien zwischen verschiedenen Layern (Highlight, Rimlight, etc.) gezeichnet und bei Shadow

zwischen den Flächen, auf die Schatten geworfen werden und den anderen. Ein Beispiel für aktivierte Host Materials – Paint ist in Abbildung 95 zu sehen.

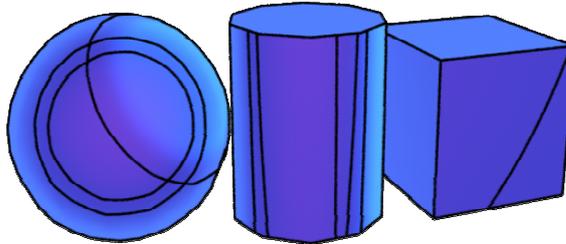


Abbildung 95: Toon\_Ink\_Lens – Sampling Paint aktiviert

Facet Enable resultiert im Finden der Konturen von sich schneidenden, angrenzenden und überlappenden Dreiecken der schachbrettartigen Oberflächenstruktur. Wie in Abbildung 96 zu sehen bedeutet dies, dass die Konturen der einzelnen Polygone ausfindig gemacht und diese in Dreiecke geteilt werden. Aktivieren von Merge Coplanar resultiert in der Anzeige der Oberflächen (Polygone), die auf einer Ebene liegen, was in Abbildung 96 (b) verdeutlicht wird.

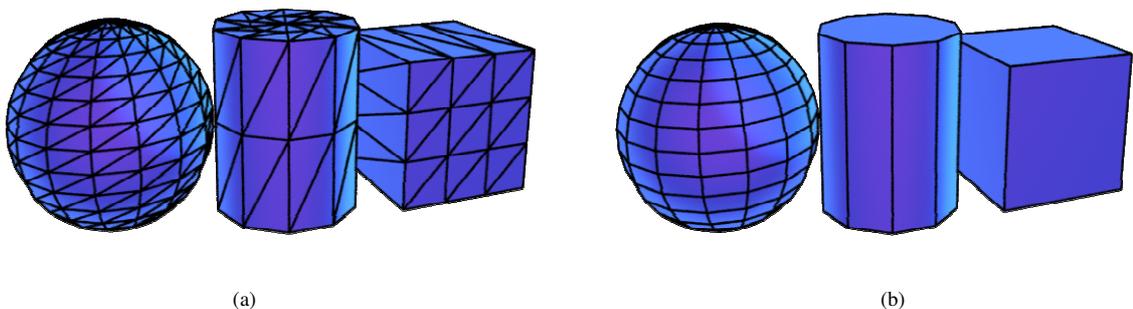


Abbildung 96: Anzeigen von Facet Contours

### Thresholds

In diesem Bereich können die Schwellenwerte für die Anzeige/Nichtanzeige von Entfernung- und Richtungskonturen eingegeben werden. Diese können jedoch nur innerhalb eines Objektes mit einem angewendeten Material erkannt werden.

### 11.2.3.6. Background

In diesem Reiter kann sehr schnell die Hintergrundfarbe (oder auch ein Hintergrundbild) des gerenderten Objektes geändert werden. Dies gilt sowohl für die Rendervorschau als auch für das fertig gerenderte Bild.

### 11.2.3.7. Advanced

#### Require Host

Ist Require Host (siehe Abbildung 97) im Reiter Advanced aktiviert, so werden nur die Konturen gerendert, denen ein Toon Host Material zugewiesen wurde.

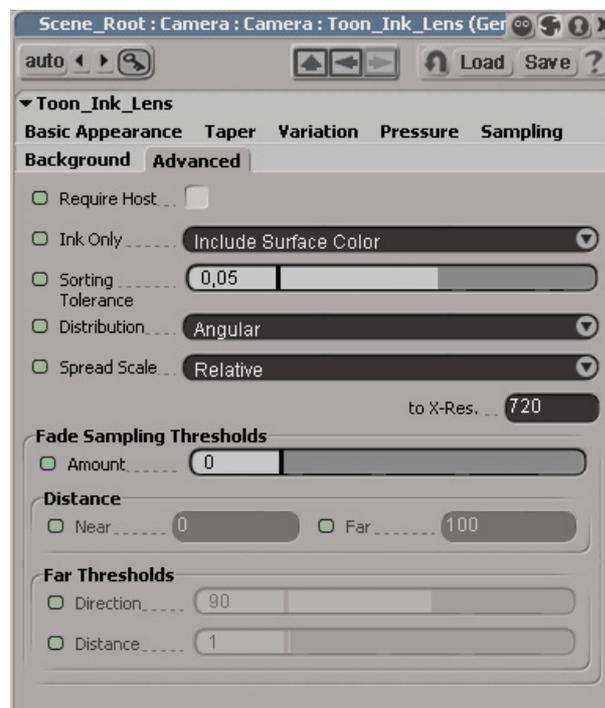


Abbildung 97: Toon\_Ink\_Lens Fortgeschrittene Einstellungen

#### Ink Only

Diese Einstellung ermöglicht die Beeinflussung der Ink-Farbe durch die darunter liegende Flächenfarbe (Include). Die Einstellung Exclude bewirkt, dass die Tinte schwarz über die Fläche gezeichnet wird.

### **Sorting Tolerance**

Mit Hilfe des Wertes Sorting Tolerance können Tinten-Unregelmäßigkeiten korrigiert werden.

### **Distribution**

Dieser Menüpunkt muss nur dann auf Area geändert werden, wenn eine Kompatibilität mit einer älteren Version von Softimage|XSI nötig ist.

### **Spread Scale**

Die Ausweitung der Konturen kann mit Hilfe von Spread Scale absolut in internen Units oder relativ zu einer definierten Bildschirmauflösung angegeben werden. Wobei die Verwendung von letzterem eine konstante Liniendicke im Bezug zur angegebenen X-Resolution bewirkt. Im Gegensatz hierzu bleiben die Konturen bei der Einstellung Absolute unabhängig von der gerenderten Auflösung konstant.

### **Fade Sampling Thresholds**

Dieser Punkt erlaubt eine Veränderung der Entfernungs- und Richtungsschwellenwerte im Bezug auf den Strahlenursprung. So können unnötige Details weit entfernter Objekte, die die Renderzeit unnötig erhöhen, vermieden werden.

Amount gibt an wie stark der Effekt sein soll (0 kein Effekt). Mit Hilfe der Distance können die Entfernungswerte angegeben werden, auf die die Richtungs-Schwellenwerte angewendet werden sollen. Diese können dann im Punkt Thresholds eingestellt werden.

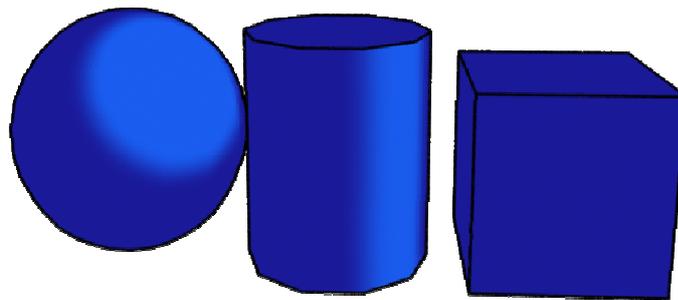
## **11.2.4. Erzeugen Spezieller Toon Shader Effekte**

Um auch andere nicht fotorealistische Effekte zu erreichen kann der Toon Material Shader noch zusätzlich im Render Tree bearbeitet werden. Folgendes Beispiel zeigt eine Annäherung an grafisches Design, wo häufig für die Schattierung von dunkleren Bereichen Cross Hatching verwendet wird.<sup>309</sup>

---

<sup>309</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3\\_/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3_/toon/toontut.doc), S. 8, abgerufen am 11.05.2005

Die Ausgangslage sind die Standardeinstellungen des Toon Material Shaders (mit Ausnahme der Aktivierung des Highlights) und des Camera Lens Shaders, wie in Abbildung 98 zu sehen ist.



**Abbildung 98: Toon and Ink mit Highlight**

Als erster Schritt wird im Render Tree folgender Mixer ausgewählt: Nodes > Mixers > Mix\_2colors und dieser mit dem Surface-Knoten des Toon\_Paint\_and\_Host verbunden. Nun wird Nodes > Illumination > Constant erstellt und dieser Knoten mit der Base Color des Mix\_2colors verbunden. Durch Doppelklick auf Constant kann die Property Page geöffnet und so die Grundfarbe der Objekte eingegeben werden. Danach wird die Property Page des Mix\_2colors geöffnet und im Bereich Mix Layer die Werte von RGBA auf 0 gesetzt. Diese Einstellungen verändern die Objekte aus Abbildung 98 noch nicht. Wird nun ein Bild als Color1 zum Mixer hinzugefügt (Nodes > Texture > Image) und dessen Texture Projection auf die Szenenkamera gesetzt, so kann nach Ändern der Weight-RGBA-Werte auf 1 im Mixer, ein erster Eindruck von Cross Hatching entstehen, wie in Abbildung 99 zu sehen ist.<sup>310</sup>

<sup>310</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3\\_/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3_/toon/toontut.doc), S. 9 f., abgerufen am 11.05.2005

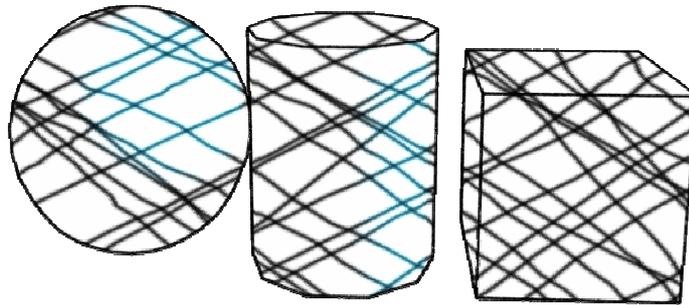


Abbildung 99: Toon Shader – Mix\_2colors

Durch das Einfügen eines Schwarz-Weiß-Bildes werden die weißen Teile auf die Objekte projiziert, daher muss ein Inverter (Nodes > Image Processing > Invert), zwischen Image und Mix\_2colors (Weight1) hinzugefügt werden. Das löst aber noch nicht das Problem, dass sich die Hatching-Lines nur in den Bereichen befinden sollen, die im Schatten liegen. Deshalb wird der Constant-Knoten auch noch mit der Diffuse Color des Toon\_Paint\_and\_Host-Knotens verbunden. Nach dieser Änderung wird im Diffuse-Bereich des Highlight-Reiters im Toon Material Shader die Illuminance deaktiviert und der Compositing Mode auf Normal umgestellt. Weitere Änderungen bezüglich Coverage und Softness sind natürlich möglich. Die fertige grafische Darstellung ist in Abbildung 100 zu sehen.<sup>311</sup>

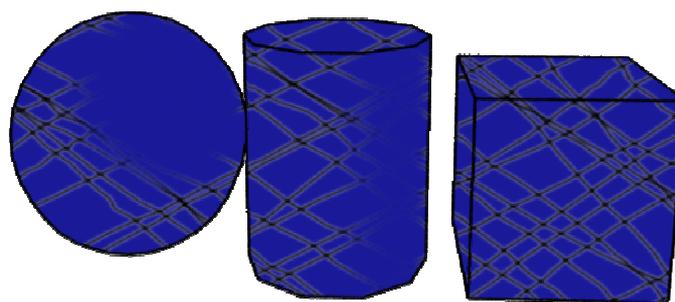
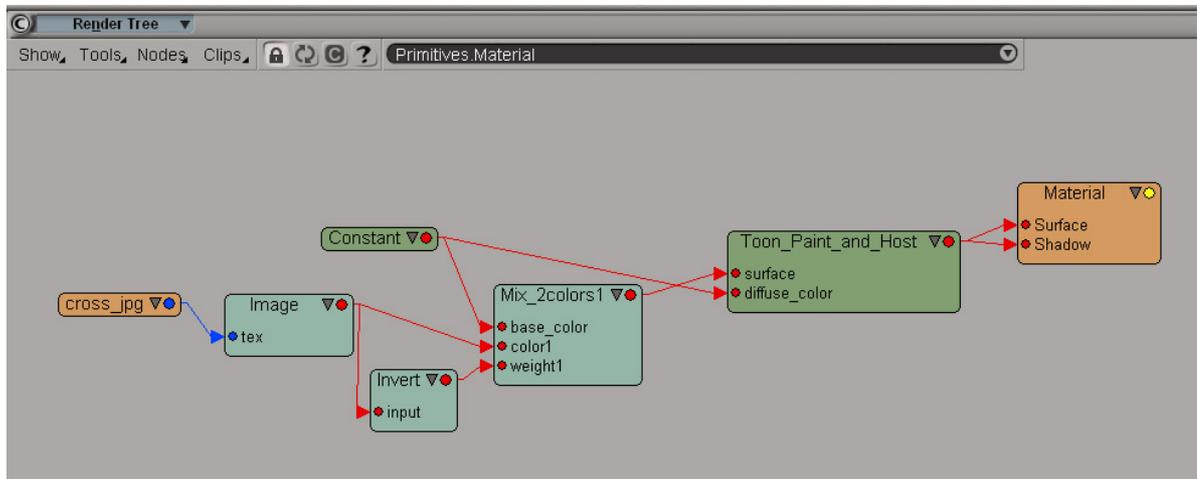


Abbildung 100: Grafische Darstellung – Cross Hatching

<sup>311</sup> vgl. Softimage, [http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi\\_3/toon/toontut.doc](http://www.softimage.com/education/xsi/selfpacedlearning/tutorials/webtutorials/xsi_3/toon/toontut.doc), S. 12 f., abgerufen am 11.05.2005

Zur besseren Nachvollziehbarkeit ist der Render Tree, mit allen verwendeten Nodes, in Abbildung 101 zu sehen.



**Abbildung 101: Render Tree – Cross Hatching**

Die Simulation von Cross Hatching ist nur eine von vielen Möglichkeiten, wie man den Toon Material Shader weiter bearbeiten kann, und soll nur als Beispiel dienen. Die Variationsmöglichkeiten der Nodes in XSI ist beinahe uneingeschränkt. Daher können hier sehr gute Ergebnisse betreffend Non Photorealistic Rendering erzielt werden.

### 11.2.5. Weitere Möglichkeiten in Softimage|XSI

Abgesehen vom XSI Toon Shader (Material und Lens Shader) gibt es auch noch andere Möglichkeiten nicht fotorealistische Eindrücke zu schaffen. Hier soll ein Beispiel zur Erzeugung von Toon-ähnlichen Effekten, durch Verwendung des Incidence Nodes im Render Tree, gezeigt werden. Zu erwähnen ist auch noch, dass einige Komponenten des Toon Shaders (z. B. Toon Ambient, Toon Highlight oder Toon Paint) als einzelne Knoten im Render Tree verfügbar sind, mit anderen Materialien oder Effekten leicht kombiniert und so einzigartige Ergebnisse erzielt werden können.

### 11.2.5.1. Incidence Node

Mit Hilfe des Incidence Nodes können einfache Toon-Effekte erzeugt werden. Dieser Knoten errechnet den Differenzwert des Blickwinkels zwischen Kamera und Oberfläche des Objektes. Durch die Verwendung eines Color\_interpolate-Knotens kann eine Ink-Kontur erzeugt werden, denn es wird die Farbe schwarz verwendet, wenn das Objekt von der Kamera weg und weiß wenn sie zur Kamera hin zeigt. Das hinzugefügte Flatlight verleiht den Objekten das für Cel Animations typische flache Aussehen.<sup>312</sup>

Als erster Schritt wird der Ausgang des Mix\_2colors\_Knoten (Nodes > Mixers > Mix\_2colors) mit der Surface des Materialknotens und das Flatlight (Nodes > Illumination > Flatlight) mit dem Shadow des Materialknotens verbunden. Nun kann die Farbe des Flatlights, die dem Objekt seine letztendliche Farbe verleiht, verändert werden (in Abbildung 103 weiß). Außerdem wird das Flatlight noch mit der Base Color des Mix\_2colors verbunden. Mit Hilfe des Color\_interpolate-Knotens (Nodes > Mixers > More... > Mixers > Color Interpolate) können mehrere Farben (für Konturen und die Flächen) festgelegt werden. In Abbildung 103 wurden folgende Einstellungen vorgenommen: die Number of colors wurde auf 4 minimiert, wobei Farbe 0 und 1 schwarz und Farbe 2 und 3 weiß sind. Die Gewichtung (Weight) 1 und 2 wurden auf 0,3 festgelegt und Gewichtung 3 auf 1. Mit Hilfe weniger Knoten (Übersicht siehe Abbildung 102) und kleinen Veränderungen bezüglich deren Einstellungen konnte, wie in Abbildung 103 zu sehen, ein Toon-ähnlicher Effekt erzielt werden.<sup>313</sup>

---

<sup>312</sup> vgl. Ed Harris, [http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial\\_xsi\\_incidence\\_toon\\_render/toon\\_rendertree.htm](http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial_xsi_incidence_toon_render/toon_rendertree.htm), abgerufen am 12.05.2005

<sup>313</sup> vgl. Ed Harris, [http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial\\_xsi\\_incidence\\_toon\\_render/toon\\_rendertree.htm](http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial_xsi_incidence_toon_render/toon_rendertree.htm), abgerufen am 12.05.2005

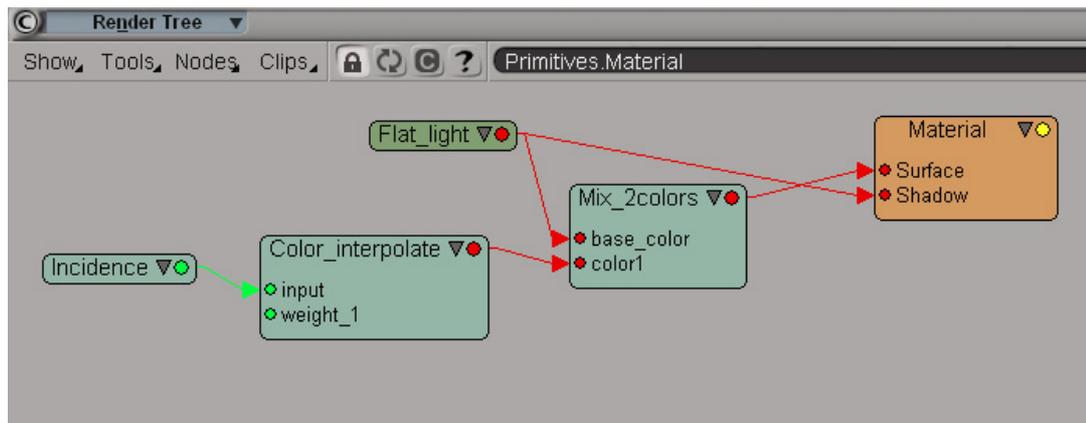


Abbildung 102: Render Tree –Incidence Node

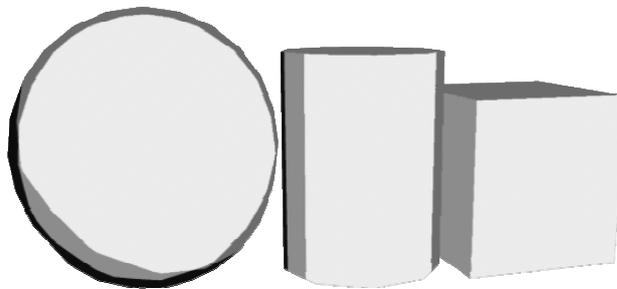


Abbildung 103: Toon ähnlicher Effekt mittels Incidence Node

So wie mit dem Incidence Node können auch andere Knoten durch Kombination und Bearbeitung zur Erzeugung von nicht fotorealistischen Bildern dienen.

## 11.3. Cinema 4D

Cinema 4D ist ein professionelles 3D-Modelling- und Animations-Studio der Firma Maxon, deren Firmensitz sich in Friedrichsdorf (Deutschland) befindet und die Niederlassungen in England und Kalifornien besitzt. Es bietet Einsteigern eine flache Lernkurve und Profis alle nötigen Werkzeuge, um qualitativ hochwertige Bilder und Animationen zu erzielen.<sup>314</sup>

Ein weiterer Grund für den vielseitigen Einsatz von Cinema 4D wie beispielsweise Film Werbung, Wissenschaft oder Architektur ist das modulare System, das dem/der BenutzerIn erlaubt, sich ein individuelles Paket für seine speziellen Bedürfnisse zusammenzustellen. Zwar sind im Basisprogramm bereits alle Funktionen für hochwertige 3D-Bilder und Animationen verfügbar, aber für spezielle Ansprüche sind die 8 Maxon-Module, die nahtlos in Cinema 4D integriert werden, unerlässlich. Das Modul Sketch and Toon (Programmversion Cinema 4D 9) wird im Laufe dieser Diplomarbeit noch näher erläutert. Einen weiteren Vorteil bietet die Verfügbarkeit dieses Programms in neun verschiedenen Sprachen. Namhafte Maxon-Kunden sind z. B. DaimlerChrysler, die NASA, Disney, Columbia Tristar oder RTL.<sup>315</sup>

Zwar konnte Cinema 4D in den letzten Jahren bezüglich Verbreitung aufgrund ständiger Verbesserungen aufholen, jedoch sind hier die AnwenderInnen eher im semi-professionellen und Hobbybereich zu finden. Ein Grund hierfür ist sicherlich auch der erschwinglichere Preis (gegenüber 3D Studio Max und Softimage|XSI) von ca. 700,- Euro der aktuellen Version Cinema 4D R9, die auf der Website <http://www.maxon.de> zu erwerben ist. Zwar wird Cinema 4D für kleinere Produktionen genutzt, dies steht jedoch nicht in Relation mit 3D Studio Max oder Softimage|XSI.

### 11.3.1. Cel Renderer

Im Gegensatz zu 3D Studio Max und Softimage|XSI wird in Cinema 4D ein Cartoon-Effekt im Renderdialog (Render > Render Settings > Effects > Post Effect > Cel Renderer)

---

<sup>314</sup> vgl. Asanger (2003), S. 14

<sup>315</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_dhtml](http://www.maxon.net/index_dhtml), abgerufen am 05.06.2004

hinzugefügt. Die Einstellungsmöglichkeiten des Cel Renderers beschränken sich auf sieben Parameter, wie in Abbildung 104 zu sehen ist.<sup>316</sup>

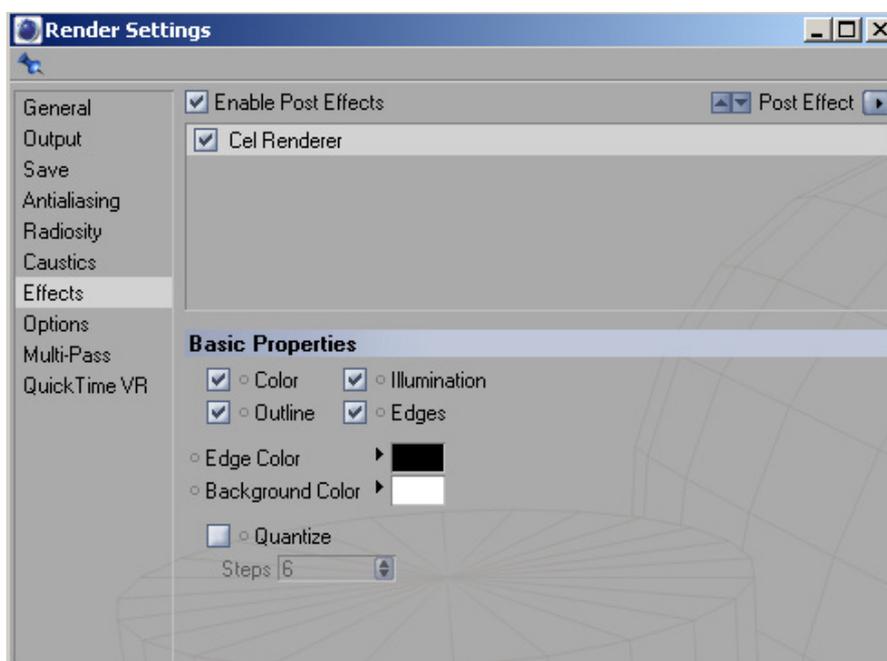


Abbildung 104: Render Settings – Cel Renderer

Um die nachfolgenden Änderungen besser nachvollziehen zu können, soll vorerst ein Bild mit geometrischen Formen mit den Standardeinstellungen (wie in Abbildung 104) gerendert werden. Dieses ist in Abbildung 105 zu sehen.

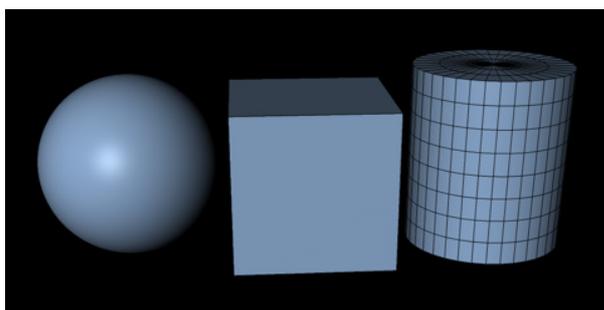


Abbildung 105: Cel Renderer Standardeinstellungen

<sup>316</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 582, abgerufen am 12.05.2005

### Color, Background Color

Ist diese Option deaktiviert, so werden alle Objekte mit schwarzen Umrisslinien und weißen Flächen vor weißem Hintergrund berechnet. Dieser kann durch Modifizieren der Background Color verändert werden. Er ist nur dann gültig, wenn Color deaktiviert ist (siehe Abbildung 106). Ist Color aktiviert, werden die Objekte zwar auch umrandet, aber die Objektflächen enthalten das ihnen zugewiesene Material und der Hintergrund ist schwarz.<sup>317</sup>

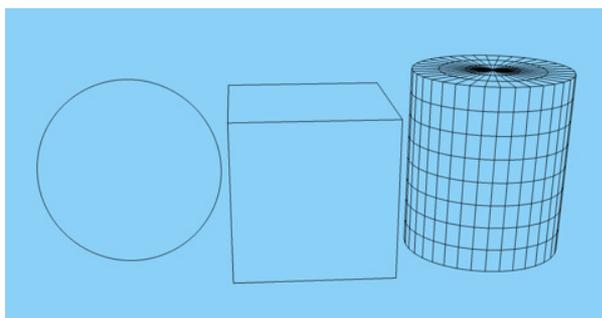


Abbildung 106: Cel Renderer – Color deaktiviert

### Illumination

Wird ein Bild ohne Farbe gerendert, so ist automatisch auch die Option Illumination (Beleuchtung) deaktiviert. Ist sie aber aktiviert, so werden alle Objekte entsprechend der Beleuchtung mit einer Schattierung auf den indirekt beleuchteten Stellen versehen.<sup>318</sup>

### Outline

Ist diese Option aktiviert, so werden die Umrisse der Objekte durch schwarze Linien verstärkt.<sup>319</sup>

### Edges, Edge Color

Durch die Option Kanten werden alle Polygone eines Objektes standardmäßig mit einer dünnen, schwarzen Linie gezeichnet (siehe Abbildung 106). So können Objekte im

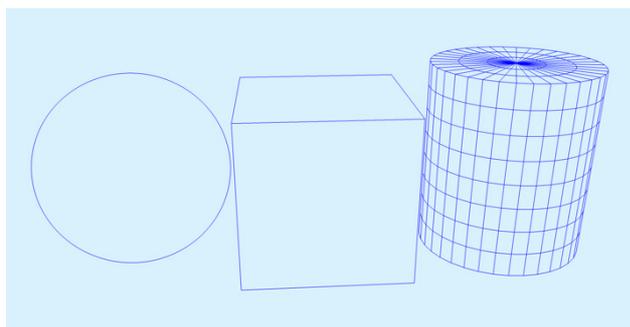
<sup>317</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 583 und 585, abgerufen am 12.05.2005

<sup>318</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 583, abgerufen am 12.05.2005

<sup>319</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 584, abgerufen am 12.05.2005

Drahtgittermodus dargestellt werden. Mit Edge Color kann die Kantenfarbe, egal ob Color aktiviert oder deaktiviert ist, verändert werden.<sup>320</sup>

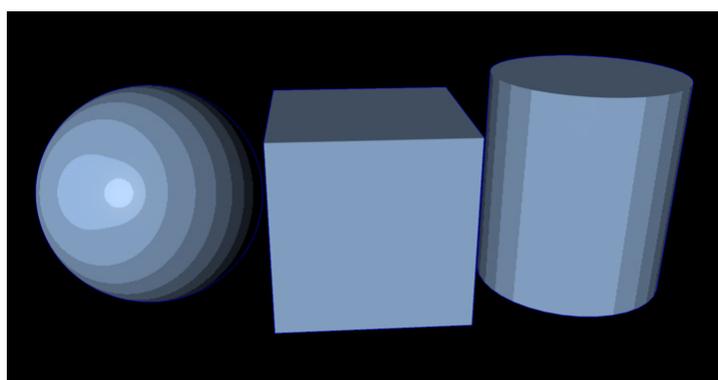
Abbildung 107 zeigt ein Beispiel für eine veränderte Kantenfarbe für ein Bild, das ohne Farbe und mit hellblauem Hintergrund gerendert wurde. Hier ist sehr gut erkennbar, dass sich die Kantenfarbe sowohl auf die Edges als auch auf die Outlines auswirkt.



**Abbildung 107: Cel Renderer – veränderte Kantenfarbe**

### Quantize

Diese Option ist nur bei aktivierter Farbe einstellbar und ermöglicht im Feld Stufen die Anzahl der Farbstufen (maximal 100) zu definieren.<sup>321</sup> In Abbildung 108 wurden 8 Farbstufen und keine Kanten verwendet.



**Abbildung 108: Cel Renderer – 8 Farbstufen**

<sup>320</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 584, abgerufen am 12.05.2005

<sup>321</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Referenzhandbuch S. 585, abgerufen am 12.05.2005

Wie bereits erwähnt, wird auch das Modul Sketch and Toon von Maxon, das im Studio Bundle enthalten ist, noch näher erläutert, da der Cel Renderer nur geringen Ansprüchen genügen kann.

### 11.3.2. Sketch and Toon

Wie auch der Cel Renderer ist Sketch and Toon ein Post-Effekt der in den Render-Voreinstellungen hinzugefügt wird (Rendern > Render-Voreinstellungen > Effekte > Post Effekte > Sketch and Toon).<sup>322</sup>

Im Sketch and Toon Post-Effekt wird primär der Linien-Renderer kontrolliert. Durch aktivieren dieses Post-Effekts wird im Material Manager (linke untere Ecke des Arbeitsbereiches) automatisch ein Sketch-Material erstellt, das später noch genauer erläutert werden soll.<sup>323</sup>

#### 11.3.2.1. Sketch and Toon Post-Effect

Bevor nun auf die einzelnen Parameter des Sketch and Toon Post-Effects näher eingegangen wird, werden seine Grundeinstellungen visualisiert werden, siehe Abbildung 109.

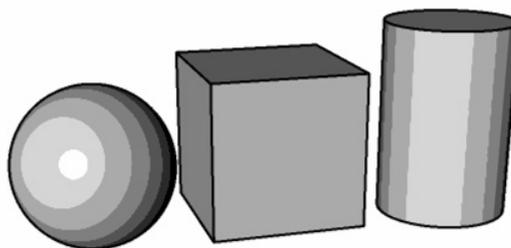


Abbildung 109: Standardeinstellungen Sketch and Toon Post-Effect

Die Einstellungsmöglichkeiten des Sketch and Toon Post-Effects gliedern sich, wie in Abbildung 110 zu sehen ist, in sechs Hauptmenüpunkte, die in Cinema 4D auch Tabs genannt werden..

<sup>322</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 7, abgerufen am 06.06.2005

<sup>323</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 17, abgerufen am 06.06.2005

Im ersten Tab Basic befindet sich nur der Name des Post-Effekts.

In Main kann die Anzahl der Einstellungsparameter global definiert werden, für die Zwecke dieser Diplomarbeit wird der Kontrolllevel Fortgeschrittene (Advanced) verwendet. Auch das Speichern und Laden von Stilen (betreffend Post-Effekt und Sketch-Material) aus der Cinema 4D Library oder aus eigenen Verzeichnissen kann hier erfolgen.<sup>324</sup>

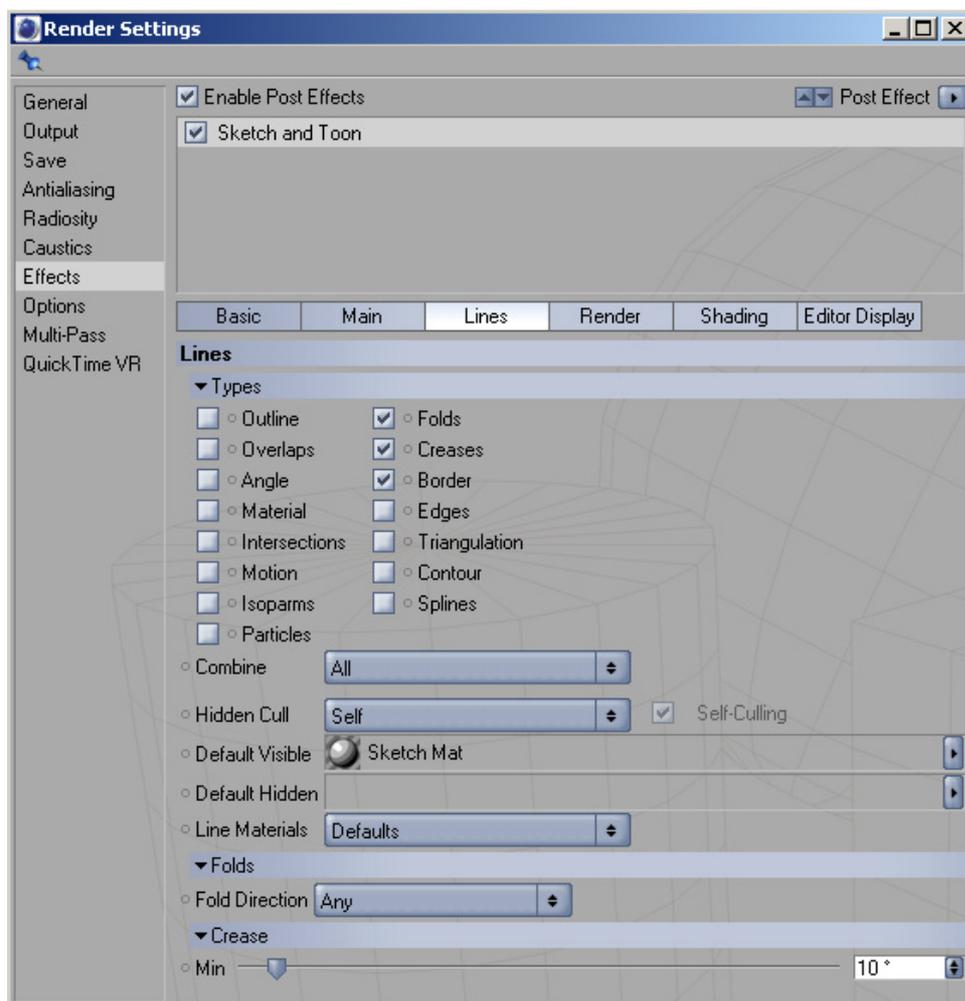


Abbildung 110: Parameter Sketch and Toon Post-Effekt

<sup>324</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 17, abgerufen am 06.06.2005

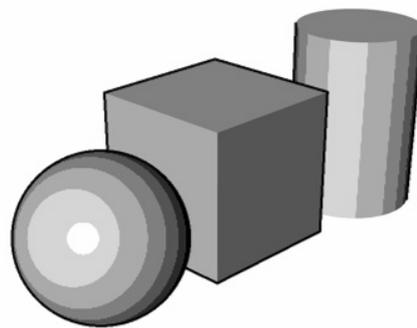
## Lines

Wie in Abbildung 109 zu sehen ist, bietet dieser Menüpunkt eine Fülle von Parametern, die nun kurz erläutert werden.

Bezüglich der verschiedenen Linientypen ist zu sagen, dass nur die, die wirklich gebraucht werden, aktiviert sein sollten, da jeder unnötige Linientyp wieder Renderzeit beansprucht. Eine Eigenheit der einzelnen Linien ist, dass jeder Linientyp eines Objektes sich auf einer eigenen Ebene befindet, die mit dem Objekt verknüpft ist.<sup>325</sup>

Die drei Linientypen Outline (Umriss), Folds(Falten) und Overlap (Überlappung) sind sogenannte Silhouetten-Linien. Sie sind an jeder Polygonkante zu finden, wo das Polygon einer Seite (Vorderseite) zur Kamera hin und das Polygon der anderen Seite (Rückseite) von der Kamera weg gerichtet ist.<sup>326</sup>

In Abbildung 111 ist das gerenderte Bild zu sehen, wenn diese drei Linientypen aktiviert sind.



**Abbildung 111: Silhouettes einfacher geometrischer Modelle**

- Outline

Ist Outline aktiviert werden nur die Umrisse des Objektes gerendert. Außerdem erscheint am unteren Rand des Post-Effect-Fensters der neue Menüpunkt Outline, der blau hinterlegt ist und eine genauere Definition des Umrisses erlaubt, siehe Abbildung 112.

Outline Culling definiert, welche Objekte ihren Umriss mit dem anderer Objekte kombinieren, wenn sie sich überschneiden. Die Einstellung Self bedeutet keine

<sup>325</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 18, abgerufen am 06.06.2005

<sup>326</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 29, abgerufen am 06.06.2005

Verknüpfung, Scene eine Kombination aller überlappenden Szenenobjekte und Children und Hierachy richten sich nach der Hierarchie der Objekte. Durch Auswahl von Objects können bestimmte Objekte eingefügt werden, die mit weiter vorne stehenden Objekten kombiniert werden.<sup>327</sup>

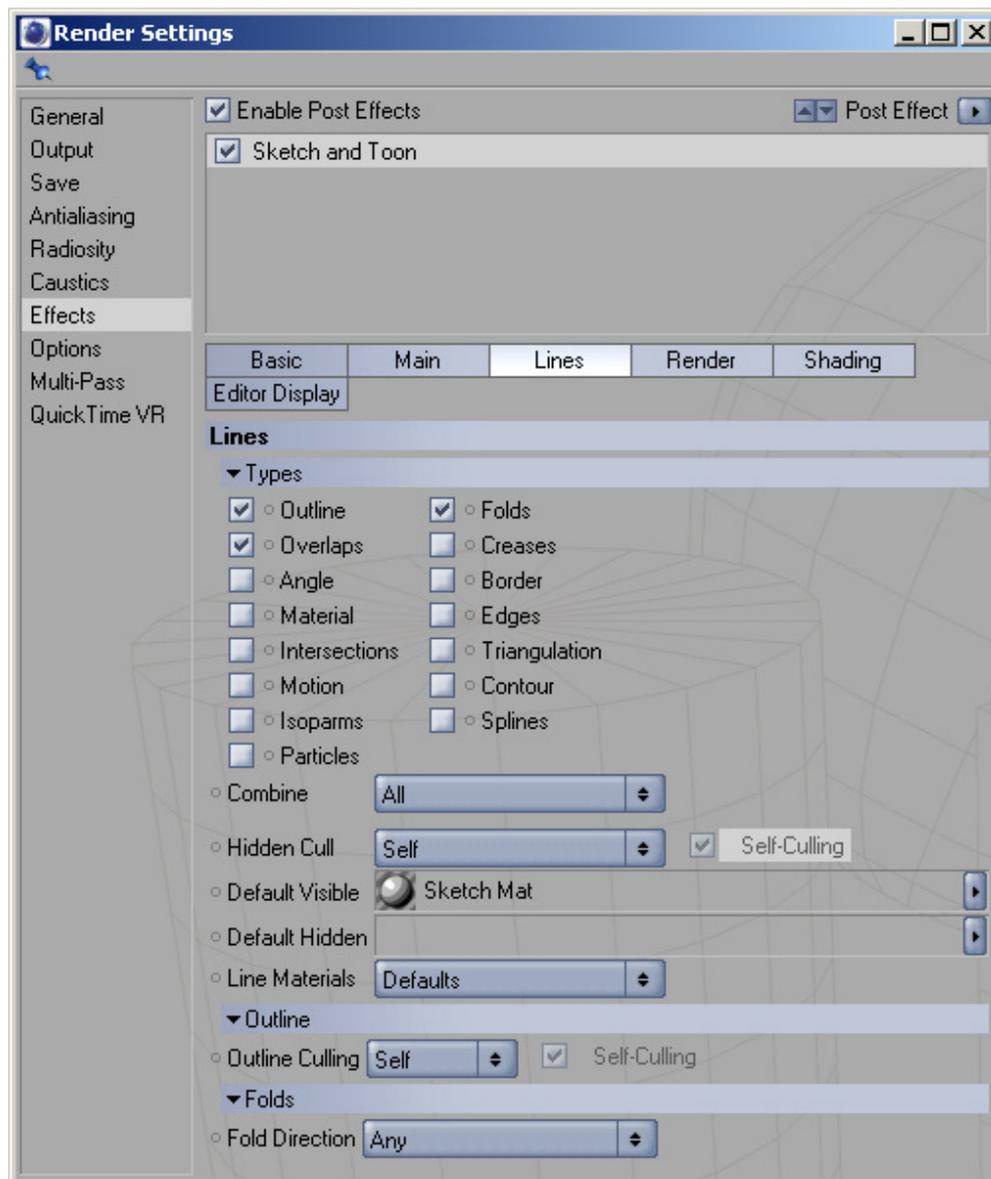


Abbildung 112: Einstellungen Silhouettes

<sup>327</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 30, abgerufen am 06.06.2005

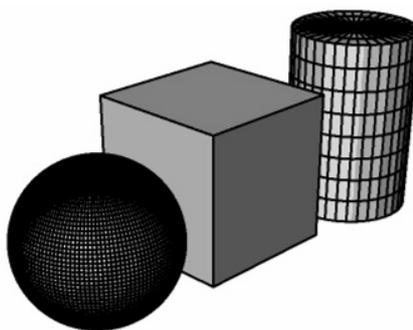
- Folds

Eine Falte ist die Polygonkante zwischen einem Vorder- und einem Rückseiten-Polygon. Die Einstellungsmöglichkeit hier ist die Faltenrichtung (siehe Abbildung 112). Diese kann von vorne nach hinten oder in die umkehrte Richtung definiert werden.<sup>328</sup>

- Overlaps

Überlappung ist das Gegenteil von Umriss, also Linien die das PolyMesh überlappen. Hier gibt es keine weiteren Parameter.<sup>329</sup>

Die nachfolgend beschriebenen Linientypen Creases, Border und Edges sind in Abbildung 113 zu sehen.



**Abbildung 113: Creases, Border und Edges einfacher geometrischer Modelle**

- Creases

Creases sind Phong-Kanten, die noch von einem Glätten-Tag (wie beispielsweise eine Kugel) geglättet werden. Durch die Manipulation dieser Winkeleinstellung können Phong-Kanten in flachen Mesh-Bereichen verhindert werden.<sup>330</sup>

- Border

Eine Grenze ist jede Kante, an die nur ein Polygon angrenzt.<sup>331</sup>

<sup>328</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 29, abgerufen am 06.06.2005

<sup>329</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 29, abgerufen am 06.06.2005

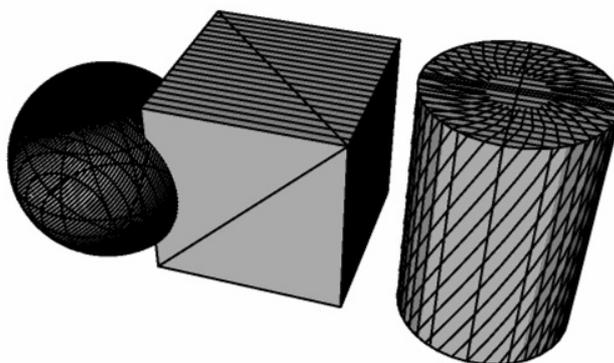
<sup>330</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 31, abgerufen am 06.06.2005

<sup>331</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 32, abgerufen am 06.06.2005

- Edges

Ist dieser Punkt aktiviert, so werden alle Polygon-Kanten als Linien gerendert. Die Definition von Kantenselektion um nur bestimmte Linien darzustellen folgt in einem späteren Teil in diesem Kapitel.<sup>332</sup>

Die nachfolgenden Linientypen Intersections, Motion, Isoparms, Traingulation und Contour wurden mit ihren Standardeinstellungen für das gerenderte Bild in Abbildung 114 verwendet.



**Abbildung 114: Intersections, Motion, Isoparms, Triangulation, Contour**

Die Einstellungsmöglichkeiten dieser Linien sind in Abbildung 115 zu sehen.

- Intersections

Intersections befinden sich an Stellen an denen sich Polygone gegenseitig überschneiden, wie in Abbildung 114 die von Kugel und Würfel. Hier kann definiert werden, welche Objekte miteinbezogen werden (Szene, Objekte, Unterobjekte, Hierarchie) und ob Selbstüberschneidung des Objektes berücksichtigt werden soll.<sup>333</sup>

- Motion

Diese Einstellungen produzieren Bewegungslinien, wenn sich ein Objekt oder eine Polygonselektion schneller als ein definierter Schwellwert bewegt (siehe Abbildung 115). Die

<sup>332</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 33, abgerufen am 06.06.2005

<sup>333</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 33 f., abgerufen am 06.06.2005

Number of Lines legt die Anzahl der Bewegungslinien fest. Der Modus Geschwindigkeit erzeugt Motion Lines bezogen auf die lineare Objektgeschwindigkeit, bei der Verwendung von Pfad werden auch die letzten Bilder in die Berechnung miteinbezogen. Der Schwellenwert definiert die Geschwindigkeit, ab der Bewegungslinien generiert werden. Die Aktivierung des Punktes Bias bewirkt eine Verlängerung der Linien ab einer bestimmten Geschwindigkeit. So erscheinen die Bewegungslinien nicht einfach, sondern wachsen langsam an.<sup>334</sup>

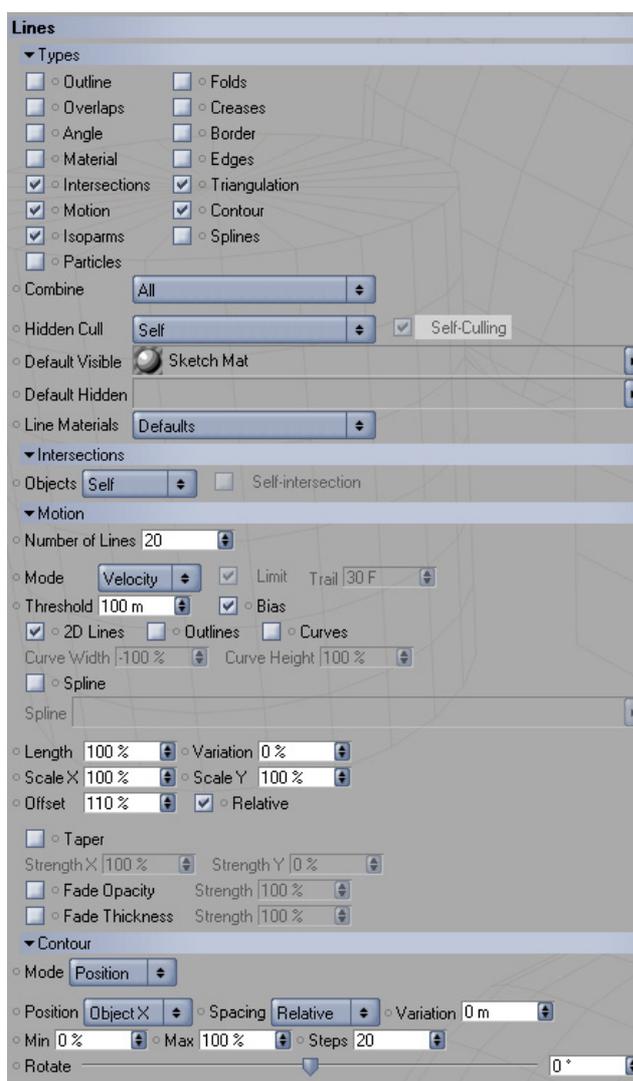


Abbildung 115: Parameter Intersections, Motion, Isoparms, Triangulation, Contour

<sup>334</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 35, abgerufen am 06.06.2005

Bei Aktivierung der 2D Lines werden Bewegungslinien vom Objekt weg gezeichnet, bei Outlines Formen entlang des Objektumrisses und bei Curves werden Kurven entlang der Bewegung erstellt. Durch Einfügen von Splines per Drag and Drop können diese als Bewegungslinien verwendet werden.

Die Motion Lines können im unteren Teil des Motion Bereiches noch bezüglich ihrer Größe (Length, ScaleX, ScaleY) verändert werden. Hier erfolgt auch die Festlegung des Abstandes der Bewegungslinien zu den Objekten (Offset). Der Parameter Taper ermöglicht eine Stauchung der Linien je nach Entfernung zum Objekt. Fade Opacity (Deckkraft) und Fade Thickness (Dicke) bewirken eine Verdünnung der Linienenden.<sup>335</sup>

- Isoparms

Bestimmte Objekte wie Grundobjekte und NURBS benutzen Isoparme, diese können hier durch Aktivierung als Linien gerendert werden.<sup>336</sup>

- Triangulation

Ist dieser Parameter aktiviert, so wird für jedes Viereck eine triangulierende Linie (diese teilt das Viereck in zwei Dreiecke) gerendert, siehe Abbildung 114.<sup>337</sup>

- Contour

Dieser Parameter weist ebenfalls Einstellungsmöglichkeiten am unteren Rand des Fensters auf, siehe Abbildung 115.

Konturlinien helfen, die Form eines Objekts anzuzeigen, hierfür gibt es drei verschiedene Modi: Winkel (Linien, die den gleichen Winkel von der Oberflächennormalen zu einer wählbaren Achse haben werden gerendert), Position (Linien gleichen Abstandes entlang einer Achse werden gerendert) und UVW (die Objekt-UV-Koordinaten werden verwendet um Linien in U- oder V-Richtung zu erstellen).<sup>338</sup>

<sup>335</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 35 f., abgerufen am 06.06.2005

<sup>336</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 39, abgerufen am 06.06.2005

<sup>337</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 34, abgerufen am 06.06.2005

<sup>338</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 37, abgerufen am 06.06.2005

Im Winkel-Modus kann die verwendete Achse, der Winkelbereich (0 bedeutet rechtwinklig) und die Anzahl der Konturlinien eingestellt werden.

Im Positions-Modus, der standardmäßig eingestellt ist, kann die Achse, entlang der die Konturen gerendert werden sollen, ausgewählt werden. Weitere Einstellungsmöglichkeiten betreffen den Abstand zwischen den Konturlinien (relativ oder absolut), die Anzahl der Linien und auch eine Variation des Abstandes kann hier eingestellt werden.

Der UV-Modus beinhaltet die Einstellung, ob die U- oder V-Richtung verwendet werden soll, wo die Linien beginnen (min) und wo sie enden (max) und wie viele Konturenlinien verwendet werden sollen.<sup>339</sup>

Weitere Linientypen sind Angle, Material, Particles und Splines, wobei nur Angle und Particles Zusatzeinstellungen aufweisen (siehe Abbildung 116).

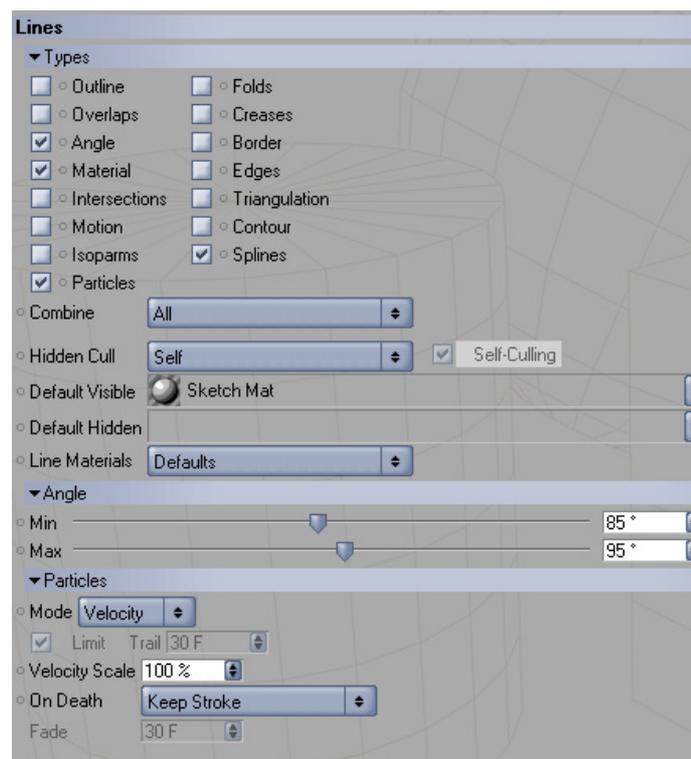
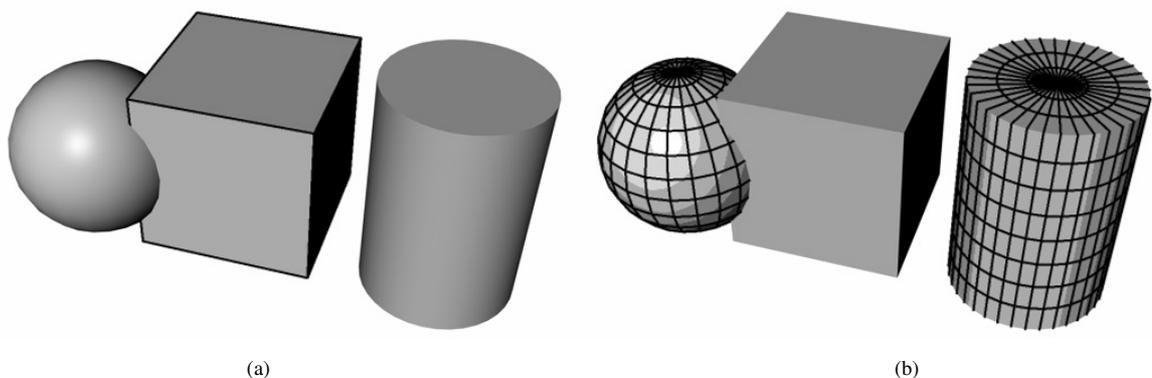


Abbildung 116: Parameter Angle, Material, Particles, Splines

<sup>339</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 37 f., abgerufen am 06.06.2005

- Angle

Ist dieser Punkt aktiviert, so wird jede Kante auf den Winkel zwischen den Polygonen überprüft. Liegt dieser zwischen Min und Max wird die Winkel-Linie gerendert.<sup>340</sup> Werden einfache geometrische Formen mit der Standardeinstellung gerendert (siehe Abbildung 116), so werden nur die Kanten des Würfels gezeichnet, wie in Abbildung 117 (a) zu sehen ist. Wird hier der Winkel auf Min 0° und Max 30° gesetzt, so passiert genau der gegenteilige Effekt: die Kanten der Kugel und des Zylinders (nur die innerhalb dieser Spanne) werden gerendert. Siehe Abbildung 117 (b).



**Abbildung 117: Veränderung des Winkelparameters**

- Material

Materiallinien sind Polygonkanten von Materialien, die auf eine Polygon-Selektion beschränkt sind oder die Kanten um Alpha-Maps. Einstellungen für Materiallinien befinden sich im Sketch-Style-Tag, auf den im Laufe dieser Diplomarbeit noch eingegangen wird.<sup>341</sup>

- Particles

Partikellinien sind Linien, die für jedes Partikel des Cinema 4D Standard-Partikelsystems bzw. von Thinking Particles gerendert werden. Die Einstellungsmöglichkeiten (siehe Abbildung 116) beziehen sich hier auf die Länge der Partikel (Geschwindigkeitsmodus –

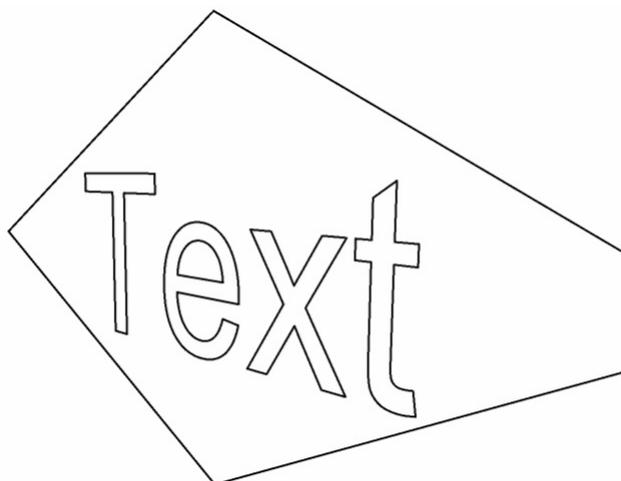
<sup>340</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 32, abgerufen am 06.06.2005

<sup>341</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 33, abgerufen am 06.06.2005

Länge hängt von der Geschwindigkeit ab und die erzeugte Linie ist gerade; Pfadmodus – bezieht sich auf den schon zurückgelegten Weg der Partikel von einer variablen Anzahl von Bildern und erzeugt kurvige Linien). Auch kann hier entschieden werden, ob die Partikellinien ausgeblendet werden sollen, wenn die Lebensdauer der Partikel abgelaufen ist (on death) oder ob sie innerhalb einer bestimmten Anzahl von Bildern langsam auslaufen sollen.<sup>342</sup>

- Splines

Alle Splines können hier als Linien gerendert werden, Einschränkungen hierbei gibt es jedoch bei der Verwendung von übergeordneten Deformern oder Generatoren wie Arrays, Instanzen oder Symmetrie.<sup>343</sup> Ein Beispiel hierfür (Text-Splines und Raute) ist in Abbildung 118 zu sehen.



**Abbildung 118: Splines als Linien gerendert**

Abgesehen von den Linientypen gibt es auch noch weitere Einstellungsmöglichkeiten im Lines-Tab (siehe Abbildung 119).

---

<sup>342</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 40 f., abgerufen am 06.06.2005

<sup>343</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 39, abgerufen am 06.06.2005

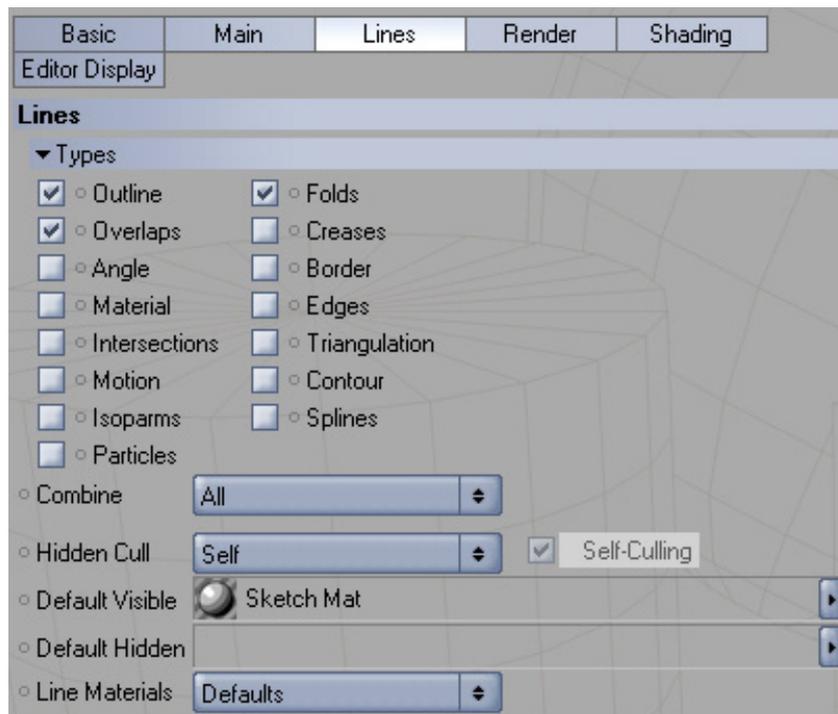


Abbildung 119: Parameter Lines-Tag

- Combine

Hier können die verschiedenen Linien-Typen kombiniert, also auf einer Ebene verschmolzen, werden. Wird die Einstellung None verwendet, so kann es zu unerwünschten Effekten an sich überlappenden Linien kommen. Dies wird durch die Einstellung All (standardmäßig) vermieden, da alle Linientypen, die dasselbe Sketch-Material verwenden, auf einer Ebene kombiniert werden. Bei Exclusive werden alle Teile der Linientypen, abgesehen von den sich überlappenden zusammengefügt und bei Inclusive passiert das Gegenteil.<sup>344</sup>

- Cull/Culling

Mit Hilfe von Hidden Cull (Selbst) können verdeckte Linien ausgeblendet werden (standardmäßig). Wie auch bei Aktivierung der Outline kann sich Culling (siehe S. 154) auf Unterobjekte, Hierarchie, Szene, andere oder das Objekt selbst beziehen.<sup>345</sup>

<sup>344</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 19, abgerufen am 06.06.2005

<sup>345</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 19, abgerufen am 06.06.2005

- Default Visible/Hidden

Diese beiden Felder erlauben die Bestimmung des Sketch-Materials das für sichtbare und unsichtbare Linien verwendet wird (wenn kein Material angegeben wird werden keine Linien gerendert). Durch die Angabe bei Line Materials kann bestimmt werden, welche Linien lokal noch verändert werden können (Hidden, Visible, Both) oder ob die Angabe bei Default verwendet werden soll.<sup>346</sup>

In Abbildung 120 ist zu sehen, dass bei einer Veränderung von Default bei den aktivierten Linientypen ein Visible-, ein Hidden- oder beide Felder erscheinen, in die das gewünschte Sketch-Material gezogen werden kann z. B. mit veränderter Farbe wie in Abbildung 121 in der für Outline und Folds ein rotes Material hinzugefügt wurde, für die Creases hingegen wurde das Default-Material (schwarz für Visible und rot für Hidden) beibehalten.

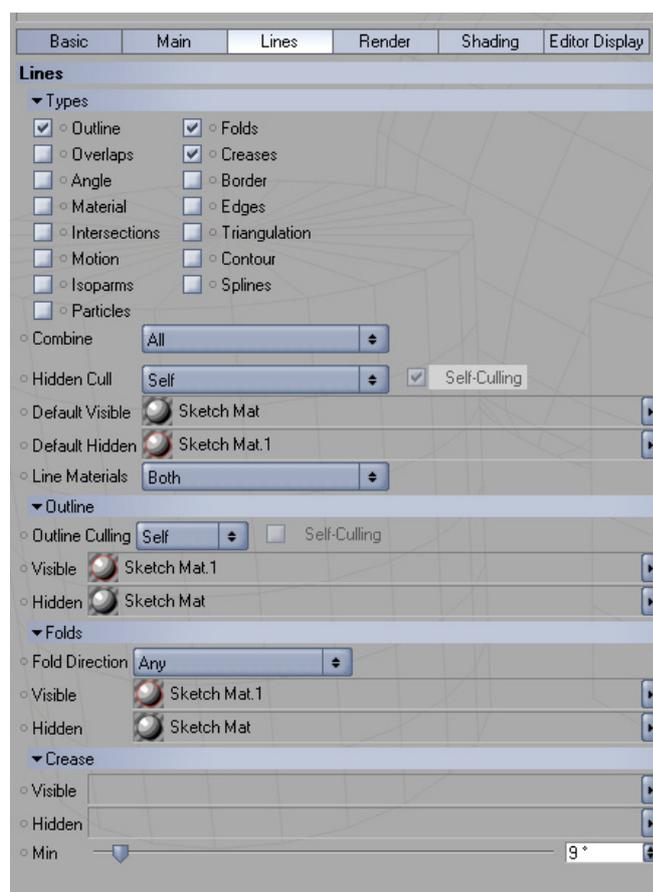


Abbildung 120: Einstellung Line Materials Both

<sup>346</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 20, abgerufen am 06.06.2005

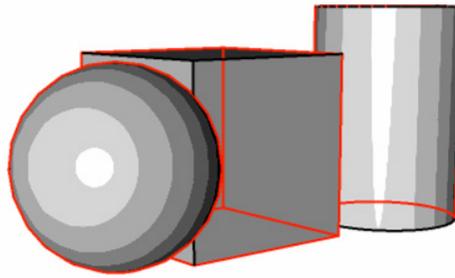


Abbildung 121: Linientypen mit veränderter Linienfarbe

## Render

Der nächste Menüpunkt im Fenster des Post-Effekts Sketch and Toon ist der Render-Tab (siehe Abbildung 122).

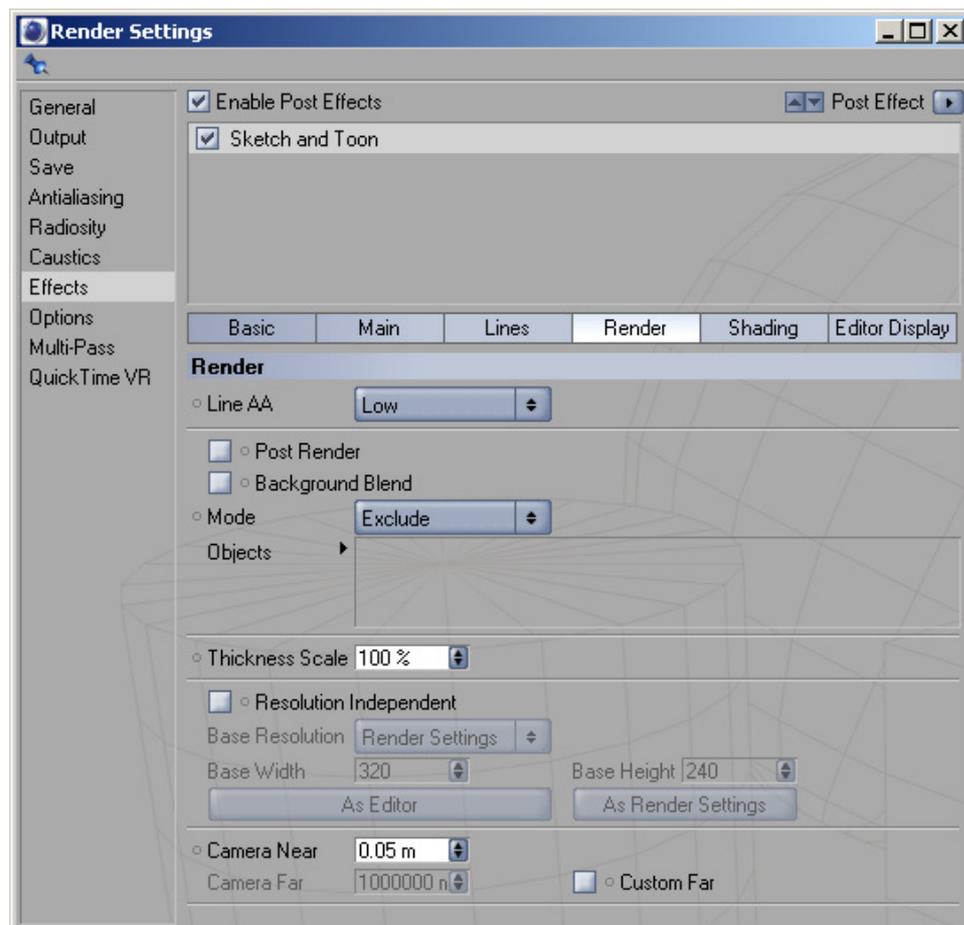


Abbildung 122: Parameter Render Tag

- Line AA

Dieser Parameter bezieht sich auf die Entfernung von treppenförmigen Effekten an Kanten (Antialiasing) durch die Erzeugung von weichen Übergängen. Hier wird die Stärke des Linien-Antialiasing definiert, wobei höhere Werte für weichere Übergänge sorgen. Zu beachten ist, dass Antialiasing in den Rendervoreinstellungen nicht auf None gesetzt sein darf.<sup>347</sup>

- Post Render

Durch das Aktivieren von Post Render wird Sketch and Toon nach allen anderen Post-Effekten gerendert und es erscheint das zusätzliche Tab Multi Pass (siehe Abbildung 123), dessen Einstellungen Sketch-and-Toon-Effekte auf separaten Ebenen rendern lassen..<sup>348</sup>

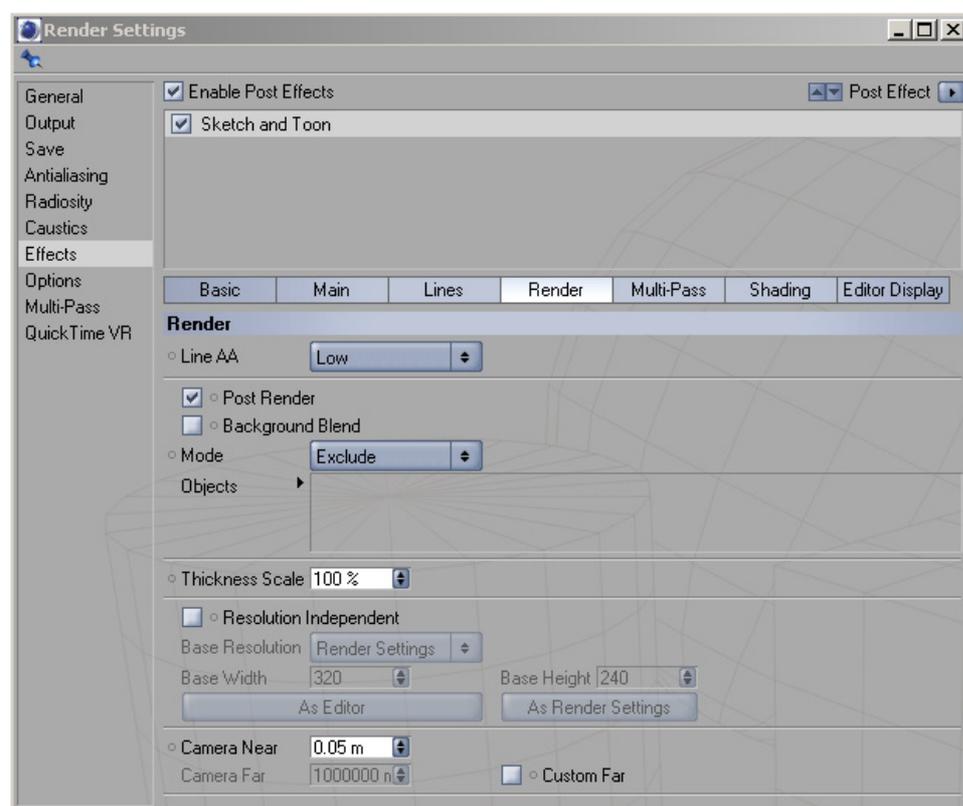


Abbildung 123: Parameter Render-Tab

<sup>347</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 21, abgerufen am 06.06.2005

<sup>348</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 24, abgerufen am 06.06.2005

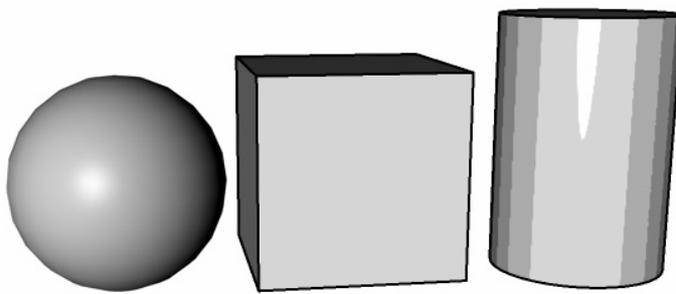
- Background Blend

Ist diese Option aktiviert, so werden die Sketch and Toon Linien mit allem was sich hinter ihnen befindet ineinander geblendet.<sup>349</sup>

- Mode

In diesem Punkt kann genau definiert werden, welche Objekte von Sketch and Toon gerendert werden sollen (Aus-/Einschließen per Drag and Drop). Befinden sich hier keine Objekte wird Sketch and Toon für alle Objekte angewendet.<sup>350</sup>

In Abbildung 124 wurde die Kugel vom Sketch and Toon Post-Effekt ausgeschlossen.



**Abbildung 124: Sketch and Toon für einzelne Objekte**

- Thickness Scale

Hier kann die globale Liniendicke verändert werden. Ein Wert abweichend von 100 % bewirkt dünnere (kleiner als 100) oder dickere (größer als 100) Linien.

- Resolution Independent

Ist dieser Parameter aktiviert, so bleibt die Qualität der Linien von der Auflösung unabhängig. Hierzu wird die Grundauflösung von den Render Settings übernommen, oder sie kann durch die Aktivierung von Custom eingegeben werden.<sup>351</sup>

<sup>349</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 22, abgerufen am 06.06.2005

<sup>350</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 23, abgerufen am 06.06.2005

<sup>351</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 23, abgerufen am 06.06.2005

- Camera near/far

Alle Objekte, die näher zur Kamera sind, als in Camera near definiert, werden von Sketch and Toon ignoriert. Analog dazu auch alle Objekte, die weiter als in Camera far angegeben entfernt sind.<sup>352</sup>

## Shading

Die Parameter des Shading-Tabs sind in Abbildung 125 zu sehen.

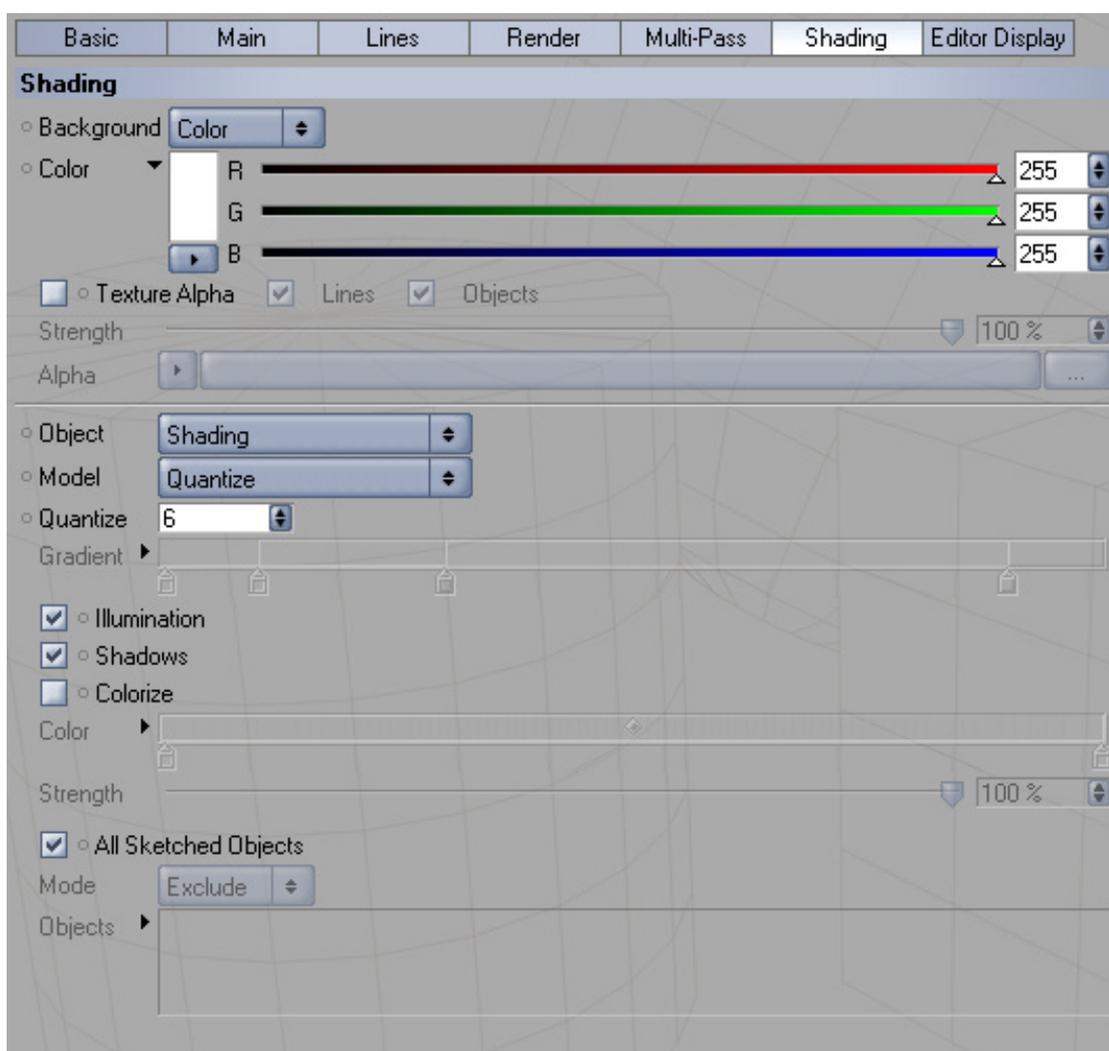


Abbildung 125: Parameter Shading

<sup>352</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 24, abgerufen am 06.06.2005

Im Menüpunkt Background kann die Hintergrundfarbe ausgeschaltet oder eine Farbe bzw. Textur für den Hintergrund ausgewählt werden (siehe Abbildung 126 (a)). Die Option Textur Alpha führt zu einem Effekt, als ob die Linien oder das Shading vom Hintergrund absorbiert werden.<sup>353</sup> Ein Beispiel hierfür, mit der 50 % Alpha ist in Abbildung 126 (b) zu sehen, wobei hier zusätzlich der Hintergrund blau eingefärbt wurde.

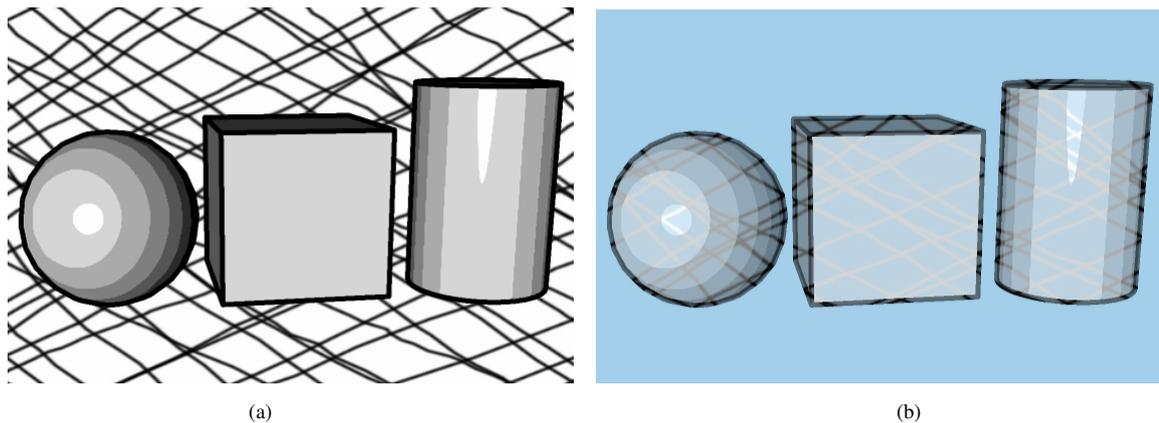
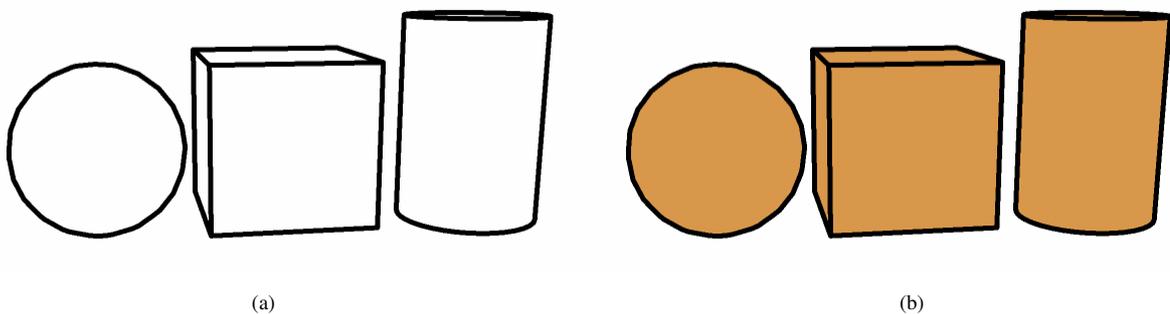


Abbildung 126: Hintergrund- und Shader-Textur

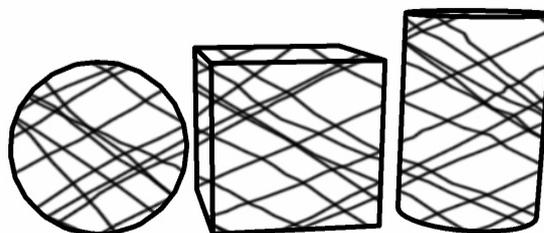
- Object

Dieser Parameter ermöglicht die Modifizierung des Shadings der Objekte. So kann die Oberfläche der Objekte genauso wie der Hintergrund (Abbildung 127 (a)), in einer Farbe (Abbildung 127 (b)) oder mit einer Textur (Abbildung 127 (c)) geschadet werden.<sup>354</sup>



<sup>353</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 25, abgerufen am 06.06.2005

<sup>354</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 26, abgerufen am 06.06.2005



(c)

Abbildung 127: Objekt-Shading Optionen

Die Standardeinstellung Shading des Menüpunktes Objekt erlaubt eine Reihe von weiteren Einstellungen (siehe Abbildung 125). Der Parameter Quantize bewirkt eine variable Anzahl von Farbstufen, abhängig von der Beleuchtung. Die Standardeinstellung Quantize 6 ist beispielsweise in Abbildung 126 (a) zu sehen. Die zweite Einstellungsmöglichkeit gradient (Verlauf) wurde in Abbildung 128 angewendet. Beide Modi können hinsichtlich ihrer Farbe und den Licht- und Schattenverhältnissen verändert werden.<sup>355</sup>

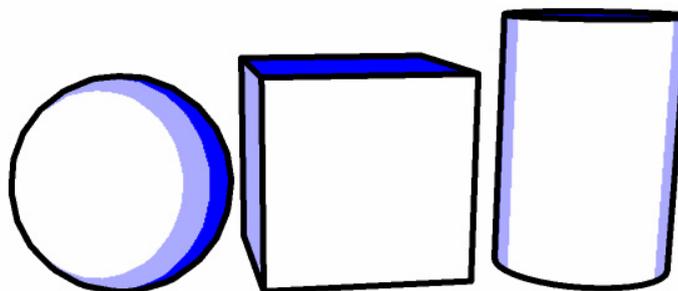


Abbildung 128: Gradient-Shading

Durch Deaktivieren des Menüpunktes All Sketched Objects, können wieder Objekte ein- bzw. ausgeschlossen werden.<sup>356</sup>

Das letzte Tab im Post-Effekt Sketch and Toon ist die Editor Ansicht (siehe Abbildung 129).

<sup>355</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 26, abgerufen am 06.06.2005

<sup>356</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 26, abgerufen am 06.06.2005

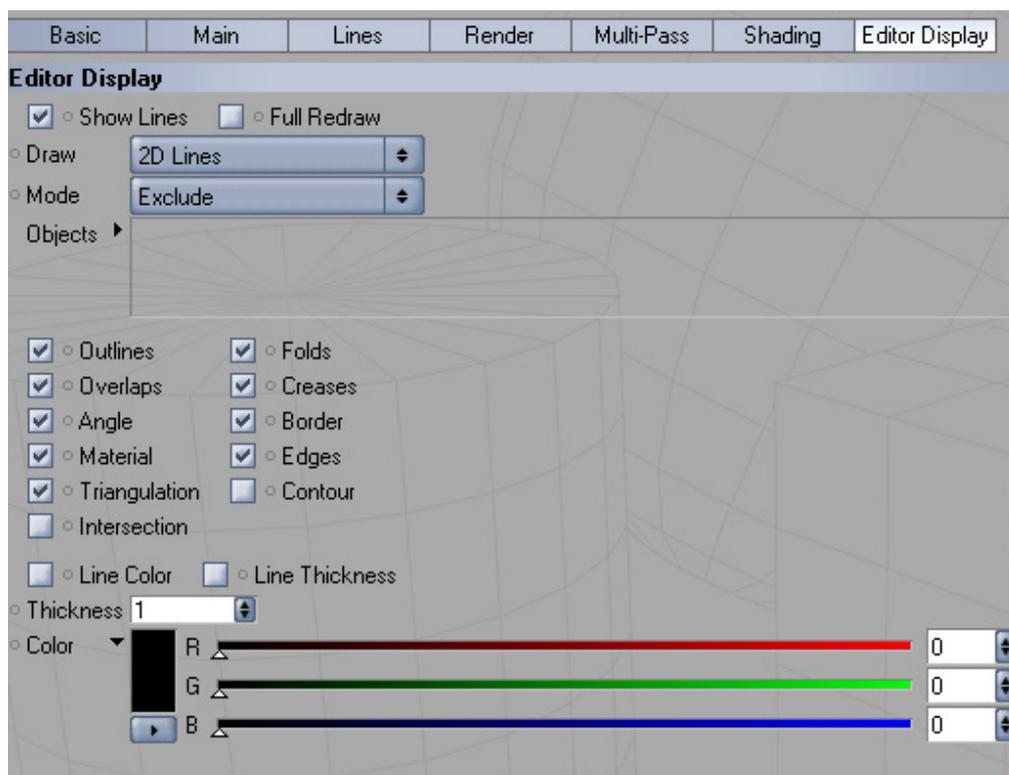


Abbildung 129: Parameter Editor Display-Tab

### Editor Display

In diesem Menüpunkt kann die Anzeige der Linien im Editor eingestellt werden. Durch die Aktivierung von Full Redraw erfolgt eine Aktualisierung der Linien in Echtzeit. Weiters können die Linientypen, die angezeigt werden sollen, ausgewählt, ihre Farbe und Dicke modifiziert und Objekte ein- oder ausgeschlossen werden.<sup>357</sup>

#### 11.3.2.2. Sketch-Material

Wie bereits erwähnt, wird das erste Sketch and Toon Material automatisch erstellt, wenn der Post-Effekt eingefügt wird. Alle Objekte der Szene tragen dann dieses Material. Sketch and Toon Linien dürfen aber, wie bereits in Punkt 10.3.2.1. gezeigt, unterschiedliche Sketch-Materialien besitzen. Diese können im Material Manager durch Datei > Sketch Material

<sup>357</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 27 f., abgerufen am 06.06.2005

erstellt werden.<sup>358</sup> Durch Doppelklicken auf das Material-Icon im Material Manager können die Parameter modifiziert werden (siehe Abbildung 130).

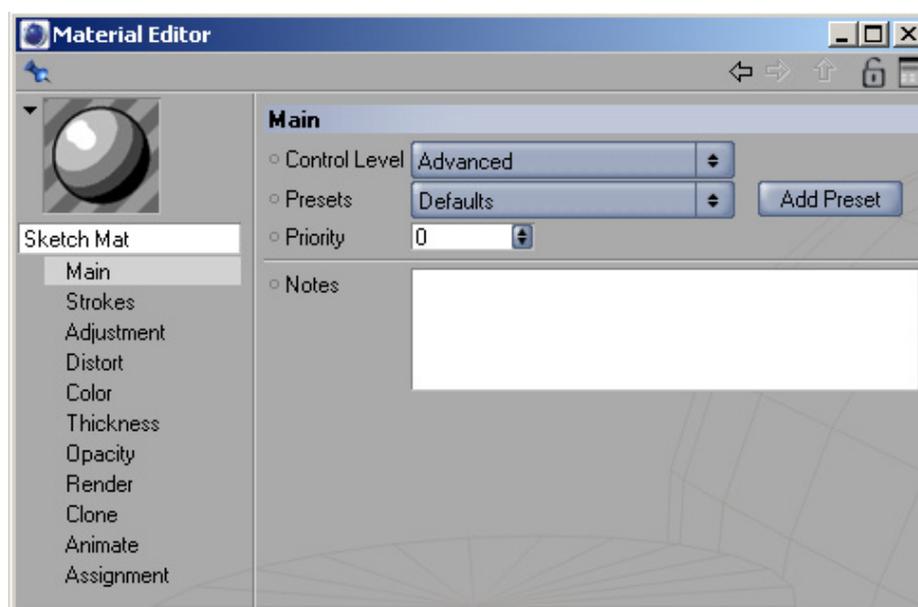


Abbildung 130: Parameter Main – Material Editor

## Main

Im Tab Allgemein kann wie in den Post-Effekt-Einstellungen der Kontrolllevel, der global gilt, festgelegt werden. Hier kann auch ein Material aus der Bibliothek (Presets) eingefügt werden (siehe Abbildung 131).<sup>359</sup>



Abbildung 131: Preset Brush (Chinese Fade)

<sup>358</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 45, abgerufen am 06.06.2005

<sup>359</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 47, abgerufen am 06.06.2005

## Strokes

Striche erhöhen zwar die Renderzeit gegenüber normalen Linien und es können auch Probleme bei Animationen auftreten. Der Vorteil ist jedoch, dass ihnen Eigenschaften (wie beispielsweise ein Farbverlauf) über die ganze Strichlänge zugewiesen werden können.

Sind die Striche aktiviert (Enable), so werden jedoch nur Liniensegmente gerendert, die durch Pfad schließen verbunden werden müssen.<sup>360</sup>

Das Strokes-Tab enthält viele Parameter (siehe Abbildung 132), auf die Wichtigsten wird im Folgenden kurz eingegangen.

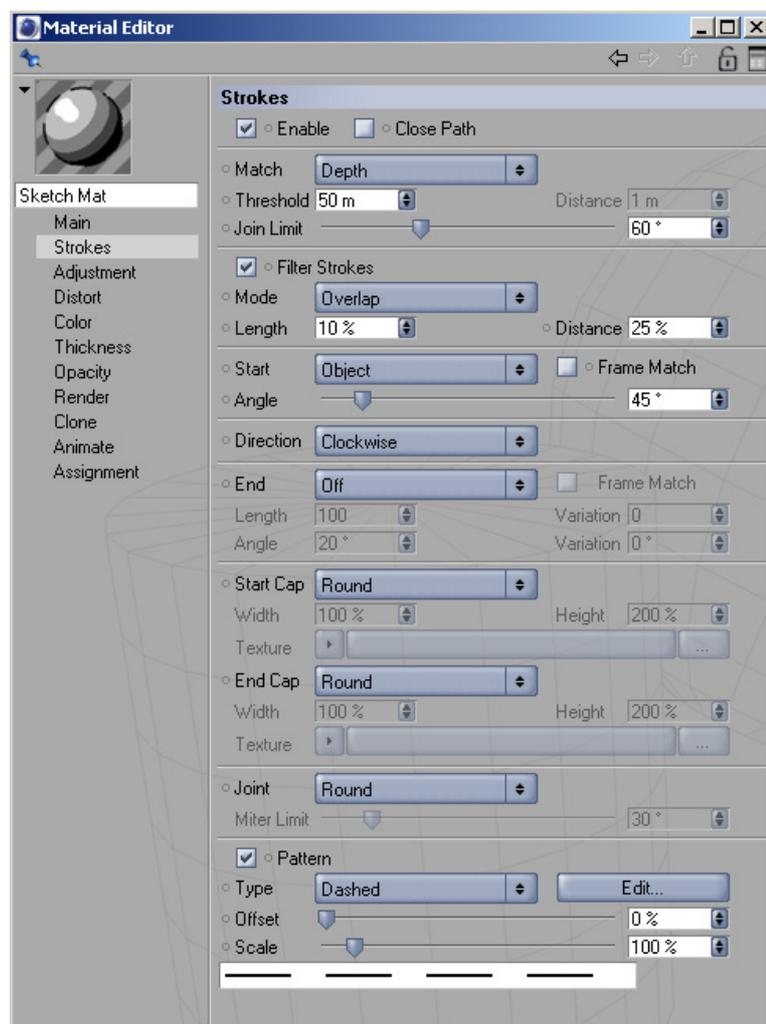


Abbildung 132: Parameter Strokes-Tab

<sup>360</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 47, abgerufen am 06.06.2005

- Match, Threshold, Join Limit

Die Einstellung Flat bei Anpassen bedeutet, dass die Linien so behandelt werden, als wären sie zweidimensional. Bei Next werden die Liniensegmente verbunden, die am nächsten zur Kamera stehen. Mit dem Depth-Modus kann eine maximale Tiefe angegeben werden, bis zu der Liniensegmente miteinander verbunden werden. Bei der Einstellung World werden die Welt-Koordinaten zur Ermittlung der Entfernung herangezogen.

Join Limit (Verbindungsgrenze) definiert den größtmöglichen Winkel, den benachbarte Liniensegmente eines Striches zueinander haben dürfen, damit sie verbunden werden.<sup>361</sup>

- Filter Strokes, Mode, Length

Bei der Generierung von Strichen werden oft auch kleine, Linien miterzeugt, die das Bild stören (Artefakte). Diese können hier gefiltert werden, wobei der wirksamste Modus Overlap ist, der jedoch auch der langsamste ist.<sup>362</sup>

- Start, Angle

Mit Hilfe dieser Parameter kann eine variable Startposition für Striche festgelegt werden. Dies kann durch Festlegen eines Startwinkels oder der Auswahl eines Modus, wie z. B. Zufall, geschehen. Der Parameter Frame Match bewirkt bei animierten Bildern das Anpassen der Liniensegmentverbindungen an das vorherige Bild, um so springende Linien und zittrige Effekte zu vermeiden.<sup>363</sup>

- End Length, Angle

Analog zum vorherigen Punkt kann hier bestimmt werden, wann ein Strich enden soll.

- Start/End Cap

In diesen Bereichen kann das Aussehen von Start und Ende einer Linie festgelegt, also eine Art Kappe angesetzt werden (siehe Abbildung 133).<sup>364</sup>

---

<sup>361</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 49, abgerufen am 06.06.2005

<sup>362</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 50, abgerufen am 06.06.2005

<sup>363</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 51, abgerufen am 06.06.2005

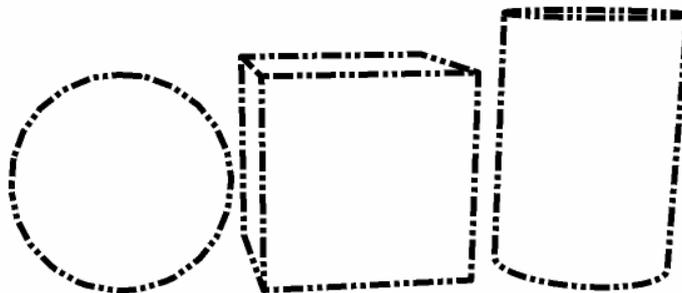
<sup>364</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 52, abgerufen am 06.06.2005



**Abbildung 133: Start-/bzw. Endkappen**

Entnommen aus Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html),  
Sketch and Toon Handbuch S. 52, abgerufen am 06.06.2005

- **Joint**  
Dieser Parameter legt fest, ob ein Knick in der Linie eckig, rund oder abgerundet gerendert werden soll.<sup>365</sup>
- **Pattern**  
In diesem Bereich des Stroke-Tabs kann der Linie ein Muster zugewiesen werden, in Abbildung 134 wurde das Muster Phantom benutzt.<sup>366</sup>



**Abbildung 134: Linienmuster Phantom**

## Adjustment

Wie in Abbildung 135 zu sehen, ist das Anpassen-Tab in weitere Unterbereiche, die mit einem blauen Balken hinterlegt sind, gegliedert.

<sup>365</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 53, abgerufen am 06.06.2005

<sup>366</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 53, abgerufen am 06.06.2005

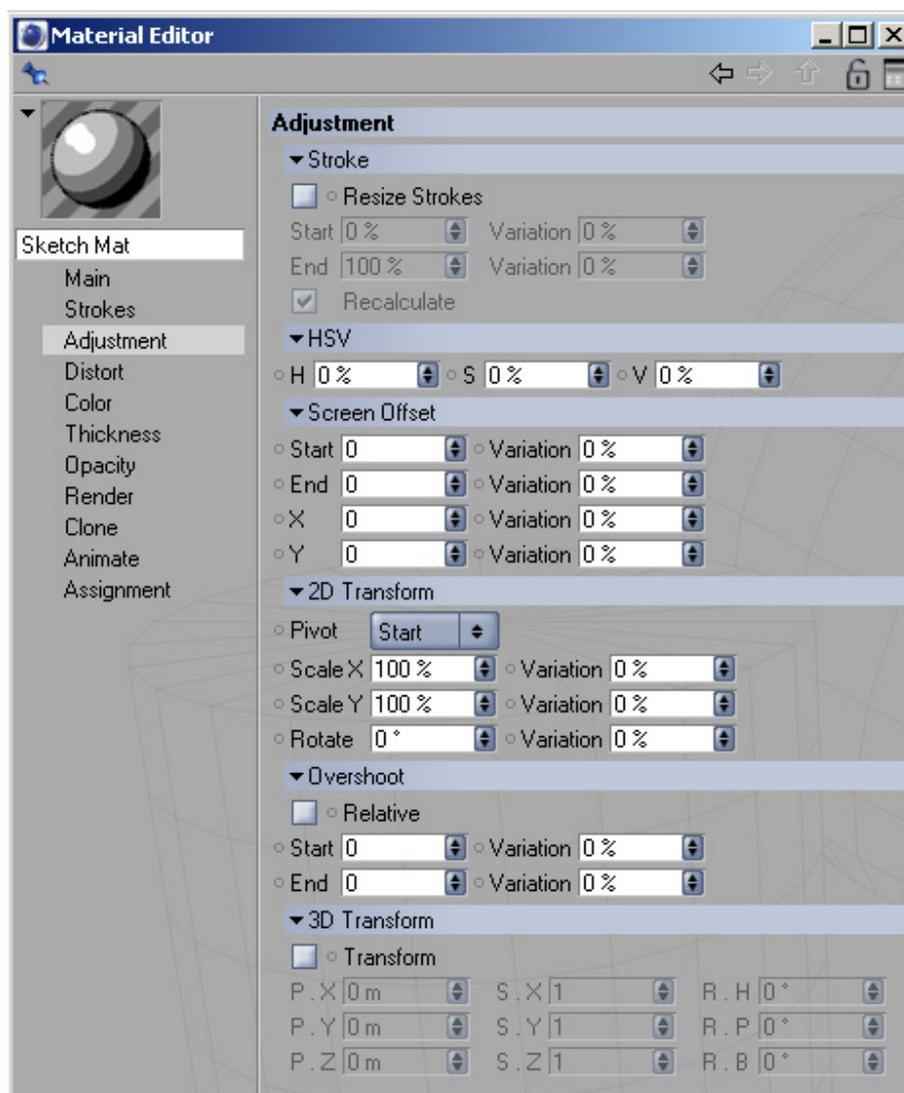


Abbildung 135: Parameter Adjustment-Tab

- Stroke

Dieser Parameter erlaubt die Skalierung der Striche zwischen Anfangs- und Endpunkt. Durch die Option neu berechnen werden die Linieneigenschaften wie Farbe und Dicke daran angepasst.<sup>367</sup>

<sup>367</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 54, abgerufen am 06.06.2005

- HSV (Hue, Saturation, Value)

Von 0 verschiedene Werte bewirken hier eine Veränderung von Farbton, Sättigung und Helligkeit.<sup>368</sup> In Abbildung 136 wurden die Werte 30 (H), 40 (S) und 50 (V) verwendet.

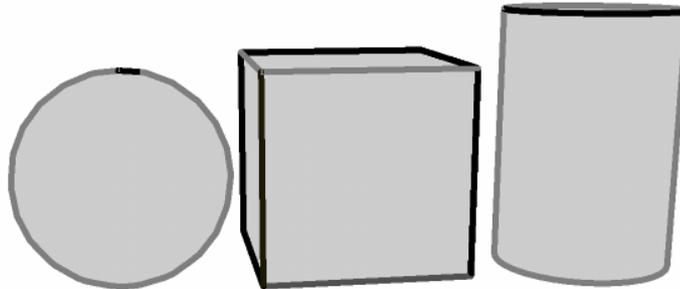


Abbildung 136: Modifizierte HSV-Werte der Linien

- Screen Offset

Linien können hier in Bezug auf ihre Normalen (Start, End) oder um variable Pixelwerte (X, Y) verschoben werden, wie auch in Abbildung 137 mit dem Wert End: 15.<sup>369</sup>

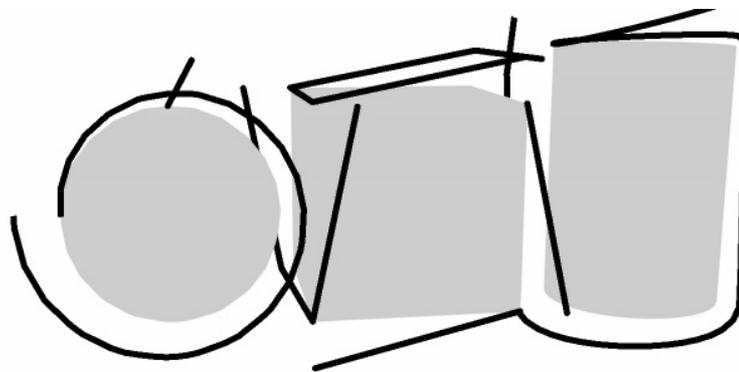


Abbildung 137: Screen Offset

- 2D Transform

In diesem Bereich können Linien entlang der Bildschirmachsen verschoben werden.<sup>370</sup>

<sup>368</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 54, abgerufen am 06.06.2005

<sup>369</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 53, abgerufen am 06.06.2005

<sup>370</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 55, abgerufen am 06.06.2005

- Overshoot

Diese Parameter ermöglichen ein Hinausgehen der Linien über ihren eigentlichen Start- oder Endpunkt.<sup>371</sup>

- 3D Transform

Mit Hilfe dieser Einstellungen können Position, Größe und/oder Winkel dreidimensional geändert werden.<sup>372</sup>

### Distort

Das Verzerrungs-Tab (siehe Abbildung 138) findet dann Einsatz, wenn es den Anschein machen soll, dass ein Bild hangezeichnet ist.

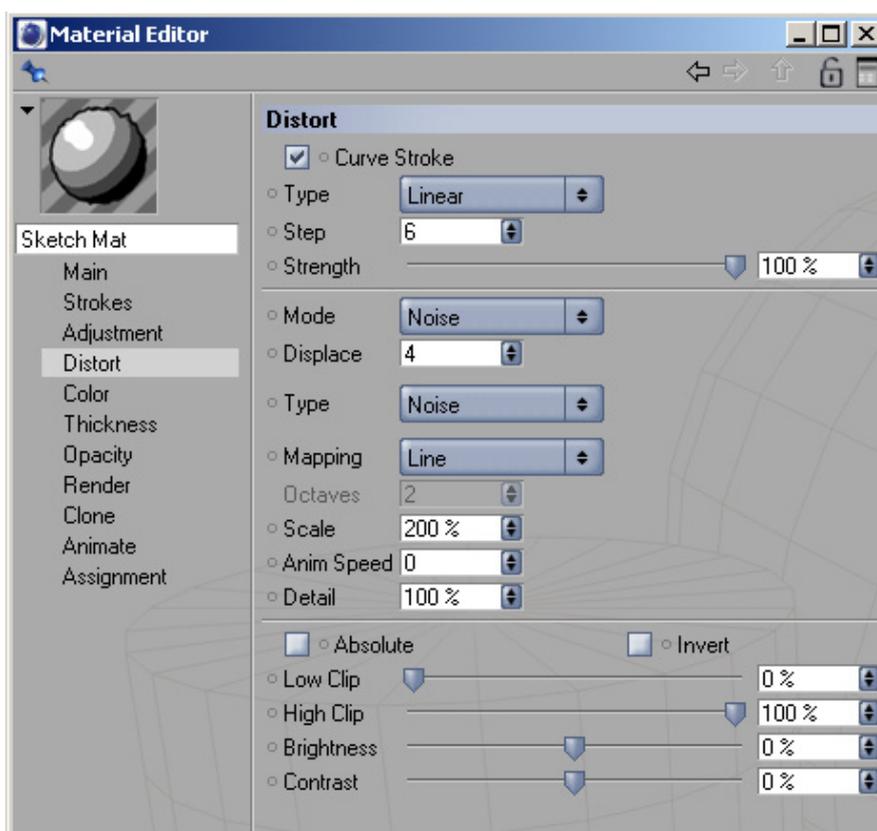


Abbildung 138: Parameter Distort-Tab

<sup>371</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 55, abgerufen am 06.06.2005

<sup>372</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 56, abgerufen am 06.06.2005

Ist die Option Curve Stroke aktiviert, so können die Striche verbogen werden. Das Feld Type gibt hierbei die Interpolationsart und der Strength-Slider die Stärke der Verzerrung an.

Die Modi Sinus, Noise (standardmäßig) und Spline erlauben es, Störungen auf die Linien rechnen zu lassen. Letzterer wird direkt im Distort-Tab gezeichnet und dann zur Verzerrung der Linien benutzt.<sup>373</sup>

Abbildung 139 (a) zeigt die Anwendung des Sinus- und (b) des Noise-Modus zur Verzerrung der Linien.

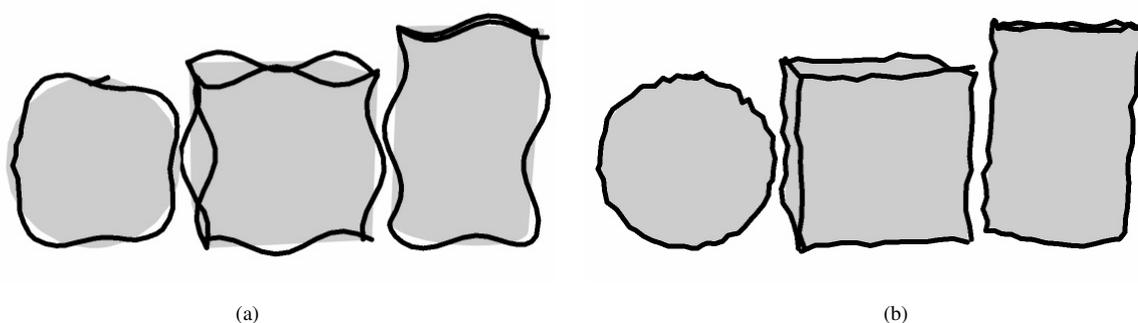


Abbildung 139: Verzerrung der Linien

### Color, Thickness, Opacity

Die Tabs Farbe, Dicke und Deckkraft sind nach demselben Prinzip aufgebaut: im oberen Teil (siehe Abbildung 140) wird die generelle Farbe, Dicke oder Deckkraft eingestellt, Veränderungen erfolgen dann unter der Verwendung der Modifikatoren, die sich im unteren Bereich des Fensters befinden.<sup>374</sup>

Die Option Link to Thickness gibt es nur im Deckkraft-Tab. Diese wird dann aktiviert, wenn im Dicke- und im Deckkraft-Tab dieselben Modifikatoren verwendet werden, um Zeit zu sparen.<sup>375</sup>

<sup>373</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 57, abgerufen am 06.06.2005

<sup>374</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 58, abgerufen am 06.06.2005

<sup>375</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 59, abgerufen am 06.06.2005

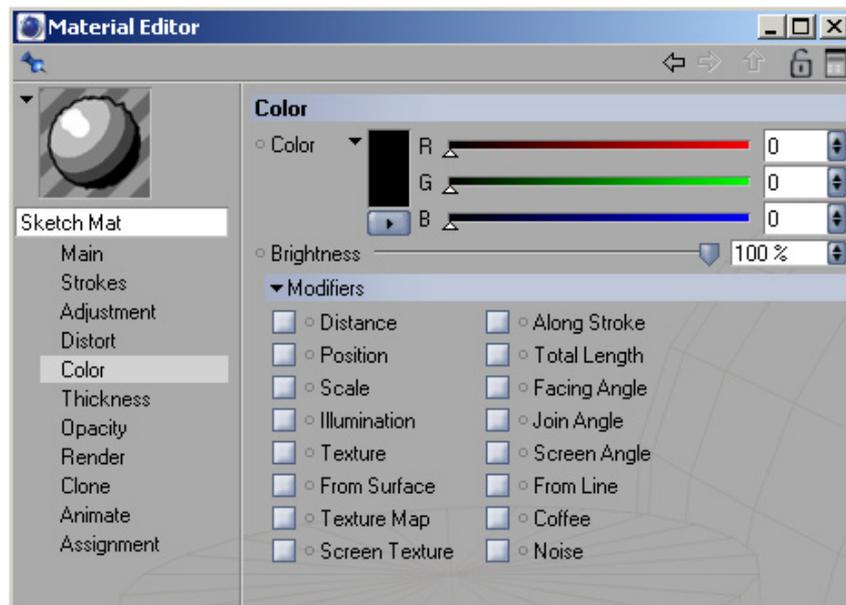


Abbildung 140: Parameter Color-Tab

Durch Aktivieren der einzelnen Modifikatoren erscheinen im unteren Teil des Fensters Einstellungen wie beispielsweise die Stärke des Effekts.<sup>376</sup>

- Modifier Distance

Dieser Modifikator verändert Farbe, Dicke und/oder Deckkraft der Linien, abhängig von der Entfernung zur Kamera.<sup>377</sup> Das Ergebnis der Anwendung dieses Modifikators auf alle drei Bereiche ist in Abbildung 141 zu sehen.

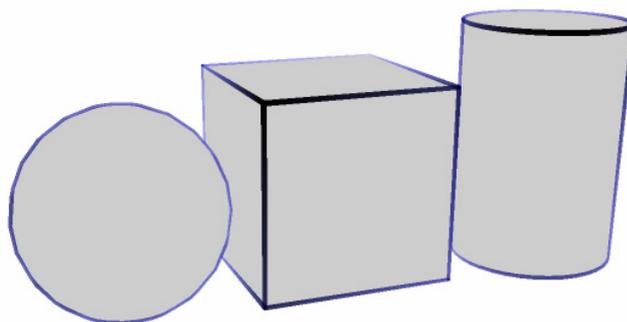
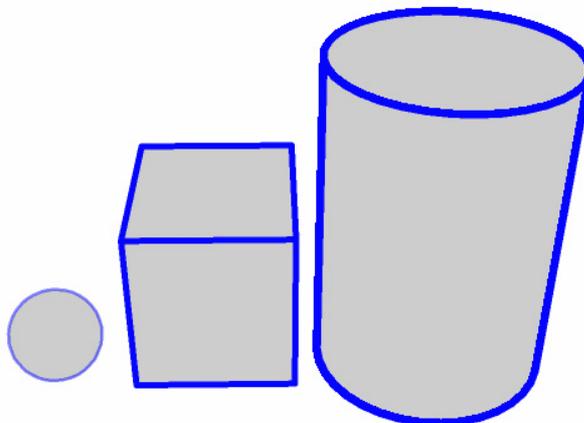


Abbildung 141: Distance Modifier – Color, Thickness, Opacity

<sup>376</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 78, abgerufen am 06.06.2005

<sup>377</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 59, abgerufen am 06.06.2005

- **Modifier Along Stroke**  
Dieser Modifikator verändert Farbe, Dicke und/oder Deckkraft anhand der Position entlang des Striches.<sup>378</sup>
- **Modifier Position**  
Hier hängen Farbe, Dicke und/oder Deckkraft von der Position des Objektes zur X-, Y- oder Z-Achse der Kamera ab.<sup>379</sup>
- **Modifier Total Length**  
Der Gesamtlänge-Modifikator verändert Farbe, Dicke und/oder Deckkraft bezogen auf die Gesamtlänge des Striches bzw. Liniensegments.<sup>380</sup>
- **Modifier Scale**  
Dieser Modifikator arbeitet mit dem Größenfaktor des Objektes, nicht mit der Größe.<sup>381</sup>  
Ein Beispiel für die Verwendung in allen drei Tabs ist in Abbildung 142 zu sehen.



**Abbildung 142: Scale Modifier – Color, Thickness, Opacity**

<sup>378</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 60, abgerufen am 06.06.2005

<sup>379</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 60, abgerufen am 06.06.2005

<sup>380</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 61, abgerufen am 06.06.2005

<sup>381</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 61, abgerufen am 06.06.2005

- Modifier Facing Angle

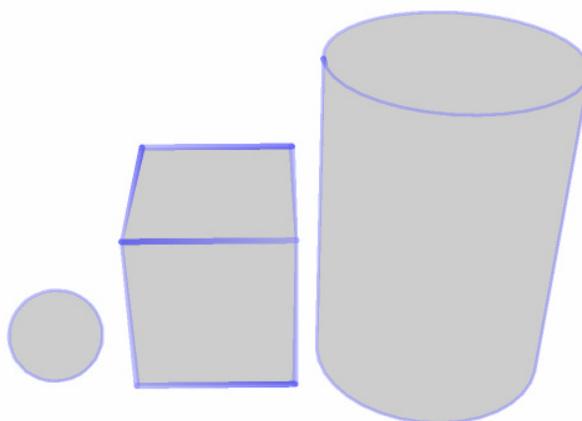
Der Sichtwinkel-Modifikator beeinflusst die Farbe, Dicke und/oder Deckkraft aufgrund der Richtung, in der die Linien zur Kamera stehen.<sup>382</sup>

- Modifier Illumination

Dieser Modifikator modifiziert die drei Tabs anhand der Beleuchtung, die auf die Linie trifft.<sup>383</sup>

- Modifier Join Angle

Aufgrund der Winkel der Striche zueinander erfolgt hier eine Veränderung der einzelnen Parameter.<sup>384</sup> Siehe Abbildung 143.



**Abbildung 143: Join Angle Modifier – Color, Thickness, Opacity**

- Modifier Texture

Dieser Modifikator erlaubt die Erstellung zahlloser Pinsel Effekte, da jede beliebige Textur geladen und noch sehr ausführlich bezüglich Abstand, Rundung, Größe, etc. bearbeitet werden kann.<sup>385</sup>

<sup>382</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 62, abgerufen am 06.06.2005

<sup>383</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 63, abgerufen am 06.06.2005

<sup>384</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 64, abgerufen am 06.06.2005

<sup>385</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 65 f., abgerufen am 06.06.2005

- **Modifier Screen Angle**  
Der Bildschirmwinkel-Modifikator benutzt die Richtung der Linie auf dem Bildschirm, um Farbe, Dicke und/oder Deckkraft zu modifizieren.<sup>386</sup>
- **Modifier From Surface**  
Dieser Modifikator ändert die Linienfarbe in Bezug auf die Oberflächenfarbe.<sup>387</sup>
- **Modifier Vertex Map**  
Dicke und Deckkraft werden hier anhand einer Vertex-Map (Punktgewichtung) modifiziert.<sup>388</sup>
- **Modifier From Line**  
Modifizierung der Farbe und/oder Deckkraft erfolgt aufgrund der Entfernung zwischen den Linien.<sup>389</sup>
- **Modifier Texture Map**  
Der Textur-Map-Modifizierer ändert die Farbe, Dicke und/oder Deckkraft der Linie in Bezug auf eine Bildtextur.<sup>390</sup>
- **Modifier C.O.F.F.E.E.**  
Mit Hilfe der internen Sprache C.O.F.F.E.E. von Cinema 4D können viele verschiedene Stile erzeugt werden. Eine Einführung in diese ist nicht Teil dieser Diplomarbeit.
- **Modifier Screen Texture**  
Farbe, Dicke und/oder Deckkraft werden hier unter der Verwendung einer Texture Map, die auf die gesamte Bildfläche projiziert wird, modifiziert.<sup>391</sup>

---

<sup>386</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 69, abgerufen am 06.06.2005

<sup>387</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 69, abgerufen am 06.06.2005

<sup>388</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 70, abgerufen am 06.06.2005

<sup>389</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 71, abgerufen am 06.06.2005

<sup>390</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 71, abgerufen am 06.06.2005

<sup>391</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 75, abgerufen am 06.06.2005

- Modifier Noise

Der Noise-Modifikator verändert Farbe, Dicke und/oder Deckkraft mit Hilfe eines Noise-Musters.<sup>392</sup> Abbildung 144 zeigt die Anwendung dieses Modifikators auf alle drei Bereiche. Jedoch wurde, um das Ergebnis besser sehen zu können die globale Liniendicke auf 300 % erhöht.

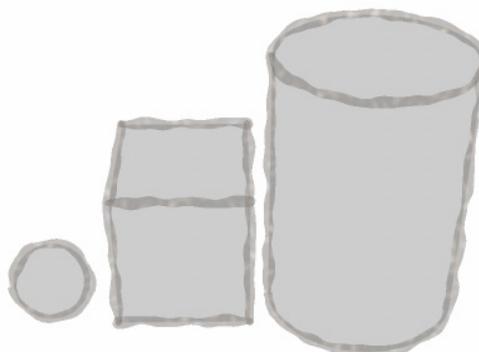


Abbildung 144: Noise Modifier – Color, Thickness, Opacity

## Rendern

Im Rendern-Tab können verschiedene Aspekte für das Rendern der Linien kontrolliert werden (siehe Abbildung 145).



Abbildung 145: Parameter Render-Tab

<sup>392</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 76, abgerufen am 06.06.2005

- Pixel Units

Bei Sketch and Toon werden oft Pixel als Einheit verwendet. Der Wert Pixeleinheiten definiert, was mit Pixel gemeint ist und kann absolut, relativ oder auf den Weltraum bezogen eingegeben werden.<sup>393</sup>

- Clip Strokes to Screen

Ist die Option Clip Strokes to Screen deaktiviert, so werden die Eigenschaften der Linien über den Bildrand hinaus (wenn Teile des Objektes außerhalb des Bildrandes liegen) weitergeführt. Ist sie aktiv, werden die Eigenschaften so angewendet, dass sie in den sichtbaren Bildausschnitt passen.<sup>394</sup>

- Self-Blend, Blend

Manchmal kann es nützlich sein, wenn eine Linie mehrmals mit verschiedenen Materialien gerendert wird. Das kann durch Zuweisung eines Sketch Style Tags (siehe Kapitel 10.3.2.3.) für jedes weitere gewünschte Material geschehen. Self-Blend bestimmt den verwendeten Modus für Linien desselben Objekts und Blend den Modus für Linien anderer Objekte.<sup>395</sup>

- Clip Render

Mit Hilfe dieses Parameters können Teile der Linien abgeschnitten werden, die innerhalb oder außerhalb der Geometrie liegen. Der Modus bestimmt hierbei, ob das Objekt nur von sich selbst oder auch von anderen Objekten beeinflusst wird.<sup>396</sup>

- Culling

Verdecktes Culling kommt zum Einsatz wenn Linien erzeugt und verdeckte und sichtbare Linien unterschieden werden sollen. Diese Option ermöglicht die Anzeige von verdeckten (Abbildung 146 (a)) und sichtbaren (Abbildung 146 (b)) Linien der Objekte.<sup>397</sup>

---

<sup>393</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 79, abgerufen am 06.06.2005

<sup>394</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 80, abgerufen am 06.06.2005

<sup>395</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 80, abgerufen am 06.06.2005

<sup>396</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 82, abgerufen am 06.06.2005

<sup>397</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 82, abgerufen am 06.06.2005

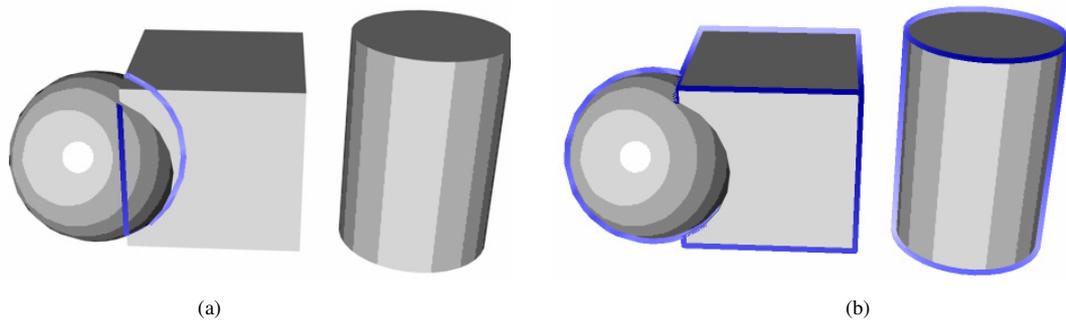


Abbildung 146: Line Culling

## Clone

Mit Hilfe dieser Funktion (Duplizieren von Linien) können viele natürliche Effekte wie schnelle Bleistift-Skizzierungen oder fette Pinselstriche erzeugt werden. Dieses Tab wird durch die Aktivierung von Clone Strokes (siehe Abbildung 147) modifizierbar.<sup>398</sup>

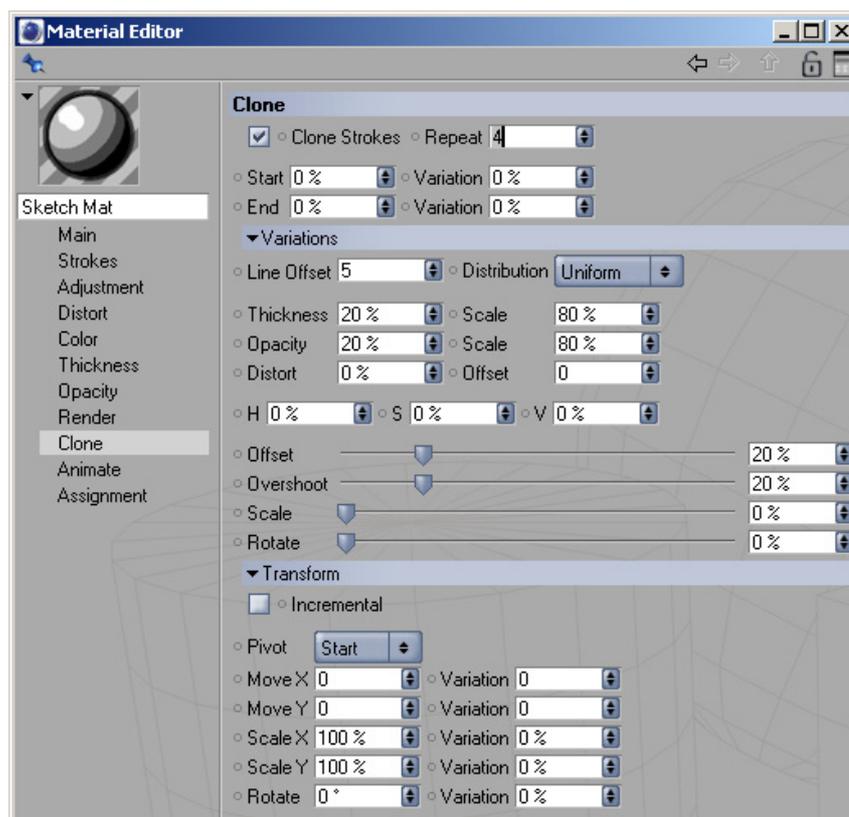
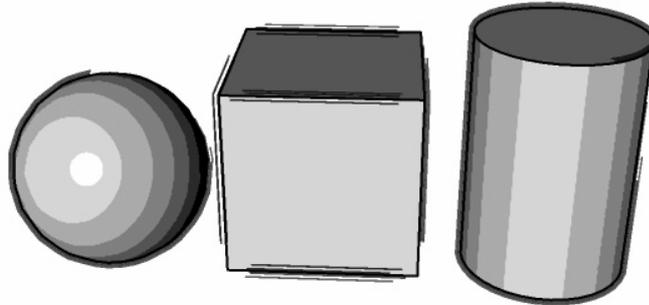


Abbildung 147: Parameter Clone-Tab

<sup>398</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 83, abgerufen am 06.06.2005

Mit Repeat kann festgelegt werden, wie oft die Linie wiederholt werden soll. Die Start- und End-Einstellungen ermöglichen eine Variation der Länge der geklonten Linien.<sup>399</sup>

In Abbildung 148 wurden die Linien je vier Mal geklont und die Länge der Linien variiert.



**Abbildung 148: Geklonte Linien**

Im Untermenüpunkt Variations (siehe Abbildung 147) können noch weitere Unregelmäßigkeiten und Veränderungen eingefügt werden. So kann beispielsweise der Abstand zwischen den Linien, deren Dicke, Deckkraft und Größe modifiziert werden.<sup>400</sup>

Eine weitere Modifizierung der Klone ist im Bereich Transform möglich. Mit diesen Einstellungen können diese verschoben, skaliert und/oder gedreht werden. Pivot definiert den Punkt, um den die Klone gedreht werden.<sup>401</sup>

### **Animate**

Das Animieren-Tab ermöglicht die Imitation des Malprozesses, also als ob ein/eine KünstlerIn Strich für Strich malt und langsam Formen entstehen. Durch die Aktivierung von Draw werden die Einstellungen dieses Tabs (siehe Abbildung 149) editierbar.<sup>402</sup>

---

<sup>399</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 83 f., abgerufen am 06.06.2005

<sup>400</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 85, abgerufen am 06.06.2005

<sup>401</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 87, abgerufen am 06.06.2005

<sup>402</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 87, abgerufen am 06.06.2005



Abbildung 149: Parameter Animate-Tab

- Modus

Die Linien von Sketch and Toon können in verschiedenen Modi animiert werden. Draw bewirkt das kontinuierliche Malen einer Linie. Length ist ähnlich wie Draw, jedoch werden hier zusätzlich noch Dicke und Farbe verändert. Mit Hilfe des Opacity-Modus werden die Linien allmählich eingeblendet und bei der Einstellung Thickness beginnen die Linien dünn und wachsen auf ihre normale Dicke an. Der Modus Abrupt bewirkt, wie der Name schon sagt, das Plötzliche Erscheinen der Linien (gegenteiliger Effekt zu Opacity).<sup>403</sup>

- Method, Stroke Order

Beim Punkt Methode kann ausgewählt werden, ob die Striche alle zur gleichen Zeit oder nacheinander gemalt werden sollen. Ist letzteres der Fall muss eine Reihenfolge in Stroke Order angegeben werden.<sup>404</sup>

<sup>403</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 88, abgerufen am 06.06.2005

<sup>404</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 88, abgerufen am 06.06.2005

Mit Hilfe von Draw Speed kann die Malgeschwindigkeit festgelegt werden. Start legt den Zeitpunkt (das Bild) fest, ab dem damit begonnen werden soll.<sup>405</sup>

### Assignment

In diesem Tab kann das Sketch and Toon Material schnell bestimmten Objekten (per Drag and Drop vom Objekt Manager) zugewiesen werden. Dadurch erzeugt Cinema 4D automatisch ein Sketch Style Tag beim betreffenden Objekt (siehe Abbildung 150).<sup>406</sup> Auf dieses wird im nächsten Kapitel näher eingegangen.

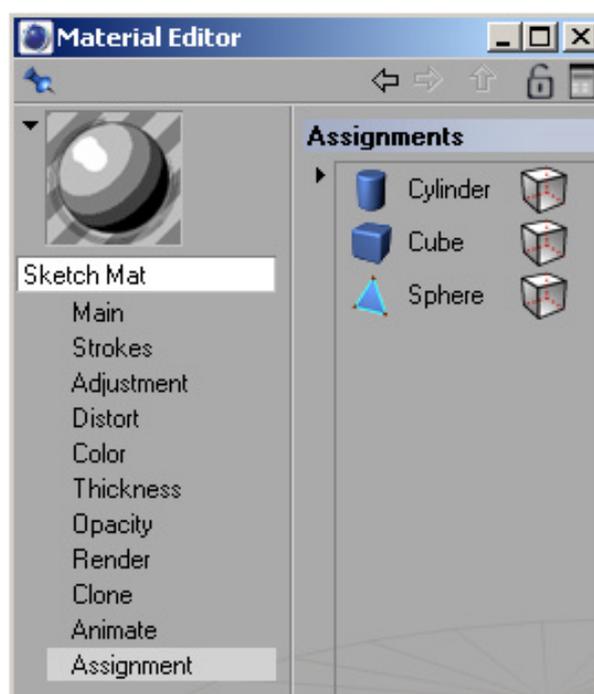


Abbildung 150: Assignment-Tab

#### 11.3.2.3. Sketch Style Tag

Das Sketch Style Tag kann im Objekt-Manager unter File > Sketch Tags > Sketch Style aufgerufen werden. Mit Hilfe des Sketch Style Tag können für jedes individuelle Stile definiert

<sup>405</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 89, abgerufen am 06.06.2005

<sup>406</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 89, abgerufen am 06.06.2005

werden. Die Parameter dieses Tags „überstimmen“ die Einstellungen im Post-Effekt. Eine weitere Aufgabe des Sketch Style Tag ist das Speichern von Selektionen, so kann beispielsweise ein Kantenlinientyp einer Kantenlinienselektion zugewiesen werden.<sup>407</sup>

Nach Erzeugen des Tags kann dieser im Attribute-Manager (rechts unten im Cinema-4D-Arbeitsbereich) bearbeitet werden. Innerhalb des Tags findet wieder eine Einteilung in einzelne Bereiche (Tabs) wie Basic, Main, Lines, usw. (siehe Abbildung 151).

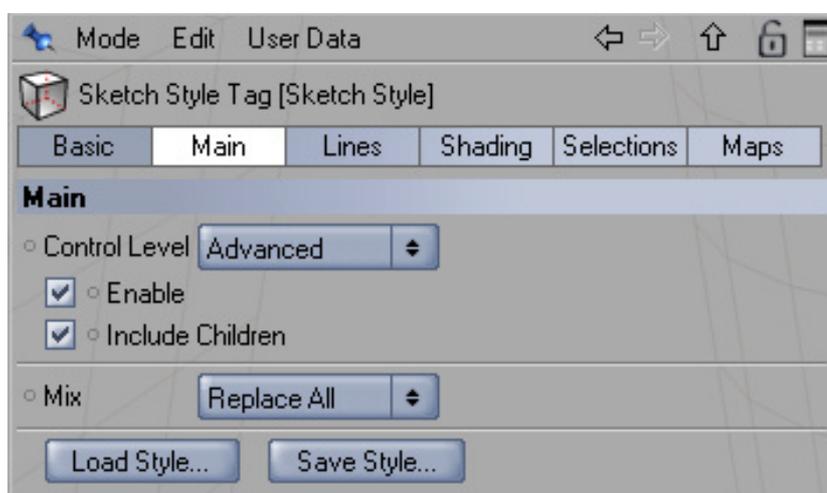


Abbildung 151: Sketch Style Tag – Parameter Main

### Main

In diesem Tab befinden sich allgemeine Einstellungen wie der Control Level und die Aktivierung/Deaktivierung des Sketch Style Tags (Enable). Wahlweise können auch die Unterobjekte die Einstellungen des Sketch Style Tags übernehmen. Auch hier können wieder Stile gespeichert und geladen werden.<sup>408</sup>

Die Lines- and Shading-Einstellungen sind dieselben wie auch im Post-Effekt, nur können sie hier durch die möglichen Selektionseingaben für bestimmte Bereiche definiert werden.

<sup>407</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 113, abgerufen am 06.06.2005

<sup>408</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 113 f., abgerufen am 06.06.2005

## Selections

In diesem Tab (siehe Abbildung 152) werden alle Selektionen, die vom Tag oder vom Post-Effekt verwendet werden sollen, spezifiziert (per Drag and Drop). Dies kann durch die beiden Modi Include bzw. Exclude geschehen.<sup>409</sup>

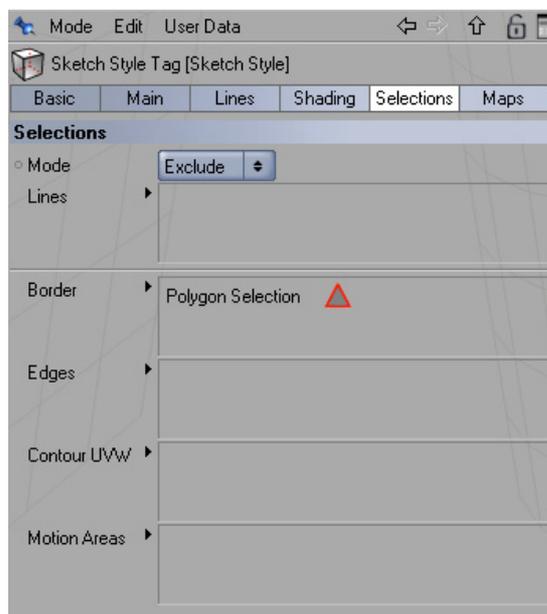


Abbildung 152: Sketch Style Tag – Selections-Tab

In Abbildung 153 ist das Ergebnis zu sehen, wenn zur Border-Line eine beliebige Polygon-Selektion der Kugel hinzugefügt wurde.

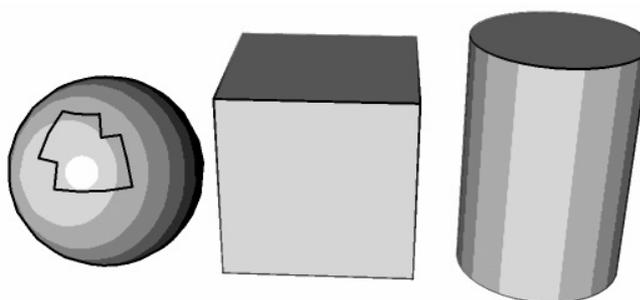


Abbildung 153: Border für eine Polygonselektion

<sup>409</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 115, abgerufen am 06.06.2005

Im Tab Maps können Dicke, Transparenz und Verzerrung von Linien anhand von Vertex Maps (per Drag and Drop) geregelt werden.<sup>410</sup>

#### 11.3.2.4. Sketch Render Tag

Das Sketch Render Tag kann einem selektierten Objekt im Objekt-Manager (Datei > Sketch Tags > Sketch Render) zugewiesen werden. Die Hauptfunktion dieses Tags besteht darin, den Post-Linien- (Allow Lines), den Post-Shader- (Allow Shader) oder beide Effekte für ein Objekt auszuschalten (siehe Abbildung 154).<sup>411</sup>

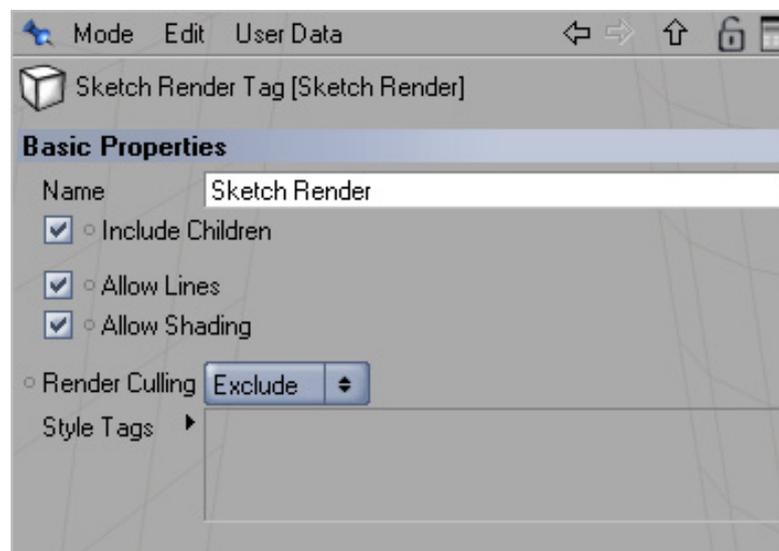


Abbildung 154: Parameter Sketch Render Tag

In Abbildung 155 wurde für den Zylinder der Post-Shading-Effekt ausgeschaltet, daher wird dieser standardmäßig gerendert, die Linien bleiben aber in Sketch-and-Toon-Form.

<sup>410</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 115, abgerufen am 06.06.2005

<sup>411</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 119, abgerufen am 06.06.2005

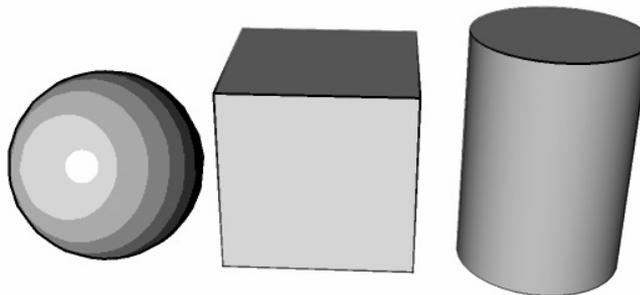


Abbildung 155: Phong-Shading eines Objektes

### 11.3.2.5. Sketch Shader

Für bestimmte Zwecke können im Material-Manager durch Datei > Hinzuladen Shader-Presets eingefügt werden. Diese können auch in jeden Material-Kanal geladen werden, der Texturen zulässt, am Besten funktionieren sie aber im Glühen-Kanal, wenn alle anderen Kanäle deaktiviert sind.<sup>412</sup> Beispiele solcher Shader-Presets sind in Abbildung 156 zu sehen: (1) Art Shader, (2) Cel-Shader, (3) Schraffur-Shader und (4) Punkt-Shader.

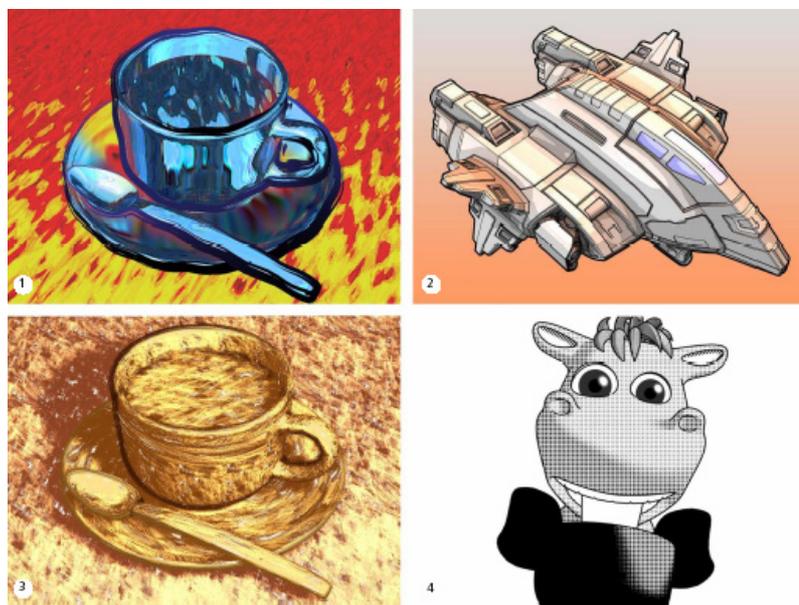


Abbildung 156: Art-, Cel-, Schraffur- und Punkt-Shader

<sup>412</sup> vgl. Maxon, [http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), Sketch and Toon Handbuch S. 95 f., abgerufen am 06.06.2005

## 11.4. Vergleich von 3D Studio Max, Softimage|XSI und Cinema 4D

Dass sich die Programme hinsichtlich Verbreitung, Preis und Anwendung unterscheiden wurde bereits erwähnt. Im Folgenden wird auf die Unterschiede der Lösungswege näher eingegangen.

Bevor nun die einzelnen Bereiche der Programme verglichen werden, muss eine Gewichtung dieser stattfinden. Denn gewisse Grundanforderungen bei der Erzeugung von nicht fotorealistischen Bildern müssen die drei Programme erfüllen. So sollte beispielsweise eine Kombination von unterschiedlichen nicht fotorealistischen Effekten bzw. die Zuteilung dieser zu einzelnen Objekten in einem Programm unbedingt möglich sein. Auch das Ein-/Aussschalten von Konturenlinien und Füllung ist eine Grundanforderung des/der Benutzers/Benutzerin an die Softwarelösung. Weiters sind die Modifikation der Konturen- und Füllfarbe, als auch der Konturendicke essentielle Funktionen, die ein Programm unbedingt enthalten muss.

Die Beschreibung der Softwarelösungen von 3D Studio Max, Softimage|XSI und Cinema 4D in den Kapiteln 10.1. bis 10.3. zeigt, dass eine Fülle von weiteren Einstellungsmöglichkeiten der unterschiedlichsten Art möglich sind. Genau hier unterscheiden sich die Programme, denn die oben genannten Grundanforderungen erfüllen alle. Daher erfolgt die Auswahl des/der Benutzers/Benutzerin aufgrund der Verfügbarkeit von Parametern, die für spezielle Anwendungen benötigt werden (beispielsweise Bewegungslinien von Cinema 4D), aber auch die Bedienbarkeit, also Benutzerfreundlichkeit, spielt hier eine wichtige Rolle.

Anhand der Punkte 10.1. bis 10.3 konnte eine Aufstellung der Möglichkeiten der drei Programme ermittelt werden, die in Abbildung 157 zu sehen ist. Die hier angeführten Parameter beinhalten die oben genannten Grundanforderungen, die fett hervorgehoben sind, aber auch weitere Einstellungsmöglichkeiten, deren Wichtigkeit von mittelmäßiger Bedeutung ist. Sie

werden also durchaus häufiger verwendet und sind nicht nur für Sonderfälle und Eventualitäten konzipiert.

	Möglichkeiten	3D Studio Max	Softimage XSI	Cinema 4D
01	Rendering-Effekt			x
02	Kamera-Effekt	x	x	
03	NPR-Material	x	x	x
04	Sonstiges		x	
05	Cartoon	x	x	x
06	Sonstige	x	x	x
<b>07</b>	<b>Kombination Real/Cartoon</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
08	Anwendung auf Selektion			x
<b>09</b>	<b>Konturen ein/aus</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
10	Sonstige Kanten ein/aus	x	x	x
11	Bewegungslinien			x
12	Klonen Linien			x
<b>13</b>	<b>Konturenfarbe modifizierbar</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
14	Konturenfarbe anders als Edges	x		x
15	Konturen bearbeiten Shader	x	x	
<b>16</b>	<b>Variable Konturendicke</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
17	Variable Pinselform	x		
18	Linienenden modifizierbar			x
19	Linien Kamerabhängig		x	x
20	Linien Entfernungsabhängig		x	x
21	Linien Winkelabhängig		x	x
22	Variabler Druck		x	
23	Variable Malgeschwindigkeit			x
<b>24</b>	<b>Füllung ein/aus</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>25</b>	<b>Variable Füllfarbe</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>26</b>	<b>Füllfarbe bearbeiten Shader</b>	<b>x</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
27	Bump/Displacement Map	x	x	

28	Farbstufen	x		x
29	Highlights	x	x	x
30	Rimlights		x	
31	Linienanzeige Editor			x
32	Parameter animierbar	x	x	x

Abbildung 157: Möglichkeiten von 3ds Max, XSI und C4D

Ad 01, 02, 03 In Cinema 4D werden nicht fotorealistische Effekte mit Hilfe von Post-Effekten in den Rendervoreinstellungen erzeugt. Hier kann der einfache Cel Renderer verwendet werden, oder auch das speziell für nicht fotorealistische Effekte entwickelte Sketch and Toon. Durch die Auswahl des letzteren Post-Effekts wird automatisch ein Toon Material erzeugt, wo spezielle Einstellungen, die die Füllung betreffen, getroffen werden können. Die Parameter des Sketch and Toon Post-Effekts hingegen, betreffen hauptsächlich die Konturen.

In 3D Studio Max kann ein Konturenshader, der ein Kamera-Effekt ist, oder das Ink'n Paint Material zur Erzeugung von nicht fotorealistischen Bildern verwendet werden.

SoftimageXSI bietet zur Erstellung von Cartoons ebenfalls ein Material an (Toon Material), die Konturen müssen aber über einen Kameralinsen-Shader hinzugefügt werden.

Ad 04 In SoftimageXSI sind nicht fotorealistische Effekte auch durch Kombination verschiedener Nodes im Render Tree möglich. Außerdem können mit dessen Hilfe die Cartoon-Effekte beliebig erweitert werden.

Ad 05, 06 Das Hauptanwendungsgebiet für nicht fotorealistische Bilder in 3D-Animationsprogrammen sind Cartoons. Sonstige Effekte wie beispielsweise Hatching Lines können in SoftimageXSI erzeugt werden.

Ad 07 Die Differenzierung von Objekten in Cinema 4D erfolgt über das Render Tab des Post-Effekts oder über ein Sketch-Stil-Tag. In 3D Studio Max ist diese bei

- Verwendung des Ink'n Paint Materials sehr einfach durch Verwendung des Materials für die gewünschten Objekte möglich. Der Konturenshader hingegen kann nur auf die gesamte Szene angewendet werden. Der in SoftimageXSI mit dem Toon Material kombinierte Konturenshader kann nur für Objekte aktiviert werden, denen auch das Toon Material zugewiesen ist oder aber für die ganze Szene aktiv bleiben.
- Ad 08 Nur in Cinema 4D können Linienstile nicht nur auf Objekte, sondern auch auf Punkt-, Kanten- und Polygonselektionen angewendet werden. Dies kann für die Erzeugung von zusätzlichen Konturen (abgesehen von den standardmäßig einstellbaren) verwendet werden.
- Ad 09 In 3D Studio Max und Cinema 4D ist das Ein-/Ausschalten der Konturen durch aktivieren/deaktivieren des entsprechenden Buttons (Ink bzw. Outline) möglich. Fügt man in SoftimageXSI keinen Konturenshader zur Kamera hinzu, so werden auch keine Konturen gerendert.
- Ad 10 Sonstige Kanten sind Kanten innerhalb der Objekte wie beispielsweise Polygonkanten. Die meisten Variationsmöglichkeiten diesbezüglich bietet Sketch and Toon in Cinema 4D, aber auch in 3D Studio Max und SoftimageXSI sind einige Auswahlmöglichkeiten vorhanden. Die einzelnen Linientypen können einfach durch aktivieren der einzelnen Buttons angezeigt werden.
- Ad 11, 12 Nur das Sketch and Toon Modul von Cinema 4D ermöglicht dem/der BenutzerIn das Einfügen von Bewegungslinien und das Klonen von Linien. Letzteres ermöglicht die Erzeugung von skizzenhaften Bildern und ist in vergleichbarer Weise nicht in 3D Studio Max oder SoftimageXSI zu finden.
- Ad 13 Alle drei Programme ermöglichen die Veränderung der Konturenfarbe.
- Ad 14 Nur 3D Studio Max und Cinema 4D's Sketch and Toon erlauben eine andere Farbe der Silhouetten-Linien als die der Linien, die sich innerhalb des Objektes befinden.

- Ad 15, 26 Durch einfaches Hinzuladen kann in allen drei Programmen ein Standardshader wie beispielsweise Noise als Füllfarbe verwendet werden. Mit Ausnahme von Cinema 4D trifft dies auch für die Konturenlinien zu.
- Ad 16 In allen drei Programmen kann die Liniendicke abgeändert werden, so dass diese nicht mehr gleichmäßig ist, sondern einen Verlauf von dick nach dünn, abhängig von einstellbaren Parametern, darstellt.
- Ad 17 Eine Abänderung der Pinselform ist nur in 3D Studio Max (von kreuzförmig bis annähernd rund) möglich.
- Ad 18 Cinema 4D erlaubt als einziges der drei Programme eine Modifizierung der Linienenden d. h. das Aussehen dieser ist variabel. So können die Start- und Endpunkte der Linien eine quadratische, runde oder selbst definierte Form haben.
- Ad 19, 20, 21 In SoftimagerXSI und Cinema 4D ist es möglich, Linien abhängig von Kamera, Entfernung und Winkel zu modifizieren. Dann verändern diese ihre Dicke bezüglich der eingestellten Parameter.
- Ad 22 SoftimagerXSI ermöglicht dem/der BenutzerIn die Linien so erscheinen zu lassen, als ob sie mit wenig bzw. viel Druck gezeichnet worden wären. Dies kann durch die Verwendung der Parameter Helligkeit und Sättigung simuliert werden.
- Ad 23 In Cinema 4D's Sketch and Toon kann die Malgeschwindigkeit festgelegt werden. Das Ergebnis reicht von einer Kinderzeichnung bis zu einer schnellen Architektenskizze.
- Ad 24, 25 In 3D Studio Max kann die Füllung mit Hilfe eines Buttons ausgeschaltet werden (Paint), gleiches gilt für Cinema 4D's Sketch and Toon. In SoftimagerXSI erfolgt diese Einstellung im Kamerashader und nicht im Toon Material. Die Farbe der Füllung kann in allen drei Programmen schnell mit Hilfe eines Farbfeldes verändert werden.

- Ad 27 Bump- und Displacement-Mapping für die Füllung kann in 3D Studio Max im Basic Material Rollout festgelegt werden. In SoftimageXSI gibt es keine diesbezüglichen Einstellungen im Kamera-Shader oder Toon Material. Es ist aber möglich die entsprechenden Knoten im Render Tree zwischen zu schalten. Cinema 4D bietet keine Möglichkeit eine Bump- oder Displacement-Map einzufügen.
- Ad 28 Die Eingabe der Farbstufen (Übergang von beleuchteten zu unbeleuchteten Stellen) ist sowohl in 3D Studio Max (1 – 255 verschiedene Farben), als auch in Cinema 4D (1 – 100) möglich.
- Ad 29 Sowohl 3D Studio Max, als auch SoftimageXSI erlauben die Kontrolle von Highlights innerhalb der Paint-Einstellungen direkt im Toon Material. In Cinema 4D können Highlights nur als eigener Post-Effect in den Render Settings hinzugefügt werden.
- Ad 30 Nur SoftimageXSI bietet dem/der BenutzerIn die Möglichkeit Rimlights zu den Objekten, die das Toon Material verwenden, hinzuzufügen.
- Ad 31 Cinema 4D ermöglicht als einziges der drei Programme, die Anzeige der Linien im Editor. So muss nicht immer eine Vorschau gerendert werden, um Einstellungsveränderungen sehen zu können.
- Ad 32 Die Animation der einzelnen Einstellungsparameter ist in allen drei Softwarelösungen direkt möglich.

## 12. Fazit - Softwarevergleich

Wie in obiger Tabelle zu sehen, bietet SoftimageXSI die unterschiedlichsten Möglichkeiten nicht fotorealistische Bilder zu erzeugen. Zwar können beinahe alle Effekte durch die Verwendung des Render Trees geschaffen werden, nachteilig hierbei ist jedoch dessen Komplexität, wodurch BenutzerInnen, die mit diesem Programm nicht so vertraut sind, leicht den Überblick verlieren können. Im Vergleich hierzu können mit dem Cinema 4D Sketch and Toon auch sehr gute Ergebnisse erzielt und viele verschiedene Stile erreicht werden. Diese Anwendung kann zwar auch sehr komplex sein, aufgrund der variablen Kontrollmöglichkeiten (Simple, Intermediate, Advanced) kann die Anzahl der Einstellungsmöglichkeiten an die Vorkenntnisse des/der Benutzers/Benutzerin angepasst werden. Die mannigfaltigen Einstellungsmöglichkeiten der einzelnen Parameter in SoftimageXSI sind zwar vorteilhaft für den Fortgeschrittenen, aber sehr mühselig für den Anfänger. Denn wichtige Einstellungen wie die Konturendicke sind nicht auf den ersten Blick ersichtlich. Im Gegensatz zu 3D Studio Max und Cinema 4D erfordert die Trennung von Paint und Ink in zwei Shader hier immer eine Modifizierung an zwei verschiedenen Stellen (Material und Kamera), was wiederum ebenso vor- als auch nachteilige Wirkung haben kann. Alles in allem bietet SoftimageXSI sicherlich die professionellste, aber auch aufwendigste und komplizierteste Lösung zur Generierung von nicht fotorealistischen Bildern.

Zwar können in 3D Studio Max „nur“ Toon-Effekte erzeugt werden, hierbei steht es aber SoftimageXSI, abgesehen von den Möglichkeiten des Render Trees, um nicht viel nach. Die Gliederung der Parameter ist sehr übersichtlich und eine durchgehende Linie die Bezeichnungen betreffend, erleichtert dem/der BenutzerIn die Bearbeitung erheblich. Die Verwendung eines Toon-Materials, das Paint und Ink enthält, ermöglicht eine einfache Kombination von Real- und Cartoon-Objekten innerhalb einer Szene. Dieses Programm ist sowohl für Anfänger als auch für Profis geeignet, da einerseits sehr gute nicht fotorealistische Bilder erzeugt werden können und andererseits dies in einer klar und einfach strukturierten Benutzeroberfläche passiert.

Der Sketch and Toon Post-Render-Effekt kann, trotz des großen Preisunterschiedes zu Softimage|XSI ebenso gute Ergebnisse erzielen wie dieses. Die Einstellungsmöglichkeiten im Fortgeschrittenen-Modus sind ähnlich wie in Softimage|XSI, aber einfacher zu handhaben. Teilweise sind sogar Parameter vorhanden, die im Toon Shader von Softimage|XSI nicht vorkommen wie z. B. die Option Klonen von Linien oder Bewegungslinien. Auch die Anwendung von Linienstilen auf Selektionen kann eine enorme Zeitersparnis darstellen, bis der/die BenutzerIn zum gewünschten Ergebnis kommt. Die Lösung von Cinema 4D ist also sowohl für Profis, als auch für Anfänger bestens geeignet.

## Abkürzungsverzeichnis

2D.....	zweidimensional
3D.....	dreidimensional
4D.....	vierdimensional
ACM .....	Association for Computing Machinery
CA.....	Cellular Automata
CAD .....	Computer aided Design
CMF .....	Cumulative Mass Function
CMYK .....	Cyan, Magenta, Yellow, Key
CPD.....	Colored Pencil Drawing
DDA.....	Discreet Design Academy
DIA .....	Difference Image Algorithmus
dpi .....	Dots per Inch
G-Buffer.....	Geometric Buffer
Gif.....	Graphics Interchange Format
HSV .....	Hue Saturation Value
ID .....	Identification
ISO .....	International Organization for Standardization
LIC .....	Line Integral Convolution
N-Buffer.....	Normalvektor-Buffer
NPR.....	Non Photorealistic Rendering
NURBS .....	Non Uniform Rational B-Splines
ODA.....	Offset Distance Accessibility
PCL.....	Printer Command Language
PMF .....	Probability Mass Function

# Stichwortverzeichnis

---

## 2

2D Transform · 178  
2-sided · 115

---

## 3

3D Studio Max · 1, 3, 4, 7, 8, 9, 108, 112, 113, 114, 119,  
122, 123, 126, 149, 195, 197, 211, 213, 214  
3D Transform · 179  
3ds Max · 7, 110, 112, 196, 210

---

## A

Abstraction · 81  
Abstrahierung · 27  
ACM Siggraph · 12, 213  
Adjustment · 176, 177, 209  
Advanced · 8, 126, 142, 154, 197  
Ambience · 128  
Angle · 135, 161, 162, 175, 183, 184, 208, 209  
Animate · 188, 189, 209  
Animated Gif · 19  
Anisotropy · 135  
Antialiasing · 113, 167  
Arbitrariness · 6, 35  
Artefakte · 5, 6, 13, 14, 15, 16, 29, 34, 35, 37, 39, 40, 41,  
42, 48, 52, 119, 121, 175, 205  
Artistic Screening · 51  
Assignment · 190, 209  
Auxiliary Images · 48

---

## B

Background · 8, 142, 150, 168, 170  
Background Blend · 168  
Base Color · 127, 128, 130, 131, 144, 147  
Basic Appearance · 8, 134  
Basic Engraving Layer · 94  
Basic Material · 7, 113, 115  
Bézier-Kurven · 64  
Bildartefakte · 14, 15, 30, 33, 34, 41  
Bleistiftzeichnungen · 7, 72  
Border · 157, 192, 208, 210  
Boundary Outlines · 80  
Brightness · 37, 62, 138  
Brush · 67  
B-Spline · 20, 68, 69

Buffer · 31, 99, 100, 101, 102, 104, 105, 106, 199, 206,  
207  
Bump · 115, 116, 196, 207  
Bump Map · 115, 116

---

## C

CAD · 25, 199  
Camera near/far · 169  
Camera-Lens-Shader · 132  
Capillary Flow · 90  
Capillary Layer · 89  
Cel Animation · 13, 110, 111, 127, 147  
Cel Renderer · 8, 149, 150, 151, 152, 153, 208  
Cellular Automata · 7, 85, 87, 199  
Cinema 4D · 1, 3, 4, 7, 8, 9, 108, 110, 148, 149, 153, 154,  
162, 184, 190, 195, 196, 197, 198, 211, 215  
Clip Render · 186  
Clip Strokes to Screen · 186  
Clipping · 78, 79  
Clone · 187, 209  
Cluster · 39  
Color · 130  
Color Glazing · 88  
Color, Background Color · 150  
Colored Pencil Drawing · 76  
Combine · 164  
Compositing · 130, 132, 134, 145  
Contour · 158, 159, 160, 208  
Contours Shader · 123  
Coverage · 130, 145  
Creases · 157, 165, 208  
Cross Hatching · 81, 94, 146  
Cull/Culling · 164  
Culling · 186  
Cumulative Mass Function · 45  
Current Layer · 94

---

## D

Decomposition · 70  
Default Visible/Hidden · 165  
Determinismus · 6, 35  
Difference-Image-Algorithmus · 79  
Diffuse - Glossy · 129  
Dimension · 29, 31, 34, 205  
Dip · 67  
Direction · 136  
Discontinuity Edges · 83  
Diskretisierung · 5, 21, 39, 92, 93  
Displacement · 48, 104, 116, 196  
Displacement Map · 48, 116, 196

Distance · 76, 136, 143, 181, 199, 209  
 Distort · 179, 180, 209  
 Distribution · 44, 143  
 Dither Kernel · 47, 48, 104  
 Dither Rows · 49  
 Dither Screen · 43, 44, 47, 49, 50, 94, 95, 96, 105  
 Dithering · 6, 7, 38, 39, 43, 47, 48, 49, 52, 104  
 Dither-Matrix · 39, 40  
 Dither-Matrizen · 39, 41  
 Drawing · 7, 72, 74, 75, 76, 77, 199, 206, 213  
 Dry Brush Effect · 88

---

**E**

Edge Darkening Effect · 88  
 Edge-Detection · 93  
 Edges · 151, 152, 157, 158, 195, 208  
 Edges, Edge Color · 151  
 Editor Display · 172, 209  
 Engraving Layer · 94, 95  
 Engravings · 91  
 Error Diffusion · 6, 41, 42, 48  
 Etching · 13

---

**F**

Face Map · 115  
 Facet Enable · 141  
 Faceted · 115  
 Fade Sampling Thresholds · 143  
 Filter Strokes · 175  
 Flesh · 64, 65, 66  
 Flow Patterns · 88  
 Floyd-Steinberg-Algorithmus · 41, 42, 205  
 Fog BG when not painting · 115  
 Folds · 155, 157, 165  
 Free-Form Surface Models · 107

---

**G**

G-Buffer · 31, 102, 199  
 G-Buffers · 7, 31, 98, 99, 101, 103, 104, 106, 207  
 Geometric Buffers · 98  
 Grain · 73  
 Graphical Abstraction · 16  
 Gravierung · 91, 94, 96, 97, 206

---

**H**

Hairy Brushes · 69, 206  
 Halftoning · 3, 4, 6, 38, 39, 41, 42, 43, 52, 55, 104, 105  
 Hatched Illustrations · 43  
 Hatching · 6, 41, 42, 81, 82, 92, 94, 108, 143, 144, 145, 146, 196, 205, 208  
 Hatching Lines · 41

Higher Order Strokes · 65  
 Highlight · 118, 130, 140, 144, 145, 146, 208  
 Highlights · 7, 129, 131, 144, 196, 207  
 Histogramm · 45, 46, 206  
 Histogramm-Equalization · 45  
 Holzschnitt · 18, 50, 91  
 Homogeneous Spatial Distribution Of Threshold Values · 44  
 Host Materials · 140, 141  
 HSV (Hue, Saturation, Value) · 178  
 Hyperrealismus · 11, 205

---

**I**

Illuminance · 130, 145  
 Illumination · 151  
 Illustration · 5, 18, 22, 26, 27, 106, 205  
 Image-independent Dithering · 43  
 Incidence Node · 8, 147, 148, 208  
 Incorrectness · 61  
 Indication · 81, 206  
 Information Visualization · 30  
 Ink · 7, 8, 78, 81, 82, 83, 103, 110, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 119, 120, 122, 126, 127, 128, 132, 134, 135, 137, 139, 140, 141, 142, 144, 147, 197, 207, 208, 212  
 Ink Controls · 7, 113, 119  
 Ink Only · 142  
 Ink Quality · 119  
 Ink Width · 119, 120, 207  
 Ink'n Paint Material · 7, 112, 113, 114, 116, 122, 207  
 Intensitäts-Map · 54  
 Intensity Ramp · 37, 39, 42, 50, 205  
 Intentional Back-Runs · 88  
 Interior Outlines · 80  
 Interiors · 132  
 Intersection Point · 92  
 Intersections · 158, 159, 208  
 ISO-Normen · 25  
 Isoparms · 158, 159, 160, 208

---

**J**

Jitter · 54, 56  
 Jitter Brush · 56  
 Join Limit · 175  
 Joint · 176

---

**K**

Kontur-basiertes Screening · 50  
 Konturenshader · 7, 123, 124, 125, 126, 207  
 Kubelka-Munk-Modell · 90  
 Kupferstich · 18, 91, 92

---

**L**

Lens Shader · 8, 128, 132, 134, 146, 207  
 Level of Detail · 59, 111  
 Lighted · 117  
 Lighting-Buffer · 105  
 Line AA · 167  
 Line Integral Convolution · 74, 199  
 Line Squiggle · 63  
 Line Styles · 6, 66, 67  
 Line-Drawing Primitives · 72  
 Lines · 6, 41, 42, 92, 121, 145, 155, 159, 160, 163, 164,  
 191, 193, 196, 205, 208  
 Line-Thickening-Methode · 82  
 Lithographie · 18

---

**M**

Main · 154, 173, 191, 209  
 Mapping-Funktion · 47, 48  
 Mat ID · 122  
 Match · 175  
 Material Shaders · 127, 144  
 Material-Buffer · 102  
 Mental Ray Connection · 123, 124, 207  
 Mental Ray Renderer · 111, 123  
 Merging Rules · 94  
 Mode · 168  
 Modellartefakte · 16, 33, 107  
 Modifier Along Stroke · 182  
 Modifier C.O.F.F.E.E. · 184  
 Modifier Distance · 181  
 Modifier Facing Angle · 183  
 Modifier From Line · 184  
 Modifier From Surface · 184  
 Modifier Illumination · 183  
 Modifier Join Angle · 183  
 Modifier Noise · 185  
 Modifier Position · 182  
 Modifier Scale · 182  
 Modifier Screen Angle · 184  
 Modifier Screen Texture · 184  
 Modifier Texture · 183  
 Modifier Texture Map · 184  
 Modifier Total Length · 182  
 Modifier Vertex Map · 184  
 Motion · 158, 159, 160, 208  
 Multicolor Dithering · 52  
 Multiresolution · 6, 70, 71, 206  
 Multiresolution Curves · 6, 70

---

**N**

N-Buffer · 102, 104, 207  
 NURBS · 82, 111, 160, 199

---

**O**

Object · 5, 14, 123, 140, 170  
 Objektartefakte · 14, 34  
 Objekt-ID-Buffer · 99  
 Offset-Distance-Accessibility-Methode · 76  
 Only Adjacent Faces · 122  
 Opacity · 160, 180, 181, 182, 183, 185, 189, 209  
 Opaque Alpha · 115  
 Optical Composition · 90  
 Order · 65, 131, 189  
 Ordered Dithering · 38, 39, 48  
 Outline · 121, 151, 155, 164, 165  
 Outlines · 78, 80, 117, 121, 139, 152, 160, 207  
 Outlining · 78  
 Overlap · 121, 155, 175  
 Overlaps · 157  
 Overshoot · 179

---

**P**

Paint Controls · 7, 113, 116  
 Paint Levels · 117, 118, 207  
 Paint'n Ink Material · 115, 126  
 Painterly Rendering · 12  
 Painting · 7, 70, 85, 102  
 Particles · 161, 162, 208  
 Path and Style · 63  
 Pattern · 176  
 PCL · 63, 199  
 Pen and Ink · 7, 13, 78, 213  
 Pigment Deposition Layer · 89  
 Pixel Units · 186  
 Planes · 92  
 Polygonal Models · 107, 108  
 PostScript · 63  
 Pressure · 8, 138, 139, 208  
 Prioritized Stroke Textures · 79, 80, 81, 206  
 Probability Mass Function · 45, 199  
 Profile · 136, 138  
 Prozedurale Texturen · 47  
 prozeduraler Dither Screens · 47  
 Prozedurales Screening · 47

---

**Q**

Quantize · 152

---

**R**

Radierung · 18  
 Random Statistical Variations · 6, 34  
 Ray Query · 92  
 Raytracing · 7, 91, 92, 93, 94, 206  
 Reference Backbone · 64  
 Reference Thickness Line · 64

Reflection · 8, 133, 207  
 Rejection-Methode · 53  
 Relaxation Brush · 56  
 Render · 8, 98, 107, 123, 126, 143, 144, 146, 148, 149, 150, 153, 166, 167, 168, 185, 186, 193, 196, 197, 198, 208, 209, 210  
 Require Host · 142  
 Resolution Independent · 168  
 Resulting Layer · 94  
 Ribbon Style · 65, 206  
 Rimlights · 7, 131, 196, 207

---

## S

Sampling · 8, 132, 140, 141, 143, 208  
 Saturation · 138, 139, 178, 208  
 Sausage Style · 64, 65, 206  
 Scattering-Koeffizienten · 90  
 Schwellenwert-Matrix · 43  
 Screen Offset · 178, 209  
 Screening · 6, 7, 43, 44, 47, 48, 49, 50, 51, 94, 97, 104, 105, 106, 205, 206, 207, 212  
 Seams · 8, 132  
 Selection Brush · 56  
 Selections · 192, 210  
 Self-Blend, Blend · 186  
 Shaded · 117  
 Shader-Presets · 194  
 Shading · 78, 169, 170, 171, 191, 193, 194, 209, 210  
 Shadow-Buffer · 102  
 Shallow Water Layer · 89  
 Shape Brush · 56  
 Shift- und Scale-Operatoren · 94  
 Shifting · 60, 206  
 Shilouettes · 132  
 SIGGRAPH · 9, 12  
 Skaling · 60, 206  
 Skeletal Stroke · 64  
 Skeletal Strokes · 6, 64, 66, 67  
 Sketch · 8, 13, 61, 149, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 197, 198, 208, 209, 210, 215  
 Sketch and Toon · 153, 168, 172  
 Sketch and Toon Post-Effect · 153  
 Sketch Render Tag · 193  
 Sketch Shader · 194  
 Sketch Style Tag · 190  
 Sketch-Material · 153, 172  
 SmGroup · 122  
 Sobol-Sequenz · 53, 54  
 Softimage Toon Shader · 110  
 SoftimageXSI · 1, 3, 4, 7, 8, 9, 108, 110, 126, 127, 129, 134, 143, 146, 149, 195, 196, 197, 198, 215  
 Softness · 130, 145  
 Sorting Tolerance · 143  
 Splines · 5, 20, 69, 82, 160, 161, 163, 199, 205, 208  
 Spread · 134, 136, 137, 138, 143

Spread Scale · 143  
 Spreizung · 46  
 Start/End Cap · 175  
 Stippling · 6, 15, 26, 52, 53, 54, 55, 108, 212  
 Strichzeichnung · 32  
 Stroke · 64, 65, 66, 79, 80, 81, 83, 177, 180, 182, 189, 206  
 Stroke Texture · 79, 83  
 Strokes · 174, 175, 176, 186, 187, 209  
 Style and Path · 67, 70  
 Sumi-e · 67, 68  
 Surface Models · 107, 108  
 Symbol-based Screening · 49  
 Synthesefilter · 70

---

## T

Taper · 8, 135, 160, 207  
 Thickness Scale · 168  
 Threshold · 44, 175  
 Thresholds · 141, 143  
 Tiles · 57, 58, 59, 60  
 Tiling Grid · 58, 59  
 Tone · 78, 79, 83, 84, 206  
 Toon · 3, 4, 7, 8, 13, 110, 111, 127, 128, 129, 130, 133, 134, 135, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194, 197, 198, 207, 208, 209, 214, 215  
 Toon Lens Shader · 127  
 Toon Rendering · 110  
 Toon Shader · 111  
 Toon Shader Effekte · 143  
 Toon Shading · 13, 111  
 Toon\_Paint\_and\_Host · 127, 128, 129, 144  
 Trace Depth · 132, 140  
 Trajectory · 68, 69  
 Transition Function · 85  
 Transparency · 8, 132, 133, 207  
 Treshold Quantization · 39  
 Triangulation · 158, 159, 160, 208  
 Trimming-Funktion · 95

---

## U

Underlap · 121  
 Uniform Distribution Of Threshold Values · 44

---

## V

Variation · 8, 135, 137, 138, 161, 188, 208  
 Vector · 131, 136  
 Volume Models · 107  
 Voronoi- · 55, 56

Voronoi-Region · 56  
Voronoi-Schemas · 55  
Voxel · 76

---

## **W**

Washes · 88, 90  
Wavelets · 70  
Weiße Rauschen · 75  
Wet and Sticky Method · 7, 85  
Wet-Area-Mask · 88, 89, 90  
Wet-On-Dry-Methode · 87  
Wet-On-Wet-Methode · 87, 88

Wiggleness · 61

---

## **X**

XSI Toon Shader · 127

---

## **Z**

Z-Buffer · 99, 102, 105, 207

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Fotorealistische Malerei (Hyperrealismus) .....	11
Abbildung 2: Computergeneriertes fotorealistisches Bild.....	11
Abbildung 3: Beispiel einer handgezeichneten Punktdarstellung einer alten Säge.....	15
Abbildung 4: Bild mit Punkten von mangelnder Qualität, .....	16
Abbildung 5: Häutiges Labyrinth stark vergrößert.....	17
Abbildung 6: Handgezeichnete Skizzen - Abstraktion.....	17
Abbildung 7: Mickey Mouse in verschiedenen Ansichten.....	18
Abbildung 8: Verschiedene Versionen kubischer B-Splines.....	20
Abbildung 9: Beispiel einer handgezeichneten archäologischen Illustration.....	26
Abbildung 10: Medizinisches Originalbild - Querschnitt des menschlichen Gehirns.....	30
Abbildung 11: Kantenermittlung und –sichtbarmachung des medizinischen Bildes .....	31
Abbildung 12: Fotorealistisches Bild einer Schraubenmutter .....	32
Abbildung 13: Verbesserung des Bildes durch eine zweieinhalbdimensionale Methode .....	32
Abbildung 14: Originalbild bestehend aus einfachen Linien .....	33
Abbildung 15: Hinzugefügte Tiefenwirkung zum Linienbild .....	33
Abbildung 16: Klassifizierung der Artefakte durch die Dimension der Datenquelle.....	34
Abbildung 17: Willkürliche Platzierung von Schraffierungen .....	35
Abbildung 18: Einfache Positionierung der Linien .....	36
Abbildung 19: Krümmung des Objektes aus allen Richtungen sichtbar .....	36
Abbildung 20: Intensity Ramp basierend auf Graustufen .....	37
Abbildung 21: Repräsentative Intensitäts-Levels einer 3 x 3 Pixel Matrix.....	38
Abbildung 22: Intensity Ramp nach Anwendung der Muster aus Abbildung 21.....	39
Abbildung 23: dreieckiges Dither-Muster für nicht fotorealistische Bilder.....	40
Abbildung 24: Nicht fotorealistisches Bild, erzeugt mit Abbildung 23 .....	40
Abbildung 25: Dithered Intensity Ramp mit kurzen Linien .....	42
Abbildung 26: Hatching Lines erzeugt mit Hilfe des Floyd-Steinberg-Algorithmus .....	42
Abbildung 27: Beispiel Screening Basismethode.....	44

---

Abbildung 28: Photoshop-Histogramm einer Fotografie .....	46
Abbildung 29: 2 Beispiele prozedurales Screening .....	48
Abbildung 30: Symbol-basiertes Screening .....	49
Abbildung 31: Kontur-basiertes Screening.....	50
Abbildung 32: Artistic Screening einer Moschee.....	51
Abbildung 33: Unkorrigiertes und korrigiertes Stipple-Bild .....	54
Abbildung 34: Interaktiv bearbeitetes Stipple-Bild .....	57
Abbildung 35: Mosaikbilder mit unterschiedlichen Rastern .....	58
Abbildung 36: Color Shifting und Color Skaling.....	60
Abbildung 37: (a) Normaler Computerausdruck (b) Freihand-Computerausdruck .....	62
Abbildung 38: Skeletal Stroke (a) Backbone (b) zusätzlich Reference Thickness .....	64
Abbildung 39: Skeletal Stroke – (a) Sausage Style (b) Ribbon Style .....	65
Abbildung 40: Anwendung von Linienstilen.....	67
Abbildung 41: Anwendung von Hairy Brushes.....	69
Abbildung 42: Multiresolution-Curves.....	71
Abbildung 43: (a) Handgezeichnete (b) Simulierte Bleistiftschattierungen.....	74
Abbildung 44: Prozessablauf: Automatisches Pencil Drawing mit LIC .....	75
Abbildung 45: Pencil Drawing mit der LIC-Methode.....	76
Abbildung 46: Volumetric Colored Pencil Drawing .....	77
Abbildung 47: (a) Standard Stroke Textures (b) Prioritized Stroke Textures .....	80
Abbildung 48: Anwendung von Indication .....	81
Abbildung 49: Einfache Skalierung des Originalbildes (b).....	82
Abbildung 50: Skalierung - gleichbleibender Bildcharakter und Tone .....	84
Abbildung 51: Wasserfarbensimulation - Cellular-Automata-Technik.....	87
Abbildung 52: Originalbild und computergeneriertes Wasserfarbenbild.....	90
Abbildung 53: (a) Originalbild (b) Kupferstichimitation - Raytracing-Methode.....	93
Abbildung 54: Erzeugungsprozess einer Gravierung .....	96
Abbildung 55: Digital generierte Gravierung - prozedurales Screening .....	97
Abbildung 56: Anwendung eines Objekt-ID-Buffers.....	99
Abbildung 57: Kantenerkennung (a) Z-Buffer (b) Originalbild .....	100
Abbildung 58: Verbesserung der Objektgrenzen durch Z-Buffer .....	101

---

Abbildung 59: Anwendung von G-Buffers in der Architektur .....	103
Abbildung 60: Prozedurales Screening (a) ID-Buffer (b) zusätzlich N-Buffer .....	104
Abbildung 61: Prozedurales Screening (a) Lighting Buffer (b) Z-Buffer .....	105
Abbildung 62: Procedural Screening – ID-, N-, Lighting- und Z-Buffer .....	106
Abbildung 63: Ink'n Paint Material – Standardeinstellungen .....	113
Abbildung 64: Materialeeditor –Ink'n Paint Material .....	114
Abbildung 65: Bump Mapping - Ink'n Paint Material .....	116
Abbildung 66: Outlines – Paint off.....	117
Abbildung 67: Gradient Shader, 4 Paint Levels und Shadercolor rot .....	118
Abbildung 68: Rendern ohne und mit Glanzlichern .....	118
Abbildung 69: Fixe Ink Width 1 und 5 Pixel.....	119
Abbildung 70: Variable Ink Width 1 bis 5 Pixel .....	120
Abbildung 71: Ink bearbeitet mit Gradient- und Noise-Shader .....	120
Abbildung 72: Blaue Outlines und Noise Shader .....	121
Abbildung 73: Mit Ink'n Paint gerenderte Schlange .....	122
Abbildung 74: Mental Ray Connection Rollout .....	124
Abbildung 75: Simple-Konturenshader auf Standardmaterial.....	125
Abbildung 76: Curvature-Konturenshader auf Standardmaterial .....	125
Abbildung 77: Depth Fade-Konturenshader auf Standardmaterial .....	125
Abbildung 78: Toon_Paint_and_Host Editor .....	128
Abbildung 79: Standardeinstellungen Toon- und Lens-Shader .....	129
Abbildung 80: Toon_Paint_and_Host Editor - Highlights .....	130
Abbildung 81: Toon Shader mit weichem Glanzlicht .....	131
Abbildung 82: Glanzlicht durch Alpha-Map ersetzt.....	132
Abbildung 83: Pinkfarbige Rimlights.....	132
Abbildung 84: Konturenblending .....	133
Abbildung 85: Toon Shader Transparency .....	134
Abbildung 86: Toon Shader Reflection .....	134
Abbildung 87: Toon_Ink_Lens Shader Property Page .....	135
Abbildung 88: Toon_Ink_Lens – Taper-Einstellungen .....	136
Abbildung 89: Variierte Konturen durch Distanz.....	137

---

Abbildung 90: Toon_Ink_Lens – Variation-Einstellungen .....	138
Abbildung 91: Variation – hohe Frequenzeinstellung .....	139
Abbildung 92: Toon_Ink_Lens – Pressure-Einstellungen .....	140
Abbildung 93: Veränderung des Druckes durch Saturation .....	140
Abbildung 94: Toon_Ink_Lens – Sampling-Einstellungen .....	141
Abbildung 95: Toon_Ink_Lens – Sampling Paint aktiviert .....	142
Abbildung 96: Anzeigen von Facet Contours .....	142
Abbildung 97: Toon_Ink_Lens Fortgeschrittene Einstellungen .....	143
Abbildung 98: Toon and Ink mit Highlight .....	145
Abbildung 99: Toon Shader – Mix_2colors .....	146
Abbildung 100: Grafische Darstellung – Cross Hatching .....	146
Abbildung 101: Render Tree – Cross Hatching .....	147
Abbildung 102: Render Tree –Incidence Node .....	149
Abbildung 103: Toon ähnlicher Effekt mittels Incidence Node .....	149
Abbildung 104: Render Settings – Cel Renderer .....	151
Abbildung 105: Cel Renderer Standardeinstellungen .....	151
Abbildung 106: Cel Renderer – Color deaktiviert .....	152
Abbildung 107: Cel Renderer – veränderte Kantenfarbe .....	153
Abbildung 108: Cel Renderer – 8 Farbstufen .....	153
Abbildung 109: Standardeinstellungen Sketch and Toon Post-Effect .....	154
Abbildung 110: Parameter Sketch and Toon Post-Effekt .....	155
Abbildung 111: Silhouettes einfacher geometrischer Modelle .....	156
Abbildung 112: Einstellungen Silhouettes .....	157
Abbildung 113: Creases, Border und Edges einfacher geometrischer Modelle .....	158
Abbildung 114: Intersections, Motion, Isoparms, Triangulation, Contour .....	159
Abbildung 115: Parameter Intersections, Motion, Isoparms, Triangulation, Contour .....	160
Abbildung 116: Parameter Angle, Material, Particles, Splines .....	162
Abbildung 117: Veränderung des Winkelparameters .....	163
Abbildung 118: Splines als Linien gerendert .....	164
Abbildung 119: Parameter Lines-Tag .....	165
Abbildung 120: Einstellung Line Materials Both .....	166

---

Abbildung 121: Linientypen mit veränderter Linienfarbe.....	167
Abbildung 122: Parameter Render Tag .....	167
Abbildung 123: Parameter Render-Tab .....	168
Abbildung 124: Sketch and Toon für einzelne Objekte .....	169
Abbildung 125: Parameter Shading.....	170
Abbildung 126: Hintergrund- und Shader-Textur .....	171
Abbildung 127: Objekt-Shading Optionen .....	172
Abbildung 128: Gradient-Shading.....	172
Abbildung 129: Parameter Editor Display-Tab .....	173
Abbildung 130: Parameter Main – Material Editor .....	174
Abbildung 131: Preset Brush (Chinese Fade).....	174
Abbildung 132: Parameter Strokes-Tab .....	175
Abbildung 133: Start-/bzw. Endkappen.....	177
Abbildung 134: Linienmuster Phantom.....	177
Abbildung 135: Parameter Adjustment-Tab.....	178
Abbildung 136: Modifizierte HSV-Werte der Linien.....	179
Abbildung 137: Screen Offset .....	179
Abbildung 138: Parameter Distort-Tab .....	180
Abbildung 139: Verzerrung der Linien .....	181
Abbildung 140: Parameter Color-Tab .....	182
Abbildung 141: Distance Modifier – Color, Thickness, Opacity .....	182
Abbildung 142: Scale Modifier – Color, Thickness, Opacity .....	183
Abbildung 143: Join Angle Modifier – Color, Thickness, Opacity.....	184
Abbildung 144: Noise Modifier – Color, Thickness, Opacity.....	186
Abbildung 145: Parameter Render-Tab .....	186
Abbildung 146: Line Culling.....	188
Abbildung 147: Parameter Clone-Tab.....	188
Abbildung 148: Geklonte Linien .....	189
Abbildung 149: Parameter Animate-Tab.....	190
Abbildung 150: Assignment-Tab.....	191
Abbildung 151: Sketch Style Tag – Parameter Main .....	192

Abbildung 152: Sketch Style Tag – Selections-Tab .....	193
Abbildung 153: Border für eine Polygonselektion .....	193
Abbildung 154: Parameter Sketch Render Tag .....	194
Abbildung 155: Phong-Shading eines Objektes .....	195
Abbildung 156: Art-, Cel-, Schraffur- und Punkt-Shader .....	195
Abbildung 157: Möglichkeiten von 3ds Max, XSI und C4D .....	198

## Literaturverzeichnis

Asanger, Andreas (2003)

Cinema 4D 8 Studio, 1. Auflage, Galileo Press GmbH, Bonn.

Bertelsmann Universal Lexikon (1988), Band 7

Lexikon-Institut der der Bertelsmann Lexikothek Verlag GmbH, Gütersloh.

Bertelsmann Universal Lexikon (1988), Band 8

Lexikon-Institut der der Bertelsmann Lexikothek Verlag GmbH, Gütersloh.

Bertelsmann Universal Lexikon (1988), Band 14

Lexikon-Institut der der Bertelsmann Lexikothek Verlag GmbH, Gütersloh.

Bertelsmann Universal Lexikon (1990), Fremdwörter

Bertelsmann Lexikon Verlag GmbH, Gütersloh

Gooch, Bruce/Gooch, Amy (2001)

Non-Photorealistic Rendering, A K Peters Ltd., Natick.

Held, Werner/Abadi, Ali Khatoun (2004),

3ds max 6, 1. Auflage, BHV Software GmbH. & Co. KG, Bonn.

Immler, Christian (1999)

Das große Buch 3D Studio Max 3, 1. Auflage, Data Becker GmbH & Co. KG, Düsseldorf.

Kerlow, Isaac V. (2004)

The Art of 3D Computer Animation and Effects, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Ostromoukhov, Victor (1999)

Digital Facial Engraving, in Computer Graphics Proceedings, 1999, S. 417 – 424.

Ostromoukhov, Victor/Hersch, Roger E. (1995)

Artistic Screening, in Computer Graphics Proceedings, 1995, S. 219 – 228.

Ostromoukhov, Victor/Hersch, Roger D. (1999)

Multi-Color and Artistic Rendering, in Computer Graphics Proceedings, 1999, S. 425 – 432.

Salisbury, Mike/Anderson, Corin/Lischinski, Dani/Salesin, David H. (1996)

Scalae-Dependent Reproduction of Pen-and-Ink Illustrations, in Computer Proceedings, 1996, S. 461 - 468

Schneider, Michael G./Gersting, Judith L. (2000)

An Invitation to Computer Science, Brooks/Cole, Australia/Canada/Mexico/Singapore/Spain/United Kingdom/United States.

Secord, Adrian (2002)

Weighted Voronoi Stippling, in NPAR 2002 Symposium on Non-Photorealistic Animation and Rendering, 2002, S. 37 – 43.

Strothotte, Thomas/Schlechtweg, Stefan (2002)

Non-Photorealistic Computer Graphics. Modeling, Rendering and Animation, Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco.

Watt, Alan (1991)

Fundamentals of Three-Dimensional Computer Graphics, 3. Auflage, Addison-Wesley Publishing Company, Wokingham/Reading/Menlo Park/New York/Don Mills/Amsterdam/Bonn/Sydney/Singapore/Tokyo/Madrid/San Juan.

Winkenbach, Georges/Salesin David H. (1996)

Rendering Parametric Surfaces in Pen and Ink, in Computer Graphics Proceedings, 1996, S. 469 – 476.

Wörterbuch der neuen Medien (2001)

Serges Medien GmbH, Köln.

## **Internetquellen:**

ACM Siggraph

Education Comitee

<http://www.siggraph.org/education/>, abgerufen am 10.02.2005.

ACM Siggraph

Overview

<http://www.siggraph.org/gen-info/acmsig.shtml>, abgerufen am 10.02.2005.

ARTIS a Team of the GRAVIR – IMAG Research Lab

Automatic Generation of Pencil Drawing Using LIC

<http://artis.imag.fr/~Cyril.Soler/DEA0405/Sujets/automatic-generation-of-pencil.pdf>,

abgerufen am 02.05.2005.

Autodesk Media and Entertainment

3D Studio Max

<http://www4.discreet.com/3dsmax> abgerufen am 05.06.2005

Autodesk Media and Entertainment

3D Studio Max 7 Reference Volume 2

[ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol2.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol2.pdf), abgerufen am 08.05.2005

Autodesk Media and Entertainment

3D Studio Max 7 Reference Volume 3

[ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7\\_reference\\_vol3.pdf](ftp://ftp.discreet.com/pub2/web/products/3dsmax/3dsmax7_reference_vol3.pdf), abgerufen am 08.05.2005

BET Broadcast Engineering and Training – Fernsehen/Video/Audio Online Lexikon

[http://www.bet.de/lexikon/lexikon\\_frame.htm](http://www.bet.de/lexikon/lexikon_frame.htm), abgerufen am 04.04.2005.

Cyber Adventure Tsuka

Easy Toon Rendering

<http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech1.htm>, abgerufen am 10.05.2005

Cyber Adventure Tsuka

Toon Shader Primer

<http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech2.htm>, abgerufen am 10.05.2005

Cyber Adventure Tsuka

XSI Toon Rendering

<http://www.catsuka.com/interf/morimoto/tech/tech3.htm>, abgerufen am 11.05.2005

Ed Harris

Toon Tutorial

[http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial\\_xsi\\_incidence\\_toon\\_render/toon\\_rendertree.htm](http://www.edharriss.com/tutorials/tutorial_xsi_incidence_toon_render/toon_rendertree.htm),  
abgerufen am 12.05.2005

Maxon

Cinema 4D 9.0 Referenzhandbuch

[http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), abgerufen am 12.05.2005

Maxon

Cinema 4D 9.0 Sketch and Toon Handbuch

[http://www.maxon.net/index\\_d.html](http://www.maxon.net/index_d.html), abgerufen am 06.06.2005

Ostromoukhov, Victor

Victor Ostromoukhov's Publications

[http://www.iro.umontreal.ca/~ostrom/publications/pdf/SIGGRAPH99\\_FacialEngraving\\_1200dpi.pdf](http://www.iro.umontreal.ca/~ostrom/publications/pdf/SIGGRAPH99_FacialEngraving_1200dpi.pdf), abgerufen am 03.05.2005.

Research Microsoft

<http://research.microsoft.com/~hoppe/hatching.pdf>, abgerufen am 16.03.2005

Reynolds, Craig

Stylized Depiction in Computer Graphics. Non-Photorealistic, Painterly and Toon Rendering

<http://www.red3d.com/cwr/npr/>, abgerufen am 10.02.2005.

Softimage

Product Softimage|XSI

<http://www.softimage.com>, abgerufen am 05.06.2005

Universität Rostock

Non-Photorealistic-Rendering – Begriffsbildung, Motivation, Anwendungen

[http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung\\_Baalcke.pdf](http://www.icg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/NPRBegriffsbildung_Baalcke.pdf), abgerufen am 08.02.2005.

Universität Rostock

Simulation von Aquarellen

[http://www.wieg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/Aquarelle2\\_Sedat.pdf](http://www.wieg.informatik.uni-rostock.de/archiv/Semester/SS04/ISemNPR/Aquarelle2_Sedat.pdf), abgerufen am 13.02.2005.

University of Calgary

<http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~jungle/skiagraph99/papers/veryovka.pdf>, abgerufen am 10.04.2005

Wellesley College

<http://www.wellesley.edu/CS/pmetaxas/pck50-metaxas.pdf>, abgerufen am 15.03.2005

Wikipedia - Die freie Enzyklopädie

<http://de.wikipedia.org/wiki> abgerufen am 13.03.2005.