

**Darstellung von 3D Elementen im Artworkstil
unter Einbezug des Artist für den Einsatz in
Computeranimationsfilmen**

MATTHIAS ISELE

MASTERARBEIT

eingereicht am
Fachhochschul-Masterstudiengang

DIGITAL ARTS

in Hagenberg

im Dezember 2012

© Copyright 2012 Matthias Isele

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz
Namensnennung–NichtKommerziell–KeineBearbeitung Österreich (CC
BY-NC-ND) veröffentlicht – siehe [http://creativecommons.org/
licenses/by-nc-nd/3.0/at/](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/at/)

Kurzfassung

In den vergangenen Jahren entstanden in der Computergrafik zunehmend *nicht-fotorealistische* (engl. non-photorealistic) Darstellungsformen, welche den menschlichen Zeichen- und Malstil zu imitieren versuchen. So existiert eine Vielzahl an Rendering Techniken – die *non-photorealistic Rendering* (NPR) genannten Darstellungsstile, welche ein 3D Element in vielfältigen analog wirkenden Bildästhetiken berechnen. Diese Techniken liefern jedoch synthetische Bildgenesen anhand von algorithmischen Berechnungen, bei denen der 3D Artist selbst keinen oder nur geringen kreativen Einfluss auf das automatisch generierte Endresultat besitzt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Erzeugung und Darstellung eines 3D Elements in einem konturlosen Artworkmalstil für die Nutzung in Computeranimationsfilmen. Der Fokus liegt dabei auf dem direkten Einbezug der schöpferischen Kraft eines 3D Artist. Hierzu wird ein theoretisches Gedankenmodell, basierend auf der inversen Problemlösungslogik, präsentiert, in welchem der 3D Artist als kreative Kraft im Entstehungsprozess Berücksichtigung findet. Anhand des aufgezeigten Modells kann der Artist ohne Verwendung von algorithmischen Berechnungen ein 3D Element in diesem zweidimensionalen malerischen Artworkstil mit der einzigartigen optischen Qualität des Handgemalten erzeugen.

Basierend auf einer formalen Betrachtung erfolgen die Erläuterung des konturlosen Artworkstils und die Festlegung der, für die zweidimensionale Bildästhetik verantwortlichen, analogen Faktoren sowie deren digitale Imitationen zur zweidimensionalen Anwendung. Des Weiteren wird dieser analoge zweidimensionale Artworkstil in die existierenden 3D NPR Techniken eingeordnet und den momentanen Einbezug des 3D Artist in den Erstellungsprozess diskutiert. Anhand von definierten Anforderungen erfolgen die Lösungsfindung und die Entwicklung eines theoretischen Gedankenmodells sowie eines angepassten Modells für eine prototypische Umsetzung, welches zur Evaluierung des theoretischen Konzepts dient.

Schlagwörter: 3D Texture Painting, Non-Photorealistic Rendering, NPR, Painterly Rendering, Sketch-Based Modeling, Texturing

Abstract

In the past years of computer graphics an increasing number of non-photorealistic rendering (NPR) techniques were trying to mimic the human painting and drawing style. Thus, there exists a variety of these techniques, which compute a 3D element in different analog image aesthetics. These techniques, however, provide synthetically generated images based on algorithmic calculations, where the 3D artist has no or minimum creative control of the automatically generated final image result.

This master's thesis deals with the creation and representation of a 3D element of contourless artwork painting style for use in feature animation films. Within this topic, the focus lies on the direct involvement of the creative power of a 3D artist. For this purpose a theoretical model, based on the logic of inverse problem theory, is presented in which the 3D artist is considered as creative force in the production process. Based on this model, the artist is able to generate a 3D element in this quaint two-dimensional artwork style with the unique optical quality of the hand-drawn without the use of algorithmic calculations.

Based on a formal image view the explanation of the contourless artwork style and the determination of analog factors, which are responsible for this certain two-dimensional image aesthetic, as well as their digital imitations for the two-dimensional usage are described. Furthermore, this analog two-dimensional artwork style is classified to the existing 3D NPR techniques and the current inclusion of the 3D artist in the creation process of this NPR technique is discussed. Based on defined requirements the finding solution, the development of a theoretical model and an adapted model for a prototypical implementation, which is used to evaluate the theoretical concept, are finally developed.

Keywords: 3D Texture Painting, Non-Photorealistic Rendering, NPR, Painterly Rendering, Sketch-Based Modeling, Texturing

Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die den benutzten Quellen entnommenen Stellen als solche gekennzeichnet habe. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Hagenberg, am 22. Januar 2013

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Matthias Isele', with a stylized flourish at the end.

Matthias Isele

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xvii
Listingverzeichnis	xvii
Formelverzeichnis	xviii
Abkürzungsverzeichnis	xx
Trend zu nicht-fotorealistischen Darstellungsstilen bei 3D Elementen	1
Teil 1 Grundlagen	9
1 Die Artworkdarstellung	11
1.1 Optische Verwandtschaft des malerischen Stils zu Ölgemälden	15
1.2 Die Ästhetik des malerischen Stils	16
1.2.1 Analog gemalte Bilder im malerischen Stil und die Einflussfaktoren für ihre visuelle Darstellung	17
1.2.2 Digital gemalte Bilder im malerischen Stil. Übertragung der analogen Technik auf ein neues Medium	21
1.3 Die berechneten Bildästhetiken der Computergrafik	24
1.3.1 Fotorealismus von synthetischen Bildern im Filmbereich	25
1.3.2 Nicht-fotoreale synthetische Bildgesen	28
2 Aktuelle nicht-fotorealistische Darstellungsstile in der Computergrafik	32
2.1 Der Toon Darstellungsstil	35
2.2 Der Sketchy Darstellungsstil	39
2.3 Der Painterly Darstellungsstil	40

Teil 2 Entwurf	46
3 Modellierungs- und Texturierungsarten	48
3.1 Projektive Texturierungsart.....	55
3.2 Hierarchische Texturierungsart.....	64
4 Erstellungstechniken aus den Walt Disney Animation Studios	68
4.1 Angewandte Techniken zur Materialitätserzeugung. Von neuer Texture Mapping Methode bis Textursynthese	74
4.1.1 Neue Per-Face Texture Mapping Methode: Ptex.....	78
4.1.2 Muster-basierte Textursynthese	83
4.2 Artwork-gerichtete Objektformgebungstechnik.....	87
5 Konzeptentwicklung zur Darstellung von 3D Elementen im Artworkstil	91
5.1 Lösungsfindung	94
5.2 Objektformdarstellung über das Sketch-Based Modeling Verfahren	96
5.3 Grenzenlose Objekttexturierung. Die andere Art der Materialitätserzeugung.....	101
5.4 Konzepterstellung. Das theoretische Gedankenmodell.....	113
6 Konzeptanpassung für eine prototypische Umsetzung	116
Teil 3 Anwendung	119
7 Prototypentwicklung. Lose Objektkantendarstellung durch d_PAINT	121
7.1 Zielsetzung	121
7.2 Implementierung	122
8 Praktische Anwendung.	
Validierung der Konzepte	129
8.1 Validierung der Teilkomponenten des angepassten Konzepts.....	129
8.2 Überprüfung der Machbarkeit des theoretischen Gedankenmodells.....	132
8.3 Abschließendes	134
Artist-eingebundene Erstellung von nicht-fotorealistischen 3D Elementdarstellungen	142
Quellenverzeichnis	149

A	d_PAINT MEL Code	I
B	Inhalt der Daten-DVD	XVIII
B.1	Masterthesis	XVIII
B.2	Praktische Arbeit: mi_Tools	XVIII
B.2.1	mi_Tools Dokumentation	XVIII
B.2.2	MEL Sourcecode.....	XIX
B.2.3	Icons für Maya Shelf.....	XIX
B.3	Verwendete Quellen	XIX
B.4	Sonstiges	XIX
C	Inhalt der Video-DVD	XX
C.1	Video-DVD Teil.....	XX
C.2	DVD-ROM Teil	XX
C.3	Sonstiges	XX
D	Daten-DVD	U3
E	Video-DVD	U3
	Index	XXI

Abbildungsverzeichnis

Abb. 0.1	Durchlaufphasen von neuen Entwicklungen (Quelle: Eigene Darstellung nach [Flückiger08b, ab T=00:25:22])	2
Abb. 0.2	Verwendung des nicht-fotorealistsichen Darstellungsstils in aktuellen Disney Filmen (Quelle: [IMDb])	3
Abb. 1.1	Beispiele von Konzeptzeichnungen (Quelle: [Cremante, Daimler, Quietus, Stylemag, EmpireMag_a])	12
Abb. 1.2	Traditionelle Darstellungsform (Quelle: [2DArtist07a, S. 56] und [2DArtist07b, S. 91])	13
Abb. 1.3	Verschiedene Pinselmalarten (Quelle: [Werner, Fußmann, KunstMalerei])	15
Abb. 1.4	Vergleich Artwork und Ölgemälde (Quelle: [2DArtist06, S. 86] und [MacDonald])	15
Abb. 1.5	Vergleich von langen und kurzen Malstrichen (Quelle: [Boddy-Evans_a])	20
Abb. 1.6	Schema der 3 Beeinflussungsgrößen für den individuellen Malstil nach Park et al. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Park])	21
Abb. 1.7	Verschiedene Pinselspitzen (Quelle: Eigene Darstellung)	22
Abb. 1.8	Vergleich analoges Ölbild mit digitaler Malerei (Quelle: [Fivian, ArtRage])	22
Abb. 1.9	Imitierte Farbtechniken (Quelle: Eigene Darstellung)	23

Abb. 1.10	Historische Nutzung von synthetischen Bildern in Filmen (Quelle: [EmpireMag_b, CGSociety08])	28
Abb. 1.11	Entwicklung nicht-fotorealer Darstellungen (Quelle: [DAM], [OhioState] und [Meier96, S. 478]).....	31
Abb. 2.1	Toon Darstellungsvarianten (Quelle: [Autodesk])	34
Abb. 2.2	Verschiedene Terminatordarstellungen anhand unterschiedlicher Beleuchtungsstärken (Quelle: [Birn, S. 203])	35
Abb. 2.3	Sketchy Darstellungsstil (Quelle: [Autodesk])	35
Abb. 2.4	Beispiele des Toon Darstellungsstils in Zeichentrickserien und Animes (Quelle: [IMDb, CGSociety08, AnimatedViews, LOSE]).....	36
Abb. 2.5	Beispiele des Toon Darstellungsstils im Realfilmbereich (Quelle: [IGN, IMDb]).....	36
Abb. 2.6	Beispiele des Toon Darstellungsstils bei Computerspielen (Quelle: [Gamespot] und [Mitchell, S. 28])	38
Abb. 2.7	Skizzen und Zeichnungen anhand des Sketchy Stils (Quelle: [Bourke], [Schumann] und [Kalnins, S. 756]).....	39
Abb. 2.8	Vergleich von einem analog erstellten Bild mit einer korrespondierenden berechneten Sketchy Variante (Quelle: [Isenberg, S. 118 f.])	40
Abb. 2.9	Variationen des Sketchy Darstellungsstils (Quelle: [Isenberg, S. 119])	40
Abb. 2.10	Ausprägungsformen des Painterly Darstellungsstils (Quelle: [Curtis97, S. 423] und [Davis])	41
Abb. 2.11	Beispiel des Painterly Darstellungsstils im Realfilmbereich (Quelle: [VFX_HQ])	42
Abb. 3.1	Vergleich von Vertices und Faces (Quelle: Eigene Darstellung)	49

Abb. 3.2	NURBS Modellierung (Quelle: [Piegl, S. 129])	50
Abb. 3.3	NURBS Kurve mit unterschiedlich gewichteten Kontrollpunkt P3 (Quelle: [Piegl, S. 120])	50
Abb. 3.4	Vergleich von 4 Unterteilungsschemata (Quelle: [SIGGRAPH00])	52
Abb. 3.5	Faces und Gewichtungen (Quelle: [Nvidia])	52
Abb. 3.6	Normalisierte UV-Koordinaten des Texture Space (Quelle: Eigene Darstellung)	54
Abb. 3.7	Phasen zur Erstellung einer 2D Abbildung von 3D Objekten (Quelle: Eigene Darstellung nach [Heckbert, S. 10])	55
Abb. 3.8	Beispiele von 3D/2D Mapping Hilfsobjekte (Quelle: [Livny, S. 411])	57
Abb. 3.9	Die 4 O-mapping Methoden nach Bier und Sloan (Quelle: [Bier, S. 44])	59
Abb. 3.10	Beispiele von den vorgestellten O-mapping Methoden anhand den unterschiedlichen Projektionstechniken (Quelle: [Wolfe])	59
Abb. 3.11	Pelting Methode nach Piponi und Borshukov (Quelle: [Piponi, S. 475 f. und 478])	60
Abb. 3.12	Texturüberblendung an der Schnittkante (Quelle: [Piponi, S. 475 und 478])	61
Abb. 3.13	Polycube-Maps Methode nach Tarini et al. (Quelle: [Tarini, S. 854 f.])	62
Abb. 3.14	Ein Polycube (Quelle: [Tarini, S. 854])	63
Abb. 3.15	Schematische Übersicht der Octree Datenstruktur (Quelle: [Samet88a, S. 53])	64

Abb. 3.16	3D Objekt mit Octree Texture Mapping (Quelle: [Nvidia])	65
Abb. 3.17	Funktionsweise der TileTree Methode (Quelle: [Lefebvre07, S. 27])	66
Abb. 3.18	TileTrees (Quelle: [Lefebvre07, S. 25])	66
Abb. 4.1	Disneys Verwendung des Computers als technische Hilfe (Quelle: [IMDb])	71
Abb. 4.2	Disneys Nutzung des Toon Darstellungsstils (Quelle: [Correa, S. 435])	71
Abb. 4.3	Baum aus dem Film <i>Tarzan</i> (Quelle: [SIGGRAPH03])	72
Abb. 4.4	Kolorierungsprozess von DeepCanvas (Quelle: [SIGGRAPH03])	75
Abb. 4.5	Projektionsverfahren für den Kolorierungsprozess (Quelle: [SIGGRAPH03])	75
Abb. 4.6	Reproduzierte Pinselstriche (Quelle: [SIGGRAPH03])	75
Abb. 4.7	Disneys Ansatz zur losen Kantendarstellung in Computeranimationsfilmen (Quelle: [Burley_slides])	76
Abb. 4.8	Disneys Objektnetzachelung von Subdivision Surfaces (Quelle: [Burley_slides] und [Eppstein, S. 1485])	77
Abb. 4.9	Texture Map nach Lévy et al. (Quelle: [Lévy, S. 362])	78
Abb. 4.10	Per-Face Farbinformationsübertragung nach Lee et al. (Quelle: [Lee, S. 94])	80
Abb. 4.11	Intrinsische UV-Koordinatensysteme eines polygonalen Objektes (Quelle: [Ptex])	80

Abb. 4.12	Intrinsische Informationen eines polygonalen Objektes (Quelle: [Burley_slides])	81
Abb. 4.13	Disneys Per-Face Texture Mapping: Ptex (Quelle: [Ptex], Eigene Darstellung)	83
Abb. 4.14	Textursynthese (Quelle: [Wei])	84
Abb. 4.15	Vergleich der beiden Algorithmen zur Textursynthese (Quelle: [Wei])	84
Abb. 4.16	Beispiel von Textursynthese im Computerspielebereich (Quelle: [Wei]).....	85
Abb. 4.17	Mapping Methode der Textsynthese nach Lefebvre und Hoppe (Quelle: [Lefebvre06, S. 519])	85
Abb. 4.18	Vector Flow Field (Quelle: [Wei, Fisher]).....	86
Abb. 4.19	Textursynthesebeispiel von Disney (Quelle: [Eisenacher]).....	86
Abb. 4.20	<i>Die Schaukel</i> von Jean-Honoré Fragonard (Quelle: [Fragonard])	87
Abb. 4.21	Lindenmayer-System (Quelle: [Ijiri, S. 140])	88
Abb. 4.22	Disneys Artwork-gerichtete Objektformgebung (Quelle: [Shek])	89
Abb. 4.23	Extraktionsprozess eines Skeleton (Quelle: [Au]).....	90
Abb. 4.24	Artwork aus dem Film <i>Rapunzel</i> (Quelle: [IMDb]).....	90
Abb. 5.1	Billboard Darstellung (Quelle: [SIGGRAPH99]).....	93

Abb. 5.2	Blackbox-Modell (Quelle: Eigene Darstellung)	93
Abb. 5.3	Divide and Conquer Strategie (Quelle: Eigene Darstellung)	96
Abb. 5.4	Erzeugung der losen Kantenform anhand Vertex Verschiebung (Quelle: Eigene Darstellung)	97
Abb. 5.5	Objektmodellierung anhand der SBM Methode (Quelle: Eigene Darstellung)	100
Abb. 5.6	Disneys Ansatz eines Painterly Darstellungsstils (Quelle: [SIGGRAPH03, Lusinsky])	102
Abb. 5.7	Simulierte Bilddarstellung (Quelle: [Park])	103
Abb. 5.8	Pinselfrische unter simuliertem Lichteinfall (Quelle: [Hertzmann02, S. 94])	103
Abb. 5.9	Animation im Sketchy Darstellungsstil (Quelle: [Kundert-Gibbs, S. 36])	104
Abb. 5.10	Gezeichnete Textur der Weste (Quelle: [Kundert-Gibbs, S. 43])	104
Abb. 5.11	Vertex Painting Beispiel anhand verschiedener Objektnetzichten (Quelle: Eigene Darstellung)	106
Abb. 5.12	Unterteilungen von Triangle Flächen nach Fu und Chen (Quelle: [Fu, S. 134])	106
Abb. 5.13	3D Kopf mit dem dazugehörenden UV Map (Quelle: [Kundert-Gibbs, S. 38])	107
Abb. 5.14	Verschiedene Darstellungsweisen von instanziierten Objekten (Quelle: Eigene Darstellung)	108
Abb. 5.15	Theoretisches Flächenmodell zur Texturierung (Quelle: Eigene Darstellung)	109

Abb. 5.16	Verschiedene Bemalungsmöglichkeiten (Quelle: [Hanrahan, S. 219])	110
Abb. 5.17	Fallunterscheidungen des 2D Texturkachelungsansatzes (Quelle: Eigene Darstellung)	112
Abb. 5.18	Workflow Modell nach Daily und Kiss aus dem Jahr 1995 (Quelle: [Daily, S. 297])	113
Abb. 5.19	Teilkomponenten des Lösungsansatzes (Quelle: Eigene Darstellung)	114
Abb. 5.20	Theoretisches Gedankenmodell (Quelle: Eigene Darstellung nach [Daily, S. 297])	114
Abb. 6.1	Aufsplittung der GOT Methode in seine ursprünglichen Komponenten (Quelle: Eigene Darstellung)	117
Abb. 6.2	Lösungskomponenten für den praktischen Einsatz (Quelle: Eigene Darstellung)	117
Abb. 6.3	Angepasstes Konzept für die prototypische Umsetzung (Quelle: Eigene Darstellung nach [Daily, S. 297])	118
Abb. 7.1	Beschreibung der Malrichtung zur Erstellung eines expressionistischen Bildes (Quelle: [Boddy-Evans_b])	124
Abb. 7.2	Objektnetzverformung anhand der Vertex-Translationsformel (Quelle: Eigene Darstellung)	125
Abb. 7.3	Interfaces (Quelle: [SIGGRAPH03], Eigene Darstellung)	126
Abb. 8.1	Testobjekterstellung anhand des Sketch-Based Modeling (Quelle: Eigene Darstellung)	135
Abb. 8.2	Finale Bäume aus der praktischen Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung)	135

Abb. 8.3	Artwork-gerichtete Baumkronenerzeugung (Quelle: Eigene Darstellung).....	136
Abb. 8.4	Painterly Rendering von Testobjekten anhand d_PAINT (Quelle: Eigene Darstellung).....	136
Abb. 8.5	Direkter Vergleich eines Standard Rendering mit Prototypergebnis (Quelle: Eigene Darstellung).....	137
Abb. 8.6	Darstellung der Funktionsweise des Prototyps (Quelle: Eigene Darstellung).....	137
Abb. 8.7	Vergleich des Prototypergebnisses mit einer analogen Ölbildmalerei (Quelle: Eigene Darstellung).....	138
Abb. 8.8	Vergleich des Prototypergebnisses mit einem Artwork im malerischen Stil (Quelle: Eigene Darstellung).....	138
Abb. 8.9	Detailstufendarstellung am Beispiel einer Baumkrone (Quelle: Eigene Darstellung).....	139
Abb. 8.10	Problematik der Prototypnutzung in einer 3D Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung).....	139
Abb. 8.11	Dreidimensionale Kantendarstellung anhand des Prototyps (Quelle: Eigene Darstellung).....	140
Abb. 8.12	Kantendarstellungsüberlappungen aufgrund Vertex Positionierung (Quelle: Eigene Darstellung).....	140
Abb. 8.13	Objekte im malerischen Artworkstil aus der praktischen Anwendung (Quelle: Eigene Darstellung).....	141

Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1	Vereinfachungsschemata (Quelle: Eigene Darstellung nach [SIGGRAPH00]).....	52
Tab. 4.1	Einspielergebnisse Zeichentrick-, Animationsfilme (Quelle: Eigene Darst. nach [Lumiere, MovieJones, Wulfmansworld])	69
Tab. 4.2	Evaluation von Texturierungsarten für den Einsatz in den WDAS (Quelle: Eigene Darstellung nach [Burley, S. 1157]).....	79
Tab. 5.1	Evaluation der Varianten anhand von den definierten Anforderungen (Quelle: Eigene Darstellung)	94

Listingverzeichnis

Listing 7.1	Pseudocode der Hauptprozedur d_PAINT() (Quelle: Eigene Darstellung).....	123
Listing 7.2	Code-Fragment aus der Hauptprozedur d_PAINT() (Quelle: Eigene Darstellung).....	128
Listing A.1	d_PAINT.mel (Quelle: Eigene Darstellung).....	I

Formelverzeichnis

Gl. (3.1)	Allgemeine Form einer NURBS Kurve (Quelle: [Piegl, S. 117])	50
Gl. (3.2)	Knotenvektor (Quelle: [Piegl, S. 117])	51
Gl. (3.3)	Rationale Basis Funktionen (Quelle: [Piegl, S. 118])	51
Gl. (3.4)	Finale Form einer NURBS Kurve (Quelle: [Piegl, S. 118])	51
Gl. (3.5)	Formel für NURBS Fläche (Quelle: [Piegl, S. 128])	51
Gl. (3.6)	Vertex Positionsbestimmung bei SubDs nach Catmull und Clark (Quelle: [Catmull78, S. 354])	51
Gl. (3.7)	Zuordnungsfunktion F (Quelle: Eigene Darstellung)	54
Gl. (3.8)	Texture Mapping Phasen (Quelle: Eigene Darstellung nach [Bier, S. 41])	56
Gl. (3.9)	Vorwärts planar S-mapping (Quelle: [Bier, S. 43])	56
Gl. (3.10)	Rückwärts planar S-mapping (Quelle: [Bier, S. 43])	56
Gl. (3.11)	Vorwärts cylindrical S-mapping (Quelle: [Bier, S. 43])	56

Gl. (3.12) Rückwärts cylindrical S-mapping (Quelle: [Bier, S. 43])	57
Gl. (3.13) Spherical S-mapping (Quelle: [Bier, S. 44 f.])	57
Gl. (4.1) Ptex: Rotationsvorschrift r (Quelle: [Burley, S. 1158])	82
Gl. (7.1) Pseudocode der Berechnungsformel für neue Partikel Position (Quelle: Eigene Darstellung)	124
Gl. (7.2) Implementierte Berechnungsformel (Quelle: Eigene Darstellung)	124
Gl. (7.3) Vertex-Translationsformel (Quelle: Eigene Darstellung)	124

Abkürzungsverzeichnis

CCO	chief creative officer (dt. Kreativchef)
cel	celluloid (dt. Zelluloid)
CG	computer-generated (dt. computergeneriert)
CGI	computer-generated imagery
EVA	Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe
FCFS	First-Come-First-Served
FIFO	First-In-First-Out
GOT	grenzenlose Objekttexturierung
GUI	graphical user interface (dt. grafische Benutzeroberfläche)
ILM	Industrial Light & Magic
ISN	intermediate surface normal
Isoparms	isoparametric curves (dt. Isoparametrische Flächenkurven oder Isokurve)
LOD	level of detail (dt. Detailstufen)
MEL	Maya Embedded Language
NPR	non-photorealistic rendering
NURBS	non-uniform rational B(asis)-splines
SBM	sketch-based modeling
SubDs	subdivision surfaces (dt. Unterteilungsfläche)
VES	Visual Effects Society
WDAS	Walt Disney Animation Studios
WDI	Walt Disney Imagineering
ZKM	Zentrum für Kunst und Medientechnologie

Einleitung

Trend zu nicht-fotorealistischen Darstellungsstilen bei 3D Elementen

„Although photorealistic rendering¹ and animation have been the ‚holy grail‘ of computer graphics for several decades now, recent trends in both taste and technology have been pushing other CG² rendering techniques. Collectively called NPR (for Non-Photorealistic Rendering), these techniques allow for a broad range of aesthetic and narrative effects that complement and extend the capabilities of photoreal rendering.“ [Kundert-Gibbs, S. 35].

Unter dem Begriff der nicht-fotorealistischen Darstellungsstile (engl. Non-Photorealistic Rendering oder kurz: NPR) werden zusammenfassend verschiedene Rendering Techniken verstanden, welche sich alle einer alternativen Bilddarstellung gegenüber der allgemein angestrebten Realismusabbildung im Bereich der Computergrafik verschrieben haben.³ Diese nicht-fotorealistischen Darstellungsstile, welche vor allem den menschlichen analogen Mal- und Zeichenstil zu imitieren versuchen, sind jedoch keineswegs neue Entwicklungen aus der modernen digitalen Bilderzeugung. Vielmehr stellen diese, als Gesamtheit betrachtet, die Urform der computergenerierten Darstellungen dar, zu welcher heutzutage wieder verstärkt zurückgekehrt wird.

Wandel zu nicht-fotorealistischen Darstellungen. Einen Grund für diesen Trend können die Untersuchungen von Barbara Flückiger⁴ liefern. Werden ihre allgemeinen Beobachtungen zum Einsatz neuer Entwicklungen [Flückiger08b, T=00:25:22–00:28:07] auf den Wandel zur nicht-fotorealistischen Darstellungsform übertragen, so zeigt sich, dass die *fotorealistische Darstellungsform* sich theoretisch bereits in einer wirtschaftlichen *Sättigungsphase* befindet und hierbei die nicht-fotorealistischen Darstel-

¹Unter *rendering* wird in der Computergrafik die synthetische Erzeugung eines Bildes anhand von 3D Daten verstanden [Okun, S. 878].

²Der Begriff CG steht für computer-generated (dt. computergeneriert). Oft im Zusammenhang mit dem Wort *imagery* verwendet (CGI). Dieser Begriff meint in der Computergrafik alle aus einem Rendering Prozess erzeugten Bilder.

³Die einzelnen Stile werden in Kapitel 2 erläutert.

⁴Barbara Flückiger ist eine Schweizer Filmwissenschaftlerin und -technikerin.

lungsstile zusammengenommen ihrerseits die Rolle einer dominierenden, neuen Entwicklung einnehmen (Abb. 0.1).

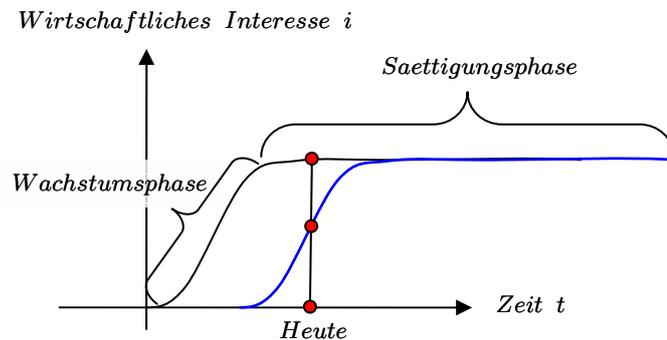


Abbildung 0.1 Durchlaufphasen von neuen Entwicklungen. Die schwarze Kurve stellt die fotorealistische und die blaue die nicht-fotorealistische Darstellungsform dar. Die roten Punkte symbolisieren den momentanen Zeitpunkt in der Phase, in welche die jeweilige Darstellungsform aktuell befindet. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Flückiger08b]).

Verwendung im Einzelbildbereich. Diese theoretisch aufgezeigte Dominanz der nicht-fotorealistischen Darstellungsstile zeigt sich auch in der Praxis wieder. So hat die nicht-fotorealistische Darstellungsform mittlerweile Einzug in viele Anwendungsbereiche der Bilddarstellung gehalten. Aufgrund seiner, in den vergangenen Jahren entstandenen, vielfältig ausgeprägten Stile (z. B. [Curtis97, Secord, Sousa03a, Schlechtweg, Zander]), werden diese – trotz der heutzutage gegebenen Möglichkeit zur fotorealistischen Bildgenese in der Computergrafik, wie die Abbildung 1.10f auf Seite 28 beispielhaft aufzeigt – als kostengünstige Alternativen zu realen Fotoaufnahmen für diverse Verwendungszwecke in z. B. den traditionellen Printmedien eingesetzt [Deussen01, S. 71]. Doch nicht nur alleine diese *ökonomischen Aspekte* halfen der nicht-fotorealistischen Darstellungsform sich gegenüber sein, in den vergangenen Jahrzehnten in der Computergrafik, stets bevorzugtes fotorealistisches Pendant durchzusetzen. Begünstigt wird diese Form auch zum einen durch eine *Bildästhetikpräferenz* auf Seiten des Betrachters. So wird sowohl von Kindern wie auch von Erwachsenen, wie John Lasseters⁵ Aussage in [Ackermann] impliziert und durch die Studien von [Haas, Kaltenböck] belegt wird, nach wie vor im Allgemeinen eine zeichentrickhafte gegenüber eine zu fotorealen Bildästhetik bevorzugt. Zum anderen kann ebenfalls – Bezug nehmend auf das einleitende Zitat von Kundert-Gibbs et al. – die spezielle *Informationsvermittlung*⁶, welche anhand dieser besonderen Darstellungsform ermög-

⁵John Lasseter ist Kreativchef (engl. chief creative officer kurz: CCO) sowohl bei den Walt Disney Animation Studios wie auch bei Pixar. Darüber hinaus ist er Hauptkreativberater bei Walt Disney Imagineering (WDI) [Pixar].

⁶Auf diese Besonderheit wird explizit in Abschnitt 1.3.2 auf Seite 28 ausführlicher eingegangen.

licht wird, für den aktuellen Wandel hin zur verstärkten Nutzung dieser nicht-fotorealistischen Darstellungsstile in den verschiedensten Bilddarstellungsbereichen mitverantwortlich gemacht werden.

Verwendung im Bewegtbildbereich. Aufgrund dieser vielfältigen Begünstigungsfaktoren, erfuhr diese Darstellungsform eine stetige Weiterentwicklung seiner Stile und deren Einsatzbereiche. So findet sich diese Form mittlerweile nicht mehr nur für die Erzeugung von Einzelbildern, sondern ebenfalls im Bewegtbildbereich wieder (z.B. [FBF]). Durch die Erschließung dieses Bereichs erhielt diese Darstellungsform zunehmend größeres Interesse auf Seiten der allgemeinen Anwendung für Computeranimationen (siehe dazu [Kalnins] und [Conlan, S. 78ff.]). Bereits zu den Anfängen schenken daher die Walt Disney Animation Studios (WDAS) dieser besonderen digital erzeugten und dennoch analog anmutenden Darstellungsform Beachtung [Meier96]. So nutzen die WDAS bereits die digitale nicht-fotorealistische Darstellungsform in Kombination mit den traditionell analog erstellten Darstellungen innerhalb ihrer damaligen abendfüllenden Zeichentrickfilme [Correa, TDCD].

Aktuellste Entwicklung. Auch heutzutage verwendet Disney noch einen – nach [Meier96] – speziellen Stil dieser nicht-fotorealistischen Darstellungsform in ihren Computeranimationsfilmen (z.B. [Lusinsky]), um auf modernste Weise ihre Ideen visuell in den traditionell erstellt erscheinenden digitalen Bilderwelten auszudrücken, wie die aktuellsten Produktionsbeispiele [Bolt, Rapunzel] aus den Jahren 2008 und 2010 (Abb. 0.2a und 0.2b) aufzeigen.



Abbildung 0.2 Verwendung des nicht-fotorealistischen Darstellungsstils in aktuellen Disney Filmen. (a) *Bolt – Ein Hund für alle Fälle* (2008) [Bolt]. Die angestrebte visuelle Bildästhetik der Hinter- und Vordergrundobjekte des Films entsprechen einem analogen malerischen Stil. (b) *Rapunzel – Neu verhöhnt* (2010) [Rapunzel]. Das visuelle Ziel der Umgebungsdarstellung war ein Erscheinungsbild im Stil der, zu den einzelnen Szenen angefertigten, Artworkbilder (vgl. Abb. 4.24, S. 90) zu erschaffen. (Quelle: [IMDb]).

Dieser spezielle nicht-fotorealistische Darstellungsstil, den Disney in den aufgeführten Bildbeispielen für die Erzeugung einer malerischen Bildästhetik verwendet, versucht gezielt die Stärke eines traditionellen Zeichentrickfilms, welche in der optischen Qualität des Handgemalten liegt, in einem computergenerierten abendfüllenden Animationsfilm einzusetzen.

Defizite. Da jedoch die *digitale Bildästhetik* im Gegensatz zum menschlichen Handgemalten eine *formale Kontinuität* besitzt, wirken die artifiziellen Bildgenesen visuell steril und präzise. Diese Kontinuität rührt von der Perfektion des Binären her, dessen wesentliches Merkmal darin besteht, lediglich 2 Zustände besitzen zu können. Die hieraus resultierende Präzision ist dafür verantwortlich, dass aus wahrnehmungspsychologischer Sicht der Rezipient die computergenerierten Bilder als unnatürlicher gegenüber ihre handgemalten Pendants empfindet. Dies bedeutet, dass die Qualität des Handgemalten demnach in der *Natürlichkeit der Bilder* zu finden ist. Diese Natürlichkeit ist auf die, der Perfektion des Computers gegenüberstehende, *Unvollkommenheit der menschlichen Natur* zurückzuführen. Die bisher eingesetzten Rendering Techniken auf dem Gebiet der natürlichen 3D Bildästhetikerzeugung versuchen im Allgemeinen diese Natürlichkeit der handgemalten Bilder durch den Einsatz von *algorithmischen Berechnungen* zu imitieren, bei welchen jedoch der 3D Artist nahe zu *keinen direkten kreativen Einfluss* auf das entstehende Bild besitzt. Dies bedeutet, dass hierbei die Perfektion des Computers genutzt wird, um die, durch die Unvollkommenheit des Menschen, entstehende *Ungleichmäßigkeit* eines gemalten Bildes anhand von mathematischen Zufallsberechnungen nachzuahmen. Da es sich jedoch hierbei um programmierte Zufälle handelt, folgen sie wiederum nur zuvor festgelegten mathematischen Regeln und entsprechen nicht den menschlichen Maldarstellungsunstimmigkeiten. *Somit erzeugen die algorithmisch basierten Malstilimitationen lediglich dem menschlichen Malstil ähnelnde Bilder, da es ihnen nach wie vor an Natürlichkeit fehlt.*

Doch nicht nur alleine die Erzeugung der Natürlichkeit, die in handgemalten Bildern vorgefunden wird, stellt bei der Erschaffung von 3D Elementen in einer zweidimensionalen Bildästhetik eine Problematik dar, sondern zusätzlich muss in einer 3D Umgebung, im Gegensatz zu dem Standbildbereich, das zweidimensionale Objektaussehen gleichzeitig von allen Blickrichtungen erhalten bleiben. Einige, wiederum auf Algorithmen basierende, Lösungsansätze zu dieser Thematik lieferten bereits die Entwicklungen von [Davis, Kalnins]. Jedoch übernimmt bei ihren aufgezeigten Methoden, aufgrund der Erzeugung durch mathematische Berechnungen, ebenfalls der Computer die Hauptaufgabe bei der Erstellung des Bildaussehens, sodass die entstehenden Bilder in den Computeranimationen letztendlich wiederum nur *Annäherungen eines angestrebten natürlichen Malstils* darstellen (siehe z. B. Abb. 2.10c, S. 41).

Thematik und Ziele. Die vorliegende Arbeit versucht daher die aufgezeigten Lücken zu schließen und neue Erkenntnisse auf dem Gebiet der *natürlichen dreidimensionalen Malstildarstellung* zu liefern. Aus diesem Grund setzt sich die Arbeit mit der Thematik einer *Artist-eingebundenen Erzeugungsweise* zur Darstellung von 3D Elementen in einem malerischen nicht-fotorealistischen Darstellungsstil für den Einsatz in Computerani-

mationsfilmen auseinander. Hierbei handelt es sich konkret um einen *Artworkstil* und den Versuch, die besondere *optische analoge Qualität des Handgemalten* auf eine digitale dreidimensionale Umgebung zu übertragen. Hierbei meint *Artist-eingebunden* nicht einen bloßen Einbezug des Artist in Form von der Vorgabe eines Malstils und der automatischen Berechnung durch den Computer wie nach [Kalnins], sondern – basierend auf Doug Coopers Aussage, dass „*Drawings look best when drawn (...)*“ [Cooper, S. 64] – eine *bewusst aktive, künstlerische Anteilnahme* auf Seiten des Artist in den Erstellungsprozess. Daher beschreibt die vorliegende Arbeit weder die Verwendung eines speziellen Artist-freundlichen Shader⁷ noch die Zuhilfenahme einer anderen algorithmischen Berechnung für die Erstellung des Artworkdarstellungsstils. Vielmehr wird auf Basis eines allgemeinen Lösungswegs – in der Arbeit als *indirekte Herangehensweise* bezeichnet – eine mögliche Lösung zur simplen und intuitiven Erstellung einer natürlich wirkenden 3D Elementdarstellung durch den Artist selbst, mit der Absicht diese Darstellungsform für Computeranimationsfilme zu nutzen, erarbeitet und in Form eines Modells dargelegt.

Fragestellung. Dabei steht stets die *Fragestellung* im Zentrum der Untersuchungen, *wie ein 3D Element unter Einbezug des Artist in den Erstellungsprozess so erzeugt und dargestellt werden kann, dass die optische Eigenheit eines Artworkstils in einer 3D Umgebung erhalten bleibt.*

Hypothesen. Zur Entwicklung eines Lösungsansatzes, werden 2 *Hypothesen* formuliert, welche für die vorliegende Thesis als Arbeitsgrundlagen dienen.

- **Hypothese 1.** Wenn anstelle eines Algorithmus *der Artist* selbst die *schöpferische und kreative Kraft* im Erstellungsprozess ist, dann kann ein *3D Element* im *Artworkstil* mit sämtlichen *Darstellungsbesonderheiten*, bedingt durch die menschliche Unvollkommenheit, *dargestellt* werden.
- **Hypothese 2.** Wenn eine *2D-basierte Erzeugungsweise* zur Erstellung eines 3D Elements im analogen zweidimensionalen *Artworkstil* verwendet wird, dann weist das *3D Element* eine von allen Seiten *kontrollierbare* und dadurch *kohärente Bildästhetik* auf.

Methoden. Für die Entwicklung des theoretischen Gedankenmodells werden zunächst, aus theoretischer und praktischer Sicht, *Untersuchungen* der Involvierung des Artist in die verschiedenen Erstellungsprozesse

⁷Ein Shader ist ein Computerprogramm, welches das Aussehen eines 3D Objektes anhand seiner Materialitätseigenschaft definiert. Dabei wird jedem Vertex (Definition auf S. 48) oder Pixel einen bestimmten Farbwert im eigentlichen Rendering Prozess zugeordnet, basierend auf der Berechnung der Lichteinwirkung auf die zugrunde liegende Materialität des Objektes. Für eine detaillierte Beschreibung, siehe hierzu [Okun, S. 672–673].

des Modellierungs- und Texturierungsbereichs durchgeführt. Für die Praxisbetrachtung werden hierzu die Walt Disney Animation Studios herangezogen. Danach werden aus den gewonnenen Erkenntnissen dieser Untersuchungen *Anforderungen* für die Lösungsfindung *induktiv* definiert. Anhand von diesen Anforderungen wird schließlich, basierend auf der Logik der *inversen Problem Theorie*⁸, das theoretische Gedankenmodell entwickelt. Die Überprüfung des aufgestellten theoretischen Gedankenmodells erfolgt letztlich anhand einer *indirekten Validierung* über ein angepasstes Modell und einen hierfür entwickelten *Prototyp*.

Struktur der Arbeit. Die vorliegende Forschungsarbeit gliedert sich in 3 Teile. Den Einstieg in die Thematik der natürlichen dreidimensionalen Malstildarstellung bildet der *1. Teil* dieser Thesis (*Grundlagen*, S. 9). Die dort enthaltenen 2 Kapitel dienen im Wesentlichen als Verständnisgrundlage. Aus diesem Grund wird die in der Arbeit speziell angesprochene Artworkdarstellung sowie die verschiedenen nicht-fotorealistischen Darstellungsstile der Computergrafik detailliert erläutert.

Zu diesem Zweck wird im *1. Kapitel (Die Artworkdarstellung*, S. 11) zunächst allgemein auf analoge und digitale Bilder eingegangen. Den Anfang macht hierbei die Definition des Artworkbegriffs. Danach wird auf Basis einer rein formalen Betrachtung nach [Wölfflin, Riegl] eine Verwandtschaft zu anderen Farbmaltechniken aufgezeigt. Anschließend wird im Detail erörtert welche Faktoren für diese charakteristische Bildästhetik verantwortlich sind und mit welchen Mitteln diese für eine digitale zweidimensionale Bilderstellung nachempfunden werden. Das Kapitel schließt letztlich mit der allgemeinen Betrachtung von computergenerierten dreidimensionalen Bildgenesen ab. Hierzu wird ein Überblick über die beiden möglichen synthetischen Darstellungsformen in der Computergrafik – *fotoreal* und *nicht-fotoreal* – geliefert und dabei auf die Eigenheiten der jeweiligen Form eingegangen.

Das *2. Kapitel (Aktuelle nicht-fotorealistische Darstellungsstile in der Computergrafik*, S. 32) widmet sich speziell der nicht-fotorealistischen Form. Hierbei werden zum einen die verschiedenen Stile der nicht-fotorealistischen Darstellungsform und deren Einsatzgebiete betrachtet. Zum anderen wird der, für die Arbeit relevante, zweidimensionale Artworkstil in einer der aufgezeigten Darstellungsstile zugeordnet und eruiert in welchem Maß der Artist in den Erstellungsprozess dieses 3D Stils dabei bereits involviert ist.

Aufbauend auf den ersten beiden Kapiteln beschäftigt sich der *2. Teil (Entwurf*, S. 46) der Arbeit innerhalb der folgenden 4 Kapitel schließlich mit der Lösungsfindung und der Ausarbeitung eines Konzepts. Der Fokus

⁸Unter einem *inversen Problem* wird die Logik verstanden, einen Lösungsweg zu entwickeln, der anhand der beobachteten Wirkung auf die Ursache schließen lässt. Siehe hierzu [Tarantola].

der Lösungsfindung liegt hierbei auf der schöpferischen und kreativen Kraft des Artist. Aus diesem Grund wird im Rahmen der Konzepterstellung sowohl aus theoretischer wie aus praktischer Sicht, die aktive, künstlerische Anteilnahme auf Seiten des Artist in die jeweiligen Erstellungsprozesse eines 3D Elements überprüft.

Das *3. Kapitel (Modellierungs- und Texturierungsarten, S. 48)* handelt daher mit der Betrachtung der momentanen Möglichkeiten zur Erstellung von 3D Objekten im Allgemeinen. Dies dient zur Überprüfung, ob die Erzeugung eines 3D Elements in einem Artworkstil unter einer künstlerischen Anteilnahme theoretisch mit den existierenden Erstellungstechniken möglich ist. Hierbei werden sowohl die Grundmodellierungstechniken sowie die verschiedenen Texturierungsmethoden der Computergrafik aufgezeigt und die jeweiligen Vor- und Nachteile in Hinblick auf den Einbezug des Artist in den jeweiligen Prozess diskutiert.

Das anschließende *4. Kapitel (Erstellungstechniken aus den Walt Disney Animation Studios, S. 68)* zeigt anhand praxisbezogenen Beispielen aus den WDAS, wie Disney versucht diese natürliche dreidimensionale Malstildarstellung für ihre 3D Elemente zur Verwendung in Computeranimationsfilmen durch eine aktive, künstlerische Einbeziehung des Artist in den Erstellungsprozess zu erreichen. Zu diesem Zweck wird die von den WDAS verwendete Modellierungs- und Texturierungsart [Burley, Eisenaicher, Shek] explizit betrachtet und erörtert in wie fern dabei der Einbezug des Artist bereits in der Praxis realisiert ist.

Im *5. Kapitel (Konzeptentwicklung zur Darstellung von 3D Elementen im Artworkstil, S. 91)* werden zunächst aus den gewonnenen Erkenntnissen der vorangegangenen Kapiteln Anforderungen für einen Lösungsansatz induktiv erstellt. Auf Grundlage dieser Anforderungen erfolgt schließlich die Entwicklung eines theoretischen Gedankenmodells.

Das *6. Kapitel (Konzeptanpassung für eine prototypische Umsetzung, S. 116)* beschäftigt sich mit der Adaption des theoretischen Gedankenmodells für eine prototypische Umsetzung.

Ausgehend von dem entwickelten angepassten Konzept handelt der *3. Teil (Anwendung, S. 119)* über eine prototypische Teilumsetzung und die Anwendung des Prototyps in der Praxis, um das ursprüngliche theoretische Gedankenmodell anhand einer indirekten Validierung auf die Machbarkeit zu überprüfen.

Das *7. Kapitel (Prototypentwicklung. Lose Objektkantendarstellung durch d_PAINT, S. 121)* beschreibt zunächst die Implementierung der Teilkomponente des angepassten Entwurfs, welcher zur Erzeugung der Objektkanten eines 3D Elements im Artworkdarstellungsstil benötigt wird.

Im *8. Kapitel (Praktische Anwendung. Validierung des angepassten Konzepts, S. 129)* erfolgt die Validierung der beiden Entwürfe und die

Ergebnispräsentation des angepassten Konzepts unter Verwendung des Prototyps anhand von Bildbeispielen.

Das *Schlusskapitel* (S. 142) der vorliegenden Arbeit setzt sich letztlich mit der Bewertung des aufgezeigten Ergebnisses auseinander. Zu diesem Zweck erfolgen die Zusammenfassung der Arbeit und die Einschätzung der präsentierten Ergebnisse des angepassten Konzepts. Anhand diesen wird die Verifikation der aufgestellten Hypothesen vorgenommen. Des Weiteren werden die Weiterentwicklung des aufgezeigten theoretischen Entwurfs und mögliche Alternativen hierzu diskutiert.

Verwendete Literatur. Die zugrunde liegende Kernliteratur dieser Thesis besteht aus wissenschaftlichen Publikationen und Fachbüchern zu den Themengebieten des Non-Photorealistic Rendering Bereichs, der alternativen Modellierungs- und Texturierungsverfahren von 3D Objekten, der Animation und der Computergrafik im Allgemeinen sowie aus Diplom- und Thesarbeiten, welche sich mit den Thematiken der analogen Darstellung von digitalen Inhalten, Zeichentrick- und Animationsfilmen beschäftigen.

Anmerkungen. Der verwendete englische Begriff *Artist* wird in der vorliegenden Thesis *nicht* als das deutsche Wort *Künstler* gebraucht. Der Begriff bezieht sich stellvertretend auf Personen aus dem digitalen 3D Arbeitsumfeld und steht daher für den, ins Deutsche übernommenen, englischen beruflichen Sammelbegriff des *3D Artist*.

Im Gegensatz hierzu stammt die ebenfalls in der vorliegenden Arbeit vorkommende deutsche Begrifflichkeit des *Künstlers* aus dem Bereich der *Bildenden Künste*. Der in diesem Zusammenhang verwendete Begriff *künstlerisch* wird aus diesem Grund in der Arbeit auch als *Synonym* für die *menschliche Kreativität* gebraucht.

Zudem wurden bewusst einige tangierte Themenbereiche nicht erschöpfend erörtert, da diese ausschließlich als Verständnisbasis betrachtet wurden und als solche auch verstanden werden wollen. Für Leser, die sich dennoch mehr Informationen zu diesen Themen wünschen, sei daher nahe gelegt die – für diesen Zweck entsprechend aufgeführten – Fachliteraturhinweise innerhalb der Arbeit zu beachten oder sich direkt über das Quellenverzeichnis der Thesis zu informieren. Dieses sowie die gesicherten Internetquellen, der Prototyp und die Thesis selbst, finden sich zur schnelleren Auffindung unter der gleichen Benennung wie im Quellenverzeichnis auf der beigefügten Daten-DVD – Anhang D – wieder.⁹ Die komplette Inhaltsbeschreibung dieser DVD kann unter Anhang B auf Seite XVIII nachgelesen werden. Die vorliegende Arbeit wurde zudem bewusst einseitig gedruckt, um eine bessere Lesbarkeit und eine übersichtliche Ergebnispräsentation für den Leser zu gewährleisten.

⁹Über *./index.html* von der Daten-DVD ist eine Komplettübersicht der verwendeten Quellen aufrufbar.

Teil 1

Grundlagen

„Making art is a creative and thoughtful process. It may even be uniquely human. (...) None of the techniques (...) are candidates for true artificial creativity.“ [Reynolds].

Der 1. Teil dieser Thesis dient als Einführung in die Thematik der Arbeit und zur Hinführung zur Lösungsentwicklung, wie ein 3D Element in einem Artworkstil durch einen aktiven Einbezug des Artist erzeugt und dargestellt werden kann, sodass die optische Eigenheit der spezifischen Artworkdarstellungsform¹⁰ erhalten bleibt. Für die Erarbeitung eines Lösungsansatzes, müssen zunächst einige Grundlagen für das Verständnis dieser Thematik geklärt werden. Daher wird innerhalb der kommenden 2 Kapitel die Verständnisbasis auf Seiten sowohl des relevanten Artworkstils geschaffen sowie die Einbeziehungsmöglichkeiten des Artist in den Erstellungs- und Darstellungsprozess betrachtet. Diese vorgenommenen Untersuchungen dienen dazu, um im 2. Teil der Arbeit darauf aufbauend einen Lösungsweg entwickeln zu können.

Im anschließenden 1. Kapitel erfolgt aus diesem Grund zunächst die Klärung des weitläufigen Begriffs des Artwork, indem dargelegt wird was im weiteren Verlauf der Arbeit darunter konkret verstanden wird. Hierzu werden einige Bildbeispiele aufgezeigt und im Weiteren zum einen daran erörtert welche Ausprägungsformen existieren und zum anderen in welchen Bereichen diese eingesetzt werden. Dabei wird gezielt auf die opti-

¹⁰Gemeint sind Artworkdarstellungen mit *losen Kantendarstellungsformen*. Beschrieben in Kapitel 1 auf Seite 14.

schen Eigenschaften dieser speziellen, für die Forschungsfrage relevanten, Artworkdarstellung eingegangen und anhand einer formalen Betrachtung nach [Wölfflin, Riegl] untersucht. Zu diesem Zweck werden sowohl analoge wie auch digital gemalte Bilder betrachtet, um zum einen die Einflussungsfaktoren für das spezifische analoge Bildaussehen bestimmen zu können und zum anderen um aufzuzeigen wie diese in der digitalen Malerei im Allgemeinen nachempfunden werden. Am Ende des 1. Kapitels erfolgt schließlich die Betrachtung der beiden berechneten Darstellungsmöglichkeiten – *fotoreal* und *nicht-fotoreal* – der synthetischen Bildgenesen in der Computergrafik. Hierbei wird sowohl auf deren Ursprünge wie auch auf die aktuellsten Entwicklungen, mit dem Schwerpunkt auf den nicht-fotorealistischen Bereich, eingegangen.

Das 2. Kapitel widmet sich dann schließlich speziell der nicht-fotorealistischen Darstellungsform. Innerhalb des 2. Kapitels erfolgen die Darlegung der verschiedenen Stile dieser Darstellungsform und die Beschreibung der unterschiedlichen Anwendungsgebiete in der Praxis. Der 1. Teil der Thesis schließt letztlich mit einer detaillierteren Auseinandersetzung eines, für die dreidimensionale Objektdarstellung im Artworkstil relevanten, vorgestellten Darstellungsstils – der Painterly Darstellungsstil auf Seite 40 – der nicht-fotorealistischen Darstellungsform ab. Hierbei wird gezielt auf die aktive Teilnahme des Artist im Erstellungs- und Darstellungsprozess eingegangen und evaluiert ob Reynolds Meinung, aus dem einleitenden Zitat, tatsächlich zutrifft. Diese finale Erörterung dient letztlich als Überleitung zum 2. Teil, dem Entwurf, der Arbeit.

Kapitel 1

Die Artworkdarstellung

Das vorliegende Kapitel handelt überwiegend allgemein über gemalte Bilddarstellungen. Darüber hinaus wird gegen Ende des Kapitels auch die synthetische Bildgenese thematisiert. Im ersten Teil des Kapitels werden zu diesem Zweck sowohl traditionell wie auch digital erstellte Bilder betrachtet und deren Relation und Parallelen zueinander erörtert. Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt hierbei auf einer rein formalen Bildbetrachtungsebene nach [Wölfflin, Riegl], durch welche die visuelle Erscheinung und die Wirkung der Bilder aufgezeigt wird. Als Einstieg erfolgt zunächst die Definition des Artworkbegriffs.

Unter dem englischen Begriff *Concept Artwork* (dt. Konzeptzeichnung) oder kurz *Artwork* wird im Allgemeinen eine „*illustrative representation of a design direction, motif, or theme*“ [Leggitt, S. 24] verstanden.

Heutzutage finden Artworks in viele unterschiedlichen Bereichen Verwendung. Für die Automobilindustrie, Architektur, Mode, Print- und Filmbereich oder in der Computerspieleindustrie sind sie nicht mehr wegzudenken. Doch die Idee eine Illustration zur Visualisierung einer ideellen Vorstellung zu nutzen, ist keine Neue. So wurde beispielsweise bereits von Leonardo da Vinci im 15. Jahrhundert Konzeptzeichnungen eingesetzt, um seinen Ideen eine visuelle Form zu geben (Abb. 1.1a). Karl Benz verwendete 1886 eine Konzeptzeichnung seines gasmotorbetriebenen Fahrzeuges für die Patentanmeldung (Abb. 1.1c). Innerhalb des Filmbereichs setzte Robert Wiene ebenfalls Artworkzeichnungen bei seinem Stummfilm *Das Cabinet des Dr. Caligari* aus dem Jahr 1920 ein (Abb. 1.1b). Auch Fritz Lang bediente sich für seinen im Jahr 1927 entstandenen Film *Metropolis* bei dieser Darstellungsform, um die, für die damalige Zeit aufwendigen und revolutionären, Setbauten anhand den Designentwurfszeichnungen zu realisieren (Abb. 1.1e). Für Disneys ersten Zeichentrickfilm *Schneewittchen und die 7 Zwerge* aus dem Jahr 1937 wurden ebenfalls Artworkzeichnungen als Referenzbilder für die Zeichner eingesetzt (Abb. 1.1d). Dies zeigt, dass damals wie heute Illustrationen dazu eingesetzt werden, um auf eine visuelle Weise die eigenen Ideen anderen mitzuteilen. Durch diese mannigfaltigen Einsatzmöglichkeiten ergibt sich letztlich, dass die Darstellungsform des Artwork nicht auf eine Form beschränkt ist. So existiert eine Reihe von unterschiedlichen Ausprägungsformen, welche durch den Darstellungsgrad der einzelnen Zeichnungen herrührt. Erklärbar ist diese entstandene Vielfalt der verschiedenen Darstellungsgrade dadurch, dass diese maßgeblich für die Bildwirkung auf

den Rezipienten verantwortlich sind. So besitzt jede Ausprägungsform mit seinem eigenen Darstellungsgrad ihren eigenen *Mehrwert* (siehe S. 28f.) und kann unterschiedlich eingesetzt werden. Aufgrund dieser Vielfalt werden in der Arbeit die Artworkbilder zunächst in 2 *Kategorien* eingeteilt. Die Einteilung erfolgt hierbei auf Grundlage einer formalen Bildbetrachtung.

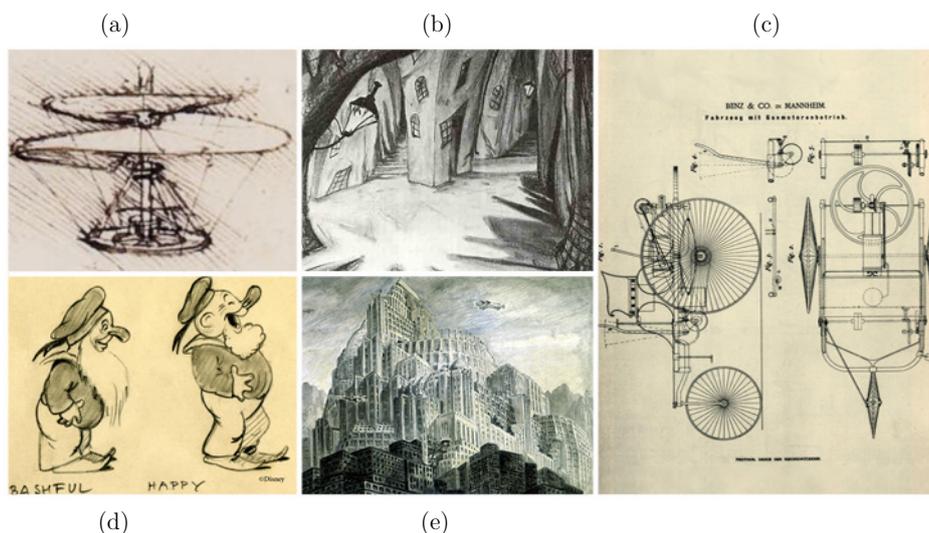


Abbildung 1.1 Beispiele von Konzeptzeichnungen. (a) Zeichnung eines entworfenen Fluggeräts von Leonardo da Vinci. (b) Entwurfszeichnung aus dem Film *Das Cabinet des Dr. Caligari*. (c) Patentzeichnung von Karl Benz. (d) Artwork von Disneys Zeichentrickfilm *Schneewittchen und die 7 Zwerge*. (e) Designentwurf aus dem Film *Metropolis*. (Quelle: [Cremante, Daimler, Quietus, Stylemag, EmpireMag_a]).

Fotorealistische Darstellungsform. Hierunter zählen alle Artworkbilder, die ein realistisches Bildaussehen anstreben und daher einen hohen Illusionsgrad besitzen. Dies wird hierbei anhand von Zuhilfenahme von realen Fotoaufnahmen erreicht, welche als Fotokollagen innerhalb der Zeichnung mit integriert werden. Diese besondere Form wird als sogenanntes *Matte Painting*¹¹ im Filmbereich genutzt.

Traditionelle Darstellungsform. Hierzu werden alle Artworkbilder gezählt, die aufgrund ihrer Erstellungsart ein analoges Aussehen aufweisen. Dabei können sie auf traditionelle Weise gemalt oder am Computer entstanden sein. Diese Gruppe beinhaltet alle Ausprägungsformen von Malstil- und Illustrationsformen wie z.B. Skizzenzeichnungen, Schnellzeichnungen – sog. *Speed Paintings* – bis hin zu akkurat ausgearbeiteten Objektdarstellungen.

Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit werden diese traditionell aussehenden Arten aufgrund ihrer Mannigfaltigkeit in 2 *Gruppen* weiter diffe-

¹¹Siehe hierzu [Okun, S. 574–589].

renziert und gesondert betrachtet. Die Abbildung 1.2 zeigt die beiden allgemeinen Darstellungsarten dieser Gruppen in einer Gegenüberstellung.

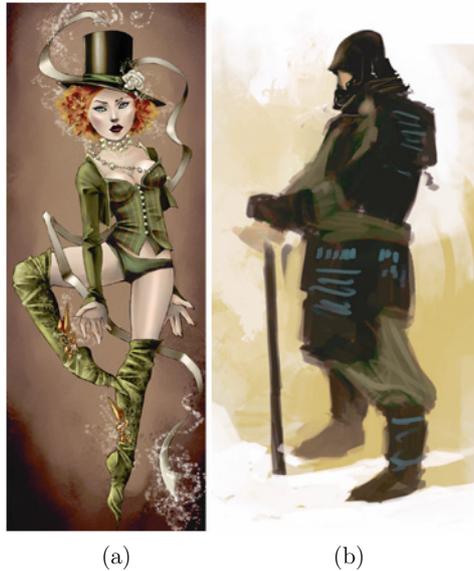


Abbildung 1.2 Traditionelle Darstellungsform. (a) Grafischer Stil. (b) Malerischer Stil. (Quelle: [2DArtist07a, 2DArtist07b]).

Grafischer Stil. Unter dieser Gruppe werden in der vorliegenden Arbeit alle Artworkzeichnungen verstanden, die der Abbildung 1.2a entsprechen. Hierbei handelt es sich um Objektzeichnungen, welche eine klare geschlossene Silhouettenform aufweisen und sie sich optisch durch diese Begrenzungslinie von dem Hintergrund abheben. Sowohl Wölfflin als auch Riegl sehen in den Linien eine *fühlbare* Grenze. Wölfflin beschreibt diese Malerei als „*linear*“ [Wölfflin, S. 20] und Riegl als „*taktisch*“ [Riegl, S. 20]. Durch diese fühlbare Abgrenzung des Objektes vom Hintergrund stehen bei der Betrachtung von Bildern dieses Malstils die Zeichnung und die Linie im Vordergrund. Dadurch werden die dargestellten Objekte und demnach auch das komplette Bild durch den Rezipienten als „*active*“ [Halper, S. 279] im Mittelpunkt stehend empfunden. Im weiteren Verlauf dieser Thesis wird aufgrund der dominanten Silhouettenform diese Art auch als *feste Kantendarstellungsform* bezeichnet. Diese gemalten Darstellungen zeichnen sich darüber hinaus dadurch aus, dass sie sehr akkurat und detailreich ausgearbeitet wurden. Dieser Detailreichtum begünstigt, aus psychologischer Sicht betrachtet, zusätzlich neben der starken hervortretenden Konturlinie, dass die im grafischen Stil erstellten Bilder eine höhere Aufmerksamkeit auf Seiten des Rezipienten erhalten [Halper03, S. 281]. Daher stellt diese Ausprägungsart in der Regel das finale Ergebnis eines längeren Visualisierungsprozesses dar.

Malerischer Stil. Diese Gruppe von Artworkbildern besitzt, wie die Abbildung 1.2b aufzeigt, im Gegensatz zum grafischen Stil keine direkt eindeutig geschlossenen Konturformen oder Begrenzungslinien. Cassidy Curtis¹² nennt diese Arten von Linienführung im Rahmen seiner Forschungen „*loose and sketchy*“ [Curtis98a, S. 145]. Aus diesem Grund wird diese Darstellungsart für weiteren Verlauf auch hier als *lose Kantendarstellungsform* bezeichnet. Für Wölfflin und Riegl stellen diese dadurch das genaue Gegenteil zu den festen Kantendarstellungsformen dar. Wölfflin führt hierbei den Begriff „*malerisch*“ [Wölfflin, S. 20] für diese Sorten der Darstellungsarten ein. Dieses malerische Bildaussehen, von welchem Wölfflin spricht, rührt daher, dass aufgrund fehlender Konturlinien die Objekte lediglich als Farbflächen wahrgenommen werden. Oftmals ist daher der Übergang zwischen dem Objekt und dem Hintergrund nicht mehr eindeutig feststellbar, da die Farbfläche den gleichen Kontrast besitzt wie der Hintergrund selbst. Diese so entstehenden Nicht-Kanten werden in der Malerei als *verschwundene Kanten* bezeichnet [Kohr]. Durch die ineinander übergehenden Farbflächen der einzelnen Objekte untereinander und mit dem Hintergrund ist diese Darstellungsart für Riegl „*optisch*“ [Riegl, S. 20] und nicht mehr von haptischer Natur. Bei dieser Darstellungsart werden somit die Konturen losgelöst von der eigentlichen Objektform dargestellt, denn „(...) *eine malerische Silhouette deckt sich nie mit der Gegenstandsform*“ [Wölfflin, S. 22]. Diese werden lediglich durch eine stärkere Farbgebung an den gewünschten Stellen des Objektes angedeutet, sodass der Eindruck entsteht es wären bewusst gemalte Linien vorhanden. Diese Darstellungsform zeichnet sich ebenfalls dadurch aus, dass sie sich auf das Wesentliche beschränkt, welches zur Visualisierung benötigt wird. Zu dieser Art zählen z.B. die Skizzen- und Schnellzeichnungen. Diese stellen im Allgemeinen die erste Stufe der Darstellung von Ideen dar.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich im Fortlaufenden nun speziell mit dem aufgezeigten malerischen Stil. Dies bedeutet, dass für den weiteren Verlauf der Arbeit unter der Bezeichnung *Artwork* die *lose Kantendarstellungsform* verstanden wird. In Hinblick auf die zugrunde liegende zentrale Fragestellung dieser Theses, bedeutet dies, dass ein Lösungsansatz entwickelt wird, durch welchen die Darstellung von 3D Elementen mit der losen Kantendarstellungsform in einer 3D Umgebung erreicht wird. Da nun geklärt ist was im Weiteren als *Artwork* verstanden wird, erfolgt im Anschluss ein formaler Vergleich der optischen Eigenschaften zwischen diesem Bildstil und einer verwandten Art.

¹²Siehe [Curtis98a, Curtis98b].

1.1 Optische Verwandtschaft des malerischen Stils zu Ölgemälden

Werden diese Artworkbilder aus formaler Sicht mit anderen Bildästhetiken verglichen, so fällt eine enge optische Ähnlichkeit zu Acryl-, Gouache- und Ölgemäldebildern auf (Abb. 1.3). Diese erkennbare Ähnlichkeit zu den angesprochenen Farbtechniken rührt daher, dass es sich bei den genannten Techniken um Pinselmalarten handelt. Stellvertretend für die weitere Betrachtung wird der klassische Vertreter dieser Farbtechniken – *das Ölgemälde* – herangezogen. Im Folgenden werden nun die Gemeinsamkeiten dieser beiden Bildästhetiken aufgezeigt und beschrieben. Die Abbildung 1.4 stellt die beiden zu vergleichenden Bilder dar.



Abbildung 1.3 Verschiedene Pinselmalarten. (a) Acrylbild. (b) Gouachebild. (c) Ölgemälde. (Quelle: [Werner, Fußmann, KunstMalerei]).



Abbildung 1.4 Vergleich Artwork und Ölgemälde. (a) Artwork *The Park*¹³. (b) Ölgemälde *Backgammon in the Park*. (Quelle: [2DArtist06, MacDonald]).

Objektkontur. Werden die gemalten Objekte eines Artworkbildes (Abb. 1.4a) hinsichtlich ihrer Konturen mit einem Ölgemäldebild (Abb. 1.4b) verglichen, so ist erkennbar, dass bei beiden keine eindeutigen, extra erstellten Konturlinien vorhanden sind. Hierdurch können bei beiden Bildarten die zuvor bereits thematisierten verschwundenen Kanten auftreten.

¹³Siehe [Daarken].

Objektfarbe. Bei beiden Bildarten wird deutlich, dass die Farbe der Objekte nicht vollflächig, einheitlich aufgebracht erscheint, sondern die einzelnen Farbflächen bei genauer Betrachtung unterschiedliche Nuancen aufweisen.

Allgemeine Linienführung. Gerade Objektlinien in den Darstellungen werden sowohl bei den Artwork- wie auch bei Ölgemäldebildern nicht stets durchgängig akkurat als Geraden dargestellt.

1.2 Die Ästhetik des malerischen Stils

Dieser Abschnitt beschäftigt sich im Folgenden weiterhin auf der formalen Betrachtungsebene sowohl mit analogen wie auch mit digitalen, im malerischen Stil erstellten, Bildern. Hierbei wird zunächst ganz allgemein auf beide Bilderstellungsarten eingegangen, indem die Wirkung des malerischen Stils anhand der Bildkomposition, Farbe und Linienführung aufgezeigt wird. In den nächsten Abschnitten erfolgt dann eine differenziertere Sicht, um zum einen die bildbestimmenden Faktoren bei analogen Bildern zu bestimmen und um anschließend zum anderen bei den digitalen Pendanten darzulegen, wie dieser optische analoge Stil anhand von digitalen Mitteln dort nachempfunden wird.

Werden gemalte Bilder dieses Stils, egal ob analog oder digital, rein auf ihrer optischen Erscheinung hin betrachtet, so sehen Wölfflin und Riegl die spezielle visuelle Ästhetik des malerischen Stils darin, dass sie, im Gegensatz zum grafischen Stil mit seinen fühlbaren Grenzen, lediglich vom Betrachter als eine Menge von untastbaren ineinander übergehenden Farbflächen wahrgenommen werden. Dieses Nichtertastbare rührt daher, dass nicht Linien, sondern nur Helligkeit und Dunkelheit die Bildkomposition dominieren. Aufgrund der Tatsache, dass kein durchgängiger, fassbarer Umriss mehr vorhanden ist, der als „*sicherer Führer*“ [Wölfflin, S. 21] fungiert, wird der Betrachter alleine anhand des Kontrastes durch das Bild geleitet. An manchen Stellen des Bildes können dadurch die Objektfarbflächen mit der Hintergrundfarbfläche verschmelzen, sodass sie sich gänzlich auflösen [Kohr]. Durch diese Verschmelzung – oder anders ausgedrückt durch die Unklarheit – wiederum wirken die gemalten Darstellungen „*inactive*“ [Halper, S. 279] und werden, anders als Objektdarstellungen mit Konturen, dem Hintergrund zugeschrieben. Erst durch die Interpretation des Rezipienten selbst werden die fehlenden Konturlinien zu den verbleibenden Sichtbaren ergänzt und somit als einzelne separate Objekte wahrgenommen. Dies bedeutet, dass aufgrund der fehlenden und unklaren Formen des malerischen Stils, der Betrachter beim Rezipieren des Bildes dazu bewegt wird, seine Vorstellungskraft zu nutzen, um das Bild zu vervollständigen [Curtis98a]. Damit dies jedoch durch den Rezipienten geschehen kann, muss aufgrund des in „*Massen*“ [Wölfflin, S. 20]-

und in Farbflächen-Sehens das eigentliche Bild aus einer „*Fernsicht*“ [Riegl, S. 20] heraus betrachtet werden. Die beschriebene Konturlosigkeit des malerischen Stils ist ebenfalls dafür verantwortlich, dass die gemalten Objektfarbflächen keine exakten geraden Formen besitzen. Somit finden sich keine steril konstruierten und symmetrischen Objektklinien innerhalb des Bildes wieder, sondern alle vorkommenden Linien stellen individuelle und – zusätzlich durch die Interpretation des Rezipienten – lebhaftere Formen dar. Die Farbe der einzelnen Farbflächen trägt ebenfalls selbst zur besonderen Ästhetik dieses malerischen Stils bei. So ist diese nicht einheitlich intensiv auf den einzelnen Farbflächen vorhanden, vielmehr weist sie, anders als die gemalten Objekte im grafischen Stil, unterschiedliche Farbwertbereiche auf.

Zusammengefasst heißt dies, dass die spezielle „*Schönheit*“ [Wölfflin, S. 212] des malerischen Stils nicht mehr in der eindeutigen „*Klarheit*“ [Wölfflin, S. 212] liegt, sondern einzig in der Farbverteilung und den Formen, die „*etwas Unfassbares*“ [Wölfflin, S. 212] besitzen und so dem Betrachter teilweise zu entschwinden scheinen.

Im nachfolgenden Schritt werden nun die einzelnen Faktoren bestimmt, welche die dargelegte Ästhetik des malerischen Stils zunächst von analog erstellten Bildern bewirken.

1.2.1 Analog gemalte Bilder im malerischen Stil und die Einflussfaktoren für ihre visuelle Darstellung

Timothy Davis schrieb über die analoge Herstellung eines Bildes:

„Artists express mood, feeling, and ideas through their works. For a painter, such statements are produced through choice of color, size and placement of strokes, and use of specific stylized characteristics.“ [Kundert-Gibbs, S. 49]¹⁴.

Diese hier von Davis angesprochenen Faktoren stellen jedoch nur einen Teil der bildbestimmenden Einflussgrößen dar. So existieren eine weitaus größere Anzahl an einzelnen einflussnehmenden Faktoren, welche das finale Aussehen eines analog erstellten Bildes bestimmen. Im Folgenden wird nun auf Grundlage der in [KunstMalerei] vorgefundenen allgemeinen Informationen über die Ölmalerei, die bildbestimmenden Faktoren für das Bildaussehen des malerischen Stils anhand einer Eigenauslegung festgelegt und zur näheren Untersuchung in der vorliegenden Arbeit in *9 Hauptaspekte* zusammengefasst.

¹⁴ Alternativ hierzu, siehe auch [Davis].

Malgrund. Ein Einflussfaktor ist bereits vor Beginn des ersten Malstrichs festzustellen. Hierbei handelt es sich um den Malgrund, auf den die Farbe aufgebracht wird. In der Ölmalerei stehen hierzu einige Wahlmöglichkeiten zur Verfügung. So kann die Farbe sowohl auf Maltücher aus Baumwolle oder Leinen aufgetragen werden. Anstelle von Maltüchern kann aber auch auf Holz oder Malkarton gemalt werden. Je nach verwendetem Malgrund wird die Farbe unterschiedlich auf den verschiedenen Materialstrukturen absorbiert und dadurch Bildaussehen beeinflusst.

Malfarbe. Ein weiterer Faktor ist die aufgetragene Farbe selbst. Diese besitzt aufgrund ihrer Beschaffenheit und Konsistenz spezielle Eigenheiten, die Auswirkungen auf das entstehende Bild besitzen. Je nach aufgetragener Dicke reagieren die Farbpigmente unterschiedlich auf das Licht. Bei zu stark aufgetragenen Farben kann es zu Rissebildungen in der aufgetragenen Farbschicht führen. Dies bedeutet, dass die Bildoberflächenstruktur nicht alleine durch den Malgrund sondern auch durch die Farbe selbst geprägt wird.

Malwerkzeug. Je nachdem welches Utensil zum Auftragen der Farbe verwendet wird, kann das Bildaussehen stark variieren. Hierbei stehen dem Künstler zum einen die *Malpinsel* zur Verfügung, die jedoch wiederum mit verschiedenen Haargrößen eingesetzt werden können. Zudem ist die Pinselform ebenfalls von tragender Bedeutung für das Bildaussehen. Es gibt runde, flache und fächerartige Formen, die zum Malen genutzt werden können. Auch existieren dabei diverse Pinselmaterialien wie z. B. Haar- oder die gröberen Borstenpinsel, die aufgrund des jeweiligen Materials unterschiedliche Malstriche auf dem Malgrund hinterlassen. Je nach Form und Größe nehmen die Pinsel die Farbe verschiedenartig auf und geben sie dementsprechend auch auf unterschiedliche Weise wieder auf dem Malgrund ab. Zum anderen kann die Farbe anstelle über eines Pinsels auch über sog. *Malmesser* oder *Spachteln* auf den Malgrund aufgetragen werden.

Maltechnik. Die eigentliche Technik, die angewandt wird um die Farbe schlussendlich auf den Malgrund aufzutragen, stellt einen maßgeblichen Faktor dar. So existiert eine Vielzahl an diversen Maltechniken. Anfänger nutzen meist die *Grundtechnik*, bei welcher lediglich die reinen Farben ohne Ölbeimischungen zum Malen auf den Malgrund verwendet werden. Bei der *Primamalerei* werden die Objekte rasch in einem einzigen Durchgang gemalt und dadurch bekommen die Pinselstriche einen spontanen Charakter. Diese Malart ist vergleichbar mit der zuvor im Kapitel angesprochenen Schnellzeichnungen. Die *Impasto* Technik ist eine weitere Variante wie die Farbe aufgebracht werden kann. Hierbei wird die Farbe sehr dick und pastos auf den Malgrund aufgetragen ohne groß zu vermischen. Daneben kann die Farbe im noch frischen Zustand aber auch auf dem Malgrund vermischt werden. Diese Art der Malerei wird als *Nass-in-*

Nass¹⁵ Technik bezeichnet. Diese Art ermöglicht eine realistischere Darstellung der Objekte durch die Farbgebung, da dadurch feinere Farbverläufe erzeugt werden können. Bei der *Lasurtechnik* oder auch Schichttechnik werden die Farben Schicht für Schicht nacheinander aufgetragen. Dazu müssen sie, im Gegensatz zur Nass-in-Nass Technik, zuerst trocknen bevor die nächste Schicht aufgebracht werden kann. Die *Struktur- und Spachteltechnik* ist gleich der Impasto Technik. Jedoch mit dem Unterschied, dass hierfür ein Spachtel anstelle eines Pinsels eingesetzt wird. Hierdurch kann eine noch etwas gröbere Struktur auf dem Malgrund entstehen.

Malrichtung. Die Richtung wie die Farbe auf den Malgrund aufgetragen wird, stellt ein weiterer Faktor für das Bildaussehen dar. Wird die Malbewegung stets einheitlich in eine Richtung vollzogen, wirkt die entstehende Farbfläche selbst homogener und gleichmäßiger. Wird sie aus unterschiedlichen Richtungen her aufgetragen, bekommt das Bild mehr Strukturen. Verantwortlich hierfür sind die Pinselhaare bzw. die größeren Borsten.

Pinseldruckstärke. Nicht nur die Malrichtung alleine, sondern auch die Pinseldruckstärke beeinflusst die Strukturen und somit das Bildaussehen. Wird der Pinsel stärker auf den Malgrund beim Malvorgang gedrückt, wird mehr Farbe vom Pinsel auf den Grund abgegeben und dadurch eine breitere und dickere Farbschicht sowie eine intensivere Färbung erzeugt.

Pinselstrichlänge. Im Zusammenhang mit dem Bildaussehen spielt ebenfalls die Strichlänge eine Rolle. Wird das Bild dabei mit langen Pinselstrichen gemalt, ist die Wirkung des entstehenden Bildes generell eine andere wie wenn mehrere kürzere Striche zur Erstellung verwendet werden. Bei kürzen Strichen wirkt das Bild, im Gegensatz zur Verwendung von langen Malstrichen, gesamt gesehen unruhiger und wird daher meist eingesetzt, um einen ausdrucksstarken Stil – wie z. B. im Expressionismus – in den Bildern zu erreichen. Hierbei werden bewusst die kürzeren Striche im finalen Bild gelassen und nicht versucht diese durch Überblendungsmaltechniken zu kaschieren. Die Abbildung 1.5 zeigt die Wirkung dieser beiden unterschiedlichen Malweisen und die dadurch resultierenden Bildstile auf.

Allgemeiner Malstil. Ein weiterer Faktor für das Bildaussehen ist der zu erreichende grundlegende Stil, in welchem das Bild schließlich erstellt werden soll. Hierbei orientiert sich der Künstler meist bei Lieblingsmalern oder bei den Altmeistern und versucht diesen Stil z. B. einen impressionistischen oder expressionistischen Stil selbst nachzuempfinden. Durch diesen Imitationsversuch entstehen aber aufgrund des, im nächsten Punkt

¹⁵Bob Ross entwickelte und perfektionierte diese Maltechnik für die Ölmalerei. Siehe hierzu [Ross].

beschriebenen, individuellen Malstils Abweichungen, welche auf den angestrebten Stil Auswirkungen besitzen, sodass am Ende ein Bild in einem bestimmten Stil mit persönlichen Charakterzügen entsteht.

Individueller Malstil. Der persönliche Malstil, wie ein Bild letztlich gemalt wird, ist ebenfalls ein wesentlicher Faktor. Nach Park et al. spielen hierbei *3 Aspekte* eine entscheidende Rolle, die den individuellen Malstil charakterisiert. Hierunter zählen sie das Sehverhalten des Künstlers – „eyes“ [Park, Artikel Nr. 99], die künstlerische Fähigkeit – „skill“ [Park, Artikel Nr. 99] und als letzten Faktor die Erfahrungen des Künstlers – „experiences“ [Park, Artikel Nr. 99]. Die nachfolgende schematische Abbildung 1.6 demonstriert den von Park et al. dargelegten Sachverhalt. Das Bildaussehen wird zudem durch die bereits von Davis erwähnte *innere Haltung* des Künstlers geprägt. So beeinflussen seine *Stimmungen und Gefühle* wiederum andere, bereits dargelegte, Faktoren wie z. B. die Wahl der Farben, die Strichlänge und die Pinseldruckstärke. Anhand von diesen 4 Aspekten entstehen letztlich der finale *Ausdruck und die Dynamik* eines gemalten Bildes.

Zusammengefasst bedeutet dies schließlich, dass ein analog gemaltes Bild erst durch ein *komplexes Zusammenspiel der unterschiedlichsten Faktoren* seine spezielle und individuelle Charakteristik erhält. Der folgende Abschnitt zeigt den in der Praxis üblichen Versuch, diese bildbestimmenden Einflussfaktoren der analogen Malerei auf die Digitale zu übertragen.



Abbildung 1.5 Vergleich von langen und kurzen Malstrichen. Bild (a) verwendet hierzu die Nass-in-Nass Technik, um die langen Striche untereinander zu überblenden. Wohingegen in Bild (b) eine Impasto Technik verwendet wird, um die kurzen Malstriche aufzutragen. (Quelle: [Boddy-Evans_a]).



Abbildung 1.6 Schema der 3 Beeinflussungsgrößen für den individuellen Malstil nach Park et al. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Park]).

1.2.2 Digital gemalte Bilder im malerischen Stil.

Übertragung der analogen Technik auf ein neues Medium

Professionelle 2D Paint Programme wie z.B. [Photoshop, CorelPainter] bieten die Möglichkeit Bilder auf digitale Weise zu malen. Hierbei versuchen sie die bildbestimmenden Faktoren aus dem analogen Bereich so realitätsnah wie möglich in der digitalen Malerei zu imitieren. Zu diesem Zweck stellen sie dem Artist einige *Arbeitswerkzeuge* zur Verfügung, welche der analogen Arbeitsweise nachempfunden wurden. Darüber hinaus existieren zusätzliche Effekte, die sog. *Filter*, über welche das Bild noch weiter an ein gewünschtes analoges Aussehen angeglichen werden kann.

Arbeitswerkzeuge. Bei den Arbeitswerkzeugen handelt es sich um die digitalen Pendanten zu den Malwerkzeugen aus der analogen Malerei. Hierbei steht dem Artist zunächst wie bei der analogen Variante ein virtueller *Pinsel* zur Verfügung, über welchen letztlich die Farbe auf den digitalen Malgrund aufgetragen wird. Anders als in der analogen Malerei besitzt dieser Malgrund jedoch keine native Struktur. Da es sich im Normalfall lediglich um eine weiße leere Fläche handelt, auf die die digitale Farbe aufgetragen werden kann. Der Pinsel selbst verfügt über die Fähigkeit mehrere Verhalten von verschiedenen analogen Pinselarten zu simulieren. Hierzu stehen dem Artist mehrere sog. *Pinselspitzen* zur Verfügung, die jeweils eine andere analoge Pinselart repräsentieren und dadurch unterschiedliche Pinselstichformen auf dem Malgrund hinterlassen. Durch diese verschiedenen Pinselspitzen wird das Verhalten der, in der analogen Malerei, verwendeten unterschiedlichen Pinselhaare bzw. Borsten erreicht. Die Abbildung 1.7a stellt einige dieser Standardpinselspitzen und die daraus auf dem Malgrund entstehenden Strichformen dar.

Dabei ist der Artist aber nicht auf diese Standardpinselspitzen, die die Programme mitliefern, limitiert. Die digitale Malwelt erlaubt dem Artist eigene Pinselformen einzusetzen (Abb. 1.7b). Dadurch kann jede nur denkbare Form auch als Pinselform dienen. Dies bietet dem Artist eine unendliche Anzahl an Möglichkeiten, welche in der analogen Malerei

nicht gegeben sind. So können auf diese Weise nicht nur die Formen der real existierenden unterschiedlichen Pinselarten imitiert werden, sondern auch die der Spachtelwerkzeuge und von frei erfundenen Formen.

Auch die Pinselgröße – der Durchmesser der Pinselspitze – kann hierbei variiert werden, um unterschiedlich breite Pinselstriche zu erzeugen. Dabei ist der digitale Pinsel ebenfalls druckempfindlich. Dies bedeutet, dass die Druckstärke auch in der digitalen Malerei im Malprozess mitberücksichtigt wird und so unterschiedlich stark wirkende Farbflächen produziert werden können (Abb. 1.7). Des Weiteren kann die Stärke der Farbabgabe des virtuellen Pinsels auf den Malgrund geregelt werden und das Mischverhalten der Farben, wie in [ArtRage], dem realen Verhalten, je nach der imitierten Farbtechnik, angepasst werden. Dies heißt, dass ebenfalls auf Seiten der Farbgebung das analoge Verhalten der Farben in der digitalen Malerei nachempfunden wird. Dies ermöglicht die Anwendung der verschiedenen Farbtechniken über Aquarell- bis hin zu Ölfarben. Dadurch ist es dem Artist möglich, die zuvor aufgezeigten Maltechniken der Ölmalerei auch für die digitale Bildmalerei anzuwenden und hierdurch im digitalen Bereich jeden dieser Bildstile zu kreieren (Abb. 1.8).

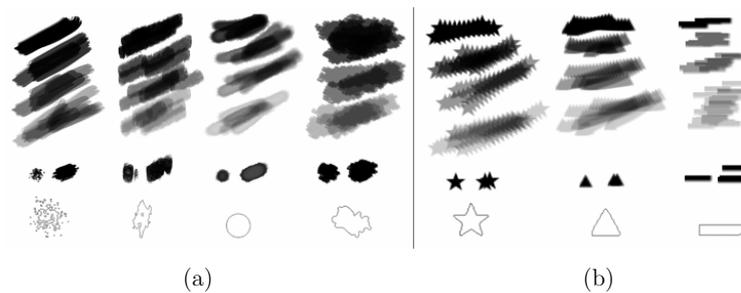


Abbildung 1.7 Verschiedene Pinselspitzen. Die Abbildung zeigt einige Pinselspitzenformen sowie deren Gebrauch mit unterschiedlichen Druckintensitäten (20%–100%). Das Bild (a) stellt einige Standardspitzen vor. Das Bild (b) zeigt eigene Pinselspitzenformen. Um die Vielfalt der Pinselformen zu demonstrieren, wurden hier bewusst geometrische Formen gewählt. (Quelle: Eigene Darstellung).

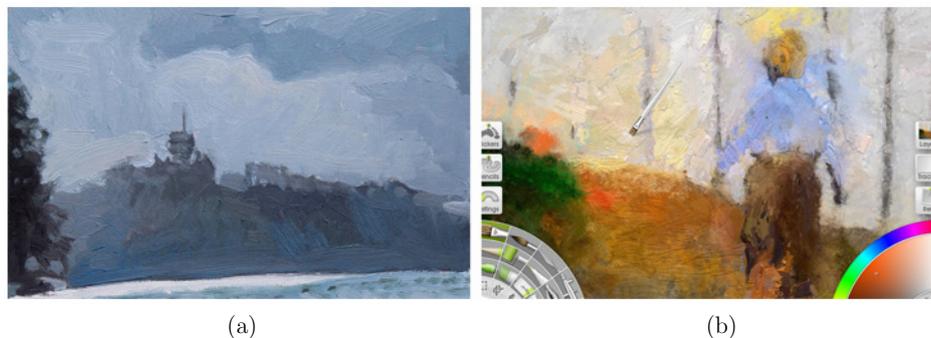


Abbildung 1.8 Vergleich analoges Ölbild mit digitaler Malerei. (a) Traditionell erstelltes Ölbild. (b) Digitale Imitation eines Ölbildes anhand der Verwendung von den Arbeitswerkzeugen eines 2D Paint Programms. (Quelle: [Fivian, ArtRage]).

Filter. Filter stellen eine ergänzende Methode zu den Arbeitswerkzeugen dar, um ein gewünschtes analoges Bildaussehen zu erzielen. Bei den Filtern handelt es sich jedoch um Algorithmen, welche ein bestehendes Bild manipulieren. Hierbei können die Effekte für bestimmte Bildteile oder auf das gesamte Bild angewandt werden. Die 2D Paint Programme stellen hierfür eine Vielzahl an unterschiedlichen Effekten bereit. Die Filter können zudem ebenfalls erweitert werden. Die Palette erstreckt sich meist von simplen Bildeinfärbefeffekten über Unschärfefilter bis hin zu komplexeren Bildmanipulationsoperationen. So gibt es darunter auch einige Filter, welche speziell ein analog gemaltes Bildaussehen erzeugen können. Hierbei kann zwischen mehreren Farbtechniken gewählt werden. Durch den Einsatz dieser Filter lässt sich künstlich jedes beliebige Bild optisch in eine analoge Malerei abändern. Die Abbildung 1.9 zeigt einige der gebräuchlichsten simulierten Farbtechniken auf. Durch die Kombination mit den Arbeitswerkzeugen kann ein Filter zur Finalisierung eingesetzt werden, um den Eindruck einer analogen Malerei zu verstärken.

Dies zeigt, dass letztlich durch die Zuhilfenahme von simulierten analogen Pinsel- und Farbeigenschaften und der Imitation der analogen Farbtechniken, auch digital ein Bild erstellt werden kann, welches die gleichen visuellen Merkmale wie ein traditionell gemaltes Bild aufweist.

Die vorangegangenen Abschnitte handelten bisher alle über selbst gemalte Bilder sowohl von analoger wie auch von digitaler Herstellungsweise. Der anschließende Abschnitt widmet sich nun speziell der digitalen berechneten Bildgenesen anhand des Computers. Hierbei wird gezielt auf die 2 zentralen Bildausgabearten in der Computergrafik eingegangen.



Abbildung 1.9 Imitierte Farbtechniken. (a) Originalbild Lena¹⁶. (b) Aquarell. (c) Sumi-e. (d) Kreuzschraffur. (e) Grobes Pastell auf Leinwand. (f) Grobe Malerei. (g) Ölbild mit Malmesser. (h) Ölbild getupft. (Quelle: Eigene Darstellung).

¹⁶ <http://www.cs.cmu.edu/~chuck/lennapg/>

1.3 Die berechneten Bildästhetiken der Computergrafik

Im Gegensatz zu den digital selbst erstellten Bildern, weisen die Darstellungen, die anhand eines Berechnungsprozesses aus dem Computer entstammen, ganz eigene Bildästhetiken auf. Durch die heutigen mannigfaltigen Möglichkeiten des Computers entstehen unterschiedlich aussehende synthetische Bilder, die – jedes Bild separat betrachtet – einen individuellen Bildstil besitzen. Jedoch lassen sich diese aufgrund äußerlicher Gemeinsamkeiten auf 2 *Hauptdarstellungsformen* zusammenfassen.

Fotoreal. Auf der einen Seite stellt die Darstellungsform die erste Art dar, welche den Wunsch nach einem Höchstmaß an Realitätstreue als Hauptziel für die entstehenden Bilder besitzt. Für die entstehenden synthetischen Bilder, welche zu dieser Gattung gehören, bedeutet dies, dass sie letztlich von Fotoaufnahmen nicht mehr zu unterscheiden sind. Aus diesem Grund wird in der Computergrafik daher diese Art der Darstellung als *fotorealistisch* (engl. photorealistic) bezeichnet. Dieses *Nicht-mehr-unterscheiden-können* von einer Fotografie bedeutet aber auch gleichzeitig, dass keine große kreative Freiheit auf Seiten der Gestaltung von der Bildästhetik herrscht, da diese stets an das Aussehen der Dinge in der Realität gebunden ist [Greenberg99a].

Nicht-fotoreal. Aus diesem Grund steht auf der anderen Seite das genaue Gegenteil dieser Bemühungen im Vordergrund. Dies bedeutet, dass hierbei eine Darstellungsform angestrebt wird, welche sich von einer realistischen Darstellung – gemeint ist hier fotoreal – entfernt. Daher wird diese Art als *nicht-fotorealistische* (engl. non-photorealistic) Darstellung bezeichnet. Diese nicht-fotoreale Art existiert jedoch, im Gegensatz zur fotorealen Darstellung, in unterschiedlichen Ausprägungsformen, sodass der Begriff nicht-fotoreale Darstellung vielseitig verwendet wird. Dan Goldstein fasst daher diesen Begriff damit zusammen, dass diese Form „(...) covers any computer-generated imagery explicitly rendered using techniques designed not to mimic physical reality.“ [Goldstein, S. 62]. Dabei beinhalten diese von ihm angesprochenen Techniken alle Arten von simplen Konturdarstellungen über komplexe abstrakte Darstellungsformen bis hin zu kompletten analogen Malstilimitationen. Aufgrund dieser Vielfalt an Darstellungsmöglichkeiten, welche nichts mit dem Fotorealismus gemein haben, führt Oliver Deussen den, für ihn zutreffenderen, Begriff der „*generalisierten graphischen Darstellungen*“ [Deussen01, S. 71] ein, um den Unterschied zwischen den beiden Arten herauszustellen und zu zeigen, dass es sich bei dieser Form um erweiterte Bildästhetiken zum monotonen Fotorealismus handelt (siehe [Deussen01, S. 71]).

Da diese „*generalisierten graphischen Darstellungen*“ [Deussen01, S. 71] für den weiteren Verlauf der Arbeit den Hauptuntersuchungsgegenstand auf Seiten der Erzeugung und Darstellung von 3D Elementen darstellen,

wird im 2. Kapitel dieser Thesis explizit auf diese Darstellungsart eingegangen und beschrieben wofür diese Form im Allgemeinen Verwendung findet. Doch zunächst erfolgt in den beiden kommenden Abschnitten ein allgemeiner Einblick in die Entstehung¹⁷ der unterschiedlichen berechneten Bildästhetiken dieser beiden Darstellungsformen anhand von Bildbeispielen. Den Anfang macht hierbei die Betrachtung des Einsatzes von fotorealen Bildern im Filmsektor.

1.3.1 Fotorealismus von synthetischen Bildern im Filmbereich

Durch die raschen technischen Entwicklungen auf dem Computersektor der letzten Jahrzehnte, erfuhr die Erschaffung von computergenerierten Bildern ebenfalls einen enormen Vorstoß in Richtung *Fotorealismus*. Die *Visual Effects Society* (VES) definieren diesen Begriff wie folgt: „A global term used to describe CG images that cannot be distinguished from objects or scenes in the real world.“ [Okun, S. 874]. Heutzutage werden die fotorealistischen Bilddarstellungen überwiegend im Film- und Fernsehbereich eingesetzt. In Hinblick auf diese Bereiche ist – da es sich dort um Bewegtbilder handelt – daher für eine überzeugende fotorealistische Bildästhetik nicht nur die optische Komponente entscheidend, sondern auch die Kinetische. Deshalb steht für die weitere Betrachtung an dieser Stelle der Begriff fotorealistisch sowohl für ein *fotoartiges Bildaussehen* wie auch für ein *realistisches Objektverhalten*. Die Verwendung von fotorealistischen Bildern ist im Filmbereich, wie die obenstehende Definition der VES bereits verdeutlicht, von vielfältiger Natur. So reicht sie von einzelnen virtuellen Objektdarstellungen über komplexere Charaktere, bei denen die Bewegung ebenfalls eine entscheidende Rolle für die fotorealistische Wahrnehmung spielt, bis hin zu kompletten synthetischen Szenerien.

Historisches. Die Erzeugung fotorealer Bilder durch Zuhilfenahme des Computers mit der Absicht diese im Filmbereich zu nutzen, ist allerdings keine moderne Erscheinung der neuen technischen Möglichkeiten. Vielmehr ist es ein längerer Prozess, der seinen Ursprung in den frühen 1980er Jahren besitzt. Bis zu diesem Zeitpunkt lieferte der Computer lediglich einfache Liniengrafiken, die ihre Anfänge in den 1960er Jahren in den wissenschaftlichen Disziplinen besaßen [OhioState]. Vornehmlich wurden die Computergrafiken für die wissenschaftliche Visualisierung der erhobenen Daten genutzt. George Lucas¹⁸ ebnete schließlich den Weg für die Nutzung der Grafiken im Filmbereich, indem er 1977 für seinen Film *Star Wars – Episode IV: Neue Hoffnung* [StarWars] diese Liniengrafiken für eine kurze Sequenz in den Film integrieren ließ (Abb. 1.10a). Seit dieser

¹⁷Für weitere allgemeine geschichtliche Informationen zu den Entwicklungen der Computergrafik, siehe hierzu [EmpireMag_b, OhioState].

¹⁸George Lucas ist Gründer der Firmengruppe Lucasfilm Ltd. und der Visual Effects Firma Industrial Light & Magic (ILM) [IMDb].

Zeit wuchs das Interesse der Filmemacher an dieser revolutionären Darstellungsmöglichkeit und einer Vision von der Erzeugung von fotorealistischen Bildern. Aus diesem Grund wurden die bis dahin flach wirkenden Liniengrafiken, so weit verbessert, dass sie nun einen Tiefeneindruck vermitteln konnten [Appel]. Doch erst 1982 wurden aus diesen anfänglichen Liniengrafiken Objekte mit komplexeren Oberflächenstrukturen. Wegbereiter in Richtung Fotorealismus war hierbei die erste kürzere vollständig computergenerierte Sequenz eines Planeten aus dem Film *Star Trek II: Der Zorn des Khan* [StarTrek]. Noch im selben Jahr erschuf Disney mit dem Film *Tron* [Tron] den ersten Spielfilm, bei dem massiv synthetisch erzeugte Bilderwelten zum Einsatz kamen (Abb. 1.10b).¹⁹ Weitere Meilensteine, die die Erzeugung der fotorealistischen Bilder vorangetrieben haben, waren zum einen die Erschaffung des ersten virtuellen Charakters Mitte der 1980er Jahre [DGDVT] und zum anderen die erste aus dem Computer stammende realistisch wirkende Wasserdarstellung aus dem im Jahr 1989 entstandenen Film *Abyss – Abgrund des Todes* [Abyss], welche 2 Jahre später als Grundlage für die Verflüssigungsdarstellung eines Roboters aus dem Film *Terminator 2 – Tag der Abrechnung* [Terminator] diente (Abb. 1.10c–e). Die ersten vollständig fotorealistisch aussehenden und sich ebenfalls glaubwürdig bewegenden Tiere wurden Anfang der 1990er Jahre für den Film *Jurassic Park* [JurassicPark] geschaffen (Abb. 1.10f). Seit dieser Zeit war nun die anfängliche Vision des Fotorealismus in der Filmwelt Realität geworden. Die Filmemacher schöpften diese Möglichkeiten nun effektiv als neues filmisches Mittel aus, um ihre sonst nicht zu realisierenden filmischen Ideen umsetzen zu können. Allen voran George Lucas, der – nach dem er das enorme Potential der Computergrafik erkannte²⁰ – immer wieder die zur Verfügung stehende Technik durch seine visionären Ideen an ihre Grenze brachte. Daher wurden ständig neue und verbesserte Methodiken zur Darstellung entwickelt, um die synthetischen Objekte noch fotorealistischer aussehen und vor allem sich bewegen zu lassen. Der Film *Avatar – Aufbruch nach Pandora* [Avatar] aus dem Jahr 2009 komplementiert schließlich eine Reihe an Weiterentwicklungen, die sich nicht ausschließlich auf fotorealistische Bildgenesen von einer kompletten virtuellen Welt und digitalen Charakteren beschränkten, sondern sich auch darüber hinaus auf deren realistische Bewegungsdarstellungen richteten.

Zusammengefasst bedeutet dies letztlich, dass die Entwicklung der fotorealistischen Darstellungsform davon profitierte, dass die anfänglichen Liniengrafiken den Weg in den Filmbereich fanden, um dort durch die filmischen Ideen und Visionen der Filmemacher immer weiter vorange-

¹⁹Weitere Informationen über die Effekte aus dem Film *Tron* [Tron], siehe *Science and the Silver Screen* in [Conlan, S. 75 ff.].

²⁰Alvy Ray Smith: *George Lucas Discovers Computer Graphics*. Siehe [Smith].

trieben zu werden. Dieser Vorgang brachte gleichzeitig immer neuere technische Entwicklungen zur Realisierung mit sich, mit denen sich schließlich wiederum neue fotoreale Bilderwelten erzeugen ließen. Dieser Kreislauf der Beeinflussung von Kunst und Technologie untereinander begründete einst John Lasseter damit, dass „*Art challenges technology, and technology inspires art.*“ [Iwerks, S. 4].

Reales Verhalten. Wie bereits im vorangegangenen Abschnitt aufgezeigt, geht mit dem Streben nach Fotorealismus in der Computergrafik gleichzeitig eine Beschneidung der Kreativität bei der Bildästhetik einher [Greenberg99a]. Neu unter der Betrachtungsweise – dass ebenfalls das reale Verhalten zum Fotorealismus gehört – ist dass, auch bei der Erzeugung des Objektverhaltens Kreativität aufgrund des Realismusbezuges eingebüßt wird. Dies begründet Greenberg dadurch, dass für den Menschen je mehr etwas Künstliches – wie ein synthetisch erzeugtes Bewegtbild eines Objektes im Filmbereich – realistischer erscheint, es sich ebenso realistischer verhalten muss [Greenberg99a]. Diese wahrnehmungspsychologische Komponente, die Greenberg hier zur Sprache bringt, spielt vor allem bei der Darstellung von fotorealistischen digitalen Charakteren eine wichtige Rolle, damit sie bei den Rezipienten nicht nur rein optisch fotoreal wie z. B. noch bei *Terminator 2*, sondern als fotorealistische Gesamtheit empfunden werden wie beispielsweise die Charaktere aus dem 18 Jahre späteren Film *Avatar* [Avatar].²¹ Tritt aber im Verhalten, von dem was der Rezipient gewohnt ist, nur eine geringfügige Abweichung ein, wird dies unmittelbar von ihm bewusst oder größtenteils auch unterbewusst registriert und als fremdartig klassifiziert.²² Dadurch wird das Objekt schließlich, auch wenn das einzelne Bild real wirkt, in der gesamten Sequenz trotzdem nicht mehr als fotoreal wahrgenommen. Diese Klassifizierung widerfuhr dem allerersten fotorealistischen, am Computer erzeugten, Animationsfilm *Final Fantasy: Die Mächte in Dir* [FinalFantasy] aus dem Jahre 2001. Die optische Bildästhetik entsprach dem angestrebten Fotorealismus, wohingegen die Bewegung gerade der Gesichtsmuskeln nicht überzeugend – im Sinne von fotorealistisch – dargestellt werden konnte. Dadurch wirkten die Figuren für die Zuschauer als sich bewegende, aber dennoch leblose Objekte.

Abschließend betrachtet bedeutet dies konkret für die künstlichen Bildgenesen, dass für die Verwendung von digitalen Bilderwelten im Filmbereich, das Kriterium des Fotorealismus sowohl für das Optische wie aber auch – sofern es sich dabei um ein sich bewegendes Objekt handelt – für das Verhalten erfüllt sein muss, damit der Rezipient die Gesamtheit des synthetischen Bewegtbildes als fotoreal wahrnimmt.

²¹Siehe Kapitel *Digitale Figuren* in [Flückiger08a, S. 422ff.].

²²Siehe dazu Kapitel *Uncanny Valley* in [Flückiger08a, S. 455ff.].

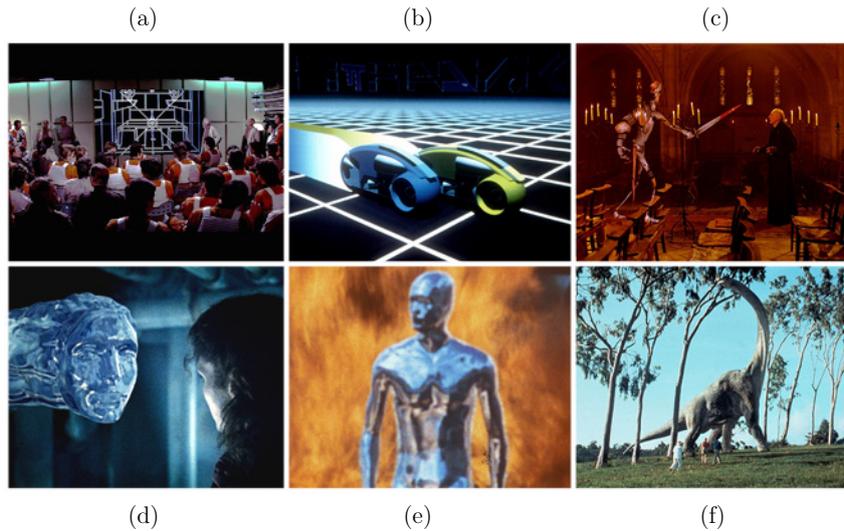


Abbildung 1.10 Historische Nutzung von synthetischen Bildern in Filmen. (a) Drahtgitterdarstellung aus dem Film *Star Wars* (1977) [StarWars]. (b) Lichtrenner aus dem Film *Tron* (1982) [Tron]. (c) Glasritter aus dem Film *Das Geheimnis des verborgenen Tempels* (1985) [DGDVT]. (d) Wasserdarstellung aus dem Film *Abyss* (1989) [Abyss]. (e) Verflüssigungseffekt aus dem Film *Terminator 2* (1991) [Terminator]. (f) Dinosaurierdarstellung aus dem Film *Jurassic Park* (1993) [JurassicPark]. (Quelle: [EmpireMag_b, CGSociety08]).

1.3.2 Nicht-fotoreale synthetische Bildgenesen

Diese Einschränkung von „*making the non-real look real*“ [Greenberg, S. 56], die der Fotorealismus mit sich bringt, besitzen die „*generalisierten graphischen Darstellungen*“ [Deussen01, S. 71] nicht. Die einzige Limitation bei der Herstellung dieser nicht-fotorealen Darstellungsform ist lediglich die unzureichende Vorstellungskraft des einzelnen Artist selbst [Greenberg99a]. Denn anders als der Fotorealismus, welcher dem Betrachter ein Bild mit all seinen detaillierten Einzelheiten präsentiert, versuchen die nicht-fotorealistischen Bildgenesen dem Rezipienten stets einen besonderen *Mehrwert* anhand des dargestellten Bildinhaltes zu vermitteln [Hurlbutt]. Dieser Mehrwert liegt beispielsweise darin, bestimmte Formen und Farben zu betonen oder gesamte Objekte durch eine dafür spezielle und nicht in der Realität existierende Perspektivenwahl hervorzuheben (siehe [Strothotte, S. 3–6]). Zu all diesen Dingen ist, wie Bruce und Amy Gooch konstatieren, ein reales Bild bzw. eine realistische Darstellung nicht in der Lage, da es mit seinem Detailreichtum zu viele und dadurch gleichzeitig zu unspezifische Informationen liefert, welche für bestimmte Anwendungsgebiete nicht nützlich sind [Gooch, S. 1]. Dies bedeutet, dass die Hauptfunktion dieses konträren Stils nicht die alleinige Darstellung eines Sachverhaltes ist, sondern vielmehr die nicht-fotorealistische Darstellungsform aufgrund der unlimitierten und vielschichtigen Darstellungsmöglichkeiten als *Kommunikationsmittel* dient [Hurlbutt, S. 7f.].

Die Anfänge. Diese Art der Darstellungsform existiert bereits zu den Anfangstagen der Computergrafik. Sie stellt daher die ursprünglichste Darstellungsform dar. Zunächst setzten nur eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern diese Darstellungsform als ein Kommunikationsmittel im abstrakten Kunstbereich ein. Doch schon bald befassten sich nicht nur Wissenschaftler damit den Computer als ein kunsterzeugendes Produkt zu verwenden, sondern auch immer mehr Informatiker und Mathematiker – darunter Frieder Nake²³ – entdeckten den Computer für sich. Dabei war Nake mit einer der ersten, der synthetisch erzeugte Darstellungen für die Visualisierung von mathematischen Operationen nutzte, um die Beziehung zwischen Mathematik und Ästhetik nach Außen zu kommunizieren (Abb. 1.11a). Durch das große Interesse auf dem Gebiet der künstlich erstellten Bilder, kam es 1965 zur ersten Ausstellung über computergenerierte Darstellungen, welche gleichzeitig in New York und Stuttgart stattfand. Bereits 3 Jahre später erreichte die nicht-fotorealistische Darstellungsform ihren bis dahin größten Durchbruch, welcher sich in der Londoner Ausstellung *Cybernetic Serendipity* manifestierte. Dort präsentierten die, sich mittlerweile ganz darauf spezialisierten, interdisziplinären Forscher ihre erstellten Darstellungen, welche fortan unter dem zusammenfassenden Begriff *Computerkunst* (engl. Computer Art) Bekanntheit erlangten. Nach den ersten Pionieren aus den 1960er Jahren war es Mitte der 1970er Jahre Larry Cuba²⁴, der in seiner ersten Animation anhand von eigenen geschriebenen mathematischen Algorithmen die ausgegebenen Liniengrafiken des Computers in Bewegung versetzte. Cuba war außerdem die Person, die 3 Jahre später verantwortlich für die Liniengrafikdarstellung im Film *Star Wars – Episode IV: Neue Hoffnung* [StarWars] von George Lucas war (Abb. 1.10a). Bereits zu Beginn der 1970er Jahre war die neue entstandene Disziplin der Computerkunst schließlich nicht mehr nur den wissenschaftlichen Bereichen und Informatikern vorbehalten. Durch dieses Potential, welches auf der *Cybernetic Serendipity* Ausstellung demonstriert wurde, ließen sich die ursprünglich aus den bildenden Künsten stammenden Künstler inspirieren, den Computer für ihre kreativen Arbeiten selbst zu verwenden. Durch diesen Zusammenschluss erfuhr die nicht-fotoreale Darstellungsform einen weiteren Schub. Hierbei prägte Lillian Schwartz erheblich den Begriff der Computerkunst mit, indem sie den Computer als Medium in der Kunstszene als Kommunikationsmittel

²³Frieder Nake ist deutscher Mathematiker und Informatiker und einer der Gründungsväter der Computerkunst. Er ist Professor an der Universität Bremen im Bereich Grafische Datenverarbeitung mit den Schwerpunkten Computergrafik und Interaktive Systeme. Siehe hierzu [Nake, DAM].

²⁴Seit den 1990er Jahren erhielt Larry Cuba aufgrund der algorithmischen Machart seiner Werke einen festen Arbeitsplatz im Zentrum für Kunst und Medientechnologie (ZKM) in Karlsruhe, um dort damals das spezielle Equipment zur Anfertigung seiner audiovisuellen Forschungs- und Entwicklungsprojekte nutzen zu können. Siehe hierzu [ZKM].

nutzte und so damals bereits anfang mit dem Computer in den Bereichen der Grafik, Video, Film und Animation zu experimentieren (siehe [Schwartz]). Die Abbildung 1.11b zeigt ein von ihr erstelltes Bild im Bereich der nicht-fotorealen Malerei. Yoichiro Kawaguchi zählte ebenfalls zu den neuen Vorreitern im Bereich der nicht-fotorealen Darstellungsform im dreidimensionalen Computeranimationsbereich. Seine, durch die Natur inspirierten, Darstellungen sind geprägt von weichen, fluidartigen Formen (Abb. 1.11c). Für diese visuelle Arbeit wurde er ebenfalls mit dem *Prix Ars Electronica*²⁵ gewürdigt. Rund um Kawaguchi gab es in den 1990er Jahren eine mittlerweile große Interessensgruppe, welche aus dem künstlerischen Bereich heraus versuchten eine, zum bereits ebenfalls schon entwickelten fotorealistischen Aussehen, konträre Abbildungsform zu schaffen, die den natürlichen Mal- und Illustrationsstil nachahmen sollte (siehe [OhioState, Dietrich]). Allen voran Barbara Meier [Meier96], die 1996 eine Technik entwickelte, durch welche der Computer synthetische Bilder in einem sog. *Painterly Stil* – vergleiche hierzu Abbildung 1.5 – erzeugt (Abb. 1.11d).

Ein Grund für den Trend zu nicht-fotorealen Darstellungen sieht Greenberg darin, dass bereits Ende der 1990er Jahre das produzierte synthetische Aussehen von 3D Elementen bereits überwiegend dem real existierenden Original so nahe kommt bzw. der Fotorealismus – im Aussehen und Verhalten – so überzeugend für den Rezipienten ist, dass es kaum noch eine Herausforderung für den Artist darstellt [Greenberg99a], wie das Beispiel der Dinosaurierdarstellung aus dem Kinofilm *Jurassic Park* [JurassicPark] aufzeigt (Abb. 1.10f). Barbara Toth²⁶ spricht in ihrer Arbeit über den Darstellungswandel zum analogen Aussehen im Grafikdesignbereich von einer „Gegenreaktion“ [Toth, S. 69]. Diese gegengerichtete Bewegung über die Toth spricht, richtet sich unter der Betrachtung von Greenbergs Gedanken demnach gegen den schöpferischen Stillstand, welcher infolge der Unterforderung durch den Realismus herrührt. Daher bietet die nicht-fotorealistische Darstellungsform noch nach über 50 Jahren ein großes Potential gegenüber dem Fotorealismus, welches die damaligen Pioniere aus der Anfangszeit ebenfalls in der Urform der nicht-fotorealen Darstellungsart erkannten. Darum war und ist dieses Potential damals wie heute verantwortlich für den Anstoß der diversen Forschungen auf dem Gebiet der nicht-fotorealen Bild Darstellungen. Dies stellt auch der Grund dar, wieso heutzutage in der Computergrafik bei der Erzeugung von synthetischen Bildern wieder verstärkt der Weg zurück zu den anfänglichen Liniengrafiken beschritten wird (siehe hierzu [Deussen01, S. 71]).

²⁵Der *Prix Ars Electronica* ist ein Kulturpreis der jährlich im Rahmen des *Ars Electronica Festivals* für Kunst, Technik und Gesellschaft in Linz verliehen wird. Siehe hierzu [AEC].

²⁶Siehe dazu [Toth].

Zusammengefasst für die nicht-fotorealen Bildgenesen bedeutet dies, dass sie ihren Ursprung in der frühen Computerkunst aus den 1960er Jahren besitzt. Durch die Neugier und den Forschungsdrang zunächst von einigen wenigen Computerspezialisten vorangetrieben, wuchs im Laufe der Zeit eine interdisziplinäre Gruppe heran, vor allem aus dem Bereich der bildenden Künste stammend, um nach ihren eigenen Intentionen und Motivationen nicht-fotorealistische Darstellungsformen zu erschaffen. *Aus dieser Zeit entstammt ebenfalls die Intention den Computer selbst als Artist fungieren zu lassen*, indem versucht wurde, Bilder in einem natürlich wirkenden Malstil anhand des Computers erzeugen zu lassen. Diese Faszination, die durch Menschenhand geschaffene Malstil- und Illustrationsformen durch den Computer imitieren zu lassen, ist bis heute ein Forschungsgebiet auf dem Sektor der nicht-fotorealistischen Darstellungsform. Das nächste Kapitel widmet sich daher speziell diesen Darstellungen, indem dabei aufgezeigt wird, welche Stile sich im Computergrafikbereich etabliert haben und wofür sie gezielt eingesetzt werden.



Abbildung 1.11 Entwicklung nicht-fotorealer Darstellungen. Die Bilder zeigen einige Darstellungsformen der nicht-fotorealen, synthetischen Bildgenese auf. (a) Frieder Nake, *Matrizen*. (b) Lillian Schwartz, *After Picasso*. (c) Yoichiro Kawaguchi, *Eggv*. (d) Barbara Meier, Painterly Darstellungsstil. (Quelle: [DAM, OhioState, Meier96]).

Kapitel 2

Aktuelle nicht-fotorealistische Darstellungsstile in der Computergrafik

Wie im letzten Teil des vorangegangenen Kapitels dargelegt wurde, besitzt die nicht-fotorealistische Darstellungsform ihren Ursprung in der Computerkunst. Auch heutzutage stellt diese Darstellungsform in dieser Kategorie die Hauptvisualisierungsart dar, welche als primäres Kommunikationsmittel fungiert. Jedoch haben sich die Anwendungsbereiche aufgrund weiterentwickelten und spezialisierten Ausprägungen, vor allem im Bereich der Malstil- und Illustrationsimitation seit [Meier96], erweitert. Daher handelt dieses vorliegende Kapitel nun über die aktuellsten Darstellungsstile dieses Bereiches, welche in der Computergrafik als alternative Darstellungsarten zum Fotorealismus eingesetzt werden.

Gerade in Hinblick auf den Computeranimationsfilmbereich erlaubt der Einsatz von den verschiedensten Ausprägungsformen der nicht-fotorealistischen Darstellungsform eine erzählerische und ästhetische Freiheit, welche – nach [Greenberg99a] – im Fotorealismus, aufgrund der im vorangegangenen Kapitel dargelegten Gründe, nicht gegeben ist. Aufgrund Greenbergs Aussage und der Meinung von Kundert-Gibbs et al. limitiert der Fotorealismus daher nicht nur nachhaltig den Stil eines Films, sondern auch *die Wirkung* der erzählten Geschichte auf den Rezipienten. Denn laut Kundert-Gibbs et al. weiter, können durch die Verwendung der verschiedenen Stile der nicht-fotorealistischen Darstellungsform unterschiedliche Wirkungen beim Betrachter ausgelöst werden [Kundert-Gibbs, S. 35]. Dieses wahrnehmungspsychologische Phänomen ist auch der Grund dafür, dass – wie durch Hurlbutt aufgezeigt (siehe S. 28) – die Hauptfunktion der nicht-fotorealistischen Darstellungsform, im Gegensatz zur fotorealistischen Abbildung, die Vermittlung bestimmter Bildinhalte ist. Diese Wirkungen anhand der Vermittlung spezifischer Bildinformationen rühren beispielsweise durch *die Unvollkommenheit*, *die Vereinfachung* oder durch *die Betonung bestimmter Bildinhalte* anhand der nicht-fotorealistischen Art her. Wohingegen der Fotorealismus stets die gleiche Wirkung beim Rezipienten erzielt. Entweder fühlt sich für den Rezipienten das digitale Bild als Gesamtheit als echt oder unecht an (siehe hierzu Abschnitt 1.3.1). Beim Rezipieren existieren aufgrund dieser beschriebenen binären Wirkung des Fotorealismus keine Wahrnehmungsnuancen, wie es bei der nicht-fotorealen Darstellung der Fall ist. Dieses Phänomen, der eingeschränkten Wirkungswahrnehmung, beschreibt Cassidy Curtis

damit, dass der „*Photorealism, like pornography, leaves nothing to the imagination.*“ [Curtis98a, S. 145]. Diese Behauptungen von Kundert-Gibbs et al. werden durch die Forschungsergebnisse der Untersuchung von der Wahrnehmung der nicht-fotorealistischen Darstellungsform von Halper et al. aus dem Jahre 2003 bekräftigt (siehe [Halper03]). Diese stellen fest, dass beispielsweise eine nicht-fotorealistische Darstellung im grafischen Stil mit seinen Konturen die Neugier der Menschen anregt und daher für den Einsatz in Computerspiele als Visualisierungshilfe von unbekanntem Territorien geeignet ist. Des Weiteren kann die dargestellte Art der Konturlinien selbst ebenfalls unterschiedliche Wirkungen – *Bedrohung* und *Sicherheit* – auf den Betrachter ausüben [Halper03, S. 279f.]. Gerade diese beiden grundlegenden menschlichen Empfindungen sind nicht nur für Computerspiele, sondern auch für den Filmbereich zur Steigerung der Immersion notwendig.²⁷ Aus diesem Grund entwickelten sich, vor allem zu dem grafischen Darstellungsstil, in den vergangenen Jahren in der Computergrafik digitale Pendanten, welche sich auf den Computeranimationsfilm- und den Computerspielesektor konzentrierten, wie z. B. [Correa, Mitchell]. Auch findet sich dieser Darstellungsstil teilweise im Realfilmbereich wieder [FBF]. Aber auch der malerische Stil ist seit Barbara Meiers vorgestellte Technik [Meier96] für den Computeranimationsfilmbereich zunehmend in den Mittelpunkt des Interesses gerückt, wie die aktuellsten Beispiele von Disney aufzeigen (z. B. [Lusinsky]).

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die nicht-fotorealistische Darstellungsform aufgrund ihrer besonderen und vielseitigen Charakteristika bereits im *Computeranimationsfilm- und Computerspielebereich* verwendet wird. Darüber hinaus wird diese Art auch verstärkt im technischen und wissenschaftlichen *Illustrationsbereich* eingesetzt wie Tobias Isenberg et al. aufzeigen [Isenberg]²⁸. In der vorliegenden Arbeit wird die nicht-fotorealistische Darstellungsform für den weiteren Verlauf in *3 Unterkategorien* eingeteilt, welche in den anschließenden Abschnitten gesondert betrachtet werden. Die vorgenommene Einteilung erfolgt anhand der optischen Erscheinung der verschiedenen Stile und basiert auf den in der Computergrafik üblich vorgefundenen Kategorisierungen und Begrifflichkeiten. Dabei findet zum einen die Zuordnung der einzelnen Anwendungsgebiete zu den kategorisierten Darstellungsstilen statt und zum anderen wird der untersuchte *analoge Artworkstil* aus dem vorangegangenen Kapitel aufgrund seiner beschriebenen Bildcharakteristik *in eine der dargestellten Kategorien eingeordnet*. Doch zunächst erfolgt die Beschreibung der kennzeichnenden Kriterien der einzelnen Kategorien.

²⁷Für weiterführende Informationen zum Thema Erzeugung von Bedrohung und Sicherheit in Computerspiele, siehe hierzu [Jelen].

²⁸Siehe alternativ dazu auch [Isenberg_slides].

Toon Darstellungsstil. Hierbei handelt es sich um einen nicht-fotorealistischen Darstellungsstil, welcher im Bereich des analogen grafischen Stils angesiedelt ist und sich an Abbildung 1.2a auf Seite 13 orientiert. Dieser Stil kann selbst jedoch in 2 Varianten vorliegen (Abb. 2.1). So wird die klare Konturdarstellung nicht zwingend bei der Verwendung dieses Darstellungsstils benötigt. Die Farbgebung ist jedoch bei beiden Variationen stets gleich. So besteht diese lediglich aus einfachen, meist texturlosen, einzelnen Oberflächenfarben. Im Bereich der Schattierung wird hierbei kein weicher Verlauf verwendet, sondern sich lediglich auf wenige Helligkeitsstufen beschränkt. Dies bewirkt, dass beim sog. *Terminator*²⁹ – der Übergang von hell auf dunkel – ein harter sichtbarer Wechsel zwischen den beleuchteten Flächen und dem Schattenbereich auftritt (siehe hierzu Abb. 2.2e).

Sketchy Darstellungsstil. Der Sketchy Stil ist eine spezialisierte Variante des Toon Stils. Daher liegt dieser nicht-fotorealistische Darstellungsstil ebenfalls im Bereich des grafischen Stils. Im Gegensatz zum Toon Stil, ist bei dieser Variante lediglich alleine die Kontur – entweder wie bei [Zander] als Strich oder nach [Secord, Schlechtweg] als Punkte gezeichnet – von Bedeutung (Abb. 2.3). Die Schatten werden hierbei nicht als Farbflächen, sondern wahlweise ebenfalls lediglich als Striche oder Punkte dargestellt. Bei der Strichvariante existieren wiederum mehrere Möglichkeiten wie die Schattierungsstriche zueinander positioniert werden können – parallel oder überkreuz. Dieser Stil ist vergleichbar mit den Abbildungen 1.1a und 1.1c auf Seite 12.

Painterly Darstellungsstil. Bei diesem Darstellungsstil ist die Farbgebung die entscheidende Größe. Anders als die beiden anderen Stile wird das Objektaussehen hierbei ausschließlich über die Farbe und deren Komposition bestimmt. Dies bedeutet für die Objektkanten, dass bei diesem Darstellungsstil keine klare Abgrenzung zum Hintergrund anhand einer Kontur stattfindet. Daher entspricht dieser Darstellungsstil der Abbildung 1.2b von der Seite 13 und seinem malerischen Stil, bei welchem die Objektkanten „*distinct in one place and lose themselves in another*“ [Meier, S. 477] sein können, um einen gewissen Rhythmus in die Bildkomposition einzuarbeiten [Meier96].

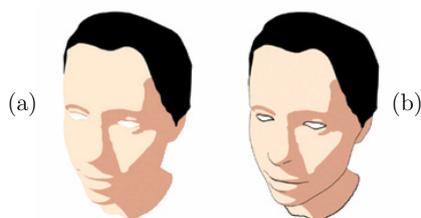


Abbildung 2.1 Toon Darstellungsvarianten. (a) Nur Farbe. (b) Kombination aus Farbe und Kontur. (Quelle: [Autodesk]).

²⁹Siehe hierzu Abschnitt 9.1.4.2 *The Terminator* in [Birn, S. 203].

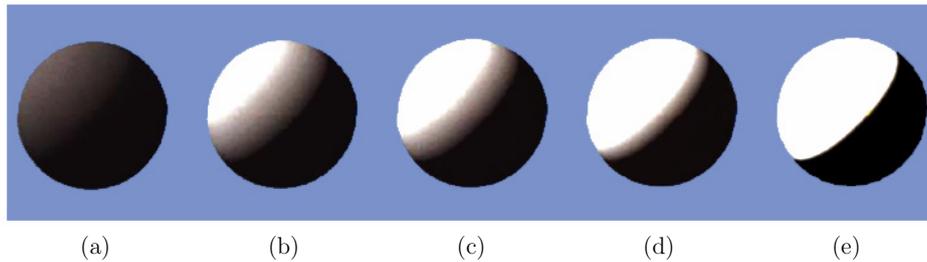


Abbildung 2.2 Verschiedene Terminatordarstellungen anhand unterschiedlicher Beleuchtungsstärken. Das Bild stellt verschiedene Lichtintensitäten von (a) schwach bis (e) sehr starke Intensität dar. (Quelle: [Birn]).



Abbildung 2.3 Sketchy Darstellungsstil. Nur Konturdarstellung. (Quelle: [Autodesk]).

2.1 Der Toon Darstellungsstil

Durch die Verwandtschaft zum grafischen Stil entspricht die Toon Darstellung mit seiner Charakteristik dem analogen Comic oder dem klassischen Zeichentrick (engl. cel animation³⁰). Aus diesem Grund wird dieser Stil in der Computergrafik auch als *cel*³¹ *shading* bezeichnet.

Aufgrund dieser Ähnlichkeit zum traditionellen Zeichentrick nutzte bereits Disney diese Technik [Correa] in ihrem abendfüllenden Zeichentrickfilm *Aladdin* [Aladdin] aus dem Jahr 1992 (siehe Kapitel 4, S. 70). Heutzutage findet sich der Toon Darstellungsstil verstärkt in den Computeranimationen im Fernsehbereich und in der Werbung wieder. Im Fernsehbereich wird der Toon Stil vor allem in den Zeichentrickserien oder den japanischen Animes³² eingesetzt. Die cel shading Technik wird dabei entweder als vollständigen digitalen *Ersatz* für eine analoge Erstellungsweise verwendet oder lediglich als *Ergänzung* dazu. Die nachfolgende Abbildung 2.4 zeigt die beiden Variationen an einigen praktischen Bildbeispielen auf.

³⁰Siehe hierzu [Okun, S. 846].

³¹*cel* steht für celluloid (dt. Zelluloid). Im klassischen Zeichentrick wurde der Begriff cel als Synonym für die Zeichenfolie der Animatoren gebraucht.

³²Unter Animes werden alle Arten von japanischem Zeichentrick verstanden, welche einen bestimmten Zeichenstil besitzen. Charakterisierend hierfür sind starke Linienkonturen und meist stilisierte Charaktere. Siehe für eine detaillierte Beschreibung [Kundert-Gibbs, S. 37].



Abbildung 2.4 Beispiele des Toon Darstellungsstils in Zeichentrickserien und Animes. (a) *Ghost in the Shell 2 – Innocence* (2004) [GITS]. Bei diesem Anime wird die Toon Technik als Ergänzung eingesetzt. (b) *Futurama* (1999) [Futurama]. Hier wurde der Toon Darstellungsstil als Ergänzung zum Analogen verwendet. (c) *League of Super Evil* (2009) [LOSE_TV]. Die Serie wird durch die cel shading Technik erstellt. (d) *Applesseed* (2004) [Applesseed]. Dieses Anime wurde vollständig über das cel shading realisiert. (e) *Spider-Man: The New Animated Series* (2003) [Spider-Man]. Dieser Zeichentrick besteht komplett aus dem Toon Darstellungsstil. (Quelle: [IMDb, CGSociety08, AnimatedViews, LOSE]).

Seit Anfang der 2000er Jahre entdeckten schließlich die Film- und Computerspieleindustrie diesen Darstellungsstil. Im Jahr 2001 wurde der Toon Stil erstmalig in einem kompletten Realfilm *Waking Life* [WakingLife] und ebenfalls 5 Jahre später erneut in *A Scanner Darkly* [ASD] eingesetzt (Abb. 2.5). Beide Filme nutzten eine weiterentwickelte Technik [FBF] eines alten Verfahrens, welches als *Rotoskopie* (engl. rotoscoping³³) bekannt ist und bereits für einige Musikvideos oder kürzere Sequenzen in Realfilmen immer wieder eingesetzt wurde.

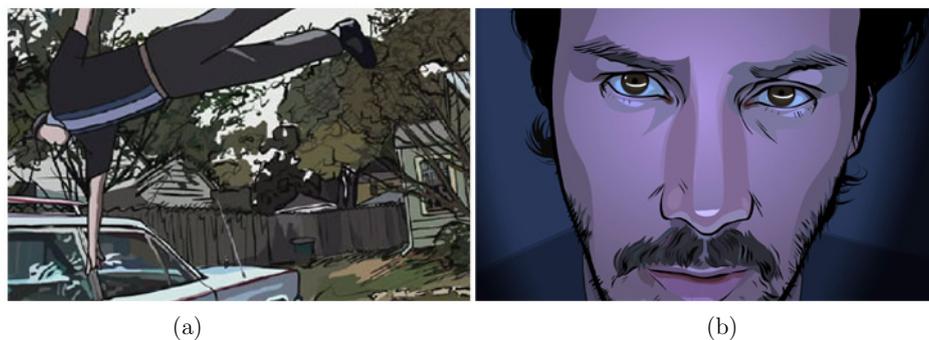


Abbildung 2.5 Beispiel des Toon Darstellungsstils im Realfilmbereich. (a) *Waking Life* (2001) [WakingLife]. (b) *A Scanner Darkly* (2006) [ASD]. Beide Filme sind optisch im Toon Stil gehalten und versuchen durch diese besondere Darstellung die jeweilige Geschichte in eine visuell stimmige Welt zu transferieren. (Quelle: [IGN, IMDb]).

³³Siehe hierzu [Okun, S. 879].

Im Computerspielbereich waren Sega die Ersten, die bei ihrem Spiel *Jet Grind Radio* [JetGrindRadio] einen Toon Darstellungsstil verwendeten, um die Spielfigur durch die explizite Konturdarstellung eindeutig vom Hintergrund abzuheben (Abb. 2.6a). Im Laufe der Zeit wuchs die Zahl der Spiele, welche diese spezielle Optik besaßen. Allerdings wurde im Spielbereich dieser neuauftretende nicht-fotorealistic Stil in erster Linie noch größtenteils als Blickfang eingesetzt und nicht als zusätzliches Kommunikationsmittel angesehen (siehe [Hurlbutt, S. 8]), welches nach Kundert-Gibbs et al. die Wirkung – in diesem Fall die Spieleerfahrung – erweitert. Erst 2 Jahre nach Sega nutzte Shigeru Miyamoto für seine bekannte Spielreihe *The Legend of Zelda* [Zelda] diesen Stil der nicht-fotorealen Darstellung (Abb. 2.6b) dazu, die spezielle Optik des Toon Stils als *Interaktionsmittel*³⁴ einzusetzen, um die Beziehung zwischen der Spielfigur und dem Spieler zu intensivieren [Hurlbutt, S. 9].

„In this way, the player is better able to connect and interact with the character within the virtual environment.“ [Hurlbutt, S. 9].

Dies bedeutet, dass das Designelement des Darstellungsstils ganz bewusst von Miyamoto als ein Kommunikationsmittel gewählt wurde, um ein direktes Feedback für den Spieler über beispielsweise Gesichtsanimationen der Spielfigur, welches durch diesen Darstellungsstil begünstigt wird, zu erschaffen [Hurlbutt, S. 9]. Der First-Person Shooter³⁵ *XIII* [XIII] aus dem Jahr 2003, welches auf einer Comicserie basiert, nutzte diesen Toon Stil ebenfalls als ein Kommunikationsmittel, um dem Spieler das Gefühl zu vermitteln sich in einem interaktiven Comic zu befinden und dadurch eine immersivere Verbindung zwischen der comichaften Story und dem Spieler zu erschaffen (Abb. 2.6c). Diese gleiche Intension besitzt das aus dem Jahr 2012 stammende Spiel *The Walking Dead* [WalkingDead] zur gleichnamigen Comicreihe (Abb. 2.6e). Doch nicht nur alleine die Konturdarstellungsvariante des Toon Stils wird in den Computerspielen und im Zeichentrickbereich eingesetzt, sondern auch die konturlose Variante findet hierbei Verwendung, wie die Beispiele von [Mitchell] für das Spiel *Team Fortress 2* [TeamFortress] (Abb. 2.6d) und *League of Super Evil* [LOSE_TV] (Abb. 2.4c) im Gegensatz dazu aufzeigen.

Abschließend betrachtet bedeutet dies für den Toon Darstellungsstil, dass dieser heutzutage wie aufgezeigt in vielen Anwendungsgebieten ein-

³⁴Für weiterführende Informationen zur Thematik des visuellen Feedbacks von Spielfiguren in Computerspielen, siehe hierzu [Koller].

³⁵First-Person Shooter ist ein spezielles Genre in der Computerspieleindustrie. Kennzeichnend und namensgebend für dieses Genre ist die Egoperspektive, aus welcher das Spiel gespielt wird. Daher wird im Deutschen dieses Genre auch oft als Ego-Shooter bezeichnet.

gesetzt wird. Die Gründe hierfür sind darin zu finden, dass zum einen durch die Zuhilfenahme dieses Stils in der Zeichentrickserienbranche ein wirtschaftlicheres Arbeiten ermöglicht wird, was gerade in diesem Bereich – wo mehrere Folgen zeitnah produziert werden müssen – erstrebenswert ist. Begünstigt wird der Einsatz dieses Darstellungsstils im Allgemeinen ebenfalls von dem nach wie vor beliebten Aussehen eines analogen Zeichentrickfilms – im Gegensatz zur fotorealen Darstellungsform in Animationen – auf Seiten des Rezipienten, wie die Studie von Haas aus dem Jahr 2005 belegt [Haas]. Im Computerspielebereich wird dieser Toon Darstellungsstil hingegen nicht mehr – wie zu seinen Anfangstagen – aufgrund seiner beliebten Optik eingesetzt, sondern hier wird dieser Stil mittlerweile ganz gezielt, wie auch im Realfimbereich, verwendet um den Grad der Immersion zu steigern. Ein weiterer Grund liegt im angesprochenen Mehrwert der nicht-fotorealistischen Darstellungsform selbst. Wie die Bildbeispiele aufzeigen, bietet der Toon Darstellungsstil aufgrund seiner beiden Variationen diverse Möglichkeiten diesen Stil gezielt als Kommunikationsmittel einzusetzen.

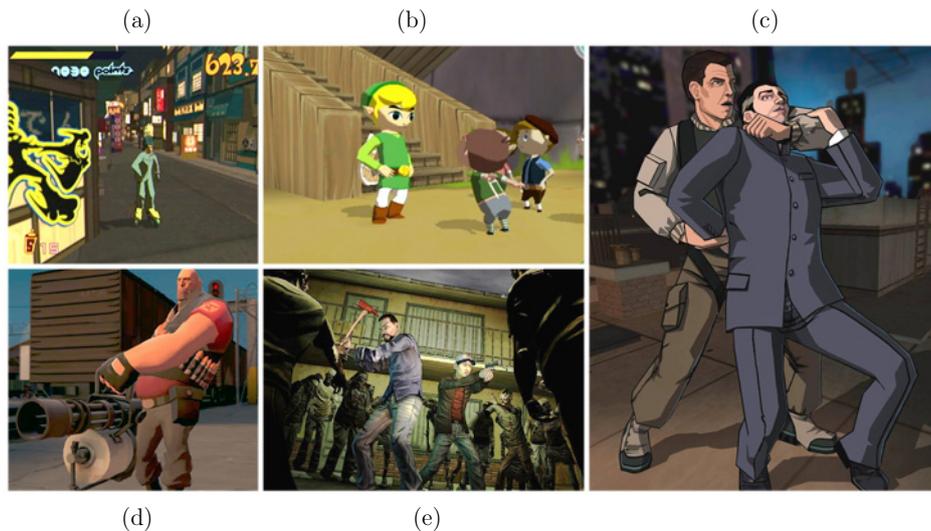


Abbildung 2.6 Beispiele des Toon Darstellungsstils bei Computerspielen. (a) *Jet Grind Radio* (2000) [JetGrindRadio].³⁶ Das cel shading diente hierbei in erster Linie als Blickfang. (b) *The Legend of Zelda: The Wind Waker* (2002) [Zelda]. Hier wurde der Toon Stil eingesetzt, um visuelles Feedback zu ermöglichen. (c) *XIII* (2003) [XIII]. Der besondere Toon Darstellungsstil dient hier zur Steigerung des Immersionsgrades. (d) *Team Fortress 2* (2004) [TeamFortress]. Das cel shading dient hierbei ebenfalls als Immersionsgradsteigerung. (e) *The Walking Dead* (2012) [WalkingDead]. Der Toon Stil wird hierbei verwendet, um den Spieler in ein spielbares Comic zu versetzen. (Quelle: [Gamespot, Mitchell]).

³⁶In Europa und Japan unter dem Namen *Jet Set Radio* veröffentlicht.

2.2 Der Sketchy Darstellungsstil

Unter dieser Darstellungsvariante im grafischen Stil werden in der vorliegenden Arbeit alle Arten von handgezeichneten analogen Zeichenarten zusammengefasst, die entweder als skizzenhafte oder ausgearbeitete (Linien-) Zeichnungen vorliegen. Dies heißt, dass die Kategorie des Sketchy Stils letztlich das breite Spektrum sowohl von handgemalt aussehenden Illustrationsdarstellungen (z.B. [Schlechtweg, Sousa04]) sowie von Zeichnungen und Skizzen (Abb. 2.7) in sich vereint (z.B. [Kalnins, Sousa03a]). Aufgrund dieser Ausprägungsformen wird heutzutage dieser computergenerierte Darstellungsstil für die synthetische Erstellung von Illustrationszeichnungen im technischen und wissenschaftlichen Bereich eingesetzt.

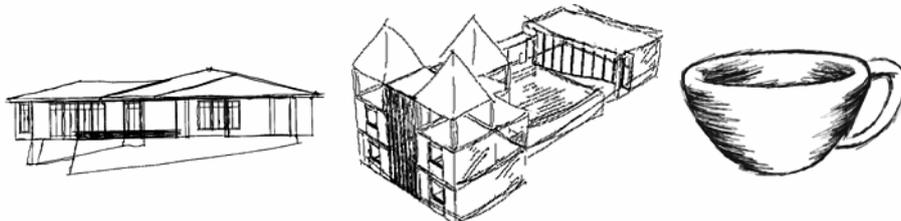


Abbildung 2.7 Skizzen und Zeichnungen anhand des Sketchy Stils. (Quelle: [Bourke, Schumann, Kalnins]).

Die Abbildung 2.9 zeigt einige dieser digitalen Varianten im Bereich der Illustrationszeichnungen auf. Diese unterschiedlichen Varianten werden durch den Rezipienten jedoch nicht alle gleich wahrgenommen, wie eine empirische Studie von Isenberg et al. aus dem Jahr 2006 aufzeigt. Der Grund liegt darin, dass bei jeder Variante unterschiedliche bildliche Merkmale betont werden [Isenberg]. Die Verwendung dieses künstlichen Darstellungsstils in den genannten Bereichen wird heutzutage ebenfalls dadurch begünstigt, dass die computergenerierten Bilder mittlerweile, im Gegensatz zu den analog erstellten Bildern, gerade für wissenschaftliche Illustrationen als zutreffender angesehen werden, so die Erkenntnisse von Isenberg et al. weiter. Die Abbildung 2.8 zeigt den direkten Vergleich eines handgemalten Objektes mit seinem computergenerierten Pendant. Dieses Forschungsergebnis bedeutet für diesen speziellen Stil der nicht-fotorealistischen Darstellungsform in Hinblick auf den Einsatz als Kommunikationsmittel, dass durch die diversen Darstellungsarten und deren unterschiedliche Rezeption die entstehenden synthetischen Bilder nicht nur für verschiedene Verwendungszwecke innerhalb des Illustrationsbereiches genutzt werden, sondern je nach Variante damit auch gleichzeitig effektiver unterschiedliche Zielgruppen angesprochen werden können (siehe [Isenberg]).

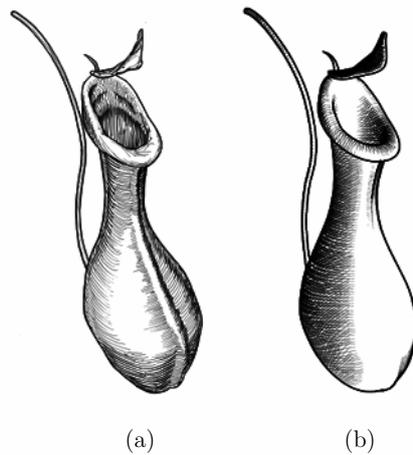


Abbildung 2.8 Vergleich von einem analog erstellten Bild mit einer korrespondierenden berechneten Sketchy Variante. (a) Handgezeichnetes Objekt. (b) Berechnetes Objekt im Sketchy Darstellungsstil. (Quelle: [Isenberg]).

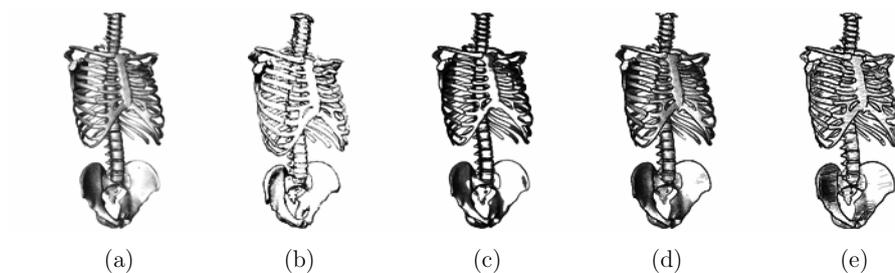


Abbildung 2.9 Variationen des Sketchy Darstellungsstils. (a) Punktiert ohne Silhouette nach [Secord]. (b) Präzise Tintenmarkierungen nach [Sousa03a, Sousa03b, Sousa04]. (c) Kreuzschraffur mit Silhouette nach [Zander]. (d) Punktiert mit Silhouette nach [Schlechtweg]. (e) Kreuzschraffur mit Silhouette nach [Schlechtweg]. (Quelle: [Isenberg]).

2.3 Der Painterly Darstellungsstil

Unter der Kategorie des Painterly Darstellungsstils werden alle digitalen Darstellungsarten zusammengefasst, welche die analoge Malerei zu imitieren versuchen. Dies bedeutet in Hinblick auf den Untersuchungsgegenstand – *die Artworkdarstellung* – der vorliegenden Arbeit, dass dieser aufgrund seines, im vorangegangenen Kapitel beschriebenen, *malerischen Charakters* dadurch ebenfalls im Bereich des *Painterly Stils* innerhalb der nicht-fotorealistischen Darstellungsform angesiedelt ist. Daher wird am Ende dieses Abschnitts speziell der 2. Teilspekt der Forschungsfrage – des aktiven Einbezugs des Artist in den Erstellungs- und Darstellungsprozess – diskutiert, um zu überprüfen in wie fern dies innerhalb der eingesetzten Mittel bereits realisiert ist.

Seit Barbara Meier im Jahr 1996 mit ihrer vorgestellten analog wirkenden Darstellungstechnik für 3D Elemente (Abb. 1.11d auf Seite 31) diesen

Darstellungsstil speziell im Öl- oder Pastelmalereibereich für die Verwendung in Animationen prägte, wuchs die Personenzahl derer, die sich speziell mit der synthetischen Erzeugung von diversen analogen Maltechniken und Malstilen auseinandersetzten. Auch 16 Jahre nach Meier stellt dieser Darstellungsstil aufgrund der Komplexität an bildbestimmenden Beeinflussungsfaktoren nach wie vor den Hauptuntersuchungsgegenstand im Sektor der nicht-fotorealistischen Darstellungsform dar. So umfasst der Painterly Darstellungsstil mittlerweile eine große Anzahl an synthetischen Maltechnikimitationen, welche angefangen von Wasserfarbendarstellungen [Curtis97] bis schließlich hin zur Ölgemäldemalerei mit seinen diversen Malstilen reichen (wie z.B. [Davis]). Die Abbildung 2.10 stellt die 2 beschriebenen Maltechniken stellvertretend für die breite Vielfalt dieses Darstellungsstils vor.

Trotz seiner enormen Vielfalt an Ausprägungsformen wird heutzutage dieser Darstellungsstil größtenteils lediglich im Bereich der Einzelbildgenerierung eingesetzt, um eine beabsichtigte analoge Maltechnik oder einen Malstil entweder in einem computergenerierten oder real aufgenommenen Bild zu imitieren (z. B. [Hertzmann98, Hertzmann02, Park]).

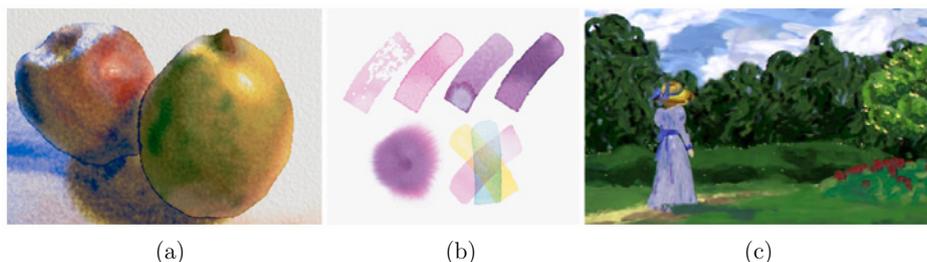


Abbildung 2.10 Ausprägungsformen des Painterly Darstellungsstils. (a) Wasserfarbendarstellung. (b) Imitierte Wasserfarbeneigenschaft. (c) Impressionistische Maltechnik. (Quelle: [Curtis97, Davis]).

Dennoch existieren ebenfalls Versuche, diesen Painterly Darstellungsstil im Bereich der Bewegtbilder anzuwenden. So wurde der Painterly Stil, wie auch schon die Toon Darstellung, im Realfilmbereich bereits eingesetzt. Im Gegensatz zum Film *A Scanner Darkly*, der gesamt im Toon Stil gehalten ist (Abb. 2.5b), nutzte der Film *Hinter dem Horizont* [HDH] aus dem Jahr 1998 lediglich diesen Painterly Stil, um Teile des Films als eine analog gemalt anmutende Welt zu gestalten, in welcher sich die real belassenen Schauspieler bewegten (Abb. 2.11). Ein weiterer Anwendungsbereich für den Bewegtbildeinsatz ist auch die Computeranimation, wie die Beispiele von [Davis, Lusinsky] aufzeigen.



Abbildung 2.11 Beispiel des Painterly Darstellungsstils im Realfilmbereich. Für den Film *Hinter dem Horizont* wurde dieser Stil eingesetzt, um die Realaufnahmen der Landschaft in ein impressionistisches Gemälde zu verwandeln. (Quelle: [VFX_HQ]).

Abschließendes. Abschließend betrachtet bedeutet dies für den Painterly Darstellungsstil, dass aufgrund der aufgezeigten Eigenschaft des malarischen Stils – siehe hierzu Abschnitt 1.2 *Die Ästhetik des malarischen Stils* auf Seite 16 – dieser Darstellungsstil vielfältig einsetzbar ist. Durch die unterschiedlichen Betonungsmöglichkeiten, bedingt durch die verschiedenen Maltechniken und diversen Malstile, besitzt dieser Darstellungsstil – als Kommunikationsmittel verwendet – daher das größte Potential von den vorgestellten Kategorien an nicht-fotorealistischen Darstellungsstilen. Dennoch findet aber der Painterly Stil trotz den vielen Forschungen auf diesem Gebiet noch keine breite Verwendung in der Praxis wie der Toon Darstellungsstil, welcher bereits intensiv für Computeranimationen oder Spiele genutzt wird. Ein Grund hierfür ist darin zu sehen, dass bei dem Painterly Stil anders als bei dem Toon Darstellungsstil, bei welchem das Aussehen bereits direkt bei der Herstellung in den modernen 3D Programmen ersichtlich und über einen dafür eingesetzten Shader bearbeitbar ist, erst durch einen algorithmischen Prozess, welcher nachträglich das Bildaussehen manipuliert, das finale Bild erzeugt wird. Daher werden diese indirekten Arten von Effektverfahren in der Computergrafik zusammenfassend als *post-processing*³⁷ Techniken bezeichnet und stehen, im Bereich der Computeranimation, dem Rendering Prozess gegenüber.

Craig Reynolds ist, wie das einleitende Zitat zum vorliegenden 1. Teil der Thesis deutlich macht, der Auffassung, dass aber keine dieser Techniken letztlich für eine „*true artificial creativity*“ [Reynolds] in Frage kommt, obwohl gerade aufgrund des Einsatzes solcher Techniken stets versucht wird den Computer selbst als Künstler fungieren zu lassen. Die Tatsache, dass der Computer dabei künstlerische Entscheidungen trifft, bedeutet zum einen für den Artist, dass dieser als künstlerische Kraft am eigentlichen Erstellungsprozess kaum mehr beteiligt ist. Und zum anderen

³⁷Weitere Beispiele für post-processing Effekte in der Computergrafik sind Lens Flair Berechnungen, Depth of Field, Motion Blur, Blooming oder Film Grain.

wird, wie Barbara Toth in ihrer Arbeit zusätzlich bemerkt, bei der Verwendung dieser Techniken dennoch – oder gerade deshalb – eine qualifizierte Begutachtung durch den Artist nötig, da manche analoge Stile nur sehr schwer in einer dreidimensionalen Welt umsetzbar sind und demnach diese dann nur als sehr unzufriedenstellende digitale Ergebnisse vorliegen [Toth, S. 52]. Somit wird der Artist als vormals künstlerische Kraft auf nun lediglich ein *Begutachter* deklassiert.

Diese unzufriedenstellenden Ergebnisse der post-processing Techniken rühren von dem komplexen Zusammenspiel der vielen bildbestimmenden Faktoren – vor allem des individuellen Malstils – des malerischen Stils her, die durch den Computer in diesem Umfang nicht imitiert werden kann. Dadurch zeigt sich, dass Craig Reynolds letztlich in seiner Meinung bestätigt wird.

Dies bedeutet für die post-processing Techniken, dass zwar durch die Technik ein Potential zur Verfügung steht, welches jedoch nicht komplett autonom als *Ersatz für den Artist* funktioniert, um ein überzeugendes analoges Aussehen – auf den malerischen Stil bezogen – zu erlangen. Das aus der Technik allgemein hervorgehende enorme Potential beschrieb bereits Sigmund Freud in seinem Werk *Das Unbehagen in der Kultur*³⁸ wie folgt.

„Der Mensch ist sozusagen eine Art Prothesengott geworden, recht großartig, wenn er all seine Hilfsorgane anlegt, aber sie sind nicht mit ihm verwachsen und machen ihm gelegentlich noch viel zu schaffen.“ [Freud, S. 50].

Wird Freuds Aussage auf die, der Thesis zugrunde liegenden, Problematik von der Erstellung und Darstellung von 3D Objekten mit einem analog wirkenden Erscheinungsbild übertragen, so wird beispielsweise durch den Ansatz von Correa et al. deutlich [Correa], dass der Artist mit der Zuhilfenahme des Computers schließlich in der Lage ist, die sonst durch seine limitierte Fähigkeit – aufgrund der zeichnerischen Komplexität oder aufwendigen Machart – unmöglich zu realisierenden Aufgaben zu bewältigen. Dadurch wird der Artist im Wesentlichen zu dem Wesen was Freud als „Prothesengott“ [Freud, S. 50] titulierte. Da jedoch diese technischen Erweiterungen – gerade im Bereich des Painterly Stils – lediglich als artifizielle post-processing Techniken und nicht als direkte Erstellungsmittel über die Arbeitswerkzeuge für den Artist bereit stehen, ist diese eingesetzte Technik für ihn oftmals in seinem kreativen Arbeiten hinderlich oder sie wird gar gänzlich übergangen, wie z. B. bei [Botkin, Davis]. Dies bedeutet, dass diese post-processing Techniken erstens nicht in der Lage sind die menschliche Kreativität im vollen Ausmaß nachzuahmen und

³⁸Siehe [Freud].

zweitens dass die Nutzung dieser Techniken zudem den Artist in seiner eigenen Kreativität bremsen oder diese erst gar nicht zulassen. Wird unter dieser Betrachtungsweise weiterführend eine von Marshall McLuhans³⁹ Kernthesen, welche diesen Freud'schen Gedanken beinhaltet, aufgegriffen und ebenfalls auf die vorliegende Problemstellung der Thesis adaptiert, stellen in diesem Zusammenhang – nach McLuhans These – die post-processing Techniken – im Weiteren gleichbedeutend mit der Arbeitsweise – das „*medium*“ [McLuhan, S. 7] und die Erstellung und Darstellung der 3D Elemente McLuhans „*message*“ [McLuhan, S. 7] dar. Vereinfacht ausgedrückt bedeutet diese erläuterte Sichtweise, dass nun nicht mehr die Erschaffung und die Darstellung der Bildwelten im angestrebten Stil selbst im Fokus steht, sondern die Arbeitsweise, die hierfür praktiziert wird. So übt hierbei – basierend auf McLuhans Meinung – die Arbeitsweise einen *Einfluss* auf den Artist aus. Dieser Einfluss der Arbeitsweise, welcher bedingt durch die synthetische Imitation der Realität herrührt, verändert die kreative Arbeitsmöglichkeit des Artist nachhaltig. So nimmt, wie auf vorangegangener Seite dargelegt, der Artist im Fall des Einsatzes von den post-processing Techniken lediglich noch eine *beobachtende* und *korrigierende Funktion* ein.

Im Umkehrschluss heißt dies für den Aspekt der Erstellung und Darstellung eines 3D Elements im Artworkstil, dass um den Artist nicht in seinem kreativen Prozess bei der Kreierung des speziellen Bildaussehens einzuschränken, eine *aktivere Einflussnahme des Artist* benötigt wird. Bestärkt wird diese Aussage damit, dass der Artist durch sein Eingreifen bereits bei der Bildherstellung das Bildaussehen maßgeblich beeinflusst, wie der aufgezeigte *individuelle Malstil* als einer der bildbestimmenden Einflussfaktoren – beschrieben im Abschnitt 1.2.1 – aufzeigt.

Dass der Artist durch sein Eingreifen in den Erstellungsprozess von der nicht-fotorealistischen Darstellungsform das Aussehen primär mitbestimmt, hatten bereits 2002 ebenfalls Halper et al.⁴⁰ in ihren Forschungen festgestellt und im Zuge dessen postulierten sie, dass der Artist mehr in den Erstellungs- und Darstellungsprozess miteinbezogen werden sollte. Dies bedeutet, dass im Gegensatz zu den momentanen Techniken auf dem Gebiet der nicht-fotorealistischen Darstellungsform der Einsatz des Computers als Werkzeug nicht eine Verstärkung des Artist, im Sinne der Freud'schen „*Prothesengott*“ [Freud, S. 50] Mutation darstellt, sondern vielmehr wird – unter dem Einbezug des Artist – die Technik als die ur-

³⁹Marshall McLuhan war ein kanadischer Philosoph und Geisteswissenschaftler. Er gilt als wichtigster Medientheoretiker, der durch seine Werke die Medientheorie prägte. Einer seiner wichtigsten Thesen lautet: „*the medium is the message*“. McLuhan meint hierbei, dass nicht die übertragene Information von entscheidender Bedeutung ist, sondern das Medium selbst. Da dieses aufgrund seiner bloßen Existenz bereits die Gesellschaft verändert. Siehe hierzu [McLuhan, S. 7 ff.].

⁴⁰Siehe hierzu [Halper02].

sprüngliche Form der Bedeutung einer Prothese verstanden. Auf diese Weise repräsentiert die Technik für den Artist schließlich eine *Ergänzung zur Vervollständigung* seines kreativen Arbeitens.

Auch Halper et al. sind dieser Ansicht. Sie gehen sogar noch einen Schritt weiter und fordern, dass sichergestellt werden muss, dass die eingesetzten Werkzeuge den Artist weder in seinem kreativen Prozess beeinflussen noch hemmend auf ihn wirken – wie es zur Zeit der Fall ist. Denn der Artist soll, nach Halper et al., letztlich seine ganze Vorstellungskraft für das kreative Schaffen nutzen können (siehe [Halper02, S. 97]).

Diese gewonnen Erkenntnisse bedeuten letztlich für die spätere Lösungsfindung, dass hierfür *ein Entwurf* erarbeitet werden muss, bei welchem *der Artist selbst sein ganzes kreatives Potential dazu verwenden kann*, um ein 3D Element im angestrebten Artworkstil auf eine künstlerische Art und Weise zu erstellen und dabei keine Energie für ein technisches Verständnis auf Seiten der Bedienung von z.B. post-processing Techniken oder anderen technischen Aspekten der Computergrafik aufwenden zu müssen.

Der nun folgende 2. Teil der Arbeit setzt sich daher gezielt mit der Lösungsfindung und der Entwicklung eines solchen Lösungsansatzes zur Beantwortung der zugrunde liegenden Forschungsfrage – wie ein 3D Element unter Einbezug des Artist so erstellt und dargestellt werden kann, dass das spezifische Objektaussehen dieser, im 1. Kapitel dargelegten, speziellen zweidimensionalen losen Kantendarstellungsform erhalten bleibt – auseinander. Zur finalen Beantwortung wird schließlich ein gedankliches Lösungsmodell entwickelt und präsentiert. Den Einstieg macht hierbei die Betrachtung der gebräuchlichsten und der alternativen Modellierungs- und Texturierungsverfahren, um zu eruieren in wie weit der Artist bereits auf eine Artist-freundliche Art – im Sinne von Halper et al. – im Entstehungs- und Darstellungsprozess von 3D Elementen im Allgemeinen involviert ist.

Teil 2

Entwurf

„*Ars sine scientia nihil est.*“⁴¹
[Mignot].

Teil 1 dieser Thesis diente im Wesentlichen dazu innerhalb der vorangegangenen 2 Kapitel, die Grundlagen zum einen über die analoge und zum anderen über die digitale Ästhetik von gemalten Bildern, im Speziellen von Artwork- und Ölgemäldebildern, zu vermitteln. Darüber hinaus wurde dabei gezielt auf die Parallelen der gemeinsamen formalen Abbildungseigenheiten dieser beiden Bildgattungen eingegangen. Abgeschlossen wurde der 1. Teil schließlich damit, dass ein Überblick über die gebräuchlichsten Stile der nicht-fotorealistischen Darstellungsform in der Computergrafik und deren jeweiligen Einsatzgebiete geschaffen wurde.

Der 2. Teil dieser Arbeit steht im Folgenden ganz im Zeichen des einleitenden Zitates von Jean Mignot⁴² aus dem späten 14. Jahrhundert. Denn in keiner anderen Disziplin kommt sein Kerngedanke heute besser zum Tragen wie in der ambivalenten Computergrafik selbst. So steht im Allgemeinen aufgrund des kontroversen Charakters der Computergrafik bei der Erstellung von Computeranimationen, wie auch unter dem – in der vorliegenden Thesis – betrachteten speziellen Gesichtspunkt der dreidimensionalen Erlangung einer bestimmten zweidimensionalen ästheti-

⁴¹Kunst ohne Wissen(schaft) ist nichts.

⁴²Jean Mignot war französischer Baumeister im späten 14. und frühen 15. Jahrhundert. Siehe hierzu [Verostko].

schen Darstellungsform, die mathematische Manipulation der Geometrien anhand algorithmischen Berechnungen im Fokus der Tätigkeit, wenn auch diese nicht immer für den Artist unmittelbar bewusst erscheinen. Infolgedessen kann ohne diese, weder ein einziges dreidimensionales Objekt noch das – wie im vorliegenden Betrachtungsfall der Arbeit – optische Aussehen dargestellt werden. Denn dieser wissenschaftliche Einfluss beginnt bereits bei der dreidimensionalen Erzeugung eines Objektnetzes (engl. Mesh) und setzt sich dann durch alle weiteren Arbeitsschritte bis schließlich zur finalen Ausgabe auf einem zweidimensionalen Darstellungsmedium fort – wie die Abbildung 3.7 auf Seite 55, welche den Texturierungs- und 2D Darstellungsvorgang aus technischer Sicht zeigt, exemplarisch darstellt.

Die folgenden 4 Kapitel innerhalb dieses Entwurfthementails behandeln nun unter Berücksichtigung dieser technischen, wissenschaftlichen Sichtweise die Heranführung zur Lösungsfindung. Zu diesem Zweck werden im anschließenden 3. Kapitel sowohl die Themen der unterschiedlichen Modellierungsarten zur Flächenmodellierung [Piegl, Catmull78] sowie die Texturierungsarten [Bier, Piponi, Tarini, Benson, DeBry, Lefebvre07] behandelt.

Als Einstieg in den Texturierungsvorgang wird zunächst ausführlich auf die herkömmlichen Methoden eingegangen. Anschließend werden die bereits dazu entstandenen Alternativen aufgezeigt und deren Vor- und Nachteile diskutiert. Diese gesamten Betrachtungen dienen zum einen zur Überprüfung der momentanen Einbeziehung des Artist als kreative Kraft in den Darstellungsprozess und zum anderen geschehen diese vor dem Hintergrund der entwickelten Texturierungsansätze aus den Walt Disney Animation Studios, welche schließlich selbst neben der speziellen Formgebung im 4. Kapitel auf Seite 87ff. detailliert erörtert werden.

Den Abschluss bildet der, in Kapitel 5 ab Seite 113ff. aufgezeigte, eigene – basierend auf einem inversen Problemlösungsansatz – Entwurf zur Darstellung von 3D Elementen im Artworkstil unter Einbezug des Artist bei der Herstellung. Dieser erarbeitete Lösungsansatz wird dann in Form eines theoretischen Gedankenmodells (Abb. 5.20, S. 114) auf Basis eines Designmodells nach Daily und Kiss aus dem Jahr 1995 dargelegt [Daily]. Das erarbeitete theoretische Konzept erfährt im Zuge der prototypischen Umsetzung für den praktischen Einsatz im letzten 6. Kapitel eine Anpassung. Dieser Entwurf wird daraufhin am Ende als Übergang zum 3. und letzten Teil der Arbeit, welcher sich dann konkret mit der Implementierung und der Anwendung des vorgestellten abgeänderten Konzeptes beschäftigt, als Schaubild präsentiert.

Kapitel 3

Modellierungs- und Texturierungsarten

Da in der Objekterzeugungsphase interne mathematische Manipulationen an einem zugrunde liegenden Mesh einhergehen, ist die Wahl der Modellierungsmethode durch ihre Abhängigkeit zum nachfolgenden Arbeitsschritt des Texturierungsvorgangs – welches in den kommenden Kapiteln der Hauptgesichtspunkt darstellt – ebenfalls entscheidend. Daher dient als Einstieg in dieses Kapitel zunächst die Betrachtung der verschiedenen Modellierungsarten in der Computergrafik, um dann im nächsten Schritt einen Überblick zum einen über die gebräuchlichen nach [Bier] und zum anderen über die alternativen Texturierungsarten nach [Piponi, Tarini, Benson, DeBry, Lefebvre07] zu geben. Diese Betrachtung der unterschiedlichen Texturierungsarten erfolgt zum einen, um zu überprüfen in wie fern eine, für den 2. Teilaspekt – den aktiven Einbezug des Artist – der zugrunde liegenden Forschungsfrage relevante, Artist-freundliche Texturierung bereits ermöglicht wird. Und zum anderen wegen der festen *Annahme* innerhalb dieser Forschungsarbeit, dass für die Darstellung eines 3D Elements in einem Artworkstil grundsätzlich *handgemalte Texturen* eingesetzt werden.⁴³ Aufgrund der individuellen und sich nicht wiederholenden Strukturen einer handgemalten Textur muss daher eine Texturierungsart gewählt werden, welche diese besondere Eigenschaft für die Verwendung bei arbiträren 3D Modellen unterstützt.

Im Bereich der Objektmodellierung in der Computergrafik existieren *3 Modellierungsarten*, durch welche letztlich die 3D Elemente erzeugt werden können.

Polygonale Modellierung. Darunter zählt zum einen die *Polygonmodellierung*. Bei dieser Art wird in der Regel über die Anpassung von einzelnen auf dem Mesh liegenden Knotenpunkten, den sog. *Vertices*⁴⁴, oder über einzelnen planaren drei- oder viereckigen Teilflächen (*Faces*), welche auch entsprechend als *Triangles* oder *Quads* bekannt sind, das Objektnetz verändert (Abb. 3.1). Aufgrund der einfachen Erzeugungsmöglichkeit und der dadurch möglichen raschen Manipulationen und Anpassungen von

⁴³Gestützt wird diese Annahme durch die Aussage von Burley und Laceywell (siehe [Burley, S. 1155]), die ebenfalls in ihren Forschungen für Disney diese Ansicht teilen. Siehe Abschnitt 4.1.1 *Neue Per-Face Texture Mapping Methode: Ptex* auf Seite 78.

⁴⁴Ein Vertex (plural: Vertices) ist ein einzelner dreidimensionaler Punkt im 3D Raum. Er ist mit anderen Punkten verbunden und gemeinsam bilden sie das Objektnetz. Siehe hierzu [Birn_online].

komplexeren Objekten, stellt die polygonale Modellierung die meist verwendete Grundmodellierungsart dar. So findet sich beispielsweise diese Modellierungsvariante in der Computerspieleindustrie wieder.

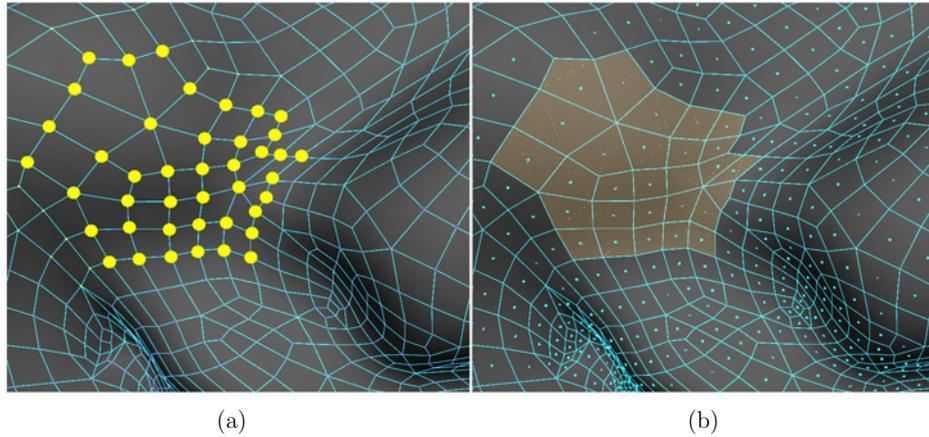


Abbildung 3.1 Vergleich von Vertices und Faces. Bild (a) zeigt die Vertices des Objektes. Die gelben Punkte stellen hierbei die einzelnen Vertices dar. Die orangefarbenen Flächen in Bild (b) zeigen im Gegensatz dazu die Faces des Objektes. (Quelle: Eigene Darstellung).

NURBS Modellierung. Zum anderen kann ein 3D Element auf Basis von den sogenannten *non-uniform rational B-Splines*⁴⁵ (NURBS) Kurven erstellt werden. Hierbei handelt es sich um mathematisch beschreibbare Kurven (Gl. (3.1)–(3.4)), welche letztlich ein Flächenstück, auch *Patch* genannt, aufspannen – analog dazu liefert die Gleichung (3.5) die Flächenformel. Weitere Flächenunterteilungen erfolgen anhand der Erstellung von zusätzlichen Kurven, welche als *Isoparametrische Flächenkurven* (Isoparms) bezeichnet werden. Durch die mathematische Eigenheit der NURBS Flächen, besitzen die Isoparms konstante *U*- und *V*-Werte⁴⁶ auf dem Objekt. Die Manipulation der einzelnen NURBS Kurven erfolgt unter anderem, im Gegensatz zur polygonalen Modellierungsart, über außen liegende Kontrollpunkte. Die Abbildung 3.2 zeigt das Kontrollnetz (engl. Control Mesh) und die dazugehörige NURBS Fläche.

Darüber hinaus gibt es noch 3 weitere Parameter, wodurch die zugrunde liegenden NURBS Kurvenformen definiert werden. So liegen die angesprochenen Kontrollpunkte der Kurve ebenfalls in einer gewichteten Form vor. Dies bedeutet, dass je höher die Gewichtung eines außen liegenden Kontrollpunktes ist, desto mehr approximiert die Kurve in Richtung dieses Punktes (Abb. 3.3). Weitere Faktoren sind die auf der Kurve liegenden Knotenpunkte und der sog. *Grad*, welcher auf die geometrische Stetigkeit – mathematisch als C^n (*n*-ten Grades) beschrieben – der Kurve

⁴⁵Für weitere Informationen, siehe dazu [Piegl].

⁴⁶Bezeichnung der normalisierten Texturkoordinaten in der Computergrafik. *U* gibt hierbei die Weite und *V* die Höhe der Textur an. Siehe dazu Abbildung 3.6 auf Seite 54.

Einfluss ausübt. Die Stetigkeit wird benötigt, um glatt aussehende Objekte zu erzeugen. Mathematisch ausgedrückt, heißt dies, dass je niedriger der gewählte Grad, desto mehr ähnelt die NURBS Kurvenform die der groben Kontrollkurve. Diese mathematischen Eigenschaften bedeuten, dass mit deren Hilfe einfache geometrische Figuren bis hin zu komplexen organisch wirkenden Objekten realisierbar sind, welche bei einer polygonalen Modellierung nur durch ein hochaufgelöstes Mesh zu erstellen sind.

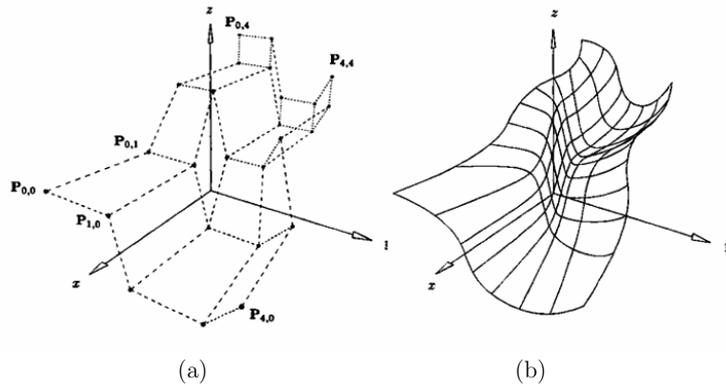


Abbildung 3.2 NURBS Modellierung. Das Bild (a) stellt das Kontrollnetz dar, das Bild (b) die hierzu korrespondierende NURBS Fläche. (Quelle: [Piegl]).

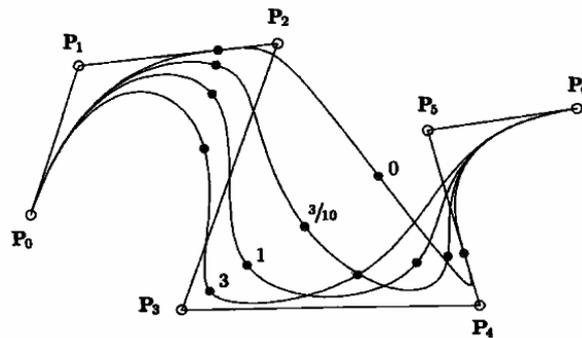


Abbildung 3.3 NURBS Kurve mit unterschiedlich gewichtetem Kontrollpunkt P_3 . (Quelle: [Piegl]).

Allgemeine Form einer NURBS Kurve [Piegl]:

$$C(u) = \frac{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i P_i}{\sum_{i=0}^n N_{i,p}(u)w_i} \quad a \leq u \leq b \quad , \quad (3.1)$$

$N_{i,p}(u)$ = p-te Grad der B-Spline Basis Funktionen,
 P_i = Kontrollpunkte,
 w_i = Gewichtungen.

Mit dem Knotenvektor:

$$U = \underbrace{\{a, \dots, a\}}_{p+1}, u_{p+1}, \dots, u_{m-p-1}, \underbrace{\{b, \dots, b\}}_{p+1} \quad . \quad (3.2)$$

Anhand der Annahme, dass gilt $a = 0$, $b = 1$ und $w_i \geq 0$ für alle i , lässt sich Gleichung (3.1) in die finale Gleichung (3.4) umformen:

$$R_{i,p}(u) = \frac{N_{i,p}(u)w_i}{\sum_{j=0}^n N_{j,p}(u)w_j} \quad , \quad (3.3)$$

$R_{i,p}(u)$ = rationale Basis Funktionen.

$$C(u) = \sum_{i=0}^n R_{i,p}(u)P_i \quad . \quad (3.4)$$

Analog hierzu die Formel für NURBS Flächen [Piegl]:

$$S(u, v) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m R_{i,j}(u, v)P_{i,j} \quad . \quad (3.5)$$

SubDs Modellierung. Die letzte mögliche Modellierungsart basiert auf der polygonalen Variante. Diese als *Subdivision Surfaces (SubDs)* bezeichnete Art ist eine einfache algorithmische Objektnetzverfeinerungsmethode. Wie der Name bereits deutlich macht, erfährt das Objekt hierbei Unterteilungen. Zu diesem Zweck dient als Ausgangspunkt ein simples polygonales Objektnetz, welches als ein Kontrollnetz fungiert. Über eine rekursive mathematische Berechnung – siehe dazu exemplarisch die Regel (Gl. (3.6)) zur Positionsbestimmung eines neuen Vertex nach der Methode von Catmull und Clark [Catmull78] – kann entweder das gesamte Ausgangsobjekt oder bestimmte Regionen weiter unterteilt werden.

$$q = \frac{F}{n} + \frac{2E}{n} + \frac{P(n-3)}{n} \quad . \quad (3.6)$$

- n = Anzahl der Vertices der Face Komponente,
- F = Durchschnittswert der Vertices der Face Komponente,
- E = Durchschnittswert der berührenden Kanten am Vertex P,
- P = Original Vertex,
- q = neuer Vertex.

Die Tabelle 3.1 zeigt die gängigsten Vereinfachungsschemata auf. Die Abbildung 3.4 stellt dazu 4 dieser Schemata und die unterschiedlichen Auswirkungen grafisch dar. Die Berechnungsmethode von Catmull und Clark stellt gegenüber den anderen existierenden Varianten die häufigste in der Praxis verwendete dar. Ihr Algorithmus arbeitet in der Weise, dass jeweils 1 Polygon in 4 gleichgroße Polygone aufgeteilt wird, sodass in der Mitte der zu zerteilenden Fläche ein neuer Vertex entsteht. Die nachfolgende Abbildung 3.5 verdeutlicht die vorangegangene mathematische Berechnung (Gl. (3.6)) nach Catmull und Clark grafisch [Catmull78].

Tabelle 3.1 Vereinfachungsschemata.			
	Face Split		Vertex Split
	Triangular Meshes	Quad. Meshes	
Approximating	Loop	Catmull-Clark	Doo-Sabin, Midedge, Biquartic
Interpolating	Butterfly	Kobbelt	

(Quelle: Eigene Darstellung nach [SIGGRAPH00]).

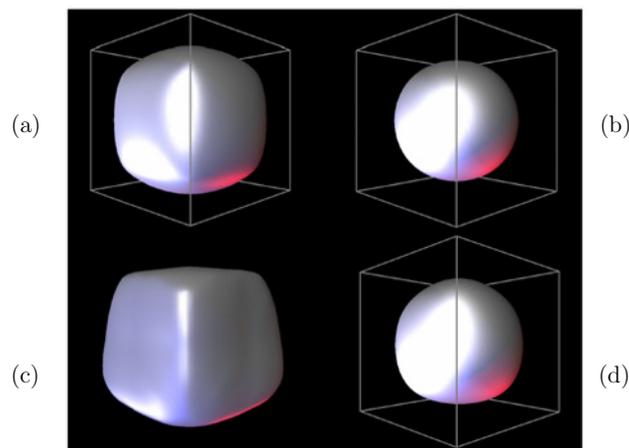


Abbildung 3.4 Vergleich von 4 Unterteilungsschemata. Das Bild zeigt das Originalnetz (Würfel) und das resultierende Objektnetz nach der Anwendung der Methode nach (a) Doo-Sabin, (b) Catmull-Clark, (c) Butterfly und (d) Loop. (Quelle: [SIGGRAPH00]).

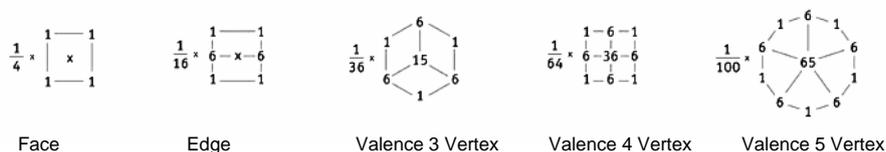


Abbildung 3.5 Faces und Gewichtungen. Darstellung von Faces mit unterschiedlicher Vertexanzahl sowie die, nach Catmull-Clark, verwendeten Gewichtungen für die Berechnung eines neuen Vertex. (Quelle: [Nvidia]).

Zusammengefasst bedeutet dies, dass die SubDs Modellierung die Vorteile beider zuvor vorgestellten Modellierungsarten in sich vereint. Auf der einen Seite steht die einfache, schnelle Objekterzeugung anhand der poly-

gonalen Modellierungsweise und auf der anderen Seite können anhand der Objektnetzverfeinerungsmethode ebenfalls organische Objekte – wie bei einer NURBS Modellierung – problemlos erstellt werden, ohne jedoch als Artist direkt ein mathematisches Verständnis besitzen zu müssen.

Texture Mapping. Um nun die dreidimensionalen Objekte mit einer Materialität zu versehen, muss zu diesem Zweck eine Textur – dabei kann es sich um ein arbiträres 2D Bild oder um eine 3D Textur⁴⁷, auch als *Volumentextur* bezeichnet, handeln – auf das Objekt aufgebracht werden. Dieser Prozess wird als das sog. *Texture Mapping* bezeichnet, welches seinen Ursprung in den Studien von Edwin Catmull aus dem Jahr 1974 [Catmull74] besitzt. Der Begriff setzt sich aus 2 Komponenten zusammen. So meint *Texture*, die eigentliche auf das Objekt aufzubringende Materialität in Form eines 2D Bildes oder einer 3D Textur – diese speziell Art von Textur wird allerdings an dieser Stelle nicht weiter berücksichtigt, da sie hier keine Relevanz für die Texturierbetrachtung besitzt. Jedoch wird der Einsatz einer Volumentextur in den späteren Abschnitten 3.1.1 und 3.1.2 nochmals unter einem anderen Gesichtspunkt thematisiert. Der zweite Begriff *Mapping* beschreibt den Prozess der Übertragung eines Texturpunktes auf das 3D Objekt. Dabei erfolgt anhand eines, automatischen oder manuellen, sog. *UV Mapping* die Zuordnung der Farbwerte der jeweiligen zweidimensionalen Texturbildkoordinatenpositionen (u, v) im *Texture Space*, welche in einer normalisierten⁴⁸ Form vorliegen (Abb. 3.6), auf die 3D Koordinaten (x_s, y_s, z_s) des Objektes im eigenen *Object Space*, sodass schließlich jeder Pixel der Textur – auch *Texel* genannt – auf dem 3D Objekt an einer fixen korrespondierenden Stelle des Objektnetzes repräsentiert wird. Diese Überführung der Texturinformation von dem zweidimensionalen Texture Space in den dreidimensionalen Object Space wird in der Computergrafik als *Parametrisierung* bezeichnet und stellt den ersten Schritt eines sog. *vorwärts Mapping* (Gl. (3.9), (3.11) und (3.13)) dar – siehe hierzu [Heckbert]. Dieser Vorgang wird jedoch meist in der Praxis in umgekehrter Richtung durchgeführt, sodass für jeden Bildschirmpixel $P(x_b, y_b)$ die Position der Textur $T(u, v)$ ermittelt wird. Diese Vorgehensweise wird dann analog dazu als *rückwärts Mapping* (Gl. (3.10) und (3.12)) bezeichnet (Abb. 3.7). Die angegebenen Gleichungen beschreiben die Mappingfunktionen des „*S-mapping*“ [Bier, S. 41] – beschrieben auf Seite 56 – des zweiphasigen Mappingprozesses nach [Bier] (Gl. (3.8)). Dieser für den Texturierbegriff wichtige Schritt der Parametrisierung wird jedoch nur für alle polygonalen Objek-

⁴⁷3D Texturen sind prozedurale Texturen, welche den 3D Objekten die Farbwerte innerhalb eines dreidimensionalen Volumenbereichs anhand den *XYZ*-Koordinaten eines speziellen 3D Raums zuweisen. Siehe [Livny, S. 411f.].

⁴⁸Normalisiert bedeutet, dass sich die Werte innerhalb eines Bereiches, üblicherweise von 0 bis 1, befinden [Okun, S. 871].

te, so auch für die SubDs, benötigt. Da bei der Herstellung der Polygonmodelle lediglich die zur Darstellung in einem dreidimensionalen Raum relevanten Informationen in einer bestimmten Datenstruktur (siehe hierzu Abschnitt 4.2 *Datenstrukturen für polygonale Netze* in [Bender, S. 197ff.]) gespeichert werden, liegt keine native globale Parameterdarstellung von dem Polygonmodell vor. Erst durch die Transformation in einen zweidimensionalen Raum \mathbb{R}^2 , dem sog. *Parameter Space* (hier: *Texture Space*), wird es ermöglicht, die Texel des 2D Texturbildes auf die einzelnen dreidimensionalen Koordinatenpositionen der Vertices eines Polygonobjektes anhand der entsprechenden Zuordnungsfunktion F abzubilden:

$$F(x_s, y_s, z_s) = (u, v) \quad . \quad (3.7)$$

Durch diese Transformationsvorschrift liegt nun das polygonale Objekt in einer parametrisierten Form vor und kann texturiert werden. Für die mathematisch bereits eindeutig durch die Gleichung (3.5) beschreibbaren NURBS Patches wird diese Überführung nicht benötigt. Da die NURBS Objekte, egal ob es sich hierbei um ein einziges Patch oder um ein komplexes Objekt aus vielen zusammengesetzten Patches handelt, eigene natürliche intrinsische UV -Werte besitzen, welche global für das gesamte Objekt gelten. Diese intrinsischen Parameter sind äquivalent zu dem in Abbildung 3.6 dargestellten parametrisierten Koordinatensystem des *Texture Space*. Dies bedeutet letztlich für den Texturierungsprozess, dass keine explizite manuelle Zuweisung durch den Artist erfolgen muss, da diese anhand der gleichen konstanten Koordinatenwerte automatisch erfolgt. Zusammenfassend bedeutet dies, dass unter dem Begriff des *Texture Mapping* der Ablauf verstanden wird, welcher definiert wie ein 2D Bild auf ein 3D Element abgebildet wird. Dabei wird in der vorliegenden Arbeit zwischen 2 verschiedenen Texturierungsarten im weiteren Verlauf unterschieden.

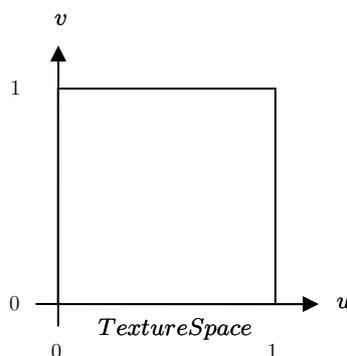


Abbildung 3.6 Normalisierte UV -Koordinaten des *Texture Space*.
(Quelle: Eigene Darstellung).

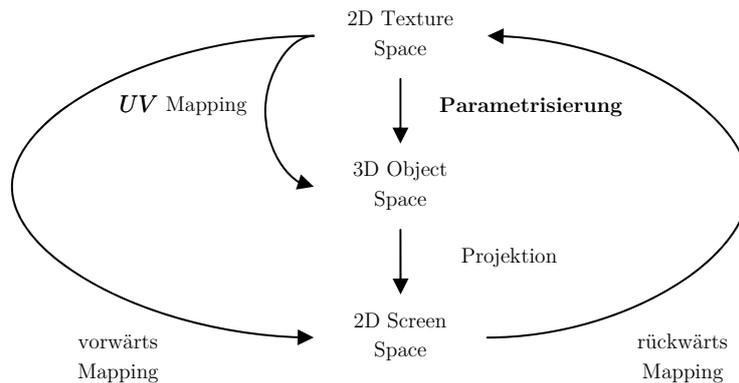


Abbildung 3.7 Phasen zur Erstellung einer 2D Abbildung von 3D Objekten. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Heckbert]).

3.1 Projektive Texturierungsart

Die erste Texturierungsart zur Materialitätsdarstellung eines 3D Objektes sind die *projektiven* Texturierungsmethoden, welche hier in der Thesis in 2 Klassen eingeteilt werden.

Klassisch. Die als klassisch zusammengefassten projektiven Texturierungsarten wurden von Bier und Sloan im Jahr 1986 eingeführt [Bier]. Diese stellen noch heute die verwendeten Methoden dar und sind deshalb in allen gängigen 3D Software Programmen vertreten. Zu diesen automatischen Mapping Methoden zählt zum einen das *2D planar Mapping* (Abb. 3.8c) oder auch das *3D Mapping* anhand von dreidimensionalen Hilfsflächen. Von Bier und Sloan wurden zu diesem Zweck die *spherical* (Abb. 3.8a), *cylindrical* (Abb. 3.8b) und *cubical* Hilfsprojektionsflächen eingeführt [Bier, S. 43–45]. Jedoch können diese automatischen Mapping Methoden auch aus jeder beliebigen Perspektive erstellt werden. Zum anderen wird in der vorliegenden Arbeit auch das manuelle *UV Mapping*, bei welchem jedem Vertex des Objektes eine Texturposition zugewiesen wird, als eine klassische Texturierungsart betrachtet. Hierbei werden die einzelnen Faces auf das normalisierte Texture Map händisch im \mathbb{R}^2 platziert. Um anhand der Verwendung der klassischen Arten eine vollständige Texturierung eines 3D Objektes vorzunehmen, wird in der Praxis üblicherweise eine Kombination aus den von Bier und Sloan aufgezeigten Varianten angewandt. Des Weiteren ist trotz eines automatischen Mapping auch stets eine manuelle Feinjustierung nötig.

Alternativ. Unter den alternativen Methoden werden hier 2 Texturierungsarten verstanden, welche im Weiteren detaillierter betrachtet werden. Darunter zählen zum einen die „*Pelting*“ [Piponi, S. 473] Methode

nach [Piponi] und zum anderen die „*Polycube-Maps*“ [Tarini, S. 854] Variante [Tarini].

Bei allen projektiven Texturierungsarten nach Bier und Sloan geschieht die Texturierung des eigentlichen 3D Elements indirekt anhand 2 *Phasen* (Gl. (3.8) nach [Bier]):

$$\begin{array}{ccc}
 \textit{Phase 1} & & \textit{Phase 2} \\
 \text{S-mapping} & & \text{O-mapping} \\
 \\
 \underbrace{\hspace{10em}}_{\textit{Parametrisierung}} \\
 \underbrace{\underbrace{T(u, v)}_{\textit{TextureSpace}} \rightarrow \underbrace{S(x_a, y_a)}_{\textit{IntermediateSpace}}}_{2D \rightarrow 2D} \rightarrow \underbrace{O(x_s, y_s, z_s)}_{\textit{ObjectSpace}}}_{2D \rightarrow 3D} \quad . \quad (3.8)
 \end{array}$$

Zuerst erfolgt ein sog. „*S-mapping*“⁴⁹ [Bier, S. 41]. Bei diesem Vorgang werden die einzelnen zweidimensionalen Texel auf das dreidimensionale Hilfsobjekt übertragen. Die Funktionen (3.9)–(3.13) zeigen die verschiedenen „*S-mapping*“ [Bier, S. 41] Berechnungen auf. Erst in dem anschließenden „*O-mapping*“⁵⁰ [Bier, S. 41] werden die einzelnen Punkte des Hilfsobjektes auf das zu texturierende Objekt abgebildet. Nachfolgend die „*S-mapping*“ [Bier, S. 41] Funktionen nach [Bier]:

Planar S-mapping

$$S : [x_a, y_a] \rightarrow [cx_a, dy_a] \quad , \quad (3.9)$$

$$S^{-1} : [x_s, y_s] \rightarrow [\frac{1}{c}x_s, \frac{1}{d}y_s] \quad , \quad (3.10)$$

c, d = Skalierungsfaktoren.

Cylindrical S-mapping

Wenn gilt: $-\pi r < x_a \leq \pi r$,

$$S : [x_a, y_a] \rightarrow [\frac{c}{r}x_a + \theta_0, dy_a + h_0] \quad . \quad (3.11)$$

⁴⁹Das S in S-mapping dient als Mnemonik und meint das Mapping zur Hilfsobjektfläche (*intermediate Surface*) (siehe [Bier, S. 41]).

⁵⁰Das O in O-mapping ist ebenfalls ein mnemonisches Zeichen und soll auf das Mapping zum texturierenden *Objekt* hinweisen (siehe [Bier, S. 41]).

Für $-\pi < \theta < \pi$:

$$S^{-1} : [\theta, h] \rightarrow \left[\frac{r}{c}(\theta - \theta_0), \frac{1}{d}(h - h_0) \right] , \quad (3.12)$$

r = Radius,
 c, d = Skalierungsfaktoren,
 θ_0, h_0 = Position auf dem Zylinderobjekt.

Spherical S-mapping (cubical S-mapping äquivalent hierzu)

$$S(x_a, y_a) = \left(\frac{2p}{(1+\sqrt{1+p^2+q^2})}, \frac{2q}{(1+\sqrt{1+p^2+q^2})} \right) , \quad (3.13)$$

mit $[p, q] = [\tan \phi \cos \theta, \tan \phi \sin \theta]$,

ϕ, θ = Winkel der Kugelkoordinaten.

Die nachfolgende Abbildung 3.8 visualisiert die beschriebenen Funktionen dieser projektiven Texturierungsart im praktischen Einsatz.

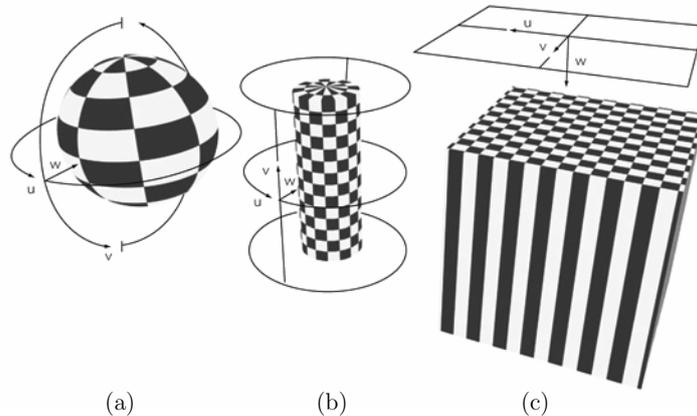


Abbildung 3.8 Beispiele von 3D/2D Mapping Hilfsobjekte. Bild (a) stellt ein spherical, (b) ein cylindrical und (c) ein planar Mapping dar. (Quelle: [Livny]).

Für das anschließende „O-mapping“ [Bier, S. 41] stehen nach Bier und Sloan 4 verschiedene Varianten zur Verfügung (Abb. 3.9), um letztlich die, in der 1. Phase auf die Hilfsfläche aufgebrachten, Texturinformationen auf das 3D Objekt zu übertragen (siehe [Bier, S. 45]).

Reflected ray. Anhand dieser Variante wird ein Strahl aus der Sicht des Betrachters (*view point*) auf das Objekt verfolgt. Danach wird der auf der Objektoberfläche resultierende reflektierte Strahl weiterverfolgt bis er auf die Hilfsfläche trifft. Der dort gefundene Punkt liefert schließlich den Farbwert. Dieses Prinzip wird zur Beleuchtung von dreidimensionalen Szenen anhand einer *Environment Map* angewandt.

Object normal. Um anhand dieser Methode den abzubildenden Texel auf dem Hilfsobjekt zu finden, werden hierbei die Objektnormalen⁵¹ verfolgt bis sie sich mit der Hilfsfläche überschneiden. Die Farbinformation des Schnittpunktes wird dann auf das Objekt aufgetragen.

Object centroid. Hierbei wird eine gedachte Linie vom Mittelpunkt des Objektes durch den gewünschten Objektpunkt an der Objektoberfläche des Elements verfolgt bis er auf die umgebende Hilfsfläche trifft. Die Farbinformation des so ermittelten Punktes auf der Hilfsfläche wird dann auf das 3D Objekt übertragen.

Intermediate surface normal (ISN). Diese Variante stellt das genaue Gegenteil zur Object normal Methode dar. Anhand der ISN Variante wird die Normale von einem Punkt der Hilfsfläche in Richtung des eingehüllten Objektes verfolgt bis dieser schließlich das Objekt trifft. Dadurch wird letztlich der Farbwert von der Position der untersuchten Normalen der Hilfsfläche auf das Objekt übertragen.

Je nach eingesetzter Variante werden unterschiedliche Ergebnisse bei der Texturdarstellung auf dem Objekt erreicht. Die Abbildung 3.10 zeigt die grafischen Ergebnisse dieser möglichen Texturdarstellungen auf dem Objekt. Da die erste vorgestellte Variante perspektivenabhängig ist, wird sie für eine Objekttexturierung jedoch nicht weiter berücksichtigt. Werden die restlichen 3 „*O-mapping*“ [Bier, S. 41] Methoden mit den aufgezeigten Möglichkeiten des „*S-mapping*“ [Bier, S. 41] kombiniert, so ergeben sich insgesamt 12 Texturdarstellungsmöglichkeiten, von welchen letztlich nur 5, wie Bier und Sloan aufzeigen, brauchbare Lösungen zur Texturierung eines 3D Objektes liefern (siehe [Bier, S. 47]). Die großen Nachteile dieser klassischen projektiven Texturierungsart zeigen sich bei komplexeren polygonalen Geometrien, da diese durch ihre Formen recht schwer anhand einer einzigen zur Verfügung stehenden Projektionsart abzudecken sind. So bedarf es meist einer umständlichen und daher zeitaufwendigen manuellen Erstellung von einer Kombination verschiedenster Projektionsarten. Dieses Vorgehen birgt aber zugleich weitere Schwachstellen dieser Texturierungsart. Da hierdurch zum Teil visuelle Artefakte wie z.B. Texturverzerrungen an den Randbereichen der Projektion (Abb. 3.8c) oder Nähte bei aufeinander treffenden Faces entstehen können, welche zur Bereini-

⁵¹Unter der Normale wird in der Mathematik ein Vektor verstanden, welcher orthogonal zu einer Kurve, Gerade oder Ebene steht.

gung stets eine manuelle Arbeit durch den Artist bedarf. Daher widmet sich der Großteil der Forschungen auf dem Gebiet des Texture Mapping mit alternativen Texturierungsansätzen, welche sich dieser Problematik der Texturnähte annehmen und versuchen diese bestehende Limitation der klassischen projektiven Art zu minimieren.

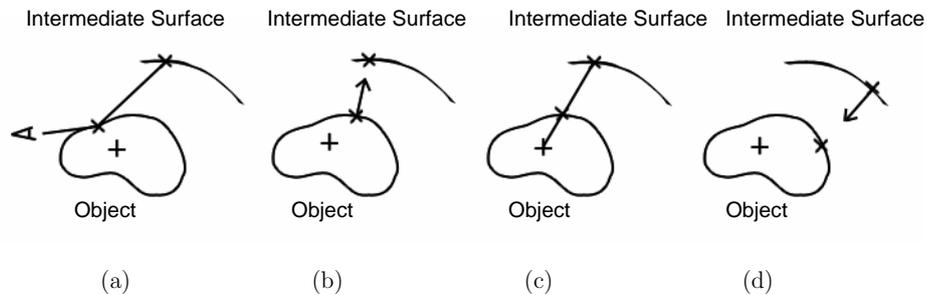


Abbildung 3.9 Die 4 O-mapping Methoden nach Bier und Sloan. (a) Reflected Ray. (b) Object Normal. (c) Object Centroid. (d) Intermediate Surface Normal Methode. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Bier]).

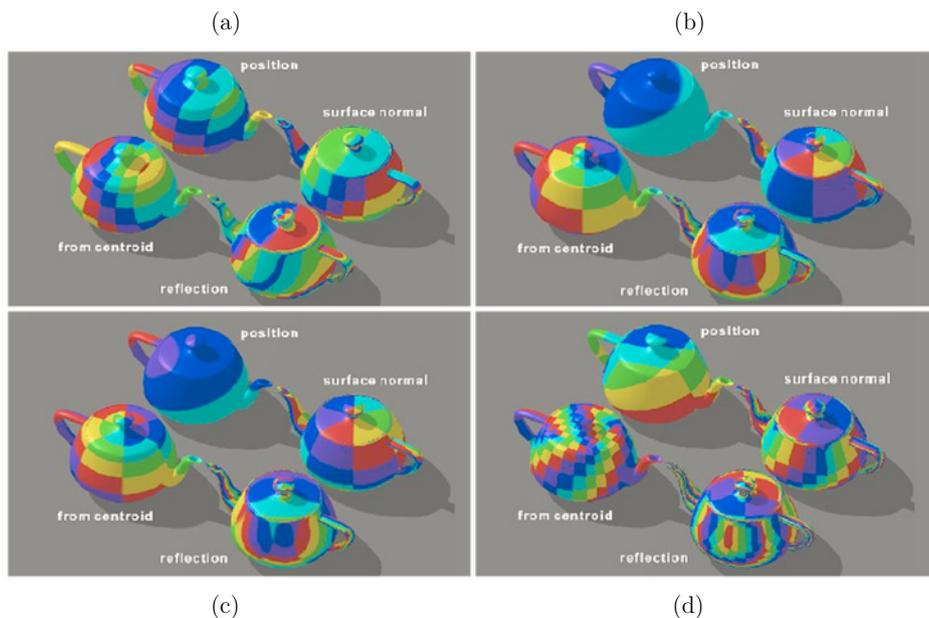


Abbildung 3.10 Beispiele von den vorgestellten O-mapping Methoden anhand den unterschiedlichen Projektionstechniken. Das Bild (a) stellt die planar Mapping Methode, (b) die spherical, (c) die cylindrical und (d) die cubical Mapping Methode mit den jeweiligen verschiedenen O-mapping Ergebnissen dar. (Quelle: [Wolfe]).

Piponi und Borshukov stellten im Jahr 2000 eine als „*Pelting*“ [Piponi, S. 473] bezeichnete Methode vor [Piponi]. Nach dieser Methode werden nicht-parametrische 3D Objekte lediglich an einer einzigen durchgehenden Nahtstelle aufgetrennt (Abb. 3.11a), um dann die an der Schnittkante entstandenen Rand-Vertices auf einen umgebenden begrenzenden Kreis zu dehnen (Abb. 3.11b). Dies ist möglich, da die entstehenden Kanten topo-

logisch äquivalent⁵² zu einem Kreis sind. Dieser Prozess bewirkt, dass dadurch das gesamte Objekt aufgeklappt und ausgestreckt wird. Dabei wird dieser Aufspannungsvorgang, anders als andere Mapping Methoden (z.B. manuelles *UV* Mapping), komplett in einem dreidimensionalen Raum vollzogen. Die Abbildung 3.11c zeigt das anhand dieser Methode aufgespannte Objektnetz. Wie die Abbildung darstellt wurde das Objekt anhand dieser Methode, welches sich ursprünglich in einem dreidimensionalen Raum \mathbb{R}^3 befand, in einen \mathbb{R}^2 Raum transferiert und liegt dort als ein durchgängiges, flach ausgebreitetes Mesh vor. Dadurch ist es nun möglich die Textur über eine klassische planare Projektionsmethode nach [Bier] anhand der Zuordnungsfunktion (Gl. (3.9)) auf das 3D Objekt aufzubringen (Abb. 3.11d). Um die entstehende sichtbare Schnittkante zu eliminieren, fügten sie eine Überblendungsfunktion hinzu, welche vereinzelte Texturregionen an der Nahtstelle miteinander überblendet (siehe [Piponi, S. 474f.]).

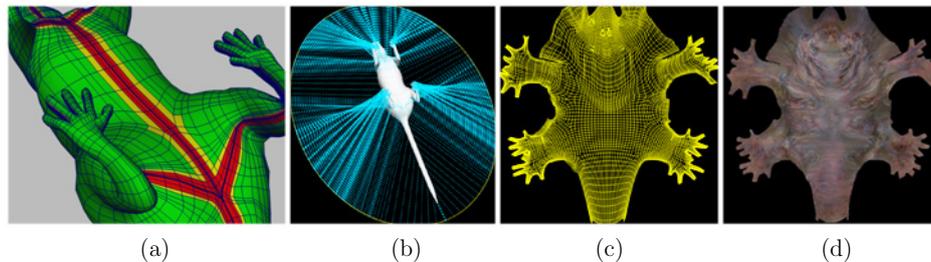


Abbildung 3.11 Pelting Methode nach Piponi und Borshukov. (a) Nahtstelle für das Pelting. (b) Kreisfläche mit den Zuordnungen der Rand-Vertices. (c) Auf Kreisfläche aufgespanntes Objektnetz. (d) Finale Textur nach dem planar Mapping. (Quelle: [Piponi]).

Die beiden Abbildungen 3.12a und 3.12b zeigen die zur Schnittkante (e, j) korrespondierenden Überblendungszonen (vgl. Abb. 3.11a) und das resultierende berechnete Teilstück des Überblendungsergebnisses. Die Abbildungen 3.12c und 3.12d stellen das finale Bild einmal ohne und einmal mit dem Überblendungsteilstück dar. Der Vorteil dieser Texture Mapping Methode nach Piponi und Borshukov gegenüber den Klassischen ist, dass dadurch eine nahtlose Textur erzeugt werden kann, ohne als Artist eine manuelle Nachbearbeitung leisten zu müssen. Dies erreichen Piponi und Borshukov mit ihrer Methode schließlich damit, dass sie die entstehenden Schnittkanten bei der Parametrisierung der polygonalen Objekte auf ein Minimum reduzieren, sodass das 3D Objekt als ein einziges, zusammenhängendes, flach aufgespanntes Objektnetz vorliegt.

⁵²Topologisch äquivalent bedeutet, dass die Ursprungsform eines Objektes anhand von Deformationen, Verdrehungen oder Dehnungen in eine andere Form überführt werden kann. Ein Beispiel für 2 topologisch äquivalente dreidimensionale Objekte sind Kugel und Ellipse.

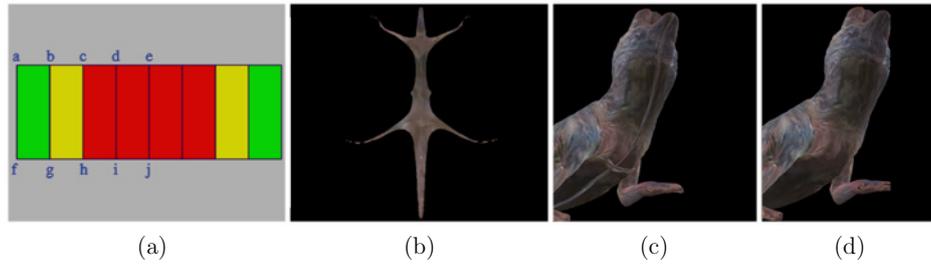


Abbildung 3.12 Texturüberblendung an der Schnittkante. (a) Einteilung der Überblendungszonen. (b) Gerendertes Texturteilstück resultierend aus der Überblendung. (c) Finales Bild ohne Texturüberblendung, (d) mit Texturüberblendung. (Quelle: [Piponi]).

Damit die 3D Objekte aber tatsächlich anhand nur eines Schnittes aufgetrennt werden können, müssen diese jedoch eine Bedingung erfüllen. Diese Bedingung stellt sogleich auch die Restriktion dieser Methode dar. So müssen die 3D Objekte topologisch äquivalent zu einer Kugel im \mathbb{R}^3 sein, damit sie nach dem Schnitt auf den Kreisbegrenzungsrahmen aufgezogen werden können. Erfüllen sie diese Bedingung nicht, so ist es zwar ebenfalls möglich zusätzlich noch weitere Begrenzungsrahmen für einzelne Teilstücke einzusetzen [Piponi, S. 474], doch erfordert dies für den Artist weitere arbeitsaufwendige Schritte. Aufgrund dieser Bedingung bedeutet dies konkret, dass die „*Pelting*“ [Piponi, S. 473] Methode nicht für alle arbiträren Objekte einfach zu realisieren ist. Diese topologische Äquivalenz zwischen den zu texturierenden 3D Objekten und dem gewählten Texturprojektionsraum ist demnach entscheidend für eine nahtlose Texturierung [Tarini, S. 853]. Zu dieser Erkenntnis kamen Tarini et al. bei ihren Forschungen und schrieben im Zusammenhang mit der Verwendung des cubical Mapping: „*In contrast, cube maps provide a mechanism that could be used for seamless texture mapping with low distortion, but only if the object roughly resembles a cube.*“ [Tarini, S. 853]. Anders formuliert heißt dies, dass die für das Texture Mapping verwendeten Projektionsflächen idealerweise die Form des eigentlichen Objektes besitzen müssen, um eine optimale Texturierung zu erreichen. So gibt es einige Forschungsarbeiten im Bereich der Netzvereinfachungsdarstellung [Eck, Guskov], welche sich in diesem Rahmen mit einer nahtlosen Parametrisierung von triangulierten 3D Objekten beschäftigen. Cohen et al. griffen diese Idee auf und wiesen dabei jedem so entstehenden Dreieckspunkt des neuen vereinfachten Objektnetzes im \mathbb{R}^3 eine 2D Texturkoordinate zu [Cohen], mit dem Ziel die Textur auf den vereinfacht dargestellten Objekten beizubehalten. Übertragen auf die oben dargelegte Äußerung über das Texture Mapping von Tarini et al., können demnach diese Methoden eingesetzt werden, um aus einfachen, aber dennoch der Originalform ähnlichen, Objekten eine geeignete Projektionsfläche zu erhalten, indem die Texturkoordinaten des vereinfachten Objektnetzes auf die Triangles des eigentli-

chen 3D Objektes übertragen werden (siehe [Tarini]). Ausgehend von diesem Grundgedanken entwickelten Tarini et al. ihre „*Polycube-Maps*“ [Tarini, S. 854] Variante [Tarini]. Anstelle von Triangles nutzten sie als Projektionsflächen Vierecke. Als Basis diente ihnen dabei das cubical Mapping nach [Bier] (Abb. 3.13a), wobei sie anstelle eines einzigen umgebenden Würfels eine Vielzahl an kleineren Projektionswürfeln – zusammengefasst als *Polycube* – verwendeten. Dieses Polycube besteht aus einzelnen Einheitswürfeln⁵³, welche mit einer Volumentextur versehen sind und so positioniert werden, dass sie das ganze 3D Objekt umschließen. Die Parametrisierung erfolgt anhand einer Projektion der Objektpunkte auf das Polycube, was gleichbedeutend mit der Zuordnung der Objektpunkte mit den 3D Texturkoordinaten auf dem Polycube ist. Zu diesem Zweck erfolgt eine automatische feinere Segmentierung der im \mathbb{R}^3 vorliegenden Textur. Durch die Erstellung neuer Einheitswürfel, die zentriert um jeden Würfeckpunkt des manuell erstellten Polycube generiert werden, entstehen so Schnittobjekte an der Oberfläche des Polycube. Diese, von Tarini et al. als „*cell*“ [Tarini, S. 855] zusammengefasste Schnittstücke, bestehen aus einer variierenden, je nach Anordnung der einzelnen Würfel zueinander, Anzahl an Flächen – „*facelet*“ [Tarini, S. 855]. Die Abbildung 3.14 zeigt den Grundgedanken dieser Unterteilungen anhand von einem einfachen Polycube. Diese Zerteilung bedeutet auch zugleich, dass der Texture Space aufgesplittet wird (Abb. 3.13b). Bei diesem Vorgang kann es nach Tarine et al., aufgrund verschiedener Würfelzusammenstellungen und der Berücksichtigung von lediglich 2-mannigfaltige⁵⁴ Würfel Flächen, zu 6 Grundkonstellationen der Schnittflächen kommen (siehe [Tarini, S. 855]).

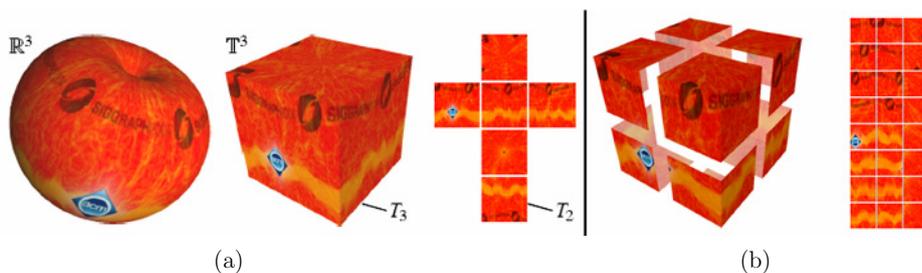


Abbildung 3.13 Polycube-Maps Methode nach Tarini et al. (a) Standard cubical Mapping nach [Bier]. (b) Die entstehenden 8 Schnittflächen bei Verwendung von nur einem Polycube [Tarini]. (Quelle: [Tarini]).

Liegt ein Teil des 3D Objektes in solch einem automatisch erstellten Würfel, so wird jeder Punkt des innen liegenden Objektsegmentes über eine

⁵³Unter einem Einheitswürfel wird ein achsenparalleler Würfel verstanden, bei welchem die Kantenlänge 1 beträgt und ein Eckpunkt im Koordinatenursprung liegt.

⁵⁴2-mannigfaltig meint, dass jede Kante maximal 2 Nachbarflächen besitzt.

unterschiedliche spezielle Projektionsrichtung, welche je nach Schnittflächenkonstellation abhängig ist, auf das Polycube bzw. die Schnittfläche übertragen. Durch diese Zuordnung kann letztlich jeder Objektpunkt definiert werden, sodass eine passende 3D Texturkoordinate zugeordnet werden kann (siehe [Tarini]). Dies bedeutet, dass die Textur flächengenau auf jedes Face des Objektes übertragen wird. Durch diesen Umstand wird diese Art des Texture Mapping auch als *Per-Face Methode* bezeichnet.

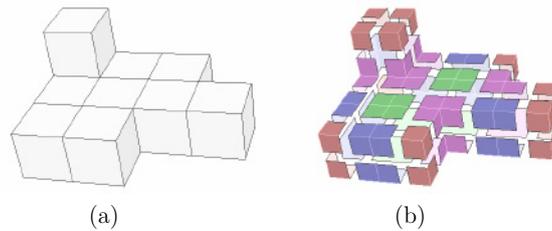


Abbildung 3.14 Ein Polycube. Bestehend aus 10 Würfeln (a) und die dazugehörigen Schnittobjekte (b). (Quelle: [Tarini]).

Der Vorteil der „*Polycube-Maps*“ [Tarini, S. 854] Variante ist zum einen, dass diese optimierte Form einer kubischen Projektionsmethode ebenfalls, wie nach [Piponi], eine nahtlose Texturierung ermöglicht und zum anderen aber die Restriktion einer topologischen Äquivalenz zu einer bestimmten Objektform seitens des 3D Objektes nicht mehr gegeben sein muss, wie es noch bei [Piponi] der Fall ist. Des Weiteren ist, aufgrund der Per-Face Zuordnungsfunktionsweise der entstehenden einzelnen Texturflächen, die Texturabbildung auf dem 3D Objekt akkurater. Jedoch besitzt auch diese Methode Limitationen. So müssen die Objekte für die Parametrisierung als ein Triangle Mesh vorliegen. Dies ist auch der Grund, wieso nach dieser Methode nicht alle arbiträren Objektnetze problemlos texturiert werden können. Bei zu komplexen Objektformen oder zu detailreichen Objekten erhöhen sich zudem die Zahl der Einheitswürfel und deren Unterwürfel, dass dieser Prozess zu speicherintensiv werden kann [Tarini, S. 860]. Der Ansatz 3D Objekte als Würfelkompositionen darzustellen und zu speichern, wurde bereits von Donald Meagher im Jahr 1982 eingeführt [Meagher]. Um jedoch keinen zusätzlichen Speicher bei der Aufteilung des Objektes in Würfelemente zu belegen wie ohnehin durch das 3D Objekt benötigt wird, griff er damals auf eine, aus der Informatik bekannten, Datenstruktur zurück. Hierbei handelt es sich um die hierarchische *Octree Datenstruktur*⁵⁵.

⁵⁵Für weitere Informationen, siehe hierzu [Samet88a, Samet88b].

3.2 Hierarchische Texturierungsart

Octree. Unter einem Octree (Abb. 3.15b) wird eine verwurzelte Baumstruktur verstanden, bei welcher jeder Knoten genau keinen oder maximal 8 Blätter besitzt [Nvidia].

Meagher schrieb im Zuge der Speichernutzung durch die Verwendung dieser besonderen hierarchischen Form: „*The memory required for representation and manipulation is on the order of the surface area of the object.*“ [Meagher, S. 129]. 2 Jahre nach Tarini et al. verwendeten sowohl Benson und Davis [Benson] als auch DeBry et al. [DeBry] in ihren Forschungen über eine effizientere Texture Mapping Lösung diese hierarchische Zuordnungsart für die Speicherung der Texturinformationen.

Dabei setzten sowohl Benson und Davis als auch DeBry et al. diese mathematische Datenstruktur letztlich dazu ein, das 3D Objekt volumetrisch feiner für eine Texturierung unterteilen zu können. Benson und Davis nutzen hierbei die Bounding Box des Objektes als Hauptknoten, von welchem eine rekursive Unterteilung des Würfels beginnt (Abb. 3.15b). Dabei findet jedoch nur an der Stelle eine Unterteilung der Würfelgeometrie und die Speicherung der Texturinformation statt, wo die entstehenden Würfel weiter die Oberfläche des eingeschlossenen 3D Objektes kreuzen. Dieser iterative Prozess bewirkt letztlich, dass eine Approximation an das eigentliche 3D Objekt anhand von Würfelobjekten stattfindet (Abb. 3.16).

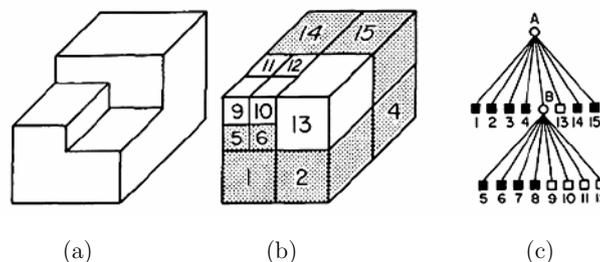


Abbildung 3.15 Schematische Übersicht der Octree Datenstruktur. (a) Ein Testobjekt. (b) Kubische Unterteilungen. Gesamtes Viereck stellt die Bounding Box des in (a) aufgezeigten Objektes dar. (c) Hierarchische Baumstruktur des Objektes. (Quelle: [Samet88a]).

Die Vorteile dieses volumetrischen Ansatzes sind, dass zum einen keine explizite Parametrisierung des 3D Objektes durch den Artist erfolgen muss und zum anderen wie Donald Meagher konstatierte:

„*There are several advantages to this data structure. First, there is a single primitive shape, the cube. An arbitrary object can be represented to the precision of the smallest cube.*“ [Meagher, S. 133].

Gerade diese von Meagher angesprochene Genauigkeit stellt eine wichtige Eigenschaft dieser Datenstruktur für die Verwendung in unterschiedlichen Bereichen⁵⁶ der Computergrafik, so auch für die Verwendung als Texture Mapping Methode, dar. Denn wie bereits bei Tarini et al. aufgezeigt, ermöglicht eine flächengenaue Zuordnung eine Per-Face Texturierung, durch welche wiederum die, bei der klassischen projektiven Art, entstehende Nahtbildung vermieden werden kann. Auf der anderen Seite produziert eine zu feine Unterteilung einer Volumentextur ebenfalls noch Datenmengen, die für eine nahtlose Texturierung jedoch nicht benötigt werden [Lefebvre07]. Der Grund hierfür ist, dass viele leere Segmente der Baumstruktur mit abgespeichert werden. Diese verlangsamen ebenfalls den Berechnungsvorgang im Rendering Prozess, da alle leeren Segmente mit durchschritten werden müssen, um letztlich zur Texturinformation zu gelangen, wie Lefebvre und Dachsbacher bei ihren Forschungen feststellten (siehe [Lefebvre07, S. 26]).

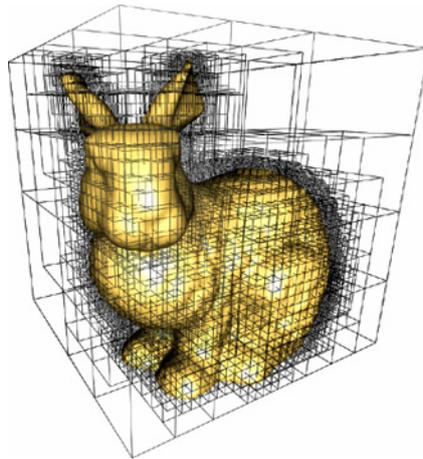


Abbildung 3.16 3D Objekt mit Octree Texture Mapping. (Quelle: [Nvidia]).

TileTrees. Aus diesem Grund entwickelten Lefebvre und Dachsbacher die sog. „*TileTrees*“ [Lefebvre07, S. 26] Methode. Hierbei kombinierten sie die Octree Datenstruktur mit der Texturkachelung (engl. Tile) eines herkömmlichen 2D cubical Texture Mapping [Bier]. Für die Unterteilung des 3D Objektes verwendeten sie weiterhin – wie [Benson, DeBry] – die Octree Datenstruktur. Doch anstelle der Speicherung eines einzelnen Farbwertes pro Unterteilungswürfel, nutzten sie 6 einzelne 2D Texturen, welche wie bei [Tarini] auf die Oberfläche jedes Unterteilungssegmentes aufgebracht werden. Dadurch fungieren die einzelnen Würfel gleichzeitig als Positionsbestimmungen der Projektionsflächen für das kubische Mapping (siehe [Lefebvre07]). Ähnlich wie die entstehenden „*facelet*“ [Tarini, S. 855] Projektionsflächen des Polycube bei [Tarini]. Dies bedeutet letzt-

⁵⁶Siehe z. B [Samet02].

lich für den Segmentierungsprozess verglichen mit [Benson, DeBry], dass durch diesen kombinierten Ansatz das 3D Objekt nicht pixelgenau unterteilt werden muss, sondern lediglich soweit bis eine eindeutige Zuweisung eines Objektflächenpunktes anhand seiner Normalenausrichtung mit der umgebenden Projektionsfläche möglich wird (Abb. 3.17a). Danach kann anhand einer simplen Parallelprojektion in Richtung der Oberflächennormalen jeder Punkt der Objektoberfläche auf eine jeweilige Seite des Octree Würfels projiziert werden und so eine 2D Texturcoordinate dem betreffenden Objektflächenpunkt zugeordnet werden (Abb. 3.17b). Die anschließende Abbildung 3.18 zeigt ein, durch diese Methode entstandenes, texturiertes Objekt und die dazugehörige Texturkachelungsdarstellung der Projektionsflächen sowie das resultierende 2D Texture Map.

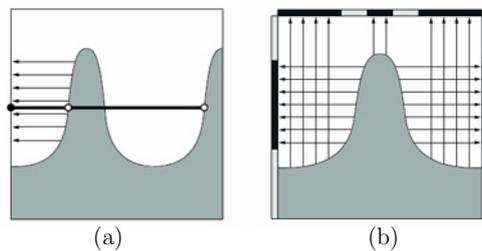


Abbildung 3.17 Funktionsweise der TileTrees Methode. (a) Ungenügende Unterteilung der Objektoberfläche. Keine eindeutige Zuordnung der Normale mit einer Projektionsfläche möglich. (b) Zu jedem Punkt der Objektoberfläche kann eindeutig ein Punkt der Textur zugeordnet werden. (Quelle: [Lefebvre07]).

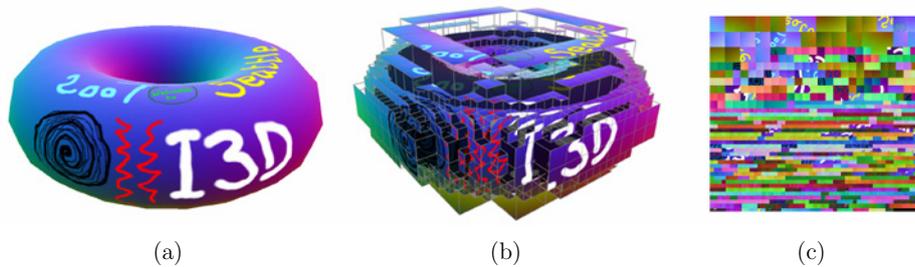


Abbildung 3.18 TileTrees. (a) Finales texturiertes Objekt. (b) 2D Texturkacheln der Projektionsflächen. (c) Texture Map. (Quelle: [Lefebvre07]).

Der Ansatz die Objektoberflächennormale zur Bestimmung der Projektionsfläche zu nutzen, bietet den Vorteil, dass somit auch sehr dünne Objektflächenstücke beidseitig mit unterschiedlichen Texturen versehen werden können. Zudem benötigt diese Variante, da sie auf einem Octree Ansatz beruht, ebenfalls keine globale Parametrisierung des Objektes. Jedoch kann aufgrund der unterschiedlichen Normalenausrichtungen bei zu abrupt ändernden Oberflächenteilstücke die lokale Texturbestimmung zu fehlerhaften Übergängen führen. Zudem kann es in manchen Fällen dennoch zu ineffizienter Speicherausnutzung kommen, da nicht immer alle

6 Projektionsseiten durch die Oberflächennormalen genutzt werden (siehe [Lefebvre07, S. 27]).

Fazit. Wie aus den dargestellten alternativen Texturierungsarten des vorliegenden Kapitels hervorgeht, existieren bereits einige Ansätze, welche in Verbindung mit handgemalten Texturen eine Artist-freundliche Arbeitsweise ermöglichen. Jedoch sind nicht alle Methoden auch für jedes Objektnetz geeignet und können daher zum Teil nicht ohne zusätzliche – meist technische – Arbeitsschritte durch den Artist für Computeranimationsfilme eingesetzt werden, wie die jeweiligen beschriebenen Einschränkungen aufzeigen. Werden diese vorgestellten Methodiken in Hinblick auf die Klärung des 1. Teilaspektes – wie ein 3D Element in einem Artworkstil dargestellt werden kann – der zugrunde liegenden Forschungsfrage betrachtet, so bleibt festzuhalten, dass zum einen ein Objekt zur Texturierung vorliegen muss, bei dem die *UV*-Werte der Objektoberfläche idealerweise exakt den Texturkoordinaten entsprechen. Dies hat zur Folge, dass der Artist wie bei der aufgezeigten NURBS Modellierungsart kein explizites *UV* Mapping durchführen muss, um letztlich die Textur – wie bei [Tarini] – polygongenau aufbringen zu können. Diese Feststellung impliziert, dass ebenfalls eine *Artist-freundliche Modellierungsart* zur Lösung der Forschungsfrage gewählt werden muss.

Zum anderen muss auf Seiten der Texturierung eine *nahtlose* und zugleich *flächendeckende* Texturierungsart eingesetzt werden, um handgemalte Texturen schließlich als Materialien für ein 3D Element verwenden zu können. Daraus ergibt sich für die spätere Lösungsfindung, dass sowohl die *Wahl der Modellierungsart* wie auch die der *Texturierungsart* entscheidend ist und somit beide mit berücksichtigt werden müssen.

Aus diesem Grund beschäftigte sich das vorliegende Kapitel aus theoretischer Sicht intensiv mit den verschiedenen Modellierungs- und Texturierungsarten. Dabei wurden sowohl die Standardmethoden [Bier] betrachtet wie auch einige Alternativen (z.B. [Tarini, Benson, Lefebvre07]) aufgezeigt, welche bei der Verwendung von handgemalten Texturen eine verzerrungsfreiere Texturierung ermöglichen können.

Das anschließende 4. Kapitel handelt nun konkret über produktionsbezogene Beispiele aus den Walt Disney Animation Studios. Zu diesem Zweck erfolgt in den kommenden Abschnitten eine Vorstellung der früheren und aktuellsten Entwicklungen zur dreidimensionalen Objektdarstellung aus den Walt Disney Animation Studios, welche in ihren Computeranimationsfilmen bereits – mit dem Ziel den 2D Artist, auf eine ihm vertraute Weise, als künstlerische Kraft in den dreidimensionalen Erstellungsprozess mit einzubeziehen – Verwendung fanden.

Kapitel 4

Erstellungstechniken aus den Walt Disney Animation Studios

Dieses Kapitel setzt sich speziell mit Disneys Herangehensweise zur Erzeugung von 3D Elementen in einer nicht-fotorealistischen Darstellungsform auseinander. Dabei liegt das Hauptaugenmerk unter dieser Betrachtung innerhalb der nächsten Abschnitte der Arbeit sowohl auf den verwendeten Texturierungsmethodiken zur Materialitätsdarstellung [Burley, Eisenacher] wie auch auf der Modellierungsart der 3D Elemente [Shek]. Die hier aufgezeigten Arbeitsweisen dienen letztlich dazu einen eigenen Entwurf ableiten zu können und anhand der hieraus gewonnenen Erkenntnisse einen Lösungsansatz zu formulieren, welcher letztlich grafisch in einem Schaubild am Ende des nachfolgenden 5. Kapitels präsentiert wird. Doch zunächst behandelt dieser vorliegende Abschnitt – aus einer künstlerischen Sicht betrachtet – die Begründung, wieso die, aus dem traditionellen Zeichentrickfilmgenre stammenden, Walt Disney Animation Studios im Rahmen dieses 2. Teils der Thesisarbeit explizit als primären Untersuchungsgegenstand zur Klärung der zentralen Fragestellung herangezogen werden. Als Einstieg dient hierbei eine kurze Betrachtung der momentanen Situation des traditionellen analogen Zeichentrickfilms gegenüber dem Computeranimationsfilm.

Wechsel zum Animationsfilm. Seit Jahren wird bereits ein Rückgang von analog erstellten Zeichentrickfilmen sowohl in der Herstellung wie aber auch bei den Zuschauerzahlen an den Kinokassen verzeichnet. Die nachstehende Statistik (Tab. 4.1) zeigt die Einspielergebnisse einiger Animationsfilme im Vergleich zu den erschienenen Zeichentrickfilmen der letzten Jahre. Aufgrund der Tatsache, dass lediglich nur wenige analoge Zeichentrickfilme hier verzeichnet sind und diese im Vergleich zu den Computeranimationsfilmen relativ durchschnittliche Einspielergebnisse und damit verbunden geringere Besucherzahlen verbuchen, ist deutlich der Einbruch des klassischen Zeichentrickfilms gegenüber dem Animationsfilm festzustellen. Aus wirtschaftlicher Sicht betrachtet, bedeuten diese Ergebnisse schließlich, dass der klassische Zeichentrickfilm in Relation zu seiner aufwendigen Herstellung mittlerweile als nicht mehr rentabel und ineffizient angesehen werden kann. Denn die modernen Techniken zur Produktion eines abendfüllenden Animationsfilms nehmen heutzutage nur einen geringen Bruchteil der Produktionszeit eines analogen Zeichentrickfilms und infolgedessen ebenfalls des zur Verfügung stehenden Budgets in

Anspruch. Toth schreibt in ihrer Arbeit über den analogen Herstellungsprozess: „Besonders die Zeitgestaltung kann als sehr arbeitsintensiv bezeichnet werden. (...) Analoge Gestaltung verlangt dem Gestalter höchsten Einsatz und Zeitaufwand ab.“ [Toth, S. 51]. Dieser erhöhte, benötigte Zeitaufwand, den Toth für den Motion Graphics und Grafikdesign Bereich in ihrer Arbeit anspricht, wird generell überall dort wieder gefunden wo analoge Techniken im Einsatz sind, folglich auch im Bereich des herkömmlichen Zeichentrickfilms. Dies stellt auch einer der Gründe dar, wie-so zurzeit Disney für das Kinopublikum aktuell kein traditionell erstellten Zeichentrickfilm mehr produziert. So stellte Disneys rein analog erzeugter Film *Küss den Frosch* [KDF] aus dem Jahr 2009, nach 5-jähriger Abstinenz im klassischen Bereich, Disneys damals vorerst letzten Versuch dar, an ihre früheren Erfolge im traditionellen abendfüllenden Zeichentrickfilm anzuknüpfen.

Tabelle 4.1 Einspielergebnisse Zeichentrick-, Animationsfilme. [Stand: 26.06.2012].

	Jahr	Genre	Studio	Europa (Angabe in €)	Weltweit (Angabe in US-\$ und in Mio.)
Monster AG	2001	CG	Pixar	23.519.895	529,1
Ice Age	2002	CG	Blue Sky Studios	22.125.594	383,3
Lilo & Stitch	2002	Zeichentrick	Disney	9.679.371	273,1
Findet Nemo	2003	CG	Pixar	42.728.460	867,9
Die Bärenbrüder	2003	Zeichentrick	Disney	15.738.744	250,4
Die Kühe sind los	2004	Zeichentrick	Disney	5.489.314	103,9
Madagaskar	2005	CG	Dreamworks	28.513.476	532,7
Himmel und Huhn	2005	CG	Disney	13.641.684	314,4
Ratatouille	2007	CG	Pixar	31.631.325	623,7
Triff die Robinsons	2007	CG	Disney	3.708.443	169,3
Bolt – Ein Hund für alle Fälle	2008	CG	Disney	13.348.753	309,9
Wall E – Der letzte räumt die Erde auf	2008	CG	Pixar	18.233.938	532,7
Oben	2009	CG	Pixar	23.922.810	731,3
Küss den Frosch	2009	Zeichentrick	Disney	13.503.872	267,0
Rapunzel – Neu verhöhnt	2010	CG	Disney	19.501.465	590,7
Toy Story 3	2010	CG	Pixar	28.077.221	1.043,9
Winnie Puuh	2011	Zeichentrick	Disney	1.517.418	33,1

(Quelle: Eigene Darstellung nach [Lumiere, MovieJones, Wulfmansworld]).

Nachdem dieses Vorhaben aufgrund des lediglich mäßigen Erfolgs scheiterte, brauchte es 2 Jahre bis Disney einen erneuten Versuch mit dem klassischen Zeichentrickfilm *Winnie Puuh* [WinniePuuh] unternahm. Dieser Film verzeichnete, wie aus der Tabelle 4.1 ersichtlich wird, bei den Kinobetreibern ebenfalls aber keine hohen Besucherzahlen wie die früheren Filme, sodass Disney sich wieder ganz auf den Animationsfilm, der

sich in der Zwischenzeit ebenfalls zu Disneys neuester Domäne avancierte, konzentrierten. Doch nicht erst seit diesen Tagen ist Disney in diesem Bereich des computergenerierten Spielfilms tätig. Denn ihren ersten Vorstoß in der Verwendung der neuen Technik wagten sie bereits lange bevor ihr erster Hybridfilm *Dinosaurier* [Dinosaurier] vor über 10 Jahren in die Kinos kam.

Der Computer als technische Hilfe. So nutzen sie bereits Anfang der 1990 Jahre auch den Computer zur Unterstützung für die Tanzszene im Ballsaal aus dem Zeichentrickfilm *Die Schöne und das Biest* [DSUDB], welche ohne Computereinsatz in dieser Form nicht zu realisieren gewesen wäre (Abb. 4.1). Auch für den nachfolgenden Zeichentrickfilm *Aladdin* [Aladdin] aus dem Jahr 1992 wurde der Computer erneut eingesetzt, um die in der Bewegung zu komplex zu zeichnenden Strukturen des fliegenden Teppichs zu erzeugen. Hierzu wurde der handgezeichnete Teppich noch ohne konkrete Oberfläche analog animiert und anschließend die am Computer entstandene Textur anhand eines Texture Mapping (siehe dazu Kapitel 3, S. 48) auf das Objekt aufprojiziert [Correa]. Die Abbildung 4.2 stellt diese verwendete hybride Form dar.

Diese aufgezeigten Beispiele verdeutlichen, dass Disney den Computer in ihren existierenden analogen Arbeitsprozess als ein weiteres Arbeitswerkzeug integrierten und sie die Technik lediglich für die Inhalte nutzten, welche ansonsten zu aufwendig in der Herstellung anhand einer traditionellen zweidimensionalen Art gewesen wären. Jedoch hatte Disney stets das Bestreben diese erstellten 3D Elemente dennoch analog für die Zuschauer wirken zu lassen, wie das aufgezeigte Teppichbeispiel aus *Aladdin* [Aladdin] deutlich macht.

Einbezug des Artist. Die Idee, den Computer lediglich als Hilfsmittel für zu komplexe Inhalte einzusetzen, griff Doug Cooper einige Jahre später ebenfalls auf und sprach infolgedessen über den Computereinsatz [Cooper]: „*Using the computer for these images allows us to create things in volume and at a scale that would be otherwise impossible.*“ [Cooper, S. 64]. Doch Disney gab sich damit nicht zufrieden, dass sie jetzt mittels des Computers in der Lage waren bisher Unmögliches nun verwirklichen zu können. So strebten sie, wie die anfänglichen Computereinsatzbeispiele verdeutlichen, bereits damals an, den Artist in den Erstellungsprozess weiterhin zu integrieren und ihn nicht gänzlich durch die Technik ersetzen zu lassen wie viele Animatoren zu der damaligen Zeit befürchteten.

Zusammengefasst heißt dies, dass Disney den Computer und dessen resultierenden Möglichkeiten bereits damals zu den Anfangstagen des Computereinsatzes lediglich als ein, wenn auch neueres, *Arbeitswerkzeug* betrachteten, welches parallel als eine Ergänzung zu den Zeichenstiften der Animatoren eingesetzt wurde. Diese Auffassung von Disney deckt sich letztlich mit Coopers Prognose über die Computernutzung aus dem Jahr 1999 [Cooper]:

„I feel that there is a shift away from making the computer try and do the job of an artist, to instead using the computer as it should be used: as an artist's tool.“ [Cooper, S. 64].

Diese Maxime, dass der Computer für Disney nur ein weiteres Hilfswerkzeug für den Artist darstellt, zeigt sich auch heute noch durchgängig in ihren Weiterentwicklungen der letzten Jahre [Sadeghi, Shek, Eisenacher].



Abbildung 4.1 Disneys Verwendung des Computers als technische Hilfe. Ballsaalszene aus dem Film *Die Schöne und das Biest* [DSUDB] aus dem Jahr 1991. (Quelle: [IMDb]).



Abbildung 4.2 Disneys Nutzung des Toon Darstellungsstils. (a) Teppich aus dem Film *Aladdin* [Aladdin] mit einfacher Farbe. (b) Teppich mit komplexer Struktur. (Quelle: [Correa]).

Painterly Darstellungen. Werden die Entwicklungen seit der ersten Nutzung im Jahr 1991 genauer betrachtet, so wird deutlich, dass bereits ebenfalls im gleichen Jahr wie Coopers formulierte Zukunftssicht, Disney erstmalig eine Technik vorstellte, mit welchem die in einem analogen Zeichentrickfilm verwendeten 3D Elemente durch den aktiven Einbezug des Artist – wie zu reinen analogen Zeiten – koloriert und so gleichzeitig 3D Objekte in einem Painterly Darstellungsstil erzeugt werden konnten. Diese von Disney als *DeepCanvas*⁵⁷ zusammengefasst bezeichnete 3D Mal-

⁵⁷Siehe dazu [TDCD].

und nicht-fotorealistische Berechnungstechnik nutzten die 2D Artists, um die komplexe dreidimensional erstellte Dschungelgegend aus dem im Jahr 1998 erschienenen Film *Tarzan* an die sonst analog gezeichneten Figuren optisch anzugleichen. Dies gelang ihnen, indem sie die 3D Szene anhand von diversen 2D Bildern – den Key Frames⁵⁸ der Animation – aus zuvor festgelegten Blickwinkeln auf eine traditionelle Weise innerhalb eines proprietären 2D Paint Programms, ähnlich wie z. B. [CorelPainter], bemalten. Dabei war das finale Bild für sie nicht von entscheidender Bedeutung, denn dieses fand im weiteren Verlauf keine Verwendung. Das einzige worauf es Disney dabei ankam war, dass während des zweidimensionalen Kolorierungsprozesses durch den Artist der Computer im Hintergrund die gesamt getätigten Malaktionen wie z. B. die Stiftbewegung, der Stiftdruck, sämtliche Pinseinstellungen und letztlich die Farbinformation protokollierte (siehe [SIGGRAPH03]). Diese, aus den kolorierten Key Frames, gewonnenen Informationen nutzte der Computer, um schließlich das eigentliche 3D Objekt in einem automatischen Vorgang nach dem individuellen Malstil des 2D Artist zu erstellen (Abb. 4.3). Dies bedeutet, dass die Artists damals in ihrer gewohnten zweidimensionalen Arbeitsumgebung weiter tätig sein konnten ohne sich über eine spezielle dreidimensionale Kolorierung auseinandersetzen zu müssen, da diese letztlich durch einen Computer auf Grundlage ihrer zweidimensionalen traditionellen Arbeit abgenommen wurde. Diese von Disney angewandte Philosophie entspricht den theoretischen Ansichten von Daily und Kiss, die bereits 4 Jahre zuvor in ihren Forschungen diese Anforderung gegenüber dem 3D Texture Painting Prozess formulierten: „*It lets them work in their natural environment rather than focus on the mechanics and artifacts of technology.*“ [Daily, S. 296].

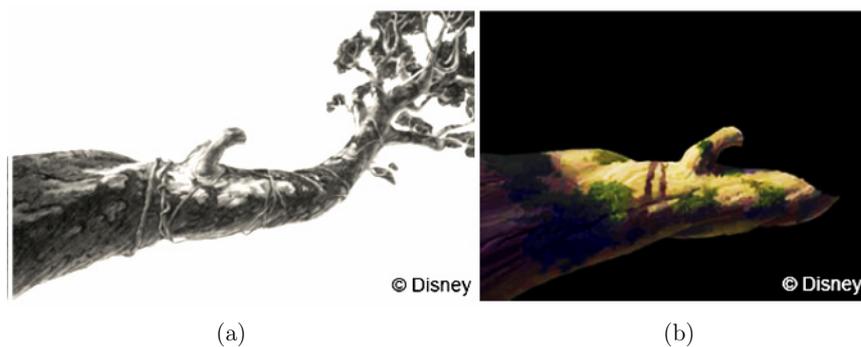


Abbildung 4.3 Baum aus dem Film *Tarzan*. Das Bild (a) zeigt das Concept Artwork und Bild (b) einen Teil des – nach der DeepCanvas Methode – kolorierten Baumes. (Quelle: [SIGGRAPH03]).

⁵⁸Unter einem Key Frame wird ein Bild innerhalb einer Bildersequenz verstanden, welches der Artist – im Gegensatz zu den automatisch erzeugten Zwischenbildern einer Sequenz – selbst erstellt hat. Siehe hierzu [Okun, S. 865].

Seit damals erfuhr die eingesetzte Technologie zur Erzeugung von 3D Elementen im Painterly Stil von Disney immer weitere Anpassungen mit dem Ziel auf der einen Seite dem Artist, trotz des Technikeinsatzes, die größtmögliche Freiheit im kreativen Arbeitsprozess anhand eines neuen Werkzeugs – der Computer – zukommen zu lassen [Burley, Shek]. Und dabei auf der anderen Seite das visuelle Aussehen – speziell des in Kapitel 1 beschriebenen malerischen Stils [Lusinsky] – eines analogen Stils beizubehalten, wie die beiden Abbildungen 0.2a und 0.2b auf Seite 3 von Disneys aktuellsten Computeranimationsfilmen verdeutlichen.

Abschließend bleibt somit für den vorliegenden Abschnitt festzuhalten, dass Disney aufgrund ihrer langjährigen analogen Zeichentrickfilmerfahrung ein starkes Interesse entwickelten zum einen ihre gewohnte und für natürlich empfundene Arbeitsweise beizubehalten und zum anderen trotz den digital produzierten Bilderwelten ihre bekannte und geschätzte Bildästhetik zu bewahren. Dies gelingt Disney schließlich dadurch, dass sie die Techniken auf eine bestimmte Weise einsetzen und zwar – ganz nach Barbara Meiers Vorstellungen [Meier96] – „(...) *in a form that allows them* [gemeint sind hier: die Techniken, M.I.] *to be integrated into the artist's way of working.*“ [Meier96, S. 51]. Durch diese Sichtweise stellen die neuen verwendeten Technologien für die Disney nicht lediglich ein Fortschritt um des Fortschrittwillens dar, sondern sie sehen diese neuartigen Techniken als *zusätzliche Werkzeuge zur Unterstützung* der visuellen Umsetzung *der kreativen Ideen* eines 2D Artist in einer dreidimensionalen Welt an.

Diese Tatsache ist letztlich auch der Grund, wieso die WDAS für die vorliegende Thesearbeit als Basis für die Beantwortung der zentralen Fragestellung und zur eigenen Lösungsfindung herangezogen werden. Die anschließenden Abschnitte werden die zum Teil bereits aus künstlerische Sicht angesprochenen Entwicklungen zur Materialitätsdarstellung in einem Painterly Stil aus dem Hause Disney als nächstes aus einer technischen Sichtweise heraus aufzeigen und dabei detailliert auf die von ihnen speziell entwickelte Per-Face Texture Mapping Methode, kurz: „*Ptex*“ [Burley, S. 1155 ff.], eingehen. Alle in diesem Abschnitt betrachteten Methodiken nahmen bisher lediglich Bezug zur Materialitätsdarstellung des 3D Elements, nicht aber auf die spezielle Objektform eines gemalten Objektes selbst, wie beispielsweise die individuelle Baumform aus dem Artwork in Abbildung 4.22a auf Seite 89. Da aber auch Disney auf diesem Gebiet für ihren aktuellsten Computeranimationsfilm *Rapunzel – Neu verhöhnt* [Rapunzel] aus dem Jahr 2010 durch die Entwicklungen von Shek et al. einen Ansatz zur Objektformgebung aufzeigten [Shek], beschäftigt sich der letzte Abschnitt dieses Kapitels schließlich mit der Betrachtung von Disneys verwendeten Artist-gesteuerten intuitiven Objektformerzeugungsweise.

4.1 Angewandte Techniken zur Materialitätserzeugung.

Von neuer Texture Mapping Methode bis Textursynthese

Wie der vorangegangene Abschnitt aus der Sicht des Artist aufzeigte, ist es Disney bereits zu ihren Anfangstagen im Computeranimationsbereich gelungen, *hybride Ansätze* zur Kolorierung von dreidimensionalen Elementen auf traditionelle Weise zu erreichen, um dadurch den Eindruck von analog wirkenden 3D Objekten zu erzielen. Dabei mussten sich die einzelnen Artists nicht mit technischen Vorgängen für die Texturierung wie z. B. die Parametrisierung des Objektes – beschrieben im 3. Kapitel – beschäftigen, sondern diese konnten von Beginn an anhand eines direkten aktiven Einbezugs ihre künstlerische Kreativität zur Objektmaterialitätsdarstellung nutzen. Um nun diese Erkenntnis für eine eigene Lösungsfindung zur Erzeugung und Darstellung von 3D Elementen in einem Artworkstil verwenden zu können, erfolgt im Weiteren – um die im Einleitungstext des 2. Teils angesprochene ambivalente Natur des Computergrafikbereiches gerecht zu werden – nun eine technische Betrachtung auf die Herstellungsweisen eines 3D Elements im Painterly Darstellungsstil bei den WDAS.

Pinselstrichreproduktion. Disneys Versuch für einen abendfüllenden Zeichentrickfilm einer kompletten Szene mit einzelnen 3D Elementen das analoge Aussehen eines Painterly Darstellungsstils zu verleihen, erfolgte bereits wie aufgezeigt vor 13 Jahren. Hierbei reproduzierte der Computer digital das analoge Malverhalten eines Artist. Dies wurde dadurch erreicht, indem der Computer automatisch die, durch den Artist aus verschiedenen zweidimensionalen Kolorierungsprozessen (Abb. 4.4) stammenden, vorgegebenen Malstriche in einem von Disney als „*re-paint*“ [SIGGRAPH03, S. 5] bezeichneten Prozess auf das 3D Element übertrug (Abb. 4.5). Durch diesen hybriden Ansatz zur Materialitätserzeugung gelang es Disney einige der, in Abschnitt 1.2.1 auf Seite 17 ermittelten, bildbestimmenden Einflussfaktoren eines analogen malerischen Stils – in dem Fall sind es alle Parameter, welche mit dem Malwerkzeug in Verbindung stehen – für eine digitale Imitation nachzuempfinden und dies, ohne dass der Computer selbst anhand einer Berechnung entscheidet wie das finale digitale Erscheinungsbild letztlich aussieht, wie es bei den beschriebenen Painterly post-processing Techniken aus Abschnitt 2.3 auf Seite 40 der Fall ist.

Anhand dieser hybriden Painterly Erzeugungsart ist der Artist nach wie vor am Entstehungsprozess beteiligt. Durch sein Malverhalten wird der in Abbildung 4.6 dargestellte digitale Pinselstrich letztlich reproduziert. Dabei werden die einzelnen Striche in verschiedene Segmente bis zum nächsten aufgezeichneten Punkt P aufgeteilt (Abb. 4.6a), welche in der Höhe W prozedural auf Basis der protokollierten Werte erzeugt werden (Abb. 4.6b). Die Kanten, der zu bemalenden Objekte, werden bei dieser

Malmethode zur Erzeugung eines Painterly Darstellungstils durch die Objektkanten des 3D Elements begrenzt.

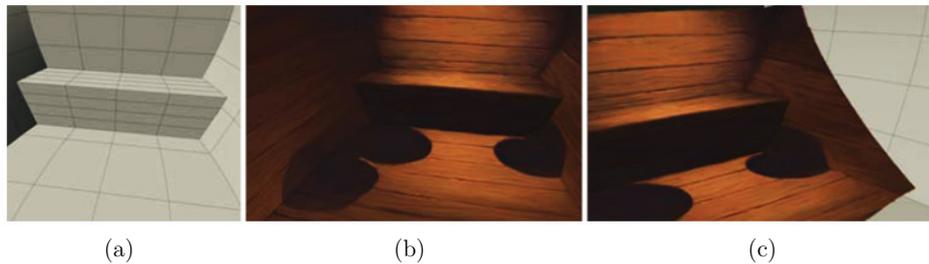


Abbildung 4.4 Kolorierungsprozess von DeepCanvas. Bild (a) zeigt das unbemalte Bild eines Key Frames. Das Bild (b) stellt das fertig bemalte Resultat dar und (c) zeigt ein neues Key Frame, welches durch den Artist zu bemalen ist. (Quelle: [SIGGRAPH03]).

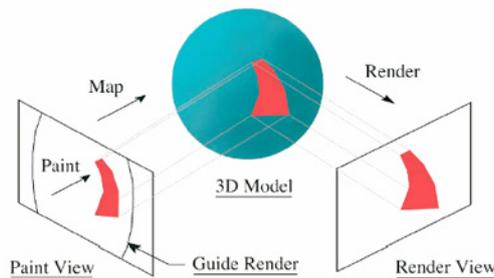


Abbildung 4.5 Projektionsverfahren für den Kolorierungsprozess. Die, durch den Artist, bemalte Fläche wird auf das 3D Objekt durch den Computer aufprojiziert (re-painted), sodass der Artist im nächsten Key Frame die noch freien Stellen bemalen kann. (Quelle: [SIGGRAPH03]).

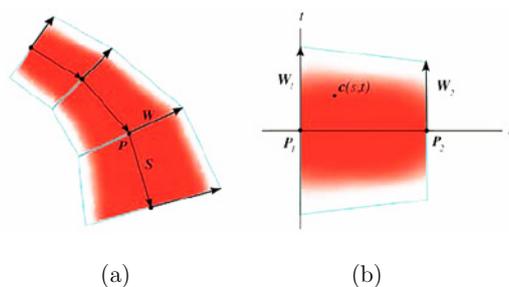


Abbildung 4.6 Reproduzierte Pinselstriche. (a) Pinselstrich unterteilt in einzelne Segmente. S ist die Länge des einzelnen Strichsegmentes bis zum nächsten aufgezeichneten Punkt P . Bild (b) zeigt ein Segment im Profil. W gibt die Höhe des Pinselstrichs an. (Quelle: [SIGGRAPH03]).

Lose Kantendarstellung. Für den im Jahr 2008 erschienenen Film *Bolt – Ein Hund für alle Fälle* [Bolt] entwickelte Disney darum eine als *Raypainting* bezeichnete Technik, mit dessen Hilfe sie nun die im malerischen Stil vorzufindenden losen Kantendarstellungen digital erzeugen konnten [Lusinsky]. Die nachfolgende Abbildung 4.7 zeigt ein Artworkbild und das finale Rendering aus dem Film. Das Aussehen der Objektkanten

wird hierbei jedoch durch den Computer – wie bei den aufgezeigten post-processing Techniken – innerhalb des Bildberechnungsvorgangs bestimmt. Die losen Silhouetten der 3D Elemente werden dabei über speziell erstellte *Opacity Maps*⁵⁹ und die eigentliche Objektmaterialität – siehe hierzu Abbildung 5.6 auf Seite 102 – über zusätzliche handgemalte *Normal Maps*⁶⁰ realisiert, welche die optische Wirkung von Pinselmalstrichen auf dem Untergrund imitiert (siehe [Burley_slides, Dessowitz08]). Dies bedeutet, dass dadurch der Artist selbst bei der eigentlichen Erzeugung wiederum nicht involviert ist und dieser hierbei lediglich wieder nur als Begutachter des Ergebnisses und als Optimierer der handgemalten Maps fungiert.



Abbildung 4.7 Disneys Ansatz zur losen Kantendarstellung in Computeranimationsfilmen. Bild (a) zeigt ein Artworkbild aus dem Film *Bolt* [Bolt]. Bild (b) zeigt das finale Rendering der Szene. Das digitale Bild besitzt hierbei die Eigenschaften des analogen malerischen Stils wie z. B. die Pinselmalstruktur in der Oberflächenmaterialität und die losen Silhouetten. (Quelle: [Burley_slides]).

Objektnetzachelung. Wie bereits in Kapitel 3 aufgezeigt beeinflusst die Modellierungsart den späteren Texturierungsvorgang. Wie ebenfalls im Rahmen dieser Darlegung beschrieben, stellt die SubDs Modellierungsmethode hierbei die flexibelste Art bei der Objektherstellung dar, sodass sie heutzutage – auch bei den WDAS – als häufigste Modellierungsart Verwendung findet. Um jedoch die auf diese Weise modellierten Objekte texturieren zu können, müssen sie zuerst in einer parametrisierten Form vorliegen, sodass – mathematisch ausgedrückt – jedem Objektpunkt anhand einer Funktion F ein Texel zugeordnet wird (Gl. (3.7) auf Seite 54). In Anlehnung an die NURBS Patches, welche aufgrund ihrer mathematisch beschreibbaren Form bereits über intrinsische Parameter verfügen, unterzogen Disney ihre SubDs Modelle einem Vorgang (engl. decomposing), welcher das Objekt in einzelne separate rechteckige Teilstücke, den sog. *Submeshes*, unterteilt [Eppstein]. Aufgrund der recht-

⁵⁹*Opacity Maps* sind Schwarz-Weiß-Bilder, welche dazu genutzt werden um bestimmte Objektformen freizustellen. Hierbei wird meist der Schwarzanteil als Transparenzmaske und der Weißanteil des Bildes als Opazität verwendet.

⁶⁰Unter einem *Normal Map* werden in der Computergrafik Bilder verstanden, welche die Normalen innerhalb der RGB-Werte des Bildes speichern. Normal Maps werden oft in der Computerspieleindustrie eingesetzt, um bei einem niedrig aufgelösten Objektnetz den Detailreichtum eines hochaufgelösten 3D Objektes zu simulieren.

eckigen Form der Submeshes und durch die algorithmische Erzeugung eines *strukturierten Objektnetzes*⁶¹ kann nun eine individuelle Textur jedem einzelnen Submesh zugewiesen werden. Die Abbildung 4.8 verdeutlicht diese Methodik an 2 Produktionsbeispielen. Durch diesen von Disney praktizierten Ansatz wird nun letztlich der Texturierungsvorgang von den polygonalen Subdivision Surfaces so simpel wie bei den NURBS Objekten.

Für den Artist bedeutet dies, dass dieser das vorliegende 3D Element kolorieren kann, ohne sich selbst um die obligatorisch benötigte Parametrisierung bei polygonalen Objekten – in Gestalt der manuellen Erstellung eines *UV Map* – kümmern zu müssen. Anders als bei der entwickelten Texturierungsmethodik von Lévy et al. aus dem Jahr 2002, bei welcher die einzelnen Patches, auch *Charts* genannt, innerhalb eines einzigen Texture Map gespeichert werden [Lévy], wird nach [Eppstein] für jedes einzelne Submesh eine eigene Textur erstellt. Durch diese Art der Speicherung wird letztlich eine höhere Detailstufe in der Materialitätsdarstellung erreicht, da die separaten Patches sich nicht wie bei [Lévy] ein einziges Texture Map mit fixer Pixelanzahl teilen müssen (Abb. 4.9), sondern so jedes Submesh die komplett zur Verfügung stehende Pixelanzahl eines separaten Map für sich beanspruchen kann.

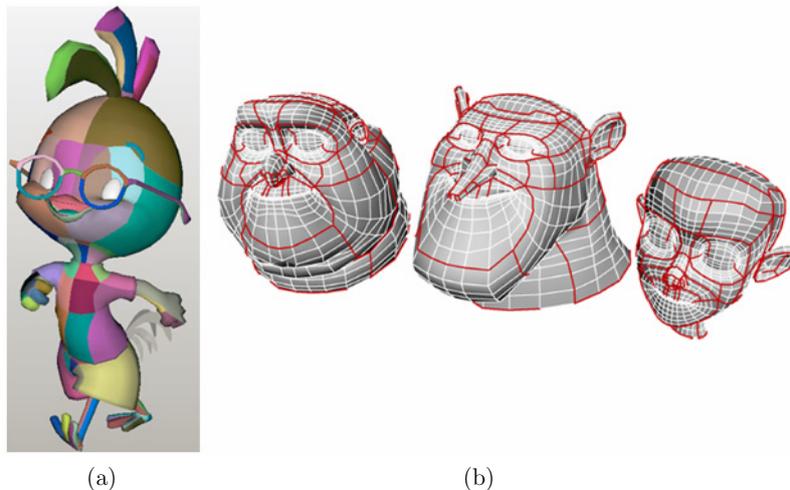


Abbildung 4.8 Disneys Objektnetzachelung von Subdivision Surfaces. Bild (a) zeigt ein 3D Element aus dem Film *Himmel und Huhn* [HUH] aus dem Jahr 2005. Die farbigen Rechtecke auf dem Modell repräsentieren die einzelnen Submeshes. Das 3D Modell besteht insgesamt aus 170 Texturen (Submeshes). Das Bild (b) zeigt anhand von 3 Charakteren aus dem Film *Triff die Robinsons* [TDR] aus dem Jahr 2007 das decomposing der Objektnetze. (Quelle: [Burley_slides, Eppstein]).

⁶¹Ein strukturiertes Objektnetz besteht aus einem regelmäßigen festen Gitternetz [Eppstein, S. 1477]. Das bedeutet, dass jeder innen liegende Knotenpunkt die gleiche Anzahl an Flächen und Kanten besitzt.

Einer der Nachteile dieser Technik ist allerdings, dass hierbei eine enorme Anzahl an einzelnen Texture Maps pro Objekt – und Render Layer/Pass⁶² – erzeugt werden, wie aus der Abbildung 4.8 ersichtlich wird. Ein weiterer Nachteil besteht in Zusammenhang mit der Texturierung zudem darin, dass durch die vollzogene Objektnetzachelung die entstehenden Submeshes im Normalfall mehrere Faces des Objektes beinhalten, sodass der zuvor angesprochene Detailreichtum dieser Methode dadurch wieder relativiert wird. Doch gerade für den Computeranimationsfilmbereich, für welchen Texturen benötigt werden die auch in einer Nahaufnahme noch detailreich sein müssen, ist es daher erstrebenswert die einzelne Texturinformation – wie bei den NURBS Patches – auf *Polygonflächenbasis* direkt auf die Faces zu übertragen. Aus diesem Grund entwickelte Disney eine Per-Face Texture Mapping Methode [Burley], mit welchem dies für polygonale Objekte schließlich ermöglicht wird und welches zudem eine NURBS-ähnliche, Artist-freundliche Kolorierung ermöglicht, wie die bis dahin von Disney angewandte Objektachelungsmethode.

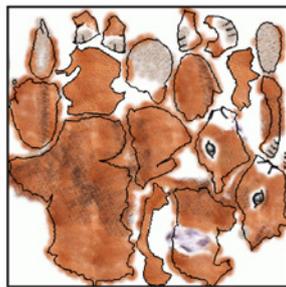


Abbildung 4.9 Texture Map nach Lévy et al. Die Abbildung stellt die automatisch erzeugten einzelnen Charts innerhalb eines einzigen Texture Map, auch als *Texture Atlas* bezeichnet, dar. (Quelle: [Lévy]).

4.1.1 Neue Per-Face Texture Mapping Methode: Ptex

Der von Disney stets in ihren Computeranimationsfilmen beabsichtigte Painterly Darstellungsstil ist, nach Meinung von Burley und Laceywell, letztlich nur unter Verwendung von handgemalten Texturen zu realisieren [Burley, S. 1155]. Für die Verwendung solcher Texturen ist jedoch, wie am Ende des vorangegangenen Kapitels dargelegt wurde, eine Mapping Methode nötig, bei welcher eine nahtlose Texturierung möglich ist. Anhand der Tabelle 4.2 ist jedoch ersichtlich, dass keine der bereits aufgezeigten Texturierungsarten für die Texturierungsansprüche von Disney genügen, um sie auch letztlich in einer Produktion für die Kolorierung

⁶²Ein Render Layer wird in der Computergrafik eingesetzt, um einzelne 3D Elemente zu separieren und getrennt vom Rest der Szene zu berechnen. Über die Render Passes können unterschiedliche Shadereigenschaften für ein Objekt innerhalb eines Berechnungszyklus erstellt werden.

ihrer Modelle einsetzen zu können. Dennoch liefert, wie anhand der dargestellten alternativen Texturierungsart nach [Tarini] erörtert, eine Per-Face Texturierungsart eine effiziente Lösung von nahtlosen Texturdarstellungen. Den Ansatz einer Per-Face Variante zur Übertragung von Objektinformationen wurde daher bereits vor [Tarini] von [Lee] eingesetzt, um einem topologisch äquivalenten aber vereinfachten Subdivision Surface Objektnetz den Ursprungsdetailgrad des originalen hochaufgelösten Polygonnetzes – durch die Verwendung von sog. *Displacement Maps*⁶³ – wieder herzustellen. Dieser Ansatz ermöglichte Lee et al., wie von ihnen selbst aufgezeigt⁶⁴, auch weitere beliebige Informationen wie beispielsweise die Farbinformation eines zugrunde liegenden Originalnetzes auf ein vereinfachtes Subdivision Surface zu übertragen (Abb. 4.10).

Dieses Grundprinzip griffen Burley und Lacewell [Burley] schließlich auf und verwendeten die Methode, um diese im Bereich des Texture Mapping für die in der Produktion von Disney verwendeten Subdivision Surface Modellen einzusetzen.

Tabelle 4.2 Evaluation von Texturierungsarten für den Einsatz in den WDAS.					
	Examples	Film Quality	General	Efficient	Setup-Free
Pelting	[Piponi]	yes		yes	
Atlas Methods	[Lévy]	maybe	maybe	yes	
Projection	[Bier]	yes			yes
Volumetric Textures	[Benson], [DeBry]		yes		yes
Prior Per-Face Methods	[Tarini], [Lee], [Lefebvre07]		maybe	yes	maybe
Ptex		yes	yes	yes	yes

(Quelle: Eigene Darstellung nach [Burley]).

Bei einer polygonalen Modellierung, so auch bei den SubDs, werden lediglich die Vertices und die Beziehung im Raum untereinander gespeichert.⁶⁵ Daher ist im Allgemeinen bei einem polygonalen Objektnetz stets die Position der einzelnen Vertices im \mathbb{R}^3 bekannt. Durch die speziell zugrunde liegende ebenfalls bekannte Anordnungsvorschrift der Vertices an einem Face, resultiert die individuelle Ausrichtung des lokalen *UV*-Koordinatensystems dieses Polygons. Dies bedeutet, dass jedes Face eines polygonalen Objektnetzes seine eigene *UV* Auslegung besitzt, welche von Polygon zu Polygon von unterschiedlicher Natur sein kann, sodass die nebeneinander

⁶³Displacement Maps sind Graustufenbilder, über welche die Oberfläche eines 3D Objektes in Richtung ihrer Normalen anhand der verschiedenen Graustufenwerte verformt werden kann [DAM].

⁶⁴Siehe hierzu [Lee, S. 89].

⁶⁵Siehe Seite 54.

liegenden Polygone nicht zwingend die gleiche UV Ausrichtung aufweisen müssen (Abb. 4.11). Aufgrund der Tatsache, dass die neuen Unterteilungen der SubDs anhand einer rekursiven Berechnung erstellt werden (Abb. 3.5, S. 52), wird den erstellten neuen Polygonen die Ausrichtung des UV -Koordinatensystems aus dem Ursprungspolygon des Kontrollnetzes mit vererbt. Daher gilt ebenfalls für die SubDs, dass die einzelnen UV -Koordinatensysteme der neu entstandenen Polygone keine einheitliche Richtung aufweisen.

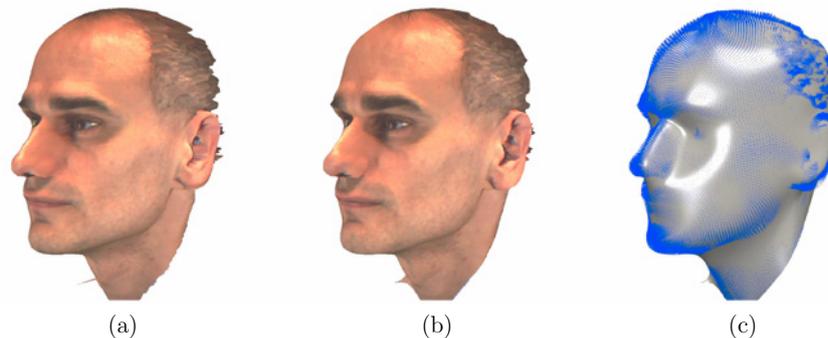


Abbildung 4.10 Per-Face Farbinformationsübertragung nach Lee et al. Das Bild (a) zeigt das originale Polygonnetz mit der Texturinformation. Daneben (b) ist das vereinfachte SubDs Objektnetz mit der übertragenen Farbinformation zu sehen. (c) Zeigt das SubDs Objektnetz ohne Textur. (Quelle: [Lee]).

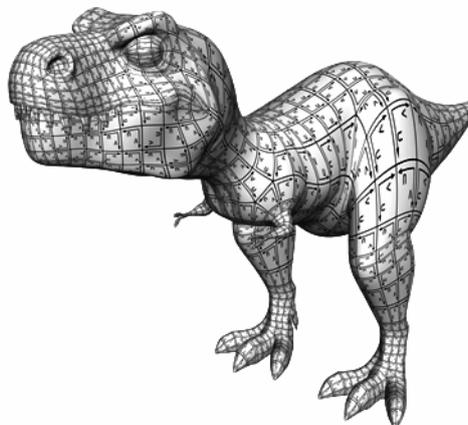


Abbildung 4.11 Intrinsische UV -Koordinatensysteme eines polygonalen Objektes. Das 3D Modell zeigt die unterschiedlich gerichteten lokalen UV -Koordinatensysteme einzelner Polygone des SubDs Netzes. Durch die zueinander verschiedenen rotierten Koordinatensysteme ist keine fehlerfreie Texturierung möglich. (Quelle: [Ptex]).

Dennoch verlaufen, wie die nachfolgende Abbildung 4.12b aufzeigt, die einzelnen polygonüberschreitenden Linien optisch kontinuierlich. Jedoch repräsentiert hierbei nicht immer bei allen Polygonen die z.B. vertikale Linie den v -Wert. Daher ist im Allgemeinen die Parametrisierung durch eine automatische (z.B. [UVMaster]) oder manuelle Erstellung eines

UV Map für eine fehlerfreie Texturierung bei der Verwendung von allen polygonalen Objekten unerlässlich. Anhand des angefertigten UV Map werden die unterschiedlichen Richtungen der einzelnen lokalen Koordinatensysteme global für das gesamte Netz einheitlich ausgerichtet. Diese Vereinheitlichung ist bei einem NURBS Patch oder bei der Zusammensetzung einzelner Patches bereits durch ihre Isoparms gegeben. Denn dort entspricht die horizontale Ausrichtung stets der U -Achse und die vertikale Ausrichtung der V -Achse eines globalen UV -Koordinatensystems für ein gesamtes NURBS Objekt.

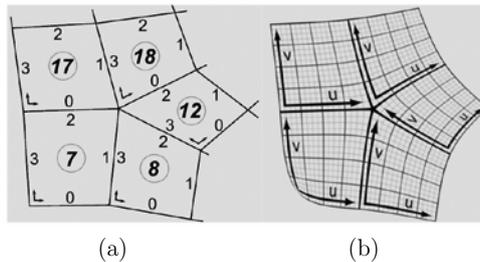


Abbildung 4.12 Intrinsische Informationen eines polygonalen Objektes. Das Bild (a) zeigt die Polygon- und Kantenummerierungen der einzelnen Polygone des Kontrollnetzes. Das Bild (b) stellt die Polygonlinien des dazugehörigen Subdivision Surface dar. Wie hierbei zu sehen ist, verlaufen die Linien über die Faces hinweg kontinuierlich, auch wenn die lokalen UV -Koordinatensysteme nicht übereinstimmen. (Quelle: [Burley_slides]).

Um diese Kontinuität der NURBS Objekte ebenfalls bei den Subdivision Surface Objekten zu erreichen und dies ohne ein UV Map erstellen zu müssen, nutzten Burley und Lacewell die direkt im Objektnetz gespeicherten Erstellungsinformationen des Polygons und seinen benachbarten Faces – als „Adjacency Data“ [Burley, S. 1155 ff.] von Burley und Lacewell bezeichnet. Hierbei verwendeten sie für jedes Face die zugrunde liegende intrinsische Polygon- und Kantenummerierung – *FaceID* und *EdgeID*. Daraus ergeben sich exemplarisch für das Polygon mit der *FaceID* 7 aus der Abbildung 4.12a die folgenden Werte (siehe [Burley, S. 1158]):

$$\begin{aligned} \text{adj. faces} &: (-1, 8, 17, -1) \quad , \\ \text{adj. edges} &: (x, 3, 0, x) \quad , \end{aligned}$$

$-1, x$ = Polygonkante befindet sich am Rand des Objektnetzes.

Um die einzelnen Koordinatensysteme schließlich anzupassen, verwendeten Burley und Lacewell – unter der Annahme von einer stets gleichen

sog. *winding order*⁶⁶ der Vertices eines Polygons – eine Rotationsvorschrift r (Gl. (4.1)), um die einzelnen Polygone zu drehen (siehe [Burley, S. 1158]):

$$r = (e_i - e_j + 2) \bmod 4 \quad , \quad (4.1)$$

- e_i = Kante des Polygons i ,
- e_j = Kante des benachbarten Polygons j ,
- r = Anzahl der Rotationsschritte um 90° .

Anhand der hierdurch ermittelten Rotationsschritte können die einzelnen Polygone und somit die lokalen UV -Koordinatensysteme so zueinander angepasst werden, dass über das gesamte Objekt hinweg die Polygonlinien nicht nur optisch kontinuierlich zueinander verlaufen, sondern nun für alle Polygone des Objektnetzes einheitliche U - und V -Richtungen vorliegen. Dadurch ist es nun zum einen möglich das ursprüngliche unparametrisierte Objektnetz zu texturieren und zum anderen kann so jedes Face als eine separate zu kolorierende Textur betrachtet werden. Die Texelanzahl für die einzelnen Faces ist hierbei nicht konstant, sondern kann variieren. Die nachfolgende Abbildung 4.13 zeigt das vollständig kolorierte 3D Modell aus der Abbildung 4.11 auf Seite 80. Die einzelnen Texturen werden hierbei, im Gegensatz zur früheren Objektnetzachelungsvariante, jedoch nicht als einzelne Texture Maps gespeichert, sondern diese werden ähnlich wie in der Abbildung 3.18c auf Seite 66 nach [Lefebvre07] in ein Map zusammengefasst (Abb. 4.13c). Die einzelnen rechteckigen Flächen repräsentieren hierbei ein individuelles Face des Objektnetzes, für welches intern eine korrespondierende separate Texturversion mit individueller Texelanzahl vorliegt. Über eine zusätzliche *Filterung* an den Polygongrenzen werden letztlich die einzelnen Texturen miteinander verrechnet, um dadurch wie die Abbildung 4.13b veranschaulicht eine nahtlose Texturdarstellung bei den Subdivision Surfaces zu erhalten.

Zusammenfassend bedeutet dies, dass es Disney damit gelungen ist eine Texturierungsart zu entwickeln, mit welcher es möglich ist arbiträre polygonale Objekte auf eine NURBS-ähnliche simple Art und Weise zu kolorieren. Anhand dieser Methode kann der Artist sich letztlich ganz seiner eigentlichen Aufgabe – dem Bemalen des Objektes – widmen. Darüber hinaus ist, im Gegensatz zu den anderen in der Thesis vorgestellten alter-

⁶⁶Die *winding order* beschreibt die Anordnung der Vertices eines einzelnen Polygons. Hierbei existieren grundsätzlich 2 verschiedene Arten wie das Polygon aufgebaut ist. Zum einen können die Vertices im Uhrzeigersinn (engl. *clockwise*) und zum anderen gegen den Uhrzeigersinn (engl. *counter-clockwise*) angeordnet sein. Die Anordnungsart entscheidet über die Vertex- und die Kanten (EdgeIDs)-Nummerierungen.

nativen Texturierungsarten, diese aufgezeigte Art auch für große Produktionen geeignet, wie die bisherigen Einsatzbeispiele von Disney belegen.⁶⁷

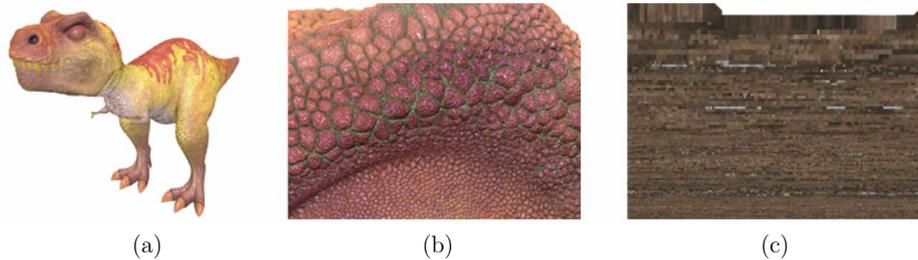


Abbildung 4.13 Disneys Per-Face Texture Mapping: Ptex. Das Bild (a) zeigt das, mit ursprünglich verschiedenen UV -Koordinatensystemen, kolorierte 3D Modell aus Abbildung 4.11. Bild (b) zeigt eine Detailaufnahme der Textur. Hierbei sind keinerlei Nähtebildungen der Textur zu erkennen. Das Bild (c) zeigt ein Ptex Texture Map. (Quelle: [Ptex], Eigene Darstellung).

Wie bereits im ersten Abschnitt dieses Kapitels aufgezeigt, nutzt Disney die Technik als ein Werkzeug, um als unterstützende Hilfe dem Artist zur Seite zu stehen. In Hinblick auf den von Disney stets angestrebten Painterly Darstellungsstil bedeutet dies, dass der Artist hierfür – wie von Burley und Lacewell dargelegt – handgemalte Texturen für einen Computeranimationsfilm im analog anmutenden Stil erstellen muss [Burley, S. 1155]. Diese können sich jedoch für eine Produktion auf einige Hunderte belaufen [Eisenacher]. Um den Artist hierbei zu entlasten, entwickelten Eisenacher et al. einen, auf eine *Muster-basierte Textursynthese* gestützten, Texturerstellungsprozess.

4.1.2 Muster-basierte Textursynthese

Unter einer Muster-basierten Textursynthese wird eine künstliche Erzeugung eines zweidimensionalen Bildes anhand eines vorgegebenen kleineren Bildmusters verstanden. Das Ziel dieser speziellen Art von Bilderzeugung beschreiben Wei et al. wie folgt:

„Given a texture sample, synthesize a new texture that, when perceived by a human observer, appears to be generated by the same underlying process.“ [Wei, S. 2].

Dies bedeutet, dass aus dem – im Falle für Disneys Verwendung als Texturierungshilfe – handgemalten kleineren Texturbeispiel der Computer eine vollständige Textur reproduziert, welche von der Machart nicht von dem Muster zu unterscheiden ist. Die nachfolgende Abbildung 4.14 ver-

⁶⁷Für zusätzliche detaillierte Informationen über Disneys Per-Face Texture Mapping Methode Ptex, siehe hierzu [Burley] oder [Ptex].

deutlicht den beschriebenen Vorgang. Um die in der Darstellung gezeigte synthetisierte Textur letztlich zu erhalten existieren, wie in [Wei] aufgezeigt, 2 verschiedene – die *pixel-* und die *patchbasierte Variante* – Möglichkeiten, welche in der Abbildung 4.15 dargestellt werden.

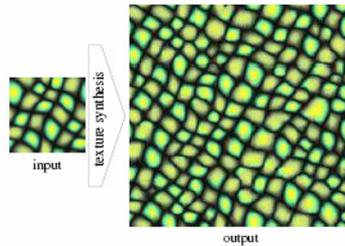


Abbildung 4.14 Textursynthese. Das Bild zeigt das Muster und die durch den Computer erzeugte Textur. (Quelle: [Wei]).

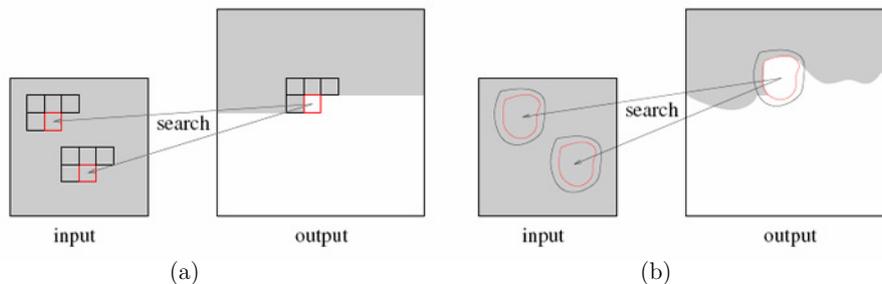


Abbildung 4.15 Vergleich der beiden Algorithmen zur Textursynthese. Das Bild (a) stellt die pixelbasierte und (b) die patchbasierte Variante dar. (Quelle: [Wei]).

Die Anwendungsbereiche der Textursynthese sind mittlerweile von mannigfaltiger Natur⁶⁸. So reichen sie von der Bilderzeugung zur Nutzung in der Computergrafik als Textur bis hin in den Video- und Computerspielbereich [Wei], wie die Abbildung 4.16 am Beispiel des Spiels *Quake* darlegt.

Um letztlich das synthetisch erzeugte 2D Bild als Textur für 3D Modelle zu nutzen, muss dieses ebenfalls wie jede herkömmliche Textur auf das Objekt aufgebracht werden. Hierbei existieren wiederum, nach [Wei], 2 Möglichkeiten. Zum einen kann die synthetisierte Textur lediglich als ein flaches 2D Bild, wie im aufgezeigten Beispiel in der Abbildung 4.14, berechnet werden, welches dann über eine geeignete Mapping Methode (z.B. nach [Bier]) auf das 3D Objekt aufgebracht wird. Anhand dieser Möglichkeit ergeben sich jedoch die bereits in Kapitel 3 auf Seite 48 aufgezeigten Nachteile der verschiedenen Mapping Methoden. Zum anderen kann die Textur aber auch für das zu texturierende Objekt passgenau synthetisiert werden, indem ein Texture Atlas (Abb. 4.17a) erstellt wird

⁶⁸Siehe hierzu [Wei].

[Lefebvre06]. Auf diese Weise findet das Mapping direkt zwischen einer bestimmten Texturfläche im Texture Atlas und der dazugehörigen Objekt-oberfläche statt [Wei], wie es ebenfalls bei der Texturierungsart nach [Lévy] in der Abbildung 4.9 vorgefunden wird.

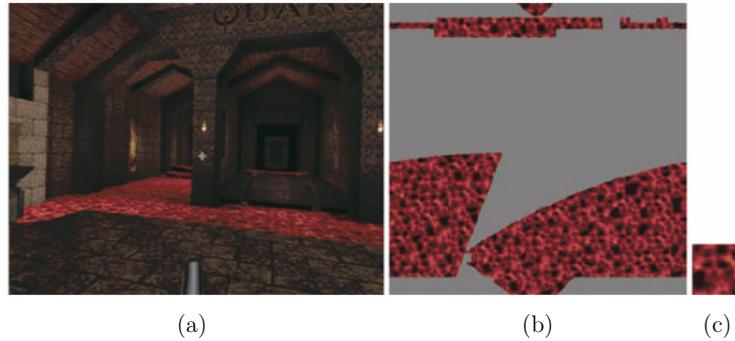


Abbildung 4.16 Beispiel von Textursynthese im Computerspielbereich. Das Bild (a) zeigt ein Frame aus dem Spiel *Quake*. Das Bild (b) stellt die resultierende Textursynthese eines gegebenen Musters (c) dar. (Quelle: [Wei]).

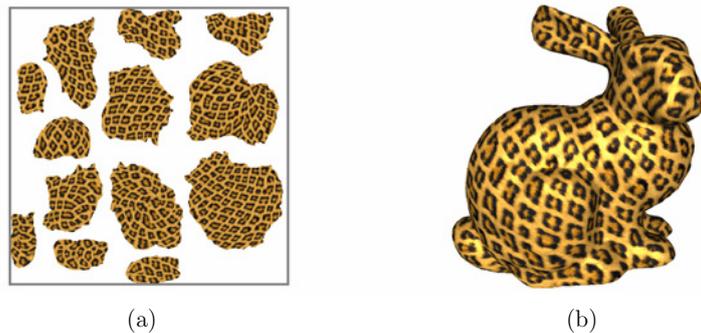


Abbildung 4.17 Mapping Methode der Textursynthese nach Lefebvre und Hoppe. Das Bild (a) zeigt das Texture Atlas und das Bild (b) das resultierende texturierte 3D Modell. (Quelle: [Lefebvre06]).

Disney setzte letztlich die Textursynthese dazu ein, um ihre handgemalten Texturen zu synthetisieren und um bei der Herstellung der vielfältigen Materialitäten für ihre 3D Modelle Zeit einsparen zu können (siehe [Eisenacher]). Ermöglicht wurde dies letztlich nur dadurch, dass die entwickelte Variante von Eisenacher et al. größere, wie die bisher anhand der Textursynthese erzielten, Texturformate erstellen konnte, welche für den Gebrauch in einem Computeranimationsfilm benötigt werden. Jedoch ist auch bei dieser technischen Hilfe, wie bei allen computergestützten Entwicklungen der WDAS, der Artist aktiv am Entstehungsprozess mit involviert. So kann dieser zum einen die Größe des synthetisierten Musters innerhalb der berechneten Textur anhand eines zusätzlich gemalten oder prozedural erstellten sog. *Scale Map* bestimmen und zum anderen kann die Orientierung des Texturverlaufs auf dem 3D Objekt durch die Zuhil-

fenahme von einem *Vector Flow Field*⁶⁹ (Abb. 4.18b) angepasst werden [Eisenacher]. Auf diese Weise kann der Artist anhand von selbst *eingezeichneten Richtungsvorgaben* (Abb. 4.18a) den Texturverlauf nach seinen Vorstellungen manipulieren. Die Abbildung 4.19 zeigt Disneys Einsatz der Textursynthese an einem Produktionsbeispiel auf. Wie daraus ersichtlich ist, wurde die Verlaufsrichtung der Pflastersteintextur so angepasst, dass die Steine anstatt eines geraden Verlaufs, eine kreisförmige Anordnung besitzen. Diese Manipulationsmöglichkeit bietet den Vorteil, dass auf diese Weise eine „*high level of art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32] auf Seiten der Materialitätserzeugung möglich wird, welche gerade im Bereich der analogen Bildästhetikimitation nötig ist, um den Darstellungsstil des 3D Elements gezielt auf die Vorgaben eines erstellten Artworkbildes anzupassen.

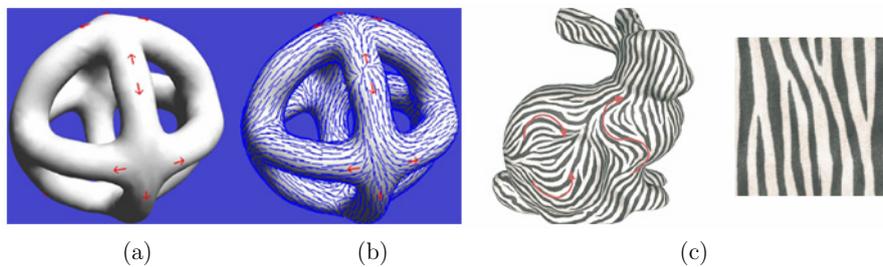


Abbildung 4.18 Vector Flow Field. Das Bild (a) zeigt die, durch den Artist, vorgegebene Vektorenrichtungen (rote Pfeile). Das Bild (b) stellt das resultierende Vektorfeld dar. (c) Testobjekt texturiert mit einem Vector Flow Field. (Quelle: [Wei, Fisher]).

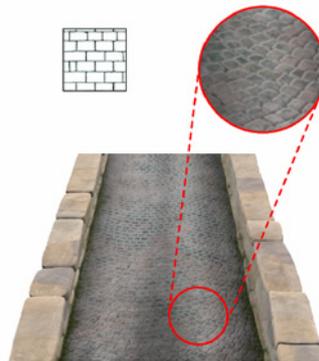


Abbildung 4.19 Textursynthesebeispiel von Disney. Die Abbildung demonstriert die Textursynthese anhand einer Pflastersteintextur aus dem Film *Rapunzel* [Rapunzel] aus dem Jahr 2010. Zusätzlich wurde ein Vector Flow Field eingesetzt, um die optische Anordnung der dargestellten Steine zu ändern. (Quelle: [Eisenacher]).

Zusammenfassend betrachtet heißt dies für den Einsatz eines Painterly Darstellungsstil bei den WDAS, dass anhand den Entwicklungen der letzten Jahre durch [Burley, Lusinsky, Eisenacher] Disney einen Weg gefun-

⁶⁹Siehe hierzu [Fisher].

den hat, optisch 3D Elemente in einem Painterly Darstellungsstil zu erschaffen und dabei dennoch den Artist als kreative Kraft, anders wie bei den aufgezeigten post-processing Techniken aus dem 2. Kapitel dieser Arbeit, mit in den Erstellungsprozess zu integrieren.

Doch nicht nur für die Materialitätserzeugung ist die von Eisenacher et al. angesprochene „*art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32] entscheidend, sondern auch für die Modellierung der Objekte, um die in einem Artwork festgelegte Objektformdarstellung auf ein 3D Element nachempfinden zu können.

4.2 Artwork-gerichtete Objektformgebungstechnik

Um für den Film *Rapunzel – Neu verhöhnt* [Rapunzel] die vorkommenden Baumobjekte in einer dreidimensionalen Umgebung so zu realisieren, dass sie der optischen Ästhetik der dargestellten Bäume in dem Gemälde *Die Schaukel* von Jean-Honoré Fragonard aus dem 18. Jahrhundert (Abb. 4.20), welches als Stilvorlage für den gesamten Film diente, glichen, entwickelten Shek et al. einen auf [Neubert, Au] basierenden Ansatz zur Erzeugung dieses speziellen visuellen Stils. Hierzu nutzten sie, anstelle von den gebräuchlich verwendeten *L-Systemen*⁷⁰ (Abb. 4.21) wie z. B. bei [Ijiri], Partikelobjekte zur Erzeugung der einzelnen Blätter.



Abbildung 4.20 *Die Schaukel* von Jean-Honoré Fragonard. Dieses Bild diente Disney als visuelle Stilvorlage für ihren Film *Rapunzel* [Rapunzel] aus dem Jahr 2010. (Quelle: [Fragonard]).

⁷⁰L-Systeme oder auch Lindenmayer-Systeme sind benannt nach dem ungarischen theoretischen Biologen Aristid Lindenmayer. Er entwickelte eine formale Sprache zur biologischen Entwicklung. L-Systeme finden in der Computergrafik aufgrund ihrer organischen Objekterstellung für die Generierung von Pflanzen und Fraktalen Verwendung. Siehe für weiterführende Informationen zu den L-Systemen [Prusinkiewicz].

Nach den Ansichten von Shek et al. sind die L-Systeme aufgrund ihrer formalen Regeln (Abb. 4.21a) für den Artist zu kompliziert, um ein gezielt angestrebtes Aussehen zu erreichen und zum anderen ist wegen der rekursiven mathematischen Erstellungsweise letztlich kein direktes Eingreifen in das Aussehen der Baumform durch den Artist möglich, sodass die L-Systeme das entstehende Erscheinungsbild stark einschränken, wie die Abbildung 4.21b belegt [Shek].⁷¹

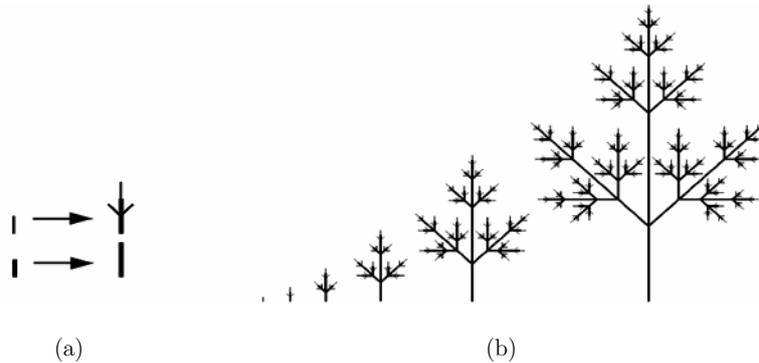


Abbildung 4.21 Lindenmayer-System. Darstellung der formalen Regel zur Erzeugung von organischen Baumstrukturen. (a) Die verwendete Regel. (b) Die hieraus erzeugte Struktur. (Quelle: [Ijiri]).

Um letztlich die im Artwork (Abb. 4.22a) festgelegten Baumkronenformen anhand des Einsatzes von Partikeln zu realisieren, ist es dem Artist im Sinne der „*art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32] möglich, die Baumkronenformen hierbei direkt zu bestimmen. Hierzu gibt der Artist, wie bereits bei [Chen], aktiv eine Form – in diesem Fall ein dreidimensionales polygonales Objekt – als Annäherungsform vor. Dabei bilden lediglich alle sich innerhalb dieses vorgegebenen volumetrischen Begrenzungsraumes befindlichen Partikel die finalen Blätter des Baumes (Abb. 4.22c), sodass schließlich auf eine intuitive Artist-gesteuerte Weise jede arbiträre Baumkronenform erzeugt werden kann. Um nun die gesamte Objektform des digitalen 3D Baumes so zu erstellen, dass er schließlich der visuellen Vorlage aus dem zweidimensionalen Artwork (Abb. 4.22a) entspricht, wurde die Baumform zum einen lediglich über eine zweidimensionale Kurve erstellt. Dieser, durch den Artist selbst festgelegte, Kurvenverlauf dient als ein Gerüst (engl. *Skeleton*) zur automatischen synthetischen Erzeugung eines gesamten Baumes (Abb. 4.22b). Das Skeleton ist „*a lower dimensional shape description of an object*“ [Ma, S. 207], durch welche der Computer ein vollständiges polygonales Objekt anhand der intrinsischen Informationen des Skeleton rekonstruieren kann. Die Abbildung

⁷¹Demgegenüber zeigten Chen et al. jedoch bereits 2 Jahre zuvor, dass es ebenfalls bei den L-Systemen durch einen aktiven Einbezug des Artist ermöglicht wird sowohl unterschiedliche wie auch Artist-gesteuerte Baumformen zu erhalten. Vgl. [Chen].

4.22d zeigt das final berechnete Bild eines Baumes unter der Zuhilfenahme von den Ansätzen von [Shek].

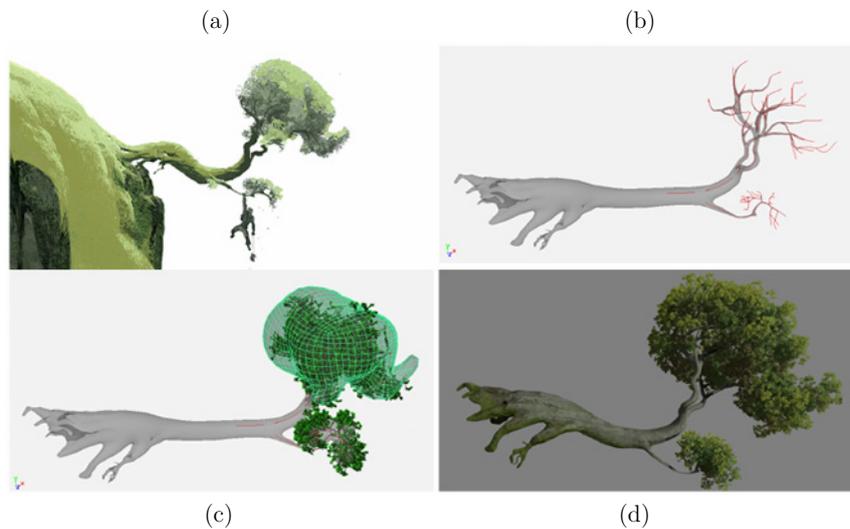


Abbildung 4.22 Disneys Artwork-gerichtete Objektformgebung. Die Bilder (a)–(d) zeigen den Artwork-gerichteten Erstellungsprozess anhand eines Baumbeispiels aus dem Film *Rapunzel* [Rapunzel]. Das Bild (a) zeigt das Artwork eines Baumes. (b) Skeleton mit dem daraus erzeugten polygonalen Baum. (c) Das volumetrische Begrenzungsobjekt für die Partikelausbreitung. Dieses, durch den Artist erstellte, polygonale Objekt gibt die finale Baumkronenform vor. Das Bild (d) stellt das komplette nach [Shek] entstandene Baumobjekt dar. (Quelle: [Shek]).

Zum anderen nutzten Shek et al. zusätzlich zu dieser Kurvennutzungserstellungsart das gegenteilige Pendant. So wurde aus den ebenfalls handmodellierten polygonalen Baumobjekten das jeweilige Skeleton nachträglich extrahiert (wie z. B. [Au, Ma]), um anhand einer, für den Artist hierdurch einfach zu realisierenden, Anpassung der Kurvenform jede beliebig beabsichtigte Baumgestalt zu erhalten, ohne das Objekt neu modellieren zu müssen.⁷² Die Abbildung 4.23 stellt beispielhaft einen kompletten Extraktionsprozess eines Skeleton anhand eines komplexen 3D Modells nach der, ebenfalls von den WDAS eingesetzten, Methode von [Au] dar.

Zusammengefasst für eine Artwork-gerichtete Erstellung von 3D Objekten heißt dies, dass die WDAS anhand der erörterten Baumerstellungstechnik nach [Shek] einen intuitiven Ansatz mit der geforderten „*art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32] entwickelt haben, mit dessen Hilfe die Darstellung der vorgegebenen Baumformen aus einem zweidimensionalen Artwork in einer 3D Umgebung ermöglicht wird, wie der

⁷²Cherlin et al. entwickelten bereits 5 Jahre zuvor einen Ansatz, um ein 3D Element auf eine ähnliche Weise anzupassen. So lässt sich bei Cherlin et al. ein dreidimensionales Objekt anhand einer separat gezeichneten zweidimensionalen „*deformation stroke*“ [Cherlin, S. 141] verformen. Vgl. [Cherlin].

direkte Vergleich der beiden Abbildungen 4.24 und Abbildung 0.2b – das Artwork und die finale Szene aus dem Film *Rapunzel* [Rapunzel] – belegt.

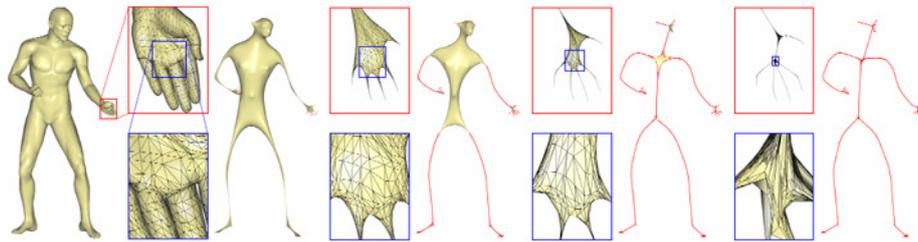


Abbildung 4.23 Extraktionsprozess eines Skeleton. Das Bild zeigt einige Iterationsschritte zur Generierung eines Skeleton. Die rot umrandeten Rechtecke zeigen ein Detailausschnitt des dargestellten 3D Objektes und die blauen Rechtecke sind wiederum Vergrößerungen dieses Bereiches. (Quelle: [Au]).



Abbildung 4.24 Artwork aus dem Film *Rapunzel* [Rapunzel]. (Quelle: [IMDb]).

Fazit. Für die Beantwortung der Forschungsfrage dieser Thesis, wie ein 3D Element durch den aktiven Einbezug des Artist in einem analogen zweidimensionalen Artworkstil so erstellt und dargestellt werden kann, dass die optische Eigenheit des Stils in einer 3D Umgebung erhalten bleibt, bedeutet das resultierende Ergebnis aus den betrachteten Methodiken der Walt Disney Animation Studios, dass für die Erreichung eines im Artworkstil aussehenden 3D Elements die Verwendung von handgemalten Texturen – welche als Anforderung für einen Lösungsansatz im 3. Kapitel festgelegt und im vorliegenden Kapitel durch [Burley] bestätigt wurde – nicht ausreichend ist. Wie der letzte Abschnitt darlegte, bedarf es zusätzlich im dreidimensionalen Modellierungsprozess der Möglichkeit zur „*art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32], um letztlich ein 3D Element als *Gesamtheit* in einem Artworkstil darstellen zu können. Aus diesem Grund muss zur Entwicklung eines Lösungsansatzes zusätzlich zu den *handgemalten Texturen* und den bereits aus dem 3. Kapitel geschlussfolgerten Teilaspekten – die *Wahl der Modellierungs- und Texturierungsart* – zusätzlich die *dreidimensionale Artwork-gerichtete Erstellungsmöglichkeit* berücksichtigt werden.

Kapitel 5

Konzeptentwicklung zur Darstellung von 3D Elementen im Artworkstil

Die zugrunde liegende Problemstellung dieser Thesis beschäftigt sich mit einer Artist-eingebundenen Erzeugung und Darstellung von 3D Elementen in einem Artworkstil für die Nutzung in Computeranimationsfilmen, bei welchen die optische Eigenheit dieses Darstellungsstils in einer 3D Umgebung erhalten bleibt. Wie das vorangegangene Kapitel aufzeigt, haben die Walt Disney Animation Studios bereits einige erfolgreiche hybride Lösungsansätze zur Darstellung von 3D Elementen in einem angestrebten analogen zweidimensionalen Aussehen durch eine aktivere Teilnahme des Artist im dreidimensionalen Entstehungsprozess entwickelt, um diese in ihren abendfüllenden Computeranimationsfilmen einzusetzen. Ausgehend von den aufgezeigten hybriden Ansätzen der WDAS wird nun in den kommenden 4 Abschnitten dieses Kapitels versucht einen *nicht-hybriden* Artist-freundlichen Lösungsweg anhand von *induktiv* hergeleiteten Anforderungen, welche die zugrunde liegenden Hypothesen stützen, zu entwickeln. Aus diesem Grund werden für die nun folgende Lösungsfindung zur Beantwortung der dargelegten Problemstellung die erarbeiteten konkreten Einzelerkenntnisse aus den vorangegangenen Kapiteln herangezogen und hieraus die allgemeinen Anforderungen für den Lösungsentwurf formuliert. Dadurch ergeben sich schließlich *5 miteinander verbundene Anforderungen*, bei welchen der Artist selbst als schöpferische Kraft im Mittelpunkt des Erstellungsprozessverlaufs steht. Diese sind im Einzelnen:

- **Artist-eingebundene Erstellung.** Der Artist muss sein ganzes kreatives Potential bei der Erstellung der 3D Objekte nutzen können und dabei nicht durch technische Abläufe gehindert werden (Kapitel 2, S. 45).
- **Artwork-gerichtete Erstellungsmöglichkeit.** Sowohl in dem Modellierungs- wie auch im Texturierungsprozess muss die Möglichkeit zur „*art-directability*“ [Eisenacher, Artikel Nr. 32] gewährleistet sein (Kapitel 4, S. 90).
- **Artist-freundliche Modellierungsart.** Die Modellierung der Objekte muss auf eine für den Artist simple, intuitive und nicht technische Weise möglich sein (Kapitel 3, S. 67).

- **Artist-freundliche Texturierungsart.** Die Texturierung der Objekte muss ohne ein explizites *UV* Mapping möglich sein (Kapitel 3, S. 67).
- **Einsatz von handgemalte Texturen.** Für die Texturierung werden selbst gemalte Texturen verwendet (Kapitel 3, S. 48).

Um nun schließlich einen eigenen Entwurf unter der Berücksichtigung dieser definierten Anforderungen zu entwickeln, erfolgt zunächst eine allgemeine Darlegung von Möglichkeiten zur Erstellung des speziellen 2D Aussehens in Hinblick auf die in Abschnitt 1.2.1 erarbeiteten bildbestimmenden Faktoren. Auf Grundlage von diesen Faktoren, werden letztlich für den weiteren Verlauf der Thesis *3 mögliche Varianten* als theoretische Basen für die Lösungsfindung angesehen und im folgenden Abschnitt überprüft, ob sie die formulierten Anforderungen erfüllen.

Variante 1. Die erste und simpelste Variante von allen ist die *Sprite*⁷³-*Methode*. In der 3D Computergrafik als „*Billboards*“ [SIGGRAPH99, Abschnitt 6.10] benannt. Auf diesen 2D Ebenen (engl. *Planes*) können dabei die zuvor gemalten Objekte als Texturen projiziert werden. Die Besonderheit dieser Methode ist, dass die Normalen der Abbildungsebenen stets in Richtung der aktiven Kamera weisen. Dies bedeutet, dass die Flächen selbst ebenfalls stets zum Betrachter zeigen und sie dadurch immer sichtbar sind (Abb. 5.1). Dies erweckt beim Betrachten den Eindruck als würde das Dargestellte tatsächlich einem dreidimensionalen Objekt, welches sich in einem 3D Raum befindet, entsprechen. Obwohl dies bloß dem Betrachter über eine raffinierte Illusion vorgetäuscht wird. Anhand dieser Methode lassen sich im Prinzip jegliche Objekte mit einem beliebigen Aussehen in einer dreidimensionalen Welt abbilden. Jedoch besitzt diese Methode auch ihre negative Seite. Denn so einfach diese Variante zu realisieren ist, so schnell lässt sich die Illusion bei einem Perspektivenwechsel als solche entlarven, da das gemalte Objekt selbst stets die gleiche zweidimensionale Ansicht beibehält.

Variante 2. Die zweite Variante besteht darin jeden einzelnen Parameter⁷⁴, welcher das Bildaussehen beeinflusst, zu ermitteln und diesen anschließend exakt in der 3D Welt nachzuempfinden, indem er auf das 3D Element übertragen wird. Diese Variante nutzen die 2D Paint Programme z. B. [CorelPainter, Photoshop] über ihre digitalen Werkzeuge – siehe dazu Abschnitt 1.2.2 *Digital gemalte Bilder im malerischen Stil*, S. 21 ff. Durch diese direkte Art der Parameterübertragung wird diese Variante im weiteren Verlauf der Arbeit als die *direkte Herangehensweise*

⁷³Unter einem *Sprite* wird in der Computergrafik ein meist animiertes 2D Element in einer dreidimensionalen Szene bezeichnet. Siehe hierzu [Okun, S. 883].

⁷⁴Siehe Seite 18 ff.

bezeichnet. Der besondere Vorteil dieser direkten Art liegt darin, dass so jeder Faktor, welcher zum Bildaussehen beiträgt, Berücksichtigung findet. Der Nachteil ist jedoch dabei, dass die Übertragung aller Parameter sehr zeitintensiv sein kann. Erschwerend kommt hinzu, dass die Umsetzung der ermittelten Parameter nicht immer leicht auf ein 3D Element im jeweiligen Herstellungsprozess zu übertragen oder zuzuordnen ist.

Variante 3. Die letzte Variante stellt das genaue Gegenteil der direkten Herangehensweise dar. Daher wird in der vorliegenden Arbeit diese Variante als *indirekte Herangehensweise* im Folgenden benannt. Hierbei wird nicht versucht jeden einzelnen Parameter, welcher für ein bestimmtes Bildaussehen verantwortlich ist, separat zu erfassen und dieses auf das 3D Objekt zu übertragen, sondern diese werden – aufgrund ihrer Komplexität durch ihr Zusammenspiel – als eine Einheit zusammengefasst und des Weiteren als eine sog. *Blackbox*⁷⁵ betrachtet. Dies bedeutet, dass nach dieser Variante die direkt verantwortlichen Parameter für die Erstellung des Bildaussehens bewusst vernachlässigt werden und lediglich das gewünschte *finale Erscheinungsbild* selbst anhand einer *formalen Betrachtung* nach [Wölfflin, Riegl] zur Problemlösung herangezogen wird. Die nachstehende Abbildung 5.2 verdeutlicht grafisch das Blackbox-Modell für den vorliegenden Sachverhalt der Forschungsarbeit.

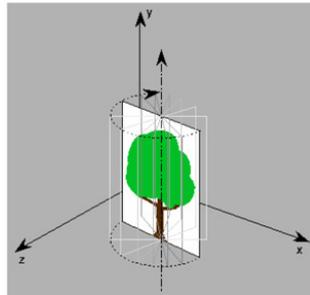


Abbildung 5.1 Billboard Darstellung. (Quelle: [SIGGRAPH99]).



Abbildung 5.2 Blackbox-Modell. (Quelle: Eigene Darstellung).

⁷⁵Unter einer *Blackbox* wird ein komplexes System zusammengefasst, von welchem das genaue Innenleben meist nicht bekannt ist und deshalb anhand des EVA-Prinzips (Eingabe-Verarbeitung-Ausgabe) lediglich das Äußere von Bedeutung ist.

5.1 Lösungsfindung

Werden diese 3 Varianten nach den definierten Anforderungen hin untersucht, ergibt sich die folgende Übersicht.

Tabelle 5.1 Evaluation der Varianten anhand von den definierten Anforderungen.					
	Artist-eingebundene Erstellung	Artwork-gerichtete Erstellungsmöglichkeit	Artistfreundliche Modellierungsart	Artistfreundliche Texturierungsart	Einsatz von handgemalten Texturen
Sprite-Methode	Ja	Teils	Nein	Ja	Ja
Direkte Herangehensweise	Teils	Ja	Nein	Vielleicht	Ja
Indirekte Herangehensweise	Ja	Ja	Vielleicht	Ja	Ja

(Quelle: Eigene Darstellung).

Sprite-Methode. Wird nun zunächst für die Überlegung eines möglichen Lösungswegs die Sprite-Methode betrachtet, so wird festgestellt, dass zum einen diese Variante rasche brauchbare Ergebnisse im Bereich der Standbilderzeugung liefert und zum anderen, wie aus der obenstehenden Tabelle 5.1 hervorgeht, ebenfalls die Anforderungen, zumindest auf Seiten der Texturierung, erfüllt. Dennoch ist diese Variante aufgrund ihres erörterten Nachteils für einen kompletten abendfüllenden Computeranimationsfilm nicht einsetzbar. Aus diesem Grund wird in der vorliegenden Arbeit, welche gerade eine Lösung für den Animationsfilmbereich anstrebt, diese Variante nicht weiter für einen in Frage kommenden Lösungsweg berücksichtigt.

Direkte Herangehensweise. Im Gegensatz zur Sprite-Methode ist die direkte Herangehensweise aufgrund ihrer Exaktheit durchaus für den Einsatz in Computeranimationsfilmen geeignet. Da aber das formale Bildaussehen – wie in den früheren Abschnitten 1.2.1 und 1.2.2 des ersten Kapitels auf Seite 17ff. beschrieben – letztlich anhand von einer Vielzahl an spezifischen, untereinander verzahnten Faktoren bestimmt wird, kann gerade die für den Lösungsentwurf formulierte Anforderung einer Artist-eingebundenen Erstellung nicht für alle bildbestimmenden Parameter erfüllt werden. Daher entspricht die direkte Herangehensweise im Prinzip einem hybriden Ansatz, wie der im Kapitel 4 aufgezeigte DeepCanvas Ansatz der WDAS. Aus diesem Grund wird für die weitere Betrachtung diese Variante ebenfalls ausgeschlossen.

Indirekte Herangehensweise. Wie aus der Tabelle 5.1 entnommen werden kann, erfüllt eine indirekte Herangehensweise am ehesten die aufgestellten Anforderungen. Somit wird im fortlaufenden Lösungsfindungsprozess dieser Arbeit letztlich der Weg der indirekten Herangehensweise gewählt. Der sich daraus ergebende Vorteil anhand dieser Betrachtungsweise liegt nun darin, dass weiterhin die Untersuchung der Bildästhetik auf einer rein formalen Ebene, wie schon zu Beginn ab Abschnitt 1.1 *Optische Verwandtschaft des malerischen Stils zu Ölgemälden* auf Seite 15 ff. des ersten Kapitels dieser Thesis begonnen, fortgesetzt werden kann ohne sich mit der dreidimensionalen Repräsentation jedes einzelnen Parameters befassen zu müssen, wie es bei einer direkten Variante nötig wäre. Dadurch ist die indirekte Herangehensweise im Gegensatz zu einer möglichen direkten Variante von allgemeiner Natur und lässt sich daher zeichenstilunabhängig verwenden.

Durch die formale Betrachtung und die einhergehende Limitierung der Untersuchungsparameter, kann jedoch das Prinzip der *inversen Problemlösung* für die Entwicklung eines Lösungsansatzes herangezogen und angewandt werden. So ergibt sich für die vorliegende Problemstellung der Arbeit, dass sich hierbei die im Bereich der inversen Problem Methodik beschriebene *Wirkung* letztlich auf die Bildästhetik bezieht. Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass alleine aufgrund des Endresultats – *die Bildäußerlichkeit* – die Entwicklung eines Lösungsansatzes möglich ist. Um diesen aber schließlich formulieren zu können, erfolgt zuerst eine erneute – basierend auf eine als *divide and conquer* (dt. teile und herrsche) Strategie⁷⁶ bekannte – Vereinfachung der reinen äußerlichen Betrachtungsweise. Die nachfolgende Abbildung 5.3 zeigt die angewandte *divide and conquer* Strategie bezogen auf das Bildaussehen. Diese Vereinfachung findet hier aufgrund der Tatsache statt, dass wenn im Allgemeinen eine formale Betrachtung eines Gegenstandes vorgenommen wird, das betrachtete Objekt stets über lediglich zwei Parameter beschreibbar ist. Dabei ist es unerheblich, ob der Gegenstand als physikalisch reales Objekt oder als gemaltes Bild vorliegt. Bei diesen beiden angesprochenen Parametern handelt es sich konkret um die *Objektform* und die *Objektmaterialität*. Diese vereinfachte Sichtweise bewirkt zum einen, dass für die untersuchte Bildästhetik sich anhand der Betrachtung von Form und Materialität der Objekte ein gesamtes Artworkbild beschreiben lässt. Zum anderen – bezogen auf die zentrale Fragestellung der Arbeit – ergeben sich daraus anstelle von einer komplexen Hauptfrage, 2 *handhabbarere* und dadurch leichter zu beantwortenden *Teilfragen*.

⁷⁶Anhand dieses Ansatzes wird ein größeres, komplexes Problem in kleinere, handhabbarere Problemstellungen so weit aufgeteilt bis letztlich die einzelnen Teilprobleme zu lösen sind. Durch die anschließende Synthese der gewonnenen Teilergebnisse kann schließlich das eigentliche Hauptproblem gelöst werden.

Dabei geht es konkret um die Lösung der beiden Fragen, wie eine arbiträre Objektform durch den direkten Einbezug eines Artist erstellt werden kann und wie dabei die Objektmaterialität einer 2D Artworkdarstellung ebenfalls auf einer Artist-eingebundenen Art und Weise auf ein 3D Element nachempfunden werden kann. Die anschließende Synthese der getrennt gelieferten Beantwortungen der beiden Einzelproblemstellungen ermöglicht schließlich die Klärung der Hauptfrage, unter welcher die Theses bearbeitet wird.

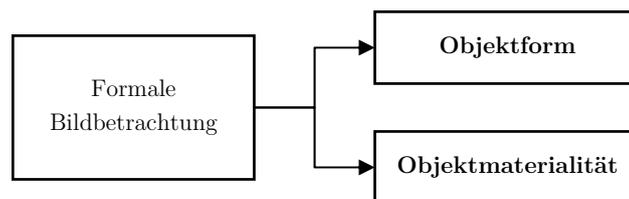


Abbildung 5.3 Divide and Conquer Strategie. (Quelle: Eigene Darstellung).

Zusammenfassend betrachtet bedeutet dies, dass für den Lösungsansatz lediglich zwei Parameter, anstelle von einer Vielzahl an Faktoren, in Betracht gezogen werden müssen. So ist letztlich allgemein betrachtet nur die formale äußere Erscheinung von Bedeutung, welche im Speziellen über die Objektform und die Objektmaterialität bestimmt werden kann.

In den anschließenden Abschnitten erfolgen sogleich eine detailliertere Untersuchung dieser beiden genannten Parameter sowie die Überlegung und die Beantwortung der Frage, wie diese durch den aktiven Einbezug des Artist auf ein 3D Element übertragen werden können. Den Anfang bildet hierbei die Formdarstellung.

5.2 Objektformdarstellung über das Sketch-Based Modeling Verfahren

Wie in Kapitel 1 dargelegt, besteht die Eigenheit der betrachteten Sorte von Artworkbildern aus den in der Arbeit als lose Kantendarstellungsform bezeichnete Darstellungen (Abb. 1.2b, S. 13). Um nun die Objektform von 3D Elementen in diesem Artworkstil mit der 2D Kantendarstellung in einer dreidimensionalen Welt nachzuempfinden, werden in der vorliegenden Forschungsarbeit 2 Ansätze für denkbar angenommen.

Direkte Erzeugung der losen Kanten. Die erste Möglichkeit ähnelt im Prinzip der zu Beginn dieses Kapitels auf Seite 92 bereits beschriebenen und als direkte Herangehensweise bezeichnete Variante. Direkt bezieht sich in diesem Fall jedoch nicht auf die exakte Bestimmung und

Übertragung des verantwortlichen Faktors, sondern darauf dass der Artist in *regulären Modellierungsprozess direkt die lose Kantendarstellungsform erzeugt*. Darum wird diese Möglichkeit in der Arbeit ebenfalls als direkt bezeichnet. Dies bedeutet, dass dabei der Artist maßgeblich, aufgrund einer geschickten Positionierung der sich am Rand befindlichen Vertices, das beabsichtigte Kantenaussehen erschafft, indem er durch diese zusätzliche Vorgehensweise bei der normalen Modellierungsarbeit die Illusion von unsterblich erscheinenden Objektkonturen erweckt. Die Abbildung 5.4 verdeutlicht den geschilderten Vorgang an einem einfachen Standbildbeispiel. In der Praxis jedoch tritt bei der Verwendung in Animationen eine Schwierigkeit auf. Denn da es sich um dreidimensionale Objekte handelt, können diese anders als eine 2D Darstellung von allen Seiten betrachtet werden. Dadurch existieren keine eindeutigen Rand-Vertices des Objektes wie in der Theorie angedacht. Somit muss das gesamte Mesh dieser speziellen Modellierung unterzogen werden, damit diese Illusion aus allen Blickwinkeln aufrechterhalten bleibt.

Dieses komplexe Objektverformungsprinzip griff Isaac Botkin auf und entwickelte eine automatisierte Methode mit Zuhilfenahme von Displacement Maps zur Erzeugung von gemalt aussehenden polygonalen Objekten [Botkin]. Der Einsatz dieser Displacement Maps ersetzt letztlich das manuelle Positionieren der einzelnen Vertices im 3D Raum. Durch diese Automation gelingt es zwar den theoretischen Ansatz ebenfalls in der Praxis für Animationen einzusetzen, jedoch ohne weiterhin länger den Artist miteinzubeziehen.

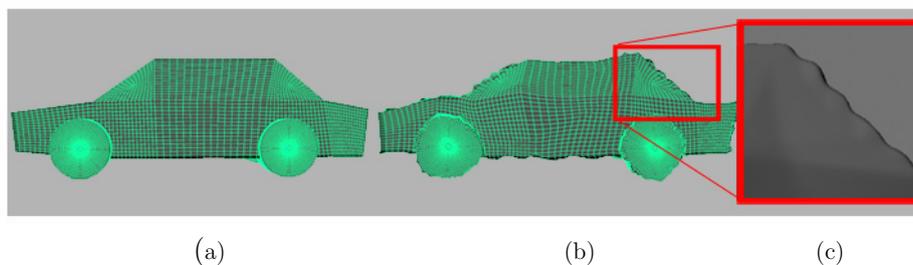


Abbildung 5.4 Erzeugung der losen Kantenform anhand Vertex Verschiebung. Das Bild (a) zeigt das Originalobjekt ohne Verschiebung der Vertices. (b) Deformiertes Objekt zur Erzeugung der losen Kantenoptik. (c) Detailansicht einer Objektkante. (Quelle: Eigene Darstellung).

Somit unterscheidet sich diese Art der Erzeugung von analog aussehenden 3D Objekten nicht von den anderen aufgezeigten Darstellungsmethoden des Painterly Stils von Kapitel 2 auf Seite 40, bei denen ebenfalls der Artist als schöpferische Kraft keinen großen Einfluss mehr ausübt. Ebenso wie direkte Herangehensweise ist auch hier die direkte Variante sehr zeitintensiv, da der Artist während des eigentlichen Modellierungsvorgangs darauf achten muss das gewünschte Aussehen manuell mittels Verschie-

bungen der Vertices zu realisieren. Dadurch setzt diese Art der Herstellung ein Höchstmaß an technischem und dreidimensionalem Verständnis voraus, sodass es für technisch unversiertere Artists Schwierigkeiten bereitet. Abhilfe schafft hier zwar die Botkin Methode, da sie aber den Artist bei der Erzeugung unberücksichtigt lässt, wird sie für die angestrebte Lösungsfindung mit dem Ziel eines Artist-einbezogenen Ansatzes nicht weiter berücksichtigt.

Vernachlässigung der losen Kanten. Die zweite Möglichkeit besteht aus der bewussten *Ignorierung* der losen Kantendarstellungsform innerhalb des Formgebungsprozesses. Diese Vereinfachung meint, dass die Art der Kantendarstellung hier an der Stelle der Formgebungsphase mit Absicht vernachlässigt wird und dieser Aspekt für den weiteren Verlauf der Objektmaterialität zugeschrieben wird. Diese besondere Sichtweise wird in der vorliegenden Arbeit in Betracht gezogen, da die Kantendarstellung eines gemalten 2D Artworkbildes nicht zwangsläufig dem Prozess der Formgebung des darzustellenden Objektes alleine zugeordnet werden kann. Der Grund hierfür ist, dass die losen Kantenformen teilweise ebenfalls durch die Farbgebung herrühren können, da die beiden Vorgänge der Form- und Materialitätsdarstellung bei der Erzeugung des Bildes simultan einhergehen und daher nicht differenzierbar voneinander sind.

Diese Herangehensweise wird nun für die Entwicklung eines Lösungsentwurfs dieser Arbeit bewusst gewählt, da sie anhand dieser vereinfachten Sichtweise den Vorzug bietet, dass die *Grundsilhouette* die einzige *betrachtungsrelevante Größe* für den weiteren Verlauf der Formgebung darstellt. Da nun geklärt ist was im Weiteren als Objektform in diesem Lösungsweg angesehen wird, erfolgt nun im nächsten Schritt die, zu Beginn der Lösungsfindung vorsätzlich weggelassene, Überlegung wie die Objektform – im weiteren Verlauf der Arbeit auch als *Silhouette* bezeichnet – auf eine Artist-eingebundenen Art und Weise erstellt werden kann.

Zu diesem Zweck wird zunächst erneut Disneys zuvor aufgezeigter Weg zur Objektherstellung aus Kapitel 4 von Seite 87 hinzugezogen, um anhand ihrer Methodik schließlich einen eigenen Lösungsweg formulieren zu können. Wie dort aufgezeigt, wurde bei Disneys letzten großen abendfüllenden Computeranimationsfilm *Rapunzel* [Rapunzel] die schöpferische Kraft der Artists in den Herstellungsprozess dadurch integriert, dass sie anhand von selbst gemalten Kurven die Form, in dem speziellen Fall, eines Baumes bestimmten [Shek]. Durch diese Art des Einbezuges kann der Artist mittels seiner selbst gewählten und gemalten Kurvenformen schließlich jede Baumform durch den Computer erzeugen lassen. Dabei muss der Artist sich keine technischen Gedanken machen wie das gesamte Objekt im klassischen Sinn zu modellieren ist. Anhand dieses minimalistischen Ansatzes muss der Artist lediglich seine gewohnte, analoge Arbeitsweise – das Zeichnen von Linien – einsetzen, um ein dreidimensiona-

les Baumobjekt zu kreieren. Generell ausgedrückt bedeutet dieser spezielle Ansatz, dass der Artist selbst nicht auf einer technischen Ebene agiert, sondern auf eine künstlerische Art an dem Erstellungsprozess eines 3D Objektes beteiligt ist. Wird dieser Gedanke weitergeführt, so bedeutet dies letztlich, dass die einzige Limitation die Vorstellungskraft des einzelnen Artist darstellt, genauso wie es Halper et al. bereits vor Jahren forderten (siehe S. 44f.). Da wie bereits hergeleitet wurde, lediglich die Silhouette, welche ebenfalls aus zumeist einer einfachen zusammenhängenden Linie besteht, von Relevanz ist, kann die Grundidee von der Erzeugung von einem komplexen 3D Objekt durch die Verwendung einer einfachen Kurvenzeichnung für die Klärung der Formdarstellungsproblematik aus diesem Abschnitt als Denkansatz übernommen werden. Übertragen auf die allgemeine Lösungsfindung dieser Arbeit bedeutet dies nun, dass der Artist seine volle Kreativität dem Darstellungsprozess widmen kann, indem er die Silhouette und somit schließlich das Objekt nicht klassisch modelliert, sondern wie zu Trickfilmzeiten anhand einer analogen Arbeitsweise selbst aufzeichnet. Basierend auf der Kurvenzeichnungsmethodik erfolgt nun die Betrachtung einer alternativen Modellierungsvariante, dem sog. *Sketch-Based Modeling*⁷⁷ (kurz: SBM).

Diese Modellierungsmethode [Igarashi99, Igarashi03, Nealen, Schmidt] besitzt eine spezielle Objekterzeugungs- und Darstellungsart, welche Ähnlichkeiten zu der beschriebenen Arbeitsweise der Kurvenmethodik [Shek] aufweist. Bei der SBM Methode wird ein 3D Objekt nicht direkt über die Bearbeitung von einzelnen Polygonen oder NURBS Flächen erschaffen, sondern die Erzeugung erfolgt hierbei ebenfalls über eine gezeichnete zweidimensionale – aber im Gegensatz zum Kurvenansatz – geschlossene Grundform, welche durch den Artist aktiv vorgegeben wird.⁷⁸ Analog zum Kurvenansatzgedanken muss auch hier der Artist keine Kenntnisse vom eigentlichen Modellierungsvorgang besitzen. So zeichnet der Artist lediglich auf einer rein analogen Weise zunächst eine in sich geschlossene 2D Form, zu welcher er mittels weiteren Malaktionen zusätzliche Details hinzufügen kann. Dies geschieht indem die entstehende 2D Objektzeichnung rotiert wird und dadurch von einer anderen Blickrichtung an der Form weitergezeichnet werden kann [Igarashi99, Nealen, Schmidt]. Übertragen auf eine traditionelle analoge Arbeitsweise ähnelt dieser Vorgang dem Perspektivzeichnen. Jedoch mit dem Unterschied, dass anhand der SBM Technik keine separaten Ansichten des Objektes entstehen, sondern lediglich eine einzige 2D Form unter verschiedenen Perspektiven ständig weiterentwickelt wird bis schließlich das gezeichnete Objekt den Vorstel-

⁷⁷Für weiterführende Informationen, siehe hierzu [ISSBIM].

⁷⁸Weiterführende Literatur zur 3D Objektenpassung anhand Konturzeichnungen, siehe [Kraevoy].

lungen des Artist entspricht.⁷⁹ Die nachfolgende Abbildung 5.5 veranschaulicht den beschriebenen Vorgang anhand eines auf diese Weise erstellten Bonsaibaumes. Das Schaubild zeigt zudem die aus der zweidimensionalen Zeichnung (Abb. 5.5b) durch den Computer resultierende 3D Repräsentation des gezeichneten Gegenstandes. Hierbei interpretiert der Computer die flache 2D Grundform als dreidimensionales Volumen und ergänzt dieses um die restlichen gemalten Erweiterungen. Nach der Methode von [Igarashi99] wird dabei die geometrische Repräsentation als ein *polygonales Mesh* interpretiert. Nach [Schmidt] hingegen bestehen die Objekte, auf eine aus dem Jahr 1982 entwickelte mathematische Objektrepräsentation nach [Blinn], aus sog. *Metaballs*⁸⁰. Das Endresultat ist jedoch bei beiden Methoden ein vollständiges dreidimensionales Objekt, welches durch den Artist auf eine zweidimensionale Art erstellt wurde (Abb. 5.5c). Da bei der Verwendung der SBM Methode eine geschlossene 2D Form als Startpunkt zur Erzeugung eines 3D Elements dient, kann dadurch diese Methode ebenfalls auf die in dem Abschnitt behandelte Problemstellung der Silhouettenerzeugung angewandt werden. Grund hierfür ist die bereits erwähnte Tatsache, dass eine Silhouette zumeist ebenfalls aus einer geschlossenen Form besteht.

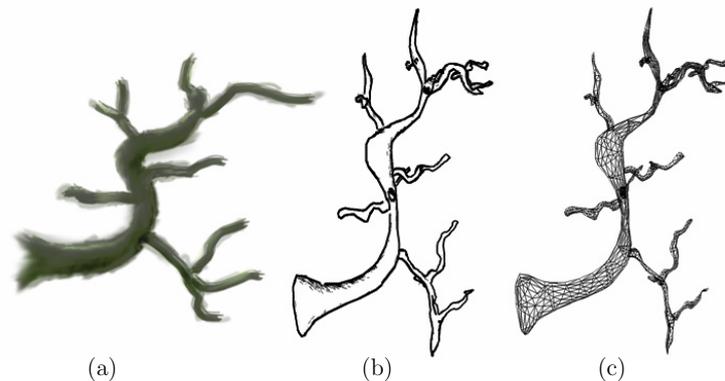


Abbildung 5.5 Objektmodellierung anhand der SBM Methode. (a) Artworkbild eines Bonsaibaumes. (b) Gemalter Bonsaibaum anhand eines SBM Prozesses. (c) Erstelltes 3D Objekt (Mesh) anhand der SBM Methode. (Quelle: Eigene Darstellung).

Diese gewonnenen Erkenntnisse bedeuten für den laufenden Lösungsfindungsprozess, dass anhand des aufgezeigten Wegs mittels der SBM Methode die Silhouette nicht aufwendig modelliert werden muss, sondern diese über eine analoge Weise als 2D Form gezeichnet werden kann

⁷⁹Aufgrund der besonderen Arbeitsweise besitzt die SBM Technik Ähnlichkeiten zum Digital Sculpting (z. B. [3D Coat, Modo, ZBrush]).

⁸⁰Metaballs, auch als *blobby objects* bezeichnet, ist eine implizite Modellierungstechnik, bei welcher über die Verschmelzung von kugelförmigen Objekten das eigentliche 3D Objekt entsteht. Mathematische Beschreibung hierzu in [Blinn].

(Abb. 5.5b) und somit dadurch die definierte Anforderung einer Artistfreundlichen Modellierungsart erfüllt.

Diese Erkenntnis liefert zugleich die Beantwortung auf die am Ende des letzten Abschnitts aufgestellte Teilfragestellung, unter welche dieser vorliegende Abschnitt letztlich bearbeitet wurde. Die konkrete Antwort auf die gestellte Frage, wie eine arbiträre Objektform durch eine direkte Einbeziehung des Artist erzeugt werden kann, lautet demnach, dass anhand des Einsatzes der dargelegten Sketch-Based Modeling Methode theoretisch nicht nur jedes beliebige Objekt erstellt werden kann, sondern zudem auch noch in dieser geforderten Art, welche den Artist in den Erstellungsprozess auf eine Artist-freundlichen Weise mit einbezieht.

Nachdem nun die Frage der dreidimensionalen Darstellung der 2D Objektform – in diesem Fall eines Artworkbildes – geklärt wurde, widmet sich nun der kommende Abschnitt um die Objektmaterialität und dessen Abbildung in einem 3D Raum.

5.3 Grenzenlose Objekttexturierung.

Die andere Art der Materialitätserzeugung

In diesem Abschnitt soll die zweite zuvor aufgestellte Teilfrage geklärt werden. Hierbei geht es konkret um die Beantwortung der Frage, wie die Objektmaterialität einer 2D Artworkzeichnung durch den aktiven Einsatz des Artist auf ein 3D Element übertragen werden kann. Anders als die formulierten Bedingungen von Hanrahan und Haeberli [Hanrahan] aus den 1990er Jahren, dass im Rahmen des dreidimensionalen Kolorierungsprozesses der Pinselstrich „(...) *should always end when there is no object underneath the brush. A stroke should normally end whenever a silhouette is crossed* (...)“ [Hanrahan, S. 218]⁸¹, wird im vorliegenden Abschnitt gerade der gegensätzliche Ansatz – wie nach [Meier96] – angestrebt. Denn wie im vorangegangenen Abschnitt erläutert, wird die spezielle 2D Konturdarstellung der losen Kanten eines Artworkbildes hier im vorliegenden Lösungsansatz ebenfalls als eine Objektmaterialität angesehen. Darum liegt der Fokus bei der anschließenden Untersuchung primär auf speziell diesem Aspekt der dreidimensionalen Kolorierung. Somit setzt sich letztlich die zu betrachtende Objektmaterialität in dem vorliegenden Fall aus 2 Teilaspekten zusammen. Darunter zählt zum einen die Textur des Objektes – *die Farbgebung*. Und zum anderen, aufgrund des besonderen Untersuchungsgegenstandes der vorliegenden Arbeit, aus der *2D Objektkonturdarstellung*.

⁸¹Im Gegensatz dazu sieht Barbara Meier gerade im Bereich des Painterly Darstellungsstils die Notwendigkeit von der Übermalung der Objektkonturgrenzen, da dies wie sie schreibt „*can also help unify an entire composition*“ [Meier96, S. 477]. Vgl. [Meier96].

Wird die Farbgebung eines Artworkbildes (Abb. 1.2b, S. 13) detaillierter begutachtet, so wird festgestellt, dass die Farbe nicht vollflächig gleichmäßig stark auf dem Objekt aufgebracht erscheint, sondern verschiedene Sättigungsnuancen ersichtlich sind. Die Abbildung 5.6 zeigt Disneys Versuch einer Annäherung an diese optische Eigenheit eines analog gemalten Bildes. Hierbei wird die Darstellung der verschiedenen Farbunterschiede aufgrund der Berücksichtigung der Malrichtung unter Lichteinwirkung deutlich – beschrieben in [SIGGRAPH03].

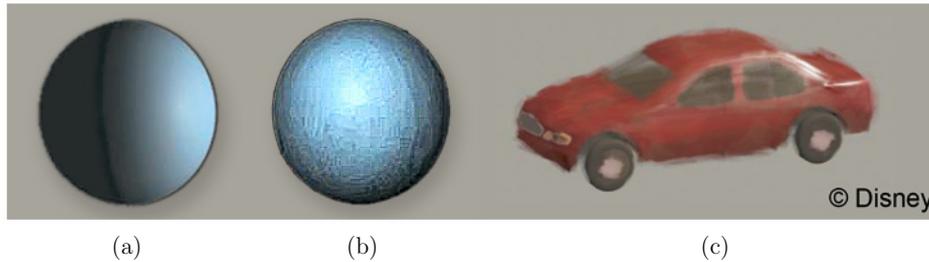


Abbildung 5.6 Disneys Ansatz eines Painterly Darstellungsstils. (a) Standard Beleuchtung basierend anhand den Oberflächennormalen. (b) Beleuchtung basierend auf den Pinselstrichnormalen. (c) Beispielobjekt aus dem Film *Bolt* [Bolt] aus dem Jahr 2008. (Quelle: [SIGGRAPH03, Lusinsky]).

Diese visuellen Disparitäten rühren daher, dass bei dem analogen wie auch beim digitalen Erstellungsprozess eines gemalten 2D Bildes die im 1. Kapitel auf Seite 18 ff. beschriebenen Faktoren maßgeblich Einfluss auf das entstehende Bild nehmen. Um nun die gesamte 2D Bildästhetik auf ein dreidimensionales Objekt nachzuempfinden, wurden bereits einige Ansätze entwickelt. So kann heutzutage zum Beispiel die, von Park et al. als „*imperfection*“ [Park, Artikel Nr. 99] – die Unvollkommenheit des Artist – bezeichnete, formale Bildqualität eines gemalten Bildes durch den Computer simuliert werden (Abb. 5.7). Dennoch besitzen die synthetisch erzeugten Bilder noch keine Natürlichkeit, wie sie bei den selbst erstellten Bildern vorgefunden wird. Auch Disneys aufgezeigte proprietäre Pinselstrichdarstellung (Abb. 5.6b) lässt sich mittlerweile auch nach Hertzmanns Ansatz verwenden [Hertzmann02], um so den Maluntergrund, welcher als ein Beeinflussungsfaktor in Kapitel 1 auf Seite 18 identifiziert wurde, nachzuempfinden (Abb. 5.8).

Doch bei allen bisher betrachteten Ansätzen handelt es sich letztlich um eine beabsichtigte artifizielle Simulation, welche den *Computer* anstelle des Artist in den *Vordergrund* rückt.

„*Within this range of styles, the general aim has been to allow (or force) the computer into the role of artist—letting it make aesthetic decisions about line and color placement, stroke size, and such.*“ [Kundert-Gibbs, S. 36].



Abbildung 5.7 Simulierte Bild-darstellung. (Quelle: [Park]).



Abbildung 5.8 Pinselstriche unter simuliertem Lichteinfall. (Quelle: [Hertzmann02]).

Dies bedeutet paradoxerweise, dass der Artist nicht selbst – obwohl dieser über das schöpferische Potential verfügt – am Darstellungsprozess eines analog anmutenden Aussehens beteiligt ist, sondern es wird bei diesen Ansätzen ganz gezielt dem *Computer die Rolle eines Artist* zugesprochen (siehe Abschnitt 2.3 *Der Painterly Darstellungsstil*, S. 40). Folglich sind diese Arten von Ansätzen für die angestrebte Lösung dieser Arbeit nicht anwendbar. So bleibt letztlich für die Darstellung dieser explizit gewünschten Bildäußerlichkeiten nur die Option, diese auf eine direkte Weise durch den Artist erstellen zu lassen. Die Abbildung 5.9 zeigt daher ein Praxisbeispiel von selbst gemalten Objektmaterialitäten bei 3D Elementen im Stil von Linienzeichnungen in der Verwendung in einem Animationsfilm. Diese Objektdarstellungsvariante entspricht einer Ausprägung des unter dem Abschnitt 2.2 auf Seite 39 aufgezeigten Sketchy Darstellungsstils. Die Abbildung 5.10 zeigt die zur Weste dazugehörige handgemalte Textur, welche schließlich anhand einer Texturprojektion [Bier] – beschrieben in Abschnitt 3.1 auf Seite 55 – auf das 3D Objekt übertragen wird. Dieses Beispiel verdeutlicht, dass sich durchaus eine Objektmaterialität anhand der Kombination von gemalten Texturen und einer projektiven Texturierungsmethode erzeugen lässt, welche eine analoge Ästhetik aufweist. Jedoch muss der Artist für diese Texturierungsmethode ein technisches Verständnis besitzen. Nachfolgend wird an anderer Stelle auf genau diese Schwierigkeit im Detail eingegangen. Doch zunächst wird eine weitere Art der Texturierung betrachtet, welche durch ihre besondere Artist-eingebundene Weise einer tiefgehenden Betrachtung für die Lösungsfindung bedarf.

Hierbei handelt es sich um eine Methode, bei welcher der Artist selbst die eigentliche Materialität des 3D Elements auf das Objekt direkt und nicht über eine Texturprojektion aufträgt, so als würde er ein 2D Bild kolorieren.



Abbildung 5.9 Animation im Sketchy Darstellungsstil. (Quelle: [Kundert-Gibbs]).

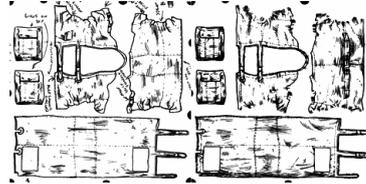


Abbildung 5.10 Gezeichnete Textur der Weste. Erstellt durch den Artist. (Quelle: [Kundert-Gibbs]).

Durch diese als *3D Texture Painting* bekannte Methode nach Hanrahan und Haeberli aus dem Jahr 1990 ist es dem Artist ebenfalls möglich die angesprochene, spezielle Farbdarstellung eines gemalten Bildes durch den individuellen Malstil und durch die eingesetzten 3D Malwerkzeuge zu erreichen, ohne zusätzlich dafür Sorge tragen zu müssen [Hanrahan]. Nach dem entwickelten Ansatz von Hanrahan und Haeberli wird hierbei die, auf der Bildschirmposition $P(x_b, y_b)$ aufgetragene, Farbinformation direkt auf ein bereits vorliegendes parametrisiertes Mesh – z. B. nativ durch NURBS Objekte oder manuell erstellt bei polygonalen Objekten – in ein intrinsisches Texture Map im Parameter Space gespeichert (Abb. 5.16, S. 110). So entspricht letztlich die 3D Position der aufgebrauchten Farbinformation auf dem Objekt der Texturposition im Texture Space. Dies bedeutet, dass die 2D Koordinaten des sog. *Screen Space* (siehe Abb. 3.7, S. 55) auf das 3D Objekt anhand einer Transformation abgebildet werden – diese Arbeitsweise entspricht dem ersten Schritt des rückwärts Mapping, das innerhalb des 3. Kapitels auf Seite 53 beschrieben wurde. Der Nachteil dieser aufgezeigten Art ist, dass das 3D Objekt stets parametrisiert sein muss und die Transformation von dem 2D Screen Space in den 3D Object Space nicht immer eindeutige Ergebnisse liefert. Um diese Limitation zu umgehen, zeigten 5 Jahre später Agrawala et al. eine weitere Möglichkeit auf [Agrawala]. Nach ihrer entwickelten Methode kann so nicht nur auf parametrisierte Objekte die Texturinformation direkt aufgebracht werden, sondern auf jedes beliebige Mesh. Dies geschieht indem die Farbinformationen auf die übermalten Vertices des Objektnetzes mit abgespeichert werden (siehe [Agrawala, S. 146]) und dadurch ein internes 2D Texture Map in Abhängigkeit zur Vertexanzahl des Objektes automatisch erstellt wird. Dies bedeutet konkret, dass somit jeder Vertex eine bestimmte RGB Farbinformation zugewiesen bekommt und dabei der Farbwert eines Polygons anhand einer Farbmischung aus den angrenzenden Vertices bestimmt wird. Dieses Prinzip des sog. *Vertex Painting* wird noch heutzutage in einigen kommerziellen Programmen (z. B. [ZBrush]) verwendet. Aufgrund des direkten Einbezugs des Artist in den Darstel-

lungsprozess und die zweidimensionale Kolorierungsweise dieser Texturierungsart wird das 3D Texture Painting Prinzip zur Materialitätsdarstellung als gedankliche Basis für die weitere Untersuchung zur Lösungsfindung der vorliegenden Teilproblematik in diesem Abschnitt betrachtet.

Jedoch setzt auch dieser ideelle Grundansatz, so künstlernah es auch erscheint, einige technische Verständnisse auf Seiten des Artist voraus. Damit die Vertex Painting Methode letztlich zufriedenstellende Ergebnisse liefert, wird hierfür ein Objekt mit dichtem Mesh benötigt, um die Farbinformationen auf den vorgesehenen Objektpositionen aufbringen zu können. Der Grund hierfür liegt darin, dass bei diesem Ansatz die Vertexanzahl für die Exaktheit der Texturdarstellung des entstehenden Texture Map verantwortlich ist. Durch diese Abhängigkeit kann es bei einer zu geringen Objektnetzdicke zu Texturdarstellungsfehlern führen. So wird, wie die Abbildung 5.11 demonstriert, in solchen Fällen beispielsweise eine gemalte gerade Linie auf dem Objekt nicht mehr als solche abgebildet, da die einzelnen Vertices zu weit auseinander liegen, um die Farbinformationen eindeutig einem Vertex zuordnen zu können. Um dieses Manko zu eliminieren, entwickelten Fu und Chen eine Methode, bei welcher die zu bemalende Region automatisch beim Übermalen unterteilt wird [Fu]. Die Abbildung 5.12 verdeutlicht diese Funktionsweise ihrer SubDs Methode. Eine Adaption dieser automatisierten Technik findet sich beispielsweise mittlerweile aktuell im Objektmodellierungssektor wieder [Sculptris].

Der Großteil der heutigen modernen kommerziellen Programme verwendet aber anstelle der direkten Speicherung der Farbinformation im Vertex [Agrawala] nach wie vor die mittlerweile 22 Jahre alte Methode von Hanrahan und Haeberli, da diese unabhängig vom Mesh funktioniert. Doch um diese Methode letztlich einsetzen zu können, muss im Vorfeld das Objekt selbst präpariert werden. So muss bei allen polygonalen Objekten explizit die Zuweisung der einzelnen Texel in Form der Polygonauslegung anhand des *UV* Mapping erfolgen, um schließlich das Objekt für den Einsatz in die speziell dafür vorgesehenen 3D Texture Painting Programmen (z. B. [BodyPaint3D]) nutzbar zu machen. Zwar stehen dem Artist in den heutigen modernen Programmen automatisierte Mechanismen (z. B. [UVMaster]) zur Verfügung, welche versuchen diese Aufgabe dem Artist abzunehmen. Doch bleibt meist eine manuelle Nachbesserung durch den Artist unerlässlich. Benson und Davis schreiben über den Vorgang der projektiven Texturierungsweise [Benson]:

„Traditionally, texturing a model with image data requires setting up a 2D parameterization of a model. This parameterization is typically set up by an artist.“ [Benson, S. 785].

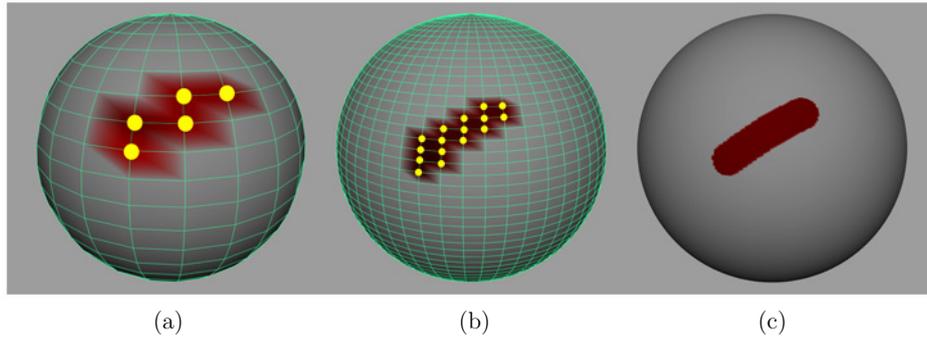


Abbildung 5.11 Vertex Painting Beispiel anhand verschiedenen Objektnetzichten. Die Bilder zeigen (a) ein Mesh mit niedriger – 382 Vertices, (b) mit mittlerer – 2.452 Vertices und (c) mit hoher – 249.502 Vertices – Vertexanzahl und die jeweilig resultierende Strichdarstellung. Die gelben Punkte repräsentieren hierbei die übermalten Vertices, zu welchen die jeweilige Farbinformation zugeordnet wird. (Quelle: Eigene Darstellung).

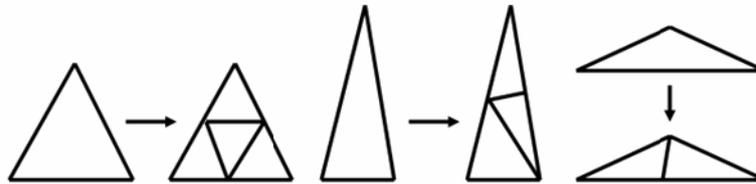


Abbildung 5.12 Unterteilungen von Triangle Flächen nach Fu und Chen. (Quelle: [Fu]).

Die nachfolgende Abbildung 5.13 stellt den von Benson und Davis angesprochenen und in Kapitel 3 bereits erörterte Parametrisierungsvorgang (Abb. 3.7, S. 55) exemplarisch an einem 3D Kopf eines Charakters dar. Dabei zeigt die linke Seite des Bildes die selektierten Polygone des Kopfes und auf der rechten Seite der Abbildung ist das korrespondierende *UV* Map der ausgelegten Polygone zu sehen. Dieses dargestellte *UV* Map muss demnach üblicherweise, wie Benson und Davis klarstellen, durch den Artist selbst erstellt werden, um die polygonalen Objekte sowohl für die erste in dem Abschnitt vorgestellte projektive Texturierungsvariante [Bier] wie auch für die beschriebene direkte 3D Texture Painting Methode nach Hanrahan und Haeberli einsetzbar zu machen.

Diese Erstellung stellt eine enorme Beeinträchtigung gegenüber der kreativen Arbeit eines Artist dar, da dieser sich erst mit einem rein technischen Arbeitsschritt auseinander setzen muss, bevor er künstlerisch tätig sein kann. Darum ergibt sich bei der Objektmaterialität ebenfalls die gleiche Problematik wie bei der direkten Erstellung der Objektform. Denn auch hier bekommen zum einen die Artists mit weniger versierten technischen Kenntnissen Schwierigkeiten und zum anderen kann die technische Vorleistung hemmend auf die Kreativität wirken, wenn diese die Artists zu lange vom eigentlichen Schöpfungsprozess abhält. Deshalb nahmen sich Disney, wie in Abschnitt 4.1.1 auf Seite 78 erörtert, dieser besonderen Problematik in ihren Forschungen an. Dabei entwickelten sie als Lö-

sung eine Texture Mapping Methode, durch welche sie die angesprochene technische Hürde für den Artist eliminierten. Durch diese nach Burley und Lacewell als „*Ptex*“ [Burley, S. 1155 ff.] bezeichnete Texture Mapping Methode ist es nun dem Artist möglich, ohne ein besonderes technisches Wissen und ohne jegliche Vorarbeit, die 3D Elemente nach den eigenen Vorstellungen unverzüglich zu bemalen [Burley].

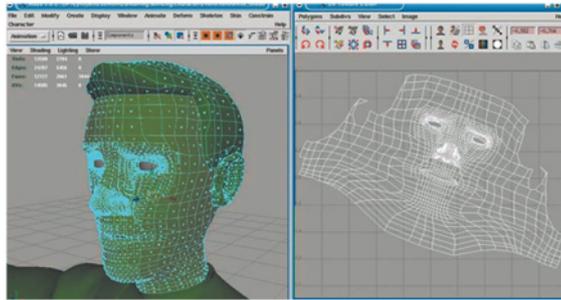


Abbildung 5.13 3D Kopf mit dem dazugehörigen *UV* Map. (Quelle: [Kundert-Gibbs]).

In Hinblick auf die untersuchte Teilproblematik dieses Abschnitts bleibt an dieser Stelle zu konstatieren, dass für den ersten betrachteten Hauptuntersuchungsgegenstand – die Farbdarstellung – durch die letzte vorgestellte Variante mit Zuhilfenahme einer Artist-gerechten Texturierungsmethode alle Kriterien der festgelegten Anforderungen auf Seiten einer Artist-freundlichen Materialitätserstellung erfüllt sind. Daher wird diese Art der direkten Objektkolorierungsmethode im Weiteren auf dem Weg zur Beantwortung des vorliegenden Teilproblems gedanklich als die erste Lösungskomponente angesehen.

Um nun einen Lösungsweg für den zweiten Teilaspekt – die 2D Objekt-konturdarstellung – aufzeigen zu können, wird die soeben zur Erzeugung der Objektfarbe aufgezeigte Kolorierungsmethode aufgrund ihrer Artist-freundlichen Nutzung erneut als gedankliche Basis aufgegriffen und in Anlehnung auf dessen allgemeine Funktionsweise für das zu lösende Teilproblem adaptiert und theoretisch weiterentwickelt (siehe S. 109 ff.). Diese Sichtweise bedeutet, dass die lose Kantendarstellungsform des Artworkbildes anhand der gleichen, wenn auch angepassten, Methode wie die zur Farbdarstellung erzeugt werden soll. Bei einer zweidimensionalen Artworkerstellung lässt sich der Kantendarstellungsprozess nicht eindeutig von der Objektformerzeugung differenzieren (siehe S. 98). Hinzu kommt unter der weiterführenden Sichtweise, dass sich die Kantenerzeugung auch nicht von dem Farbgebungsprozess innerhalb der Materialitätsdarstellung eindeutig trennen lässt. Dies bedeutet letztlich für die Erzeugung der Objekt-konturdarstellung von den 3D Elementen, dass diese *simultan zum Kolorierungsvorgang* einhergehen muss. Diese Erkenntnis bietet den Vorteil, dass dadurch diese Art der *3D Kantenerstellung* im

Kern der gleichen Erstellungsweise einer *2D Darstellung entspricht*, da so keine zusätzlichen Arbeitsschritte seitens des Artist nötig werden und alles innerhalb eines einzigen Erstellungszyklus abgearbeitet und erstellt werden kann.

Als einen weiteren Denkansatz zur Lösung der Kantenproblematik dient die im Bereich der Partikel Systeme angesiedelte Arbeitsweise der sog. *Instanced Objects*. Hierbei handelt es sich im Wesentlichen um Objektkopien von einem oder mehreren beliebigen Objekten, welche die Translationsparameter der einzelnen Partikelpunkte übernehmen, um zum einen ihre eigene Lage im 3D Raum zu definieren und um zum anderen die eigentlichen Partikelpunkte zu ersetzen. Diese Funktionsweise ähnelt den bereits anfänglich auf Seite 92 vorgestellten Sprites, jedoch mit dem Unterschied, dass die Rotation der instanziierten Objekte nicht zwingend von der Kamerablickrichtung abhängig ist – diese können aber bei Bedarf nachträglich an die Kamera gebunden werden, um so das Verhalten von Sprites zu imitieren. Die Abbildung 5.14 verdeutlicht die beiden Darstellungsweisen von den Instanced Objects (Abb. 5.14a) und den Sprites (Abb. 5.14b) anhand einer Gegenüberstellung. Dabei wurde bewusst für die Darstellung der instanziierten Objekte einfache Flächen gewählt, um eine optische Übereinstimmung mit den Sprites zu erhalten und um so die unterschiedlichen beschriebenen Darstellungsweisen deutlicher aufzeigen zu können. Wie die perspektivische Ansicht demonstriert, zeigen die instanziierten Objektflächen, unabhängig von der Blickrichtung der Kamera, in die zuvor festgelegte Erstellungsrichtung. Im Gegensatz dazu richten sich die Sprites immer in die Kamerarichtung aus, sodass sie stets von ihrer Frontseite zu sehen sind.

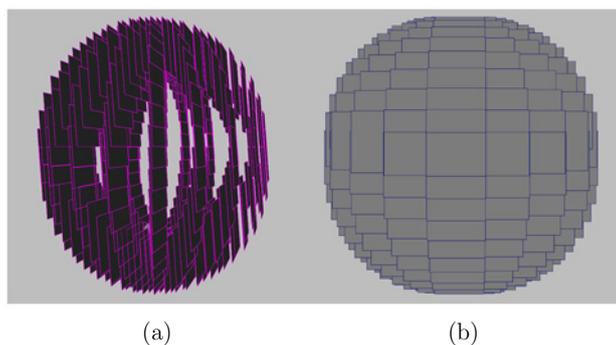


Abbildung 5.14 Verschiedene Darstellungsweisen von instanziierten Objekten. Bild (a) zeigt die Instanced Objects Darstellung *ohne* Abhängigkeit zur Blickrichtung der Kamera. Bild (b) die Sprite Variante *mit* Abhängigkeit. (Quelle: Eigene Darstellung).

Wird ein 3D Objekt genauer betrachtet, so fällt auf dass dieses aus zusammenhängenden, untereinander verbundenen Vertices besteht (siehe Abb. 3.1a, S. 49). Anhand der dargestellten Arbeitsweise der Instanced Objects ergibt sich nun die weitere Überlegung, dass die einzelnen Vertices

eines 3D Elements selbst im Grunde genommen nichts anderes als ebenfalls lediglich eine Art von Partikelpunkten in einem 3D Raum darstellen. Diese Idee wird beispielsweise in [SIGGRAPH97] angewandt, um dynamische Simulationen von sog. *Soft Body Objekten* zu erstellen. Daher können die Vertices auch durch instanziierte Objekte substituiert werden. Wird nun dieser objektbezogene formulierte Gedanke auf die Texturierungsebene transferiert und gleichzeitig mit der als Basis angesehenen direkten Kolorierungsmethode kombiniert, so können unter dieser Überlegung die einzelnen Vertices als einfache 2D Flächen betrachtet werden, auf welche die Farbe aufgebracht wird. Das nachfolgende Schaubild (Abb. 5.15) legt diesen gedanklichen Ansatz grafisch dar.

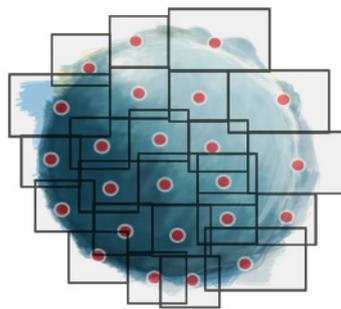


Abbildung 5.15 Theoretisches Flächenmodell zur Texturierung. Die roten Punkte stellen die Vertices dar, an welchen die einzelnen Texturkachelflächen verankert sind. (Quelle: Eigene Darstellung).

Wie aus der Abbildung ersichtlich wird, sind dabei die einzelnen Ebenengrößen von variabler Natur, um für die aus der 2D Ansicht stammenden Kanten-Vertices größere 2D Flächen bereitzustellen. Die Erläuterung hierfür ergibt sich im weiteren Verlauf. Die Minimalgröße der Restlichen wird dabei in Abhängigkeit zur vorherrschenden Dichte der Vertices auf dem Mesh automatisch gewählt. Überschneidungen der Flächen sind hierbei ebenfalls zulässig. Diese sich variabel an die Kolorierung anpassenden Flächen – gerade die im Randbereich liegenden – sollen in diesem gedanklichen Ansatz sicherstellen, dass auf diese Weise überall auf dem Objekt die Farbe aufgebracht werden kann. Dies bedeutet, dass der Artist somit nicht, wie bei der zuvor beschriebenen existierenden Texturierungsvariante des 3D Texture Painting, die einzelnen Polygone direkt bemalt, sondern dieser die Farbe auf die darüberliegende, an den jeweiligen Vertex gebundene, 2D Fläche aufbringt. Aus technischer Sicht bedeutet dieser Ansatz letztlich, dass die Texturierung nicht in einem dreidimensionalen Object Space stattfindet wie bei [Agrawala], sondern der Artist direkt im zweidimensionalen Screen Space den Kolorierungsvorgang durchführen kann, so wie bei [Hanrahan] (Abb. 5.16). Jedoch mit dem Unterschied, dass der Schritt der obligatorischen manuellen Parametrisierung von po-

lygonalen 3D Objekten bei der Texturierung durch den Artist hierbei entfällt – siehe dazu Abbildung 3.7 auf Seite 55.

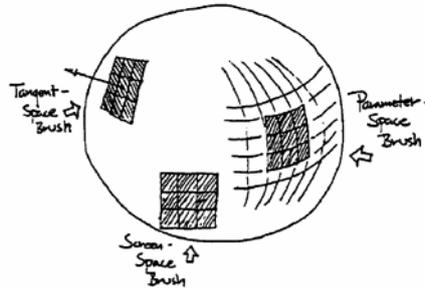


Abbildung 5.16 Verschiedene Bemalungsmöglichkeiten. Grafische Erläuterung des Parameter-, Screen- und Tangent-Space. (Quelle: [Hanrahan]).

Durch diesen theoretischen Ansatz des Bemalens direkt im 2D Raum ist es dem Artist letztlich möglich, die Farbe auch über die Objektgrenzen des zu bemalenden 3D Elements hinweg aufzubringen. Aus diesem Grund werden für die Rand-Vertices größere Randflächen benötigt. Diese dienen dazu die außerhalb gemalten Farbstriche in die Textur mit aufzunehmen. Übertragen auf die spezielle Artworkkantenproblematik dieses Abschnitts heißt dies, dass durch diesen Ansatz die zweidimensionale losen Kantendarstellungsform für ein 3D Element realisiert werden kann, ohne auf zusätzliche Zuhilfenahme von anderen technischen Hilfsmittel zurückgreifen zu müssen. So kann der Artist diese lediglich, wie bei der zweidimensionalen Erzeugung des Artworkbildes, auf einer künstlerischen Ebene innerhalb der normalen Materialitätserstellung entstehen lassen. Konkret heißt dies, dass anhand dieses ideellen Ansatzes die gemalte 2D Objektform als zweidimensionale Leinwand betrachtet wird, welche in gekachelte Texturebenen unterteilt ist, auf die der Artist schließlich die Farbe auftragen kann. Diese gedanklich erarbeitete Vorgehensweise wird im weiteren Verlauf dieser Thesisarbeit ebenfalls als *2D Texturkachelung* bezeichnet. Bisher wurde dieser Ansatz lediglich aus einer konstanten zweidimensionalen Betrachtungsweise, wie die vorangegangene Abbildung 5.15 aufzeigt, dargelegt. Wird, unter der *Bedingung einer stets orthografischen Ansicht zur Kolorierung*⁸², eine dreidimensionale Anwendung dieser Texturierungsmethode betrachtet, zeigt sich, dass den Vertices *gleichzeitig mehrere Texturkachelflächen zugeordnet* werden (Abb. 5.17e). So besitzt jeder *Vertex an der Kante genau 2 Texturkacheln*, jeder *Kanteneckpunkt 3 Texturkacheln* und jedem *Vertex des Objektes werden, objektformabhängig, 1–2 Texturkacheln* zugewiesen. All diese Texturkachelflächen

⁸²Hierbei wird eine *sechs Seiten* Methode gewählt. Dies bedeutet, dass die Kolorierung aus den 6 orthografischen Ansichtsseiten (Drauf-, Unteransicht und allen 4 Seitenansichten) erfolgt.

stehen aufgrund der gewählten orthografischen Erstellungsansicht, orthogonal zueinander. Um an jeden Vertex exakt nur eine 2D Texturkachelfläche zu verankern, wird das *First-Come-First-Served-Prinzip*⁸³ (FCFS) bei der Erstellung angewandt. Dies bedeutet konkret, dass an einen Vertex, welchem aus einer Ansicht bereits eine Texturkachel zugewiesen wurde, keine weitere aus einer anderen Ansicht verankert werden kann. Für die Kanten-Vertices heißt dies, dass ein unmittelbar nebenliegender Vertex als Kanten-Vertex fungiert und dadurch eine größere 2D Texturkachel erhält. Durch den Einsatz dieses Prinzips ergeben sich *keine Mehrfachbelegungen* der Vertices und *jeder Vertex besitzt exakt nur 1 Texturkachelfläche*. Aufgrund der Art dieses Texturierungsansatzes kommt es zu Texturkachelüberschneidungen an den Objektträgern. Hierbei können sich *4 Darstellungsfälle* der sich orthogonal überschneidenden Texturkachelflächen ergeben.

Fall 1. Die Texturkachelflächen sind *sichtbar*, wenn ihre *Normalen in Richtung des Betrachters* weisen (Abb. 5.17a).

Fall 2. Die Texturkachelflächen sind *unsichtbar*, wenn ihre *Normalen orthogonal zum Betrachter* stehen – aufgrund ihrer fehlenden Tiefeninformation (Abb. 5.17b).

Fall 3. Die Texturkachelflächen sind *unsichtbar*, wenn ihre *Normalen in die gegengesetzte Richtung* – d.h. weg vom Betrachter – zeigen (Abb. 5.17c).

Fall 4. *Mehrere* Texturkachelflächen sind *sichtbar*, wenn ihre *Normalen zwischen $> 0^\circ$ und $< 90^\circ$ zum Betrachter* betragen (Abb. 5.17d).

Diese verschiedenen Darstellungsfälle, für die sich überschneidenden Texturkacheln, besitzen einen Einfluss auf die visuelle Kantendarstellung. Die Erläuterung dieses Einflusses erfolgt im Rahmen der Konzeptvalidierung in Abschnitt 8.2 auf Seite 132.

Für den zweiten Hauptuntersuchungsgegenstand – die 2D Objektkonturdarstellung – ergibt sich für das im vorliegenden Abschnitt betrachtete Teilproblem, dass anhand des aufgestellten 2D Texturkachelungsansatzes einen aktiven Einbezug des Artist erzielt werden kann. Und demzufolge, bezogen auf die zentrale Fragestellung, alle entscheidenden Anforderungen zur Beantwortung gegeben sind. Daher wird die theoretisch erarbeitete 2D Texturkachelungsmethode als zweite Lösungskomponente zur Klärung der Kernproblematik dieser Arbeit angesehen.

⁸³Unter dem Prinzip wird eine Dienstleistungspolitik verstanden, welche die Anfragen in der chronologischen Reihenfolge des Eingangs abarbeitet. In der Informatik ist dieses Prinzip auch als First-In-First-Out (FIFO) bekannt und dient beispielsweise zur SpeicherAuslesung.

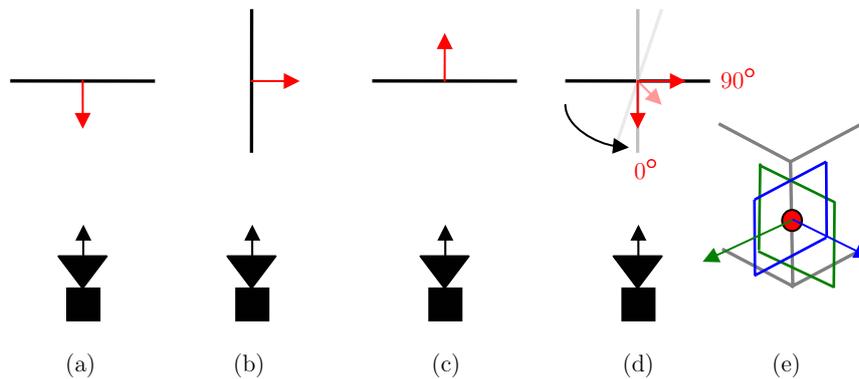


Abbildung 5.17 Fallunterscheidungen des 2D Texturkachelungsansatzes. Darstellung der 2D Flächen und die Betrachtungsrichtung (schwarze Pfeile). (a) Flächennormale (roter Pfeil) weist in Richtung Kamera. (b) Flächennormale orthogonal zur Kamera. (c) Flächennormale entspricht der Kameranormale (schwarzer Pfeil). (d) Flächennormale liegt zwischen $>0^\circ$ und $<90^\circ$ zur Kamera. (e) Mehrfachdarstellungen der Texturkacheln vor dem Einsatz des *First-Come-First-Served-Prinzips* am Beispiel einer Objektkante. Hierbei kommt es zu einer Doppelbelegung eines Vertex, sodass dieser 2 Texturkacheln (blaues und grünes Viereck) besitzt. (Quelle: Eigene Darstellung).

Abschließend betrachtet, bedeuten die gelieferten Erkenntnisse dieses Abschnitts in Hinblick auf die Materialitätsdarstellung eines 3D Elements in einem 2D Artworkbildstil, dass diese gewünschte Zielsetzung letztlich anhand einer Kombination von der vorgestellten existierenden direkten Objektkolorierungsvariante und von der in diesem Abschnitt entwickelten 2D Texturkachelungsmethode – beide Komponenten werden im Weiteren als *grenzenlose Objekttexturierung (GOT)* zusammengefasst – ermöglicht wird. Diese Feststellung gibt damit zugleich die Antwort auf die in Abschnitt 5.1 aufgestellte Teilfragestellung. Die konkrete Antwort auf die Frage, wie die Objektmaterialität einer 2D Artworkdarstellung auf eine Artist-eingebundene Weise auf ein 3D Element nachempfunden werden kann, lautet somit, dass dies mit Zuhilfenahme des entwickelten theoretischen Entwurfs für eine grenzenlose Objekttexturierung schließlich erreicht wird.

Der folgende letzte Abschnitt dieses Kapitels greift die beiden hergeleiteten Ergebnisse aus den Abschnitten 5.2 und 5.3 nochmals auf und anhand diesen erfolgt die Erarbeitung eines *theoretischen Gedankenmodells*.

5.4 Konzepterstellung.

Das theoretische Gedankenmodell

Dieser vorliegende Abschnitt beschreibt im Folgenden die Erstellung eines Modells aus der Synthese der erarbeiteten Teilergebnisse aus den vorangegangenen beiden Abschnitten und die grafische Präsentation anhand eines Schaubilds. Hierbei dient das erstellte Designmodell (Abb. 5.18) nach Daily und Kiss als Referenz [Daily]. In ihren Forschungen aus dem Jahr 1995 beschäftigten sie sich mit dem allgemeinen Prozess des 3D Texture Painting und dessen Einordnung in den Arbeitsablauf einer Computeranimationsproduktion. Dabei stellten sie als Lösung ein Arbeitsparadigma auf, welches noch heutzutage fast 20 Jahre später bestand hat. Ausgehend von diesem werden die eigenen Ergebnisse in das Modell einbezogen. Zu diesem Zweck findet eine knappe Rekapitulation des Kapitels und der darin enthaltenen, zuvor im Detail beschriebenen, erarbeiteten Lösungen statt.

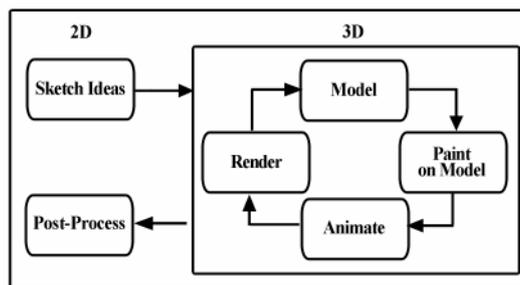


Abbildung 5.18 Workflow Modell nach Daily und Kiss aus dem Jahr 1995. (Quelle: [Daily]).

Wird hierbei die in Abschnitt 5.1 auf Seite 94 gedanklich beschrittene Herangehensweise zur Lösung der Hauptfragestellung dieser Arbeit betrachtet, so ergibt sich daraus, dass dies zu einer Aufsplittung der Problemstellung führt, welche somit 2 separate Erkenntnisse liefert. So ergeben sich auf der einen Seite die Problematik und die Lösung der Formdarstellung, beschrieben in Abschnitt 5.2 auf der Seite 96. Und auf der anderen Seite die Materialitätsproblematik, die unter Abschnitt 5.3 auf Seite 101 thematisiert wurde. Die Abbildung 5.19 visualisiert die vorgestellten Ergebnisse der beiden Problematiken. Dabei repräsentiert Bild (a) die erarbeitete Lösung des Formdarstellungsproblems, wohingegen Bild (b) die Antwort auf die Materialitätsproblematik darstellt. Werden die beiden gelieferten Ergebnisse auf diesen Themengebieten in ihrer Art nach verglichen, so fällt auf, dass sie aufgrund ihrer gedanklichen Basis – beide besitzen ihren theoretischen Ursprung bei einer direkten Erstellungs- und Darstellungsmethode – innerhalb eines einzigen Arbeitsschrittes, bei dem der Artist größtmöglichen Einfluss beim Gestalten besitzt, realisiert wer-

den können. Dies entspricht ferner dem, für die Lösungsfindung gewünschten, traditionellen analogen Vorgehen.

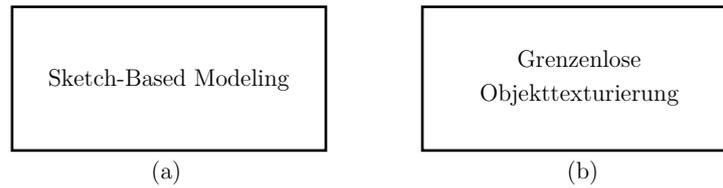


Abbildung 5.19 Teilkomponenten des Lösungsansatzes. (a) Vorgeschlagene Lösung des Teilproblems zur Formdarstellung. (b) Erarbeitete Lösung zur Materialitätserzeugung (GOT). (Quelle: Eigene Darstellung).

Konkludierend ergibt sich somit für die Entwicklung eines Lösungsansatzes unter Berücksichtigung der zugrunde liegenden Fragestellung der Arbeit, dass anhand einer *Kombination* der vorgestellten alternativen Modellierungsvariante – dem *SBM* – (Abb. 5.19a) und der Überlegung von einer angepassten Texturierungsart – die *GOT* – (Abb. 5.19b) ein 3D Element in einem 2D Artworkstdarstellungsstil unter Einbeziehung des Artist theoretisch realisierbar ist. Werden diese beiden Größen des Lösungsansatzes nun auf das bestehende Modell nach Daily und Kiss (Abb. 5.18) übertragen, so wird zum einen sowohl die im 2D angesiedelte, als „*Sketch Ideas*“ [Daily, S. 297] benannte Komponente wie auch die im 3D Bereich als „*Model*“ [Daily, S. 297] betitelte Größe aufgrund des hybriden Charakters der *SBM* Methode (siehe S. 99) redundant und können beide durch diesen erarbeiteten einen Teilaspekt (Abb. 5.19a) abgelöst werden. Zum anderen wird die ursprüngliche „*Paint to Model*“ [Daily, S. 297] Komponente durch die korrespondierende eigene Texturierungsmethode, die *GOT* Variante (Abb. 5.19b), ausgetauscht. Die nachfolgende Abbildung 5.20 stellt das finale Konzept mit den beiden in Relation stehenden Komponenten anhand eines angepassten Daily und Kiss Modells grafisch dar.

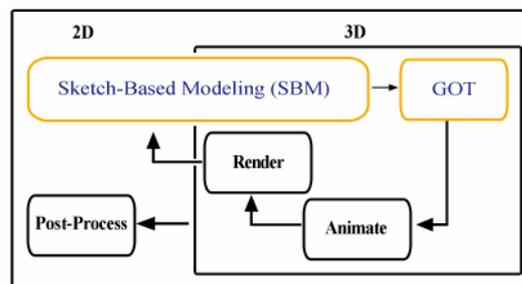


Abbildung 5.20 Theoretisches Gedankenmodell. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Daily]).

Zusammenfassend für das vorliegende 5. Kapitel bleibt festzuhalten, dass unter hergeleiteten und im Detail erörterten Annahmen einige Überlegungen zur Objektform und Objektmaterialität eines 2D Artworkbildes betreffend angestellt wurden, um letztlich darauf aufbauend ein gedankliches Modell zu präsentieren, welches einen möglichen Lösungsansatz zur aufgestellten Hauptfragestellung unter Berücksichtigung der aufgestellten *Hypothesen* (S. 5) dieser Thesis liefert. Das nun anschließende letzte 6. Kapitel aus dem 2. Teil dieser Arbeit wird Bezug nehmend auf das soeben vorgestellte theoretische Gedankenmodell ein, für den praktischen Einsatz, angepassten Entwurf darlegen. Den Anfang bildet die Begründung der Notwendigkeit und die Herleitung für das angepasste Konzept.

Kapitel 6

Konzeptanpassung für eine prototypische Umsetzung

Dieses Kapitel widmet sich speziell der Erstellung eines prototypischen Entwurfs, basierend auf dem zugrunde liegenden theoretischen Gedankenmodell (Abb. 5.20) aus dem vorangegangenen Abschnitt. Diese Konzeptanpassung wird benötigt, da im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit eine prototypische Umsetzung des kompletten theoretischen Gedankenmodells in dieser Form nicht als realisierbar angesehen wird.

Wird für die Entwicklung eines angepassten Entwurfs für den Praxis-einsatz zunächst die unter Abbildung 5.19a aufgezeigte theoretische Teillösung zur Formdarstellung betrachtet, so lässt sich diese ebenfalls für einen praktischen Ansatz verwenden, wenn gleich auch unter einem Vorbehalt, auf welchen in Abschnitt 8.2 eingegangen wird (S. 132). Dennoch findet auch hier trotz der dort aufgezeigten Restriktion bei der Erstellung des Ansatzes für die prototypische Umsetzung die existierende SBM Methode auf Seiten des Formgebungsprozesses als erste Lösungsgröße Verwendung.

Schwieriger gestaltet sich hierbei die direkte Adaption der zweiten Teilgröße des theoretischen Gedankenmodells (Abb. 5.19b) für den praktischen Entwurf. Verantwortlich dafür ist die selbstentwickelte und als GOT zusammengefasste Materialitätserzeugungsvariante, welche für die vorliegende Arbeit nicht umsetzbar ist. Darum wird die im Theorieteil erarbeitete Komponente zur Materialitätserzeugung für den praktischen Gebrauch wieder zurück in ihre ursprünglichen aus Abschnitt 5.3 hergeleiteten Grundbestandteile aufgetrennt. Die Abbildung 6.1 verdeutlicht diesen Vorgang in einem Schaubild. Dies bedeutet für den Farbgebungsprozess, dass die bereits in der Praxis üblich eingesetzte und die dem theoretischen Gedankenmodell an dieser Stelle zugrunde liegende Basis des 3D Texture Painting – beschrieben auf Seite 104 – ebenfalls verwendet werden kann.

Zusammengefasst heißt dies schließlich, dass die Komponente für die Erzeugung der Formdarstellung komplett und die der Materialitätsdarstellung in Teilen von dem eigentlichen Konzept für den praktischen Entwurf übernommen werden können (Abb. 6.2).

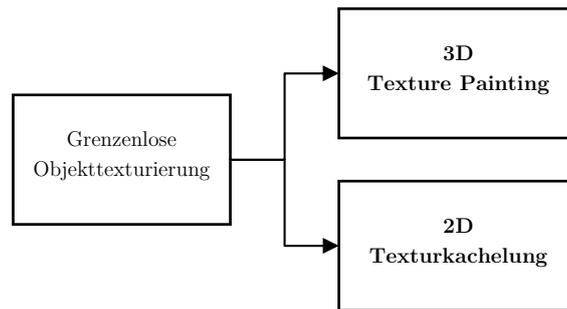


Abbildung 6.1 Aufsplittung der GOT Methode in seine ursprünglichen Komponenten. (Quelle: Eigene Darstellung).

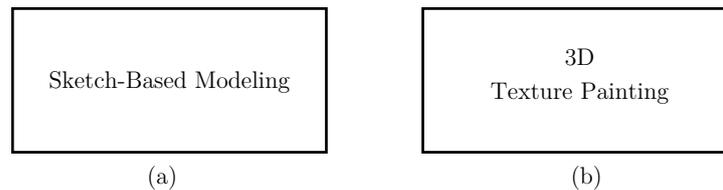


Abbildung 6.2 Lösungskomponenten für den praktischen Einsatz. Bild (a) zeigt die Komponente zur Formerzeugung und Bild (b) speziell die der Farbdarstellung. (Quelle: Eigene Darstellung).

Demnach bleibt als letzte Größe noch die Umsetzung der Objektkantendarstellung des Artworkbildes in der Praxis zu klären. Um diese besondere Kantenformen eines Artworkbildes in einer praktischen Anwendung bei einem 3D Element erlangen zu können, muss auf die, in der Arbeit auf Seite 92f. beschriebene, direkte Herangehensweise zur Erzeugung dieser optischen Eigenheit zurückgegriffen werden. Da diese jedoch, wie dort erläutert, zu zeitintensiv und demnach ineffizient für die Nutzung ist, wird daher eine automatisierte, auf Botkins [Botkin] vorgestellte Methode (siehe S. 97) basierende, selbst entwickelte Form gewählt. Durch diese als ein sog. *pre-render Effekt*⁸⁴ eingesetzte Methode lassen sich ebenfalls die Objektkanten des 3D Elements in einem Artworkdarstellungsstil erzielen (Abb. 8.4, S. 136). Der entstehende Unterschied an dieser Stelle der Entwurfsentwicklung gegenüber der Materialitätserzeugungskomponente aus dem aufgezeigten theoretischen Gedankenmodell besteht darin, dass durch diese Vorgehensweise die Objektkanten nicht durch einen aktiven Einbezug des Artist selbst erstellt werden, sondern wie bei dem zuvor in Abschnitt 2.3 auf Seite 40 aufgezeigten Painterly Darstellungsstil anhand einer Computerberechnung automatisch hergestellt werden. Diese Tatsache bot letztlich den Anlass, wie in Abschnitt 5.3 auf Seite 101 dargelegt, die Verwendung dieser Vorgehensweise für den weiteren Verlauf der Entwick-

⁸⁴Unter einem pre-render Effekt werden alle Berechnungen vor dem eigentlichen Rendering Prozess verstanden. Das Gegenteil hierzu sind die post-processing Techniken, beschrieben in Kapitel 2 auf Seite 42.

lung des theoretischen Gedankenmodells nicht weiter zu berücksichtigen. Für eine prototypische Umsetzung des Konzeptes wird diese Variante dennoch aus dem angeführten Grund nochmals aufgegriffen und verwendet. Diese Vorgehensweise bedeutet allerdings konkret in Hinblick auf die zentrale Fragestellung, dass der beabsichtigte Einbezug seitens des Artist bei der praktischen Anwendung im Darstellungsprozess der Objektkanten für den hier präsentierten praktischen Lösungsansatz jedoch nicht gegeben ist. Für die beiden ersten aufgezählten Teilgrößen – die Objektformzeugung und die Farbgebung – bleibt dieser Teilaspekt der grundlegenden Fragestellung dieser Arbeit dennoch nach wie vor erfüllt.

Unter der Betrachtung für den angepassten Entwurf heißt dies konkret, dass sich die benötigte Anpassung des theoretischen Konzeptes für den praktischen Gebrauch folglich auf einen Aspekt beschränkt, welcher letztlich von einer ursprünglichen theoretischen Artist-eingebundenen durch eine computererzeugte Weise ersetzt wird. Das nachstehende Schaubild stellt diese soeben beschriebenen Sachverhalte in einer Grafik dar (Abb. 6.3). Wie daraus deutlich wird, sind trotz des Einsatzes des pre-render Effektes die erforderlichen Parallelen zur Abbildung 5.20 somit weiterhin gegeben. Durch die benötigte Aufspaltung der erarbeiteten GOT Methode und die daraus resultierende Notwendigkeit des angesprochenen pre-render Effektes, wird dieser schließlich nach der Form- und Farbgebungsphase durch den Artist als abschließenden automatisierten Vorgang zur Finalisierung eingefügt.

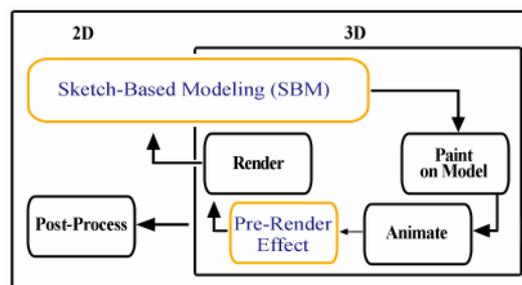


Abbildung 6.3 Angepasstes Konzept für die prototypische Umsetzung. Erzeugung der Konturform anhand eines eingesetzten pre-render Effektes. (Quelle: Eigene Darstellung nach [Daily]).

Abschließendes. Somit schließt der 2. Teil der Arbeit mit dem vorliegenden Kapitel anhand der Darlegung des, aus dem theoretischen Gedankenmodell abgewandelten, Konzeptes für den praktischen Einsatz ab. Der nun anschließende 3. und zugleich letzte Teil der Thesis beschäftigt sich innerhalb von 2 Kapiteln sowohl mit der Implementierung und Anwendung sowie der Verifizierung der beiden Entwürfe.

Teil 3

Anwendung

„To make painterly rendering techniques more useful for production-quality work, we need to develop algorithms and interfaces that get the artist in the loop.“ [Seims].

Der 2. Teil der Thesis beschäftigte sich aus technischer Sicht zum einen mit der Lösungsfindung anhand von *induktiv erstellten Anforderungen*, welche aus den dargelegten Erkenntnissen der vorangegangenen Kapitel hergeleitet wurden. Hierbei wurde für die Beschreibung des Lösungswegs die vorliegende *Problemstellung* der Arbeit als ein zu lösendes *inverses Problem* behandelt. Auf Grundlage dieser besonderen Logik wurde zum anderen schließlich ein theoretischer Lösungsentwurf (Abb. 5.20, S. 114) für die Beantwortung der zugrunde liegenden zentralen Fragestellung der Thesis sowie ein separates angepasstes Modell (Abb. 6.3, S. 118) für eine prototypische Umsetzung entwickelt.

Der 3. Teil handelt nun konkret in den folgenden 2 Kapiteln über das Modell der prototypischen Umsetzung für den praktischen Einsatz. Zunächst beschreibt das anschließende 7. Kapitel die Prototypentwicklung eines pre-render Effekts für die besondere Kantendarstellung des untersuchten Artworkstils. Die Realisierung des Prototyps zur Erstellung dieser Objektdarstellungseigenheit findet direkt in der verwendeten 3D Software⁸⁵ über eine dort integrierte interpretierte Skriptsprache – die *Maya*

⁸⁵Hierbei handelt es sich um das Programm *Maya* von Autodesk. Informationen zur Software, siehe hierzu online [http : //www.autodesk.de](http://www.autodesk.de)

Embedded Language (MEL)⁸⁶ – statt. Der implementierte Prototyp mit der Bezeichnung `d_PAINT`⁸⁷ ist Teil eines erstellten Toolset – die *mi_Tools*, welche eigens für den praktischen Einsatz entwickelt wurden. Die einzelnen entstandenen Tools⁸⁸ befinden sich, wie der Prototyp selbst, in ihren jeweiligen Ordnern unter `./Thesis/mi_Tools/` auf der beigefügten Daten-DVD – Anhang D.⁸⁹ Der vollständige Programmcode des, im folgenden Kapitel beschriebenen, Prototyps findet sich zur Anschauung abgedruckt in Anhang A der Arbeit wieder.

Das 8. Kapitel der vorliegenden Masterarbeit widmet sich letztlich sowohl der Validierung des angepassten Konzepts anhand einer visuellen Ergebnispräsentation wie auch der indirekten Validierung des theoretischen Konzepts. Den Anfang in diesen Themenblock macht hierbei die Beschreibung des beabsichtigten Ziels des praktischen Lösungsentwurfs.

⁸⁶Siehe hierzu [Gould, Wilkins].

⁸⁷Das `d` im Namen steht für das engl. Wort *distance* und bezieht sich auf die ursprüngliche Arbeitsweise des pre-render Effekts.

⁸⁸Technische Informationen über die Tools finden sich im Ordner *Docs* des jeweiligen Tool Verzeichnisses auf der beigefügten Daten-DVD.

⁸⁹Informationen zur Nutzung der *mi_Tools* finden sich in der *README.html* Datei im gleichen Verzeichnis.

Kapitel 7

Prototypentwicklung.

Lose Objektkantendarstellung durch d_PAINT

Wie im Kapitel 6 aufgezeigt wurde, kann im Rahmen dieser Thesis für eine prototypische Umsetzung des entwickelten theoretischen Gedankenmodells die erstellte Artist-eingebundene Teillösung – die 2D Texturkachelung der GOT Komponente – zur Erzeugung der losen Objektkantenform des untersuchten besonderen Artworkdarstellungsstils nicht eingesetzt werden. Daher muss diese spezielle Objektdarstellungseigenheit für einen praktischen Einsatz letztlich, wie die aufgezeigten existierenden Techniken in Abschnitt 2.3 *Der Painterly Darstellungsstil* auf Seite 40, artifiziell durch die Zuhilfenahme des Computers automatisch erzeugt werden. Aus diesem Grund wurde für die Konzeptanpassung eine, in der Abbildung 6.3 als pre-render Effekt vorgestellte, Teilkomponente für die Erstellung der losen Kantendarstellung eingeführt. Dieser pre-render Effekt, im Weiteren auch als d_PAINT bezeichnet, basiert auf eine – in Kapitel 5 – als *direkte Erzeugungsart* beschriebene Erstellungsweise nach [Botkin]. Da in der vorliegenden Arbeit der direkte Einbezug des Artist in den Erstellungsprozess ein zentraler Aspekt darstellt, findet dieser trotz der Verwendung einer direkten Erzeugungsart ebenfalls bei der Realisierung des pre-render Effekts Berücksichtigung.

Das vorliegende Kapitel handelt über die *prototypische Implementierung* dieser Teilkomponente zur Erzeugung der losen Objektkanten bei einem 3D Element. Die folgenden Abschnitte behandeln daher zum einen die *Erschaffung eines Effekts*, welcher auf automatische Weise die Objektkanten deformiert und zum anderen wird, Bezug nehmend zum einleitenden Zitat von Joshua Seims auf Seite 119, auf eine Artist-freundliche Benutzung in Form einer *Artist-eingebundenen Umgebung zur Effektsteuerung* (engl. GUI⁹⁰) eingegangen, durch welche der Artist im Rahmen der Möglichkeiten mit in den Effekterzeugungsprozess involviert wird.

7.1 Zielsetzung

Das Ziel dieser prototypischen Teilumsetzung besteht darin, das in Kapitel 5 entwickelte und rein ideell vorliegende Modell (Abb. 5.20) verifizier-

⁹⁰GUI steht für Graphical User Interface (dt. grafische Benutzeroberfläche).

bar zu machen, indem aus den gewonnenen Ergebnissen anhand der Anwendung des entwickelten Prototyps *Rückschlüsse* auf das erarbeitete theoretische Gedankenmodell gezogen werden. Dies wird ermöglicht, da bei der Erstellung des angepassten Entwurfs (Abb. 6.3) bewusst darauf geachtet wurde, nur geringfügige Änderungen gegenüber dem eigentlichen Lösungsansatz vorzunehmen.

Die anschließende Validierung des angepassten Konzepts dient letztlich zur abschließenden Evaluierung des erarbeiteten theoretischen Lösungsentwurfs, welche in Form einer *indirekten Beweisführung* stattfindet.

7.2 Implementierung

Die Implementierung des pre-render Effekts umfasst 2 Aspekte. Hierunter zählen zum einen die *Generierung des erforderlichen Effekts* und zum anderen die Erstellung eines *Artist-eingebundenen Interface*.

Für die Effektgenerierung selbst dient das Funktionsprinzip der Methodik nach [Botkin], welches für die vorliegende Problemstellung – die Erzeugung von 3D Elementen im Artworkstil – adaptiert wird. Das verwendete Grundprinzip ist hierbei, dass jeder Vertex innerhalb eines Zwischenframes (engl. Subframe) eine automatisch generierte Verschiebung im \mathbb{R}^3 erfährt, sodass die Start- und die Endposition einer Vertexbewegung bei jedem Frame⁹¹ wieder der ursprünglichen Vertexposition entspricht. Die Abbildung 7.2 auf Seite 125 stellt dieses Prinzip anhand des entwickelten Algorithmus grafisch dar.

Die Umsetzung eines Artist-eingebundenen Interface erfolgt auf der Designgrundlage einer erstellten GUI der WDAS für ihre entwickelte hybride Painterly Erzeugungstechnik (Abb. 7.3a, S. 126).⁹²

1. Effektgenerierung

Die Realisierung, des oben beschriebenen Grundprinzips zur automatisch berechneten Translation der einzelnen Vertices zur Erzeugung der losen Objektkantendarstellung eines 3D Elements, erfolgt in der Hauptprozedur⁹³ `d_PAINT()` durch 3 Schritte. Diese sind im Folgenden:

Soft Body Konvertierung. Um bei dieser Erstellungsart die einzelnen Vertices eines Objektes im \mathbb{R}^3 auf eine simple und effiziente Weise ver-

⁹¹Als Frame wird ein Einzelbild innerhalb einer Bildersequenz bezeichnet [Okun, S. 859]).

⁹²Die angesprochene Technik mit dem Namen DeepCanvas wird im Rahmen der Untersuchung von praxisbezogenen Beispielen des Painterly Darstellungsstils aus den Walt Disney Animation Studios in Kapitel 4 auf Seite 71 detailliert erläutert.

⁹³Als Prozeduren werden in der MEL Skriptsprache Funktionen bezeichnet.

schieben zu können, wird das 3D Objekt zunächst in ein *Soft Body Objekt* konvertiert.

Per Particle Attribute Nutzung. Dadurch ergibt sich der Vorteil, dass im Weiteren die Vertices als Partikelpunkte repräsentiert werden. Somit kann schließlich die Translation eines einzelnen Vertex anhand einer speziell für Partikel verwendbare, in der verwendeten 3D Software als *per Particle Attribute* bezeichnete, Objekteigenschaft individuell vorgenommen werden.

Dynamische Expression Erstellung. Die individuelle Vertex-Translation anhand des per Particle Attribute wird letztlich intern über eine *Expression*⁹⁴, welche das Kernstück des Prototyps darstellt, dynamisch zur Laufzeit realisiert.

Diese *dynamische Expression* ist letztlich *verantwortlich für die Erzeugung der losen Objektkantendarstellungen*. Das nachfolgende Listing 7.1 zeigt den Pseudocode der Hauptprozedur des Prototyps `d_PAINT` mit der dort enthaltenen dynamischen Expression.

Listing 7.1 Pseudocode der Hauptprozedur `d_PAINT()`

```
1: procedure d_PAINT()
2:   //Konvertierung in Soft Body Objekte
3:   vertexAnzahl = get Anzahl der Vertices von Objekt;
4:   for each vertex in vertexAnzahl do
5:     particlePos = vertexPos;
6:     //Dynamische Expression
7:     for all particlePos do
8:       particlePos = (ursprungsParticlePos+neueParticlePos)
9:     end for
10:  end for
11: end procedure
```

(Quelle: Eigene Darstellung).

Um die Positionen der einzelnen Partikelpunkte so zu ändern, dass die Objektkanten des 3D Elements denen eines gemalten Objektes im malerischen Stil (siehe Abb. 1.2b, S. 13) entsprechen, wird eine *Malrichtungsbeschreibung* (Abb. 7.1) zur Erstellung von analog gemalten Bildern im expressionistischen Stil von Marion Boddy-Evans [Boddy-Evans_b] als Anleitung zur Bestimmung der neuen Partikelpositionen herangezogen.

Wie die Abbildung 7.1 verdeutlicht, werden die Pinselstriche in kreisförmigen Bewegungen – im vorliegenden Beispiel im Uhrzeigersinn – auf den Malgrund aufgebracht. Wird dieses analoge Malprinzip für die Erzeugung der dreidimensionalen Objektkanten übernommen, bedeutet dies, dass jeder Vertex anhand einer *Rotationsbewegung* verschoben wird, um letztlich die lose Kantendarstellung bei einem 3D Element zu erhalten.

⁹⁴Eine Expression ist ein Befehl in einer formelhaften Schreibweise, über welchen die diversen Eigenschaften z. B. eines 3D Elements gesteuert werden können.

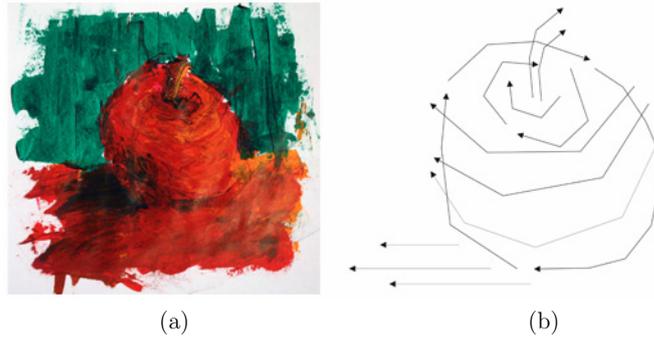


Abbildung 7.1 Beschreibung der Malrichtung zur Erstellung eines expressionistischen Bildes. Das Bild (a) zeigt ein analog gemaltes Bild im expressionistischen Stil. Das Bild (b) stellt die dazugehörige Pinselbewegung anhand der aufgezeigten Malrichtung (Pfeile) dar. (Quelle: [Boddy-Evans_b]).

Die Gleichung (7.1) zeigt die hierzu verwendete MEL Rotationsprozedur `rot()` zur Berechnung der Variablen `neueParticlePos` von Zeile 8 aus Listing 7.1 als Pseudocode:

$$\begin{aligned}
 \text{neueParticlePos} = \text{rot}(\text{ursprungsParticlePos}, & \quad (7.1) \\
 & \text{rotationsAchse, rotationsGrad}) \quad .
 \end{aligned}$$

Die nachfolgende Gleichung (7.2) stellt die aus Gleichung (7.1) resultierende, in der MEL Skriptsprache implementierte, *Rotationsbewegung* dar.

$$\begin{aligned}
 \text{neueParticlePos} = \text{rot}(\underbrace{\text{position0}}_{\text{ursprungsParticlePos}}, \underbrace{\langle\langle 0, 0, 1 \rangle\rangle}_{\text{rotationsAchse}}, & \quad (7.2) \\
 \underbrace{\text{time} * 25 * \text{deg_to_rad}(360)}_{\text{rotationsGrad}} & \quad) \quad .
 \end{aligned}$$

Hieraus ergibt sich die finale *Vertex-Translationsformel* (Gl. (7.3)) für die Berechnung der in Listing 7.1 verwendeten Variablen `particlePos` – in der folgenden Formel als `position` bezeichnet:

$$\begin{aligned}
 \text{position} = \text{position0} + \text{dnoise}(\text{rot}(\text{position0}, \langle\langle 0, 0, 1 \rangle\rangle, & \\
 \text{time} * 25 * \text{deg_to_rad}(360)) & \quad (7.3) \\
) * \text{displaceFactor} * \$\text{userFac} \quad , &
 \end{aligned}$$

- `dnoise()` = Gibt einen Vektor mit variablen Werten zwischen -1 und 1 zurück.
- `displaceFactor` = Automatisch zugewiesene Stärke des Effekts für Objekte innerhalb eines *Übergangsbereichs*.
- `$$userFac` = Durch den Artist festgelegte maximale Effektstärke für das vollständige 3D Element.

Der Übergangsbereich, in dem die 3D Elemente durch den erstellten *displaceFactor* beeinflusst werden, kann durch den Artist zu Beginn der Effekterzeugung selbst festgelegt werden. Hierfür dienen intern die beiden entwickelten Prozeduren `movePaintGatesDistance()`, über welche der Beginn des Effekts geregelt wird und `movePaintGatesRange()`, welche die Laufweite des Effekts angibt. In diesem festgelegten Bereich wird der *Effektstärkegrad in Abhängigkeit der Vertexentfernung zur Kamera* automatisch ermittelt und für die betreffenden Vertices als *Multiplikationsfaktoren* eingesetzt.

Das Listing 7.2 auf Seite 128 zeigt ein Code-Fragment⁹⁵ der finalen `d_PAINT()` Prozedur mit der farblich hervorgehobenen Vertex-Translationsformel (Gl. (7.2)) innerhalb der erstellten dynamischen Expression. Die Abbildung 7.2 stellt anhand eines Beispielobjektes⁹⁶ die, durch die Vertex-Translationsformel, deformierten Objektkanten dar.

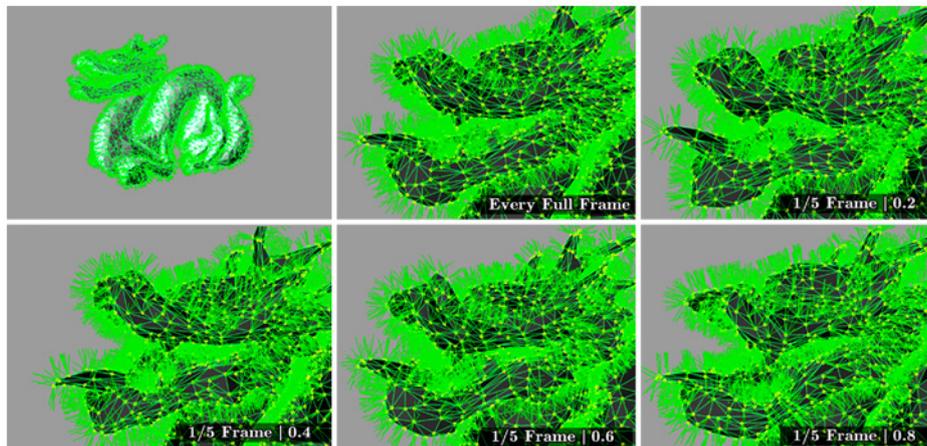


Abbildung 7.2 Objektnetzverformung anhand der Vertex-Translationsformel. Das Bild zeigt die jeweiligen Vertexpositionen zu Beginn des Effekts und während des Einsatzes der Vertex-Translationsformel als Momentanaufnahmen der einzelnen Subframes. Die gelben Punkte repräsentieren hierbei die einzelnen Vertices des Objektes und die grünen Linien stellen die dazugehörigen Normalen dar. (Quelle: Eigene Darstellung).

2. Artist-eingebundene Interfaceerstellung

Die Entwicklung eines Artist-eingebundenen Interface zur Artist-freundlichen Steuerung des pre-render Effekts, wird in der Prozedur `d_PAINTWindow()` realisiert. Wie aus der nachfolgenden Abbildung 7.3b ersichtlich ist, besteht das gesamte Interface aus 4 *Abschnitten*.

Kamerawahl. In diesem Abschnitt erfolgt die *Auswahl einer Szenenkamera* zur Erzeugung des Effekts durch den Artist. Für die Kalkulation

⁹⁵Der vollständige `d_PAINT` Programmcode findet sich unter Anhang A wieder.

⁹⁶<http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>

des Effekts werden lediglich alle Objekte innerhalb des spezifischen Sichtfensters der gewählten Kamera berücksichtigt. Weitere verwendete Prozeduren für diesen Abschnitt sind `camView()`, `loadAllCams()` und `cameraListUpdate()`.

Effektparametereinstellung. Der 2. Abschnitt dient zur Effektsteuerung und stellt somit zugleich den *Hauptabschnitt* der gesamten Benutzeroberfläche dar. Hier ist es dem Artist möglich den *Übergangsbereich* und die *maximale Stärke des Effekts* festzulegen. Die verwendeten Prozeduren für die Darstellung des Übergangsbereichs für den Effekt sind `paintGates()`, `paintGatesShow()` und `paintGatesHide()`. Zur Bestimmung des Start- und Endpunktes des Übergangsbereichs werden die beiden Prozeduren `movePaintGatesDistance()` und `movePaintGatesRange()` verwendet.

Effektberechnung. Dieser Abschnitt widmet sich sowohl der automatischen *Kalkulation des Effekts* anhand den Werten aus Abschnitt 2 wie auch der *Darstellung des kalkulierten Effekts*. Die verwendeten Prozeduren hierfür sind `distPaint()`, `render()` und `reset()` sowie die Hauptprozedur `d_PAINT()`.

Leistungsoptimierung. Der 4. Abschnitt dient letztlich der *Performanceverbesserung des Effekts*. Hier ist es dem Artist möglich den kalkulierten Effekt in ein 3D Element mit abzuspeichern und dieses separat zu exportieren, um dadurch die Berechnungszeit zu verringern. Die benötigten Prozeduren sind `bake()`, `bakingAnimation()`, `editKeys()` und `export()`.



(a)



(b)

Abbildung 7.3 Interfaces. Bild (a) zeigt die von den WDAS entwickelte GUI zur Steuerung von DeepCanvas. Das Bild (b) zeigt das entwickelte Interface von `d_PAINT`. Es besteht aus 4 Abschnitten, welche zur Steuerung des Effekts von oben nach unten verwendet werden. (1) Kamerawahl. (2) Effektparametereinstellung. (3) Effektberechnung. (4) Leistungsoptimierung. (Quelle: [SIGGRAPH03], Eigene Darstellung).

Abschließendes. Das vorliegende Kapitel handelte über die prototypische Implementierung der, im angepassten Konzept auf Seite 118 als pre-render Effekt bezeichnete, Teilkomponente. Im Rahmen dieser Implementierung wurde zum einen auf die Entwicklung einer automatischen Erzeugung von einer losen Objektkantendarstellung eingegangen. Hierzu diente eine Malanleitung von Boddy-Evans [Boddy-Evans_b] für ein analog gemaltes Bild im expressionistischen Stil als Vorlage für die Adaption der nach [Botkin] eingesetzten Methode zur Erzeugung dieser speziellen Kantentoptik, um letztlich einen eigenen Algorithmus zu erstellen. Zum anderen wurde auf eine Artist-eingebundene Effektsteuerung in Form einer Artist-freundlichen Interfaceerstellung eingegangen, um dem Teilaspekt einer direkten Einbeziehung des Artist auf Seiten des Erstellungsprozesses gerecht zu werden.

Der implementierte Prototyp erlaubt hierbei dem Artist über das erstellte Interface, dass 2 der unter Abschnitt 1.2.1 aufgeführten ermittelten Beeinflussungsfaktoren für das Bildaussehen – *Pinselfstrichlänge* und *Pinselfdruckstärke* – direkt über die selbst bestimmte Effektstärke gesteuert werden können. Diese beiden Faktoren, verkörpert innerhalb der GUI durch diesen Stärkewert, legen unter anderem die Optik der Objektkanten fest. Auf diese Weise können verschieden stark ausgeprägte lose Kantendarstellungen bei einem 3D Element erzielt werden, die – im gewissen Grad – zur Erreichung von unterschiedlichen analogen Malstilen eingesetzt werden können. Ein zusätzlicher Faktor – *die Malrichtung* – kann ebenfalls nachträglich durch den Artist über Werteanpassungen der, in Gleichung (7.1) stehenden, Variablen *rotationsAchse* und *rotationsGrad* angepasst werden. Um die verschiedenen Maldetailgrade einer Bildkomposition im Artworkstil nachzuempfinden, kann der Artist direkt über das Interface einen Bereich definieren, in welchem die Stärke des Effekts entfernungsbasiert automatisch geregelt wird (Abb. 8.9, S. 139). Diese Eingriffsmöglichkeiten in die automatische Generierung der Objektkanten eines 3D Elements, größtenteils steuerbar über das erstellte Artist-freundliche Interface, geben dem Artist im Rahmen der Möglichkeiten die größtmögliche Kontrolle im Umgang und Erstellung des Effekts.

Das nachfolgende und letzte Kapitel 8 des 3. Teils beschäftigt sich schließlich mit der praktischen Anwendung des angepassten Konzepts (Abb. 6.3) mit der Verwendung sowohl des hierfür entwickelten Prototyps – der pre-render Effekt – zur automatischen Objektkantenerstellung eines 3D Elements sowie die aufgezeigten Teilkomponenten. Dabei dienen die präsentierten visuellen Ergebnisse für einen allgemeinen Machbarkeitsnachweis des angewandten angepassten Konzepts, welcher schließlich in Abschnitt 8.2 selbst zur Validierung des theoretischen Konzepts (Abb. 5.20) verwendet wird.

Listing 7.2 *Code – Fragment* aus der Hauptprozedur `d_PAINT()`

```
proc d_PAINT(string $cameraName)
{
  ...

  for ($each in $shapeNodes)
  {
    ...

    //Dynamische Expression
    //-----

    dynExpression -c -s "startFrame = -2; \r\n saveInitialState -atr position;" $each;

    string $camera = $cameraName;
    string $displace = "cycleCheck -e off; \n vector $pos = worldPosition; \n
      vector $camPos = `xform -q -ws -t " + $camera + "`; \n
      vector $dist = <<($camPos.x-$pos.x), ($camPos.y-$pos.y),
      ($camPos.z-$pos.z)>>; \n
      float $magDist = mag($dist); \n float $fac = smoothstep(" +
      $planeDistBegin + ", " + $maxDist + ", $magDist); \n\n
      if ($magDist>=" + $planeDistBegin + "){ \n" + $each +
      ".displaceFactor=$fac; \r\n
      position=position0+dnoise(rot(position0,<<0,0,1>>,time*25
      *deg_to_rad(360)))*displaceFactor*" + $userFac + "}; \n
      else{ \r\n position=position0;}";
      string $expr= `dynExpression -rad -s $displace`;

    dynExpression -rad -s $displace $each;
  }
  ...
}
```

(Quelle: Eigene Darstellung).

Kapitel 8

Praktische Anwendung. Validierung der Konzepte

Das vorliegende Kapitel widmet sich der Validierung der beiden entwickelten Konzepte (Abb. 5.20 und Abb. 6.3). Zunächst werden die einzelnen verwendeten *Teilkomponenten des angepassten Konzepts* auf ihre *allgemeine Verwendbarkeit* anhand von den visuellen Resultaten (S. 135ff.) geprüft. Die prinzipielle Machbarkeitsprüfung des aufgestellten *theoretischen Gedankenmodells* erfolgt schließlich durch eine *indirekte Validierung* anhand des angepassten Konzepts. Die Prüfung wird dabei in *2 Teilschritten* durchgeführt. Im ersten Schritt (Abschnitt 8.1) werden zunächst die eingesetzten Teilkomponenten getrennt von einander betrachtet und separat auf die prinzipielle Durchführbarkeit anhand der aufgezeigten visuellen Resultate geprüft, um dann im nächsten Schritt (Abschnitt 8.2) letztlich das theoretische Gedankenmodell indirekt anhand den vorangegangenen Teilüberprüfungen zu verifizieren.

8.1 Validierung der Teilkomponenten des angepassten Konzepts

Für die Objektformerstellung wird, wie das Schaubild 6.3 auf Seite 118 aufzeigt, für den praktischen Einsatz das Sketch-Based Modeling verwendet. Im Bereich der Objektmaterialitätserstellung wird zum einen die Texturierung über ein 3D Texture Painting [3DCoat] vorgenommen – im Schaubild als „*Paint to Model*“ [Daily, S. 297] bezeichnet – und zum anderen wird der entwickelte Prototyp `d_PAINT` – im Schaubild als *pre-render Effect* bezeichnet – zur Erstellung der speziellen Objektkantendarstellung des malerischen Artworkstils eingesetzt.

SBM. Durch die Objektmodellierungsart des Sketch-Based Modeling kann der Artist anhand eines 2D Malprozesses (Silhouettenvorgabe) auf eine aktive, künstlerische Anteilnahme ein 3D Element ohne technische Arbeitsschritte erzeugen. Die aus der Silhouettenzeichnung gleichzeitig im Hintergrund erstellten computergenerierten 3D Objekte sind vollwertige polygonale Objektnetze (Abb. 5.5c, S. 100), welche den Vorstellungen des Artist entsprechen und im Anschluss texturiert werden können. Zur Vali-

dierung dieser Lösungskomponente wurde Teddy⁹⁷ von [Igarashi99] eingesetzt, um die dargestellten Bäume in den Abbildungen 8.1 und 8.2 zu realisieren. Aufgrund einer, aus sämtlichen Perspektiven, reinen zweidimensionalen Objektnerzeugung durch den Artist ergibt sich eine kohärente und natürliche Bildästhetik bei der Objektformdarstellung. Dadurch erscheint das Objekt nicht als steril, präzise modelliert, sondern es besitzt alle Ungleichmäßigkeiten aus der händisch erstellten Silhouettenzeichnung. Dies wird durch die Resultate aus der praktischen Anwendung in den Abbildungen 5.5c auf Seite 100 und 8.2a bildlich belegt.

Jedoch weist diese 2D-basierte Modellierungsart im Bereich der arbiträren Objekterzeugung in der praktischen Anwendung eine *Restriktion* auf. So können damit *nicht alle Objektnetzformen* problemlos erstellt werden. Aus diesem Grund lassen sich lediglich Objekte mit weichen Kanten in der praktischen Anwendung ohne Schwierigkeiten erstellen. Dieses Manko ist auf das verwendete SBM Programm zurückzuführen. Darum dienen zur Evaluierung dieser Teilkomponente ausschließlich die organischen Baumobjekte. *Wird das vorliegende Manko für die Prüfung einer generellen Verwendbarkeit nicht weiter berücksichtigt, so ist die Erstellung eines kohärenten dreidimensionalen Objektnetzes mit der Objektform eines gemalten Gegenstandes im Artworkstil prinzipiell möglich.*

3D Texture Painting. Wird die Objekttexturierung über ein 3D Texture Painting betrachtet, werden Unregelmäßigkeiten in der Objektoberflächenfarbe festgestellt, wie die aufgezeigten Resultate aus den Abbildungen 8.5a und 8.6a darlegen. Diese Texturunstimmigkeiten rühren von der 2D-basierten Möglichkeit einer direkten Objektbemalung durch den Artist her und entsprechen daher denen wie sie auch bei zweidimensionalen handgemalten Bildern vorgefunden werden. Durch die direkte Beteiligung des Artist kann dieser, gegenüber anderen Texturierungsarten, seine schöpferische Kraft gezielt einsetzen, um eine Objektmaterialität im Artworkstil zu erzeugen. *Dies zeigt, dass diese Art der Texturierung prinzipiell zur Erstellung einer natürlichen Objektoberfläche eingesetzt werden kann, um ein 3D Element in einem Artworkstil darzustellen.*

d_PAINT. Wie anhand den Abbildungen 8.4a–c aufgezeigt wird, werden mit dem Prototyp Objektformen erzeugt, welche keine geschlossenen Objektkonturen besitzen. Die Abbildung 8.8 zeigt ein digital handgemaltes Artworkbild eines Radfahrers mit Tasche und seinem Fahrrad. Dieses Bild diene als visuelle Grundlage der zu erreichenden Bildästhetik für die gesamte praktische Anwendung des Prototyps, da es dem in der Arbeit aufgezeigten malerischen Artworkstil (vgl. Abb. 1.2b, S. 13) entspricht.⁹⁸ Diesem Artwork stehen 2 berechnete 3D Elemente gegenüber, welche mit

⁹⁷Weitere Sketch-Based Modeling Programme sind z.B. FiberMesh und ShapeShop. Siehe hierzu [Nealen, Schmidt].

⁹⁸Siehe [Loegler].

der Zuhilfenahme des Prototyps entstanden sind. Beide 3D Elemente besitzen, anstelle einer präzisen Darstellung der Objektkanten (siehe z. B. Abb. 8.5a), die charakteristische Kantendarstellungsform eines malerischen Artworkstils, welche denen im vorgegebenen Artworkbild rein formal entsprechen, wie die markierten *Detailbereiche* im direkten Vergleich darlegen. Werden die Ergebnisse des Prototyps direkt mit einem Resultat einer hybriden Methode von den Walt Disney Animation Studios verglichen, so zeigt sich, dass damit eine ähnliche Objektdarstellung erreicht wird (vgl. Abb. 8.5c mit Abb. 5.6c). Die, über das zur Materialitätserzeugung eingesetzte 3D Texture Painting, entstehenden Unregelmäßigkeiten sowie die erkennbaren entstehenden einzelnen Farbflächen in der handgemalten Textur werden als Nebeneffekt durch die spezielle Translation der einzelnen Vertices über die entwickelte Vertex-Translationsformel (Gl. (7.3), S. 124) verstärkt dargestellt (Abb. 8.5c und Abb. 8.6d). Zur Verdeutlichung stellt die Abbildung 8.7 in einer Detailaufnahme ein synthetisch erzeugtes Bild einer analogen Malerei gegenüber. Wie dort zu sehen ist, ähnelt der entstehende berechnete Objekttexturstil mit seinen unterschiedlichen Farbnuanceflächen, welche für den malerischen Stil charakteristisch sind, dem analog gemalten Objekt. Wird der malerische Stil aus einer Bildkompositionssichtweise heraus betrachtet, zeigt sich, dass die Objekte im Hintergrund lediglich zu charakterisierenden Farbflächen verschmelzen und dadurch die Farbnuanceflächen das Bild dominieren (z. B. Abb. 1.3b, S. 15). Wölfflin schrieb über diese Darstellungseigenschaft des malerischen Stils:

„Ein Baum, aus einiger Entfernung gesehen, wird stets seine Blätter zu einem bloßen Masseneindruck zusammenfließen lassen. (...) Entscheidend ist nicht, ob das einzelne Blatt am Baum sichtbar wird oder nicht, sondern daß die Formel, mit der man das Blattwerk charakterisiert, eine klare und gleichmäßig fassbare Formel sei.“ [Wölfflin, S. 213].

Die Abbildung 8.9 zeigt die Resultate des Prototyps, welcher diese Eigenschaft bildlich ebenfalls am Beispiel von Baumblättern anhand von verschiedenen, entfernungsabhängigen, Details darstellt. Die unterschiedlichen Detailstufen (engl. level of detail, kurz: LOD) der Blätterdarstellungen ergeben sich hierbei aus dem Übergangsbereich, welcher der Artist bei der Verwendung des Prototyps über das dafür erstellte Interface steuern kann (siehe Abb. 7.3b). Für eine dreidimensionale Nutzung des Prototyps zur Erzeugung der malerischen Objektkanten tritt, wie die Abbildung 8.10 aufzeigt, aufgrund einer zur Pinseldruckstärkeimitation intern genutzten Rendering Einstellung – Motion Blur (dt. Bewegungsunschärfe) – eine Schwierigkeit auf. Aus diesem Grund wurde zusätzlich für den prak-

tischen Einsatz eine Lösung⁹⁹ entwickelt, welche das Problem eliminiert, um den Prototyp auch für Computeranimationsfilme verwendbar zu machen. Werden die erzeugten Objektkanten im \mathbb{R}^3 untersucht, wird festgestellt, dass trotz der Betrachtung aus unterschiedlichen Perspektiven die Kantenform, aufgrund der entwickelten Translationsvorschrift für die Vertices, beibehalten wird (Abb. 8.11). *Für eine prinzipielle Verwendbarkeit, bedeutet dies, dass der entwickelte Prototyp für die Erzeugung der charakteristischen Objektkanten des malerischen Stils sowohl für eine zweidimensionale Standbilderzeugung wie auch für eine dreidimensionale Computeranimationsanwendung verwendet werden kann.*

8.2 Überprüfung der Machbarkeit des theoretischen Gedankenmodells

Wie die aufgezeigten Überprüfungen der Teilkomponenten des angepassten Konzepts (Abb. 6.3) ergaben, können diese prinzipiell für eine Objekterzeugung im angestrebten malerischen Artworkstil eingesetzt werden. Für die Überprüfung des theoretischen Gedankenmodells werden diese Ergebnisse genutzt, um die im theoretischen Gedankenmodell enthaltenen Teilkomponenten (Abb. 5.19) zu evaluieren.

Objektformerzeugung. Da im Bereich der Objektformgebung für den praktischen Ansatz keine Veränderung vorgenommen wurde, ist die bereits validierte Teillösung des Sketch-Based Modeling gleichzeitig für das theoretische Gedankenmodell mitgeprüft und kann daher ohne eine weitere Beurteilung übernommen werden.

Objektmaterialitätserzeugung. Die Teilkomponente der Materialitätserzeugung stellt im theoretischen Gedankenmodell die entwickelte GOT Texturierungsmethode dar. Die *Funktionsweise* dieser Texturierung besteht aus einer *Kombination* von einem *3D Texture Painting* für die Aufbringung der allgemeinen Objektflächenfarbe und der *Prototyp* speziell für die Erzeugung der Objektkanten. Im Bereich der Objektflächenfarbe wurde bereits das eingesetzte 3D Texture Painting geprüft und als validiert angesehen. Aus diesem Grund bedarf es an dieser Stelle keiner erneuten Überprüfung.

Werden die Kantendarstellungen des Prototyps mit der GOT Variante verglichen, so zeigt sich, dass im Fall der theoretischen GOT Variante der Artist die Farbe über die Objektgrenzen eines 3D Modells auf 2D Texturkacheln aufträgt, welche im \mathbb{R}^3 stets an den gleichen Objektpositionen verankert sind und die gleichen Ausrichtungen beibehalten (Abb. 5.15). Dadurch erzeugt der Artist selbst die unregelmäßige Kantendarstellung – Position und Farbe. Im Gegensatz dazu berechnet der in der praktischen

⁹⁹Siehe hierzu `./Thesis/mi_Tools/_sceneParser` auf der Daten-DVD.

Anwendung eingesetzte Prototyp anhand zum einen der Vertex-Translationsformel (Gl. (7.3)) eine neue aber fixe lokale Vertex Position (Abb. 7.2), welche für das Aussehen der Objektkanten mit verantwortlich ist. Zum anderen wird über die verwendete Pinseldruckstärkeimitation die Farbgebung der Ränder bestimmt. So zeigt sich, dass bei beiden Erstellungsmethoden die unregelmäßig dargestellten Objektkanten aus sämtlichen Perspektiven im \mathbb{R}^3 an ihren jeweiligen lokalen Erstellungspositionen auf dem Objekt erhalten bleiben. Der Unterschied besteht hierbei darin, dass der Prototyp die Objektkanten über eine algorithmische Berechnung automatisch erzeugt, ohne dass der Artist das Kantenaussehen oder die Kantenposition direkt über eine aktive, künstlerische Anteilnahme bestimmt, wie es bei der GOT Variante der Fall ist. Dies bedeutet für das *Kantenresultat* selbst, dass dieses jedoch bei beiden Erstellungsmethoden formal *identisch* ist – bezogen auf die Farbnuancierung der Ränder, Kantenformen sowie der gleichen Handhabung der Positionierung.

Bei dem entwickelten 2D Texturkachelungsansatz der GOT Variante entstehen betrachtungsbedingt unterschiedliche Darstellungsfälle für die einzelnen Texturkachelflächen an den Objekträndern (siehe S. 111). So können sich dort die einzelnen Texturkachelflächen überschneiden. Wenn dabei die Normale einer der sich schneidenden Flächen zum Betrachter weist, ist lediglich diese Texturkachelfläche für den Betrachter sichtbar (1.–3. Fall). Liegen die Normalen der sich schneidenden Texturkachelflächen zwischen $>0^\circ$ und $<90^\circ$ zum Betrachter, kann es dazu kommen, dass gleichzeitig mehrere Texturkachelflächen sichtbar werden (4. Fall). Diese Texturkacheldarstellungen führen zu visuellen Kantendarstellungsfehlern. So besteht die eigentlich aus dem Malprozess entstandene *lose Objektkante* an dieser Stelle aus *mehreren Kantendarstellungen* aus den sich überschneidenden Flächen. Dies bedeutet für einen Einsatz in Computeranimationsfilmen, dass es hierbei betrachtungsbedingt zu *Kantendarstellungsungenauigkeiten* kommt. Jedoch können diese Ungenauigkeiten der menschlichen Unvollkommenheit zugeschrieben werden, da im Folgenden angenommen wird, dass diese vom Betrachter – je nach Schwere des Darstellungsfehlers, bedingt durch die Anzahl der sich überlappenden Texturkachelflächen – nicht bewusst als Fehler wahrgenommen werden. Begründet wird diese Annahme dadurch, dass bei geringen Kantendarstellungsüberlappungen die auftretenden Artefakte sich nicht von der Gesamtheit der malerischen Objektmaterialitätsdarstellung abheben und dadurch zu vernachlässigen sind, wie ebenfalls der Prototyp bestätigt (Abb. 8.12).

Aufgrund dieser begründeten Annahme und der Darlegung für die identischen Endresultate der beiden Methoden, gilt die prinzipielle Verwendbarkeit der GOT Variante auf eine indirekte Weise als bestätigt. Daraus ergibt sich, dass anhand der Verwendung der GOT Variante ein 3D Element eine natürliche Darstellung aufgrund des direkten Einbezugs des

Artist erhält, welche zudem visuell kohärent im \mathbb{R}^3 ist. Durch die aufgestellte Argumentationskette und die daraus indirekte Validierung der theoretisch entwickelten Teilkomponenten zur Materialitätserzeugung (GOT), lässt sich das *gesamte theoretische Gedankenmodell* (Abb. 5.20) *selbst validieren und als prinzipiell verwendbar ansehen*.

8.3 Abschließendes

Dieses Kapitel lieferte für den entwickelten Lösungsansatz (Abb. 5.20, S. 114) den Machbarkeitsnachweis. Dabei wurde zunächst der, für den Praxiseinsatz, angepasste Entwurf (Abb. 6.3, S. 118) validiert, indem die einzelnen Komponenten auf ihre Verwendbarkeit zur Erstellung und Darstellung von 3D Elementen in einem Artworkstil untersucht wurden. Hierzu dienten die auf den folgenden Seiten präsentierten visuellen Ergebnisse. Wie diese aufzeigten, können die verwendeten Teilkomponenten dazu eingesetzt werden, um den malerischen Artworkstil sowohl in der Objektform wie auch in der Objektmaterialität eines 3D Elements zu erreichen. Anschließend erfolgte über eine indirekte Validierung anhand von den bewerteten Ergebnissen der einzelnen Teilkomponenten aus dem angepassten Konzept die Überprüfung der Verwendbarkeit des theoretischen Gedankenmodells. Die folgende Schlussbetrachtung dieser Arbeit erörtert schließlich sowohl das dargelegte Ergebnis in Hinblick auf die zentrale Fragestellung der Thesis wie auch auf die zugrunde liegenden aufgestellten Hypothesen (S. 5). In diesem Kontext wird eine kritische Einschätzung der eigenen Arbeit vorgenommen und zudem Ausblicke und Alternativen zu dem aufgezeigten Lösungsansatz geliefert. Der Anfang der Schlussbetrachtung fasst die vorliegende Arbeit kurz zusammen und stellt nochmals den Motivationsgrund zur Bearbeitung dieser Thesis vor.



Abbildung 8.1 Testobjekterstellung anhand des Sketch-Based Modeling. Die Abbildung zeigt das finale Rendering zu der in Abb. 5.5 auf Seite 100 aufgezeigten Baumerstellung anhand des Sketch-Based Modeling. Der Baum wurde anschließend über ein 3D Texture Painting bemalt und mit der Zuhilfenahme des Prototyps berechnet. (Quelle: Eigene Darstellung).



(a)

(b)

Abbildung 8.2 Finale Bäume aus der praktischen Anwendung. Das Bild (a) zeigt den anhand des Sketch-Based Modeling entstandenen Baum (ohne Blätter). Das Bild (b) stellt den Baum mit Blättern in verschiedenen Jahreszeiten dar. Für die Erzeugung der Baumkronen wurde ein eigens dafür entwickeltes Tool¹⁰⁰ eingesetzt. (Quelle: Eigene Darstellung).

¹⁰⁰Siehe hierzu `./Thesis/mi_Tools/_treetopGen` auf der Daten-DVD.

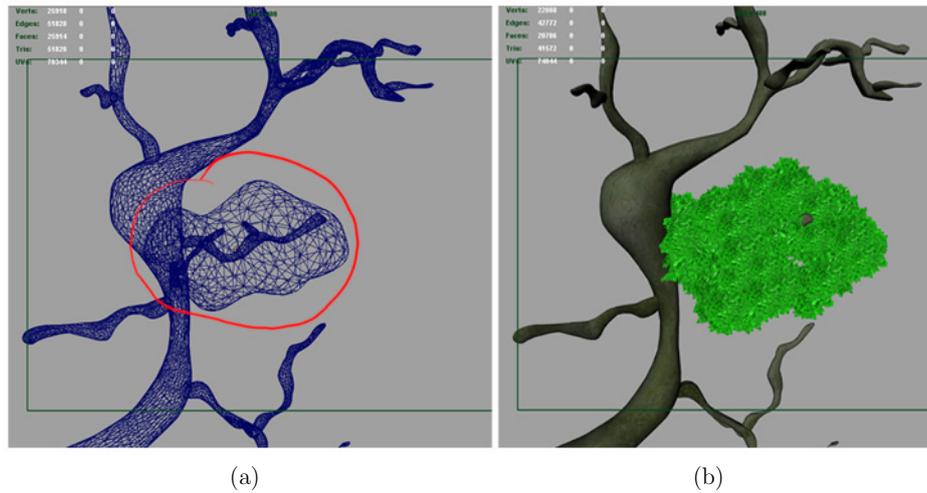


Abbildung 8.3 Artwork-gerichtete Baumkronenerzeugung. Das Bild (a) stellt ein Screenshot aus dem Erstellungsprozess der Baumkrone aus der verwendeten 3D Software dar. Die aus einem Sketch-Based Modeling erstellte Baumkronenform (rot umrandet) dient hierbei als Begrenzungsobjekt für die Blätter. Das Bild (b) zeigt den Baum mit den an der Position des Begrenzungsobjektes entstandenen Blättern. (Quelle: Eigene Darstellung).

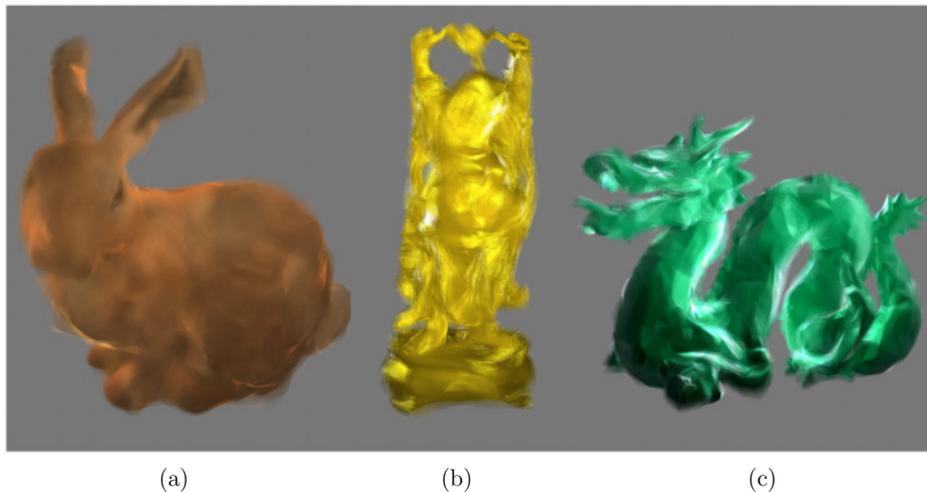


Abbildung 8.4 Painterly Rendering von Testobjekten anhand d_PAINT. Die Abbildung zeigt 3 Stanford Standardobjekte¹⁰¹, welche anhand des erstellten Prototyps ein Erscheinungsbild eines malerischen Artworkstils aufweisen. (a) Bunny. (b) Happy Buddha. (c) Dragon. (Quelle: Eigene Darstellung).

¹⁰¹ <http://graphics.stanford.edu/data/3Dscanrep/>

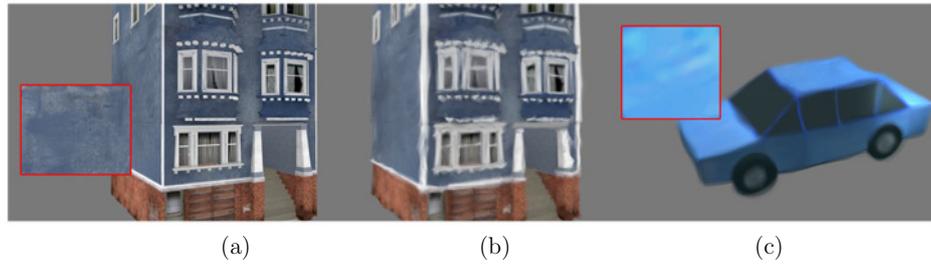


Abbildung 8.5 Direkter Vergleich eines Standard Rendering mit Prototypergebnis. Das Bild (a) stellt ein 3D Objekt als Standard Rendering dar. In der Abbildung dominieren die präzise berechneten Kantendarstellungen. Das rote Viereck zeigt ein Ausschnitt der handgemalten Textur. (b) Das gleiche Objekt berechnet mit Zuhilfenahme des Prototyps. Hierbei sind die Objektkanten in ihrer Form aufgebrochen und als unregelmäßige, lose Kanten dargestellt. (c) Weiteres Beispielobjekt aus der praktischen Anwendung. Das rote Viereck stellt eine vergrößerte Materialitätsdarstellung dar. (Quelle: Eigene Darstellung).

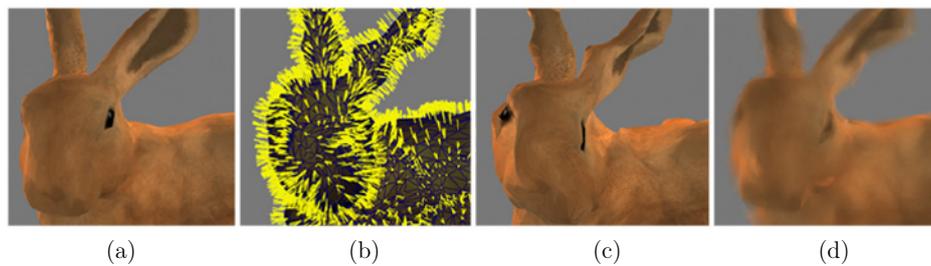


Abbildung 8.6 Darstellung der Funktionsweise des Prototyps. Das Bild (a) zeigt das Stanford Bunny als Standard Rendering. Durch die präzise Berechnung weisen die Objektträger eine klare, geschlossene Form auf. Die Oberflächenfarbe, aufgetragen durch ein 3D Texture Painting, wirken nach der Berechnung zwar natürlich aber dennoch zu *hart*, da der Berechnungsvorgang die ursprüngliche Textur zu präzise darstellt. Das Bild (b) stellt die Normalen der Vertices (gelb) nach der Verschiebung durch die Vertex-Translationsformel (Gl. (7.3)) dar. Das Bild (c) zeigt das dazugehörige deformierte Objektnetz. Das Bild (d) zeigt das finale Painterly Rendering anhand des Prototyps. Durch die Verschiebungen der Vertices sind zum einen die Objektträger nicht mehr als durchgehend dargestellt, sondern weisen die charakteristische Form eines malerischen Stils auf. Zum anderen besteht die Farbgebung aus ineinander übergehenden und sich verschmelzenden Farbflächen. (Quelle: Eigene Darstellung).

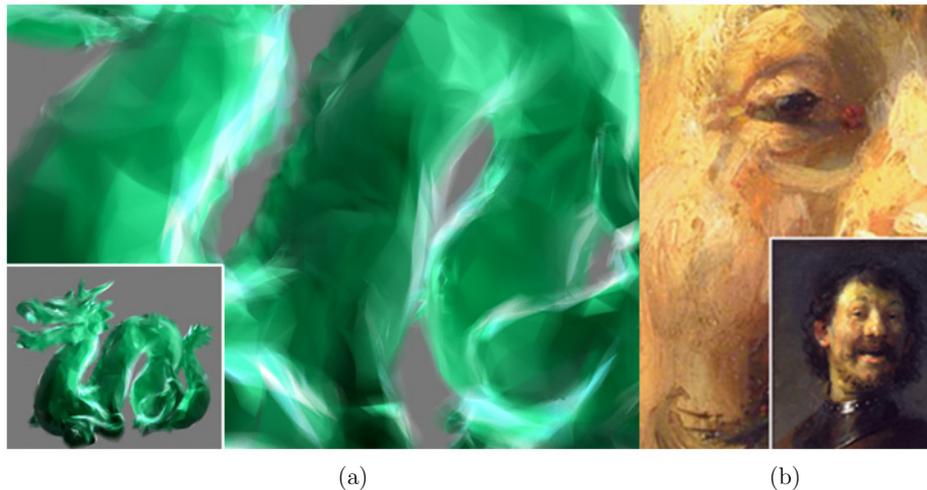


Abbildung 8.7 Vergleich des Prototypenergebnisses mit einer analogen Ölbildmalerei. Das Bild (a) zeigt das computergenerierte Rendering eines 3D Objektes mit der Zuhilfenahme des Prototyps. Das gegenüberstehende Bild (b) zeigt das Ölbild in der Impasto Technik. Die Detailaufnahme zeigt, dass die einzelnen entstehenden Objektfarbflächen des Rendering ähnliche Merkmale wie das analoge Bild aufweisen. Durch die verwendete Vertex-Translationsformel (Gl. (7.3)) wird der Eindruck der sich überlagernden Farbflächen, entstanden durch das 3D Texture Painting, zusätzlich verstärkt. (Quelle: Eigene Darstellung).

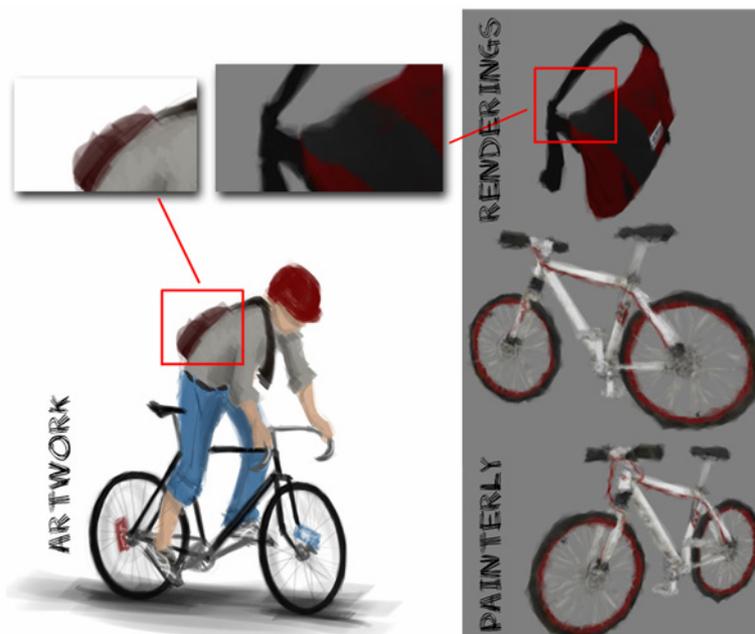


Abbildung 8.8 Vergleich des Prototypenergebnisses mit einem Artwork im malerischen Stil. Das aufgezeigte Artwork dient als Basis für das zu erreichende Erscheinungsbild anhand des Prototyps. Wie die Detailaufnahme des ausgewählten Bereichs (rotes Viereck) im Artwork belegt, entsprechen die Kantenresultate (Farbnuancierungen, Kantenformen) des Randbereichs der gemalten Tasche denen des computergenerierten 3D Objektes. (Quelle: [Loegler], Eigene Darstellung).

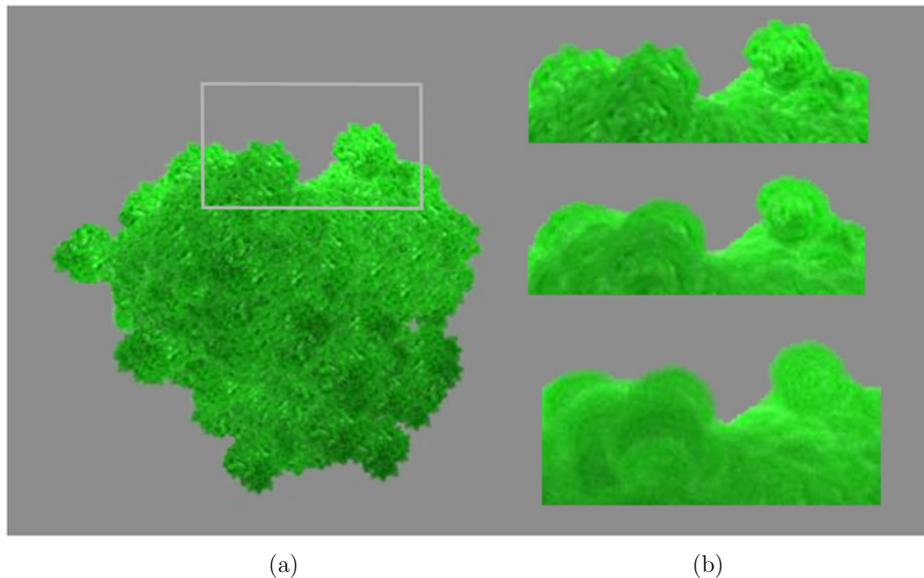


Abbildung 8.9 Detailstufendarstellung am Beispiel einer Baumkrone. Das Bild (a) zeigt eine erstellte Baumkrone. Das Bild (b) zeigt in einem Detailausschnitt (graues Viereck in (a)) verschiedene, entfernungsbedingte Blätterdarstellungen. Hierbei verschmelzen die Blätter mit zunehmender Entfernung zu ineinander übergehenden Farbflächen, welche letztlich die Blätterdarstellung dominieren. In der praktischen Anwendung tritt diese Eigenschaft innerhalb des, durch den Artist festgelegten, Übergangsbereichs auf. (Quelle: Eigene Darstellung).

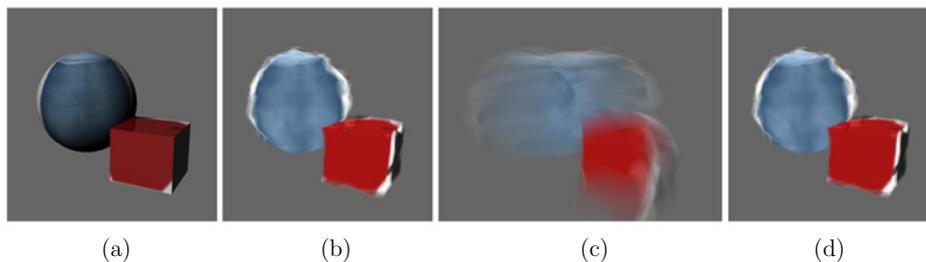


Abbildung 8.10 Problematik der Prototypnutzung in einer 3D Anwendung. Die Abbildung zeigt die sich ergebende Problematik, hervorgerufen durch die Verwendung des Motion Blur, bei der Pinseldruckstärkeimitation für die Farbnuancierungen der Objektränder. Bild (a) zeigt ein Standard Rendering einer Testszene. Das Bild (b) zeigt ein Rendering mit der Zuhilfenahme des Prototyps bei statischen Objekten und Kamera. Wie das Bild (c) darstellt, kommt es bei einer dreidimensionalen Verwendung – Objekte und Kamera sind in Bewegung – des Prototyps zu erheblichen Darstellungsfehlern im Bereich der gesamten Objektdarstellung. Die entwickelte Lösung behebt, wie das Bild (d) aufzeigt, dieses Problem, sodass der Prototyp für eine dreidimensionale Nutzung eingesetzt werden kann. (Quelle: Eigene Darstellung).

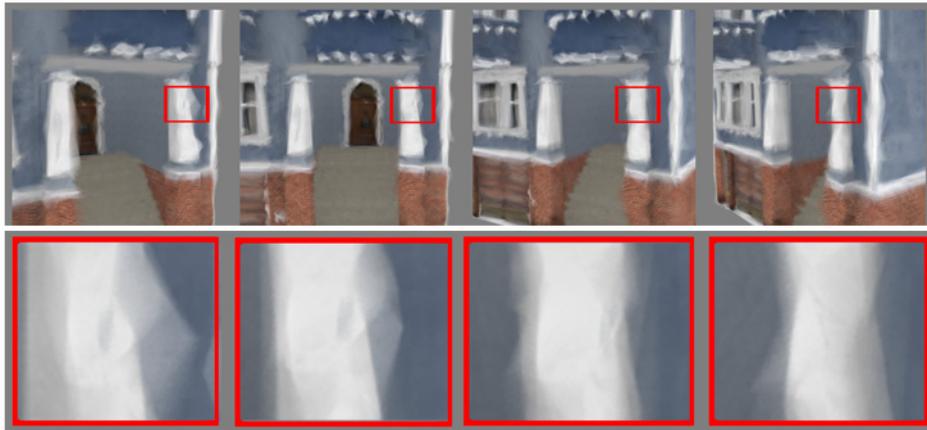


Abbildung 8.11 Dreidimensionale Kantendarstellung anhand des Prototyps. Die Abbildung zeigt eine Objektkante aus unterschiedlichen Perspektiven. Wie daran zu erkennen ist, befinden sich die einzelnen verschobenen Vertices auch in einer dreidimensionalen Anwendung auf ihrer lokalen Position, sodass diese von allen Seiten während eines Perspektivenwechsels visuell auf dieser Position erscheinen. (Quelle: Eigene Darstellung).

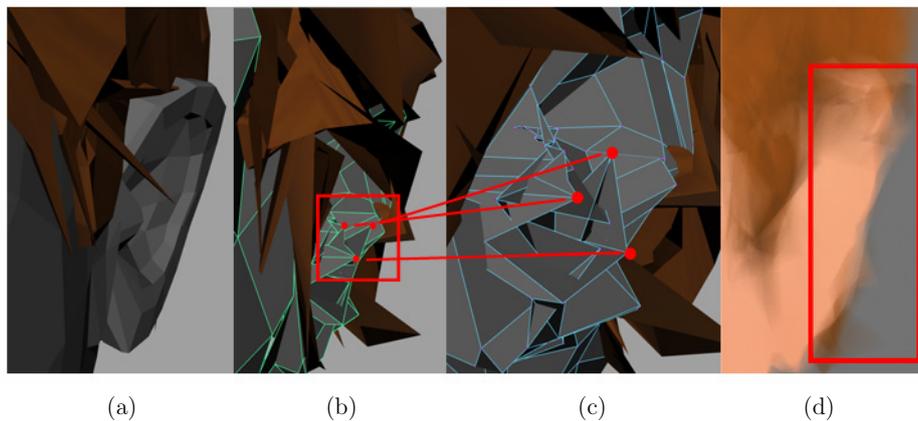


Abbildung 8.12 Kantendarstellungsüberlappungen aufgrund Vertex Positionierung. Das Bild stellt die Überschneidungen einzelner Vertices dar. Das Bild (a) zeigt das 3D Objekt. Bild (b) stellt das deformierte Objektnetz dar. Das Bild (c) zeigt eine Detailansicht einzelner Vertices (rote Punkte). Wie dort ersichtlich ist, kommt es hierbei zu Kantenüberlappungen aufgrund einzelner Polygonüberschneidungen, welche durch die Translation der einzelnen Vertices hervorgerufen wird. Dadurch kommt es zu geringen Darstellungsfehlern (d) – vor allem in einer dreidimensionalen Verwendung – bei der Objektdarstellung. (Quelle: Eigene Darstellung).

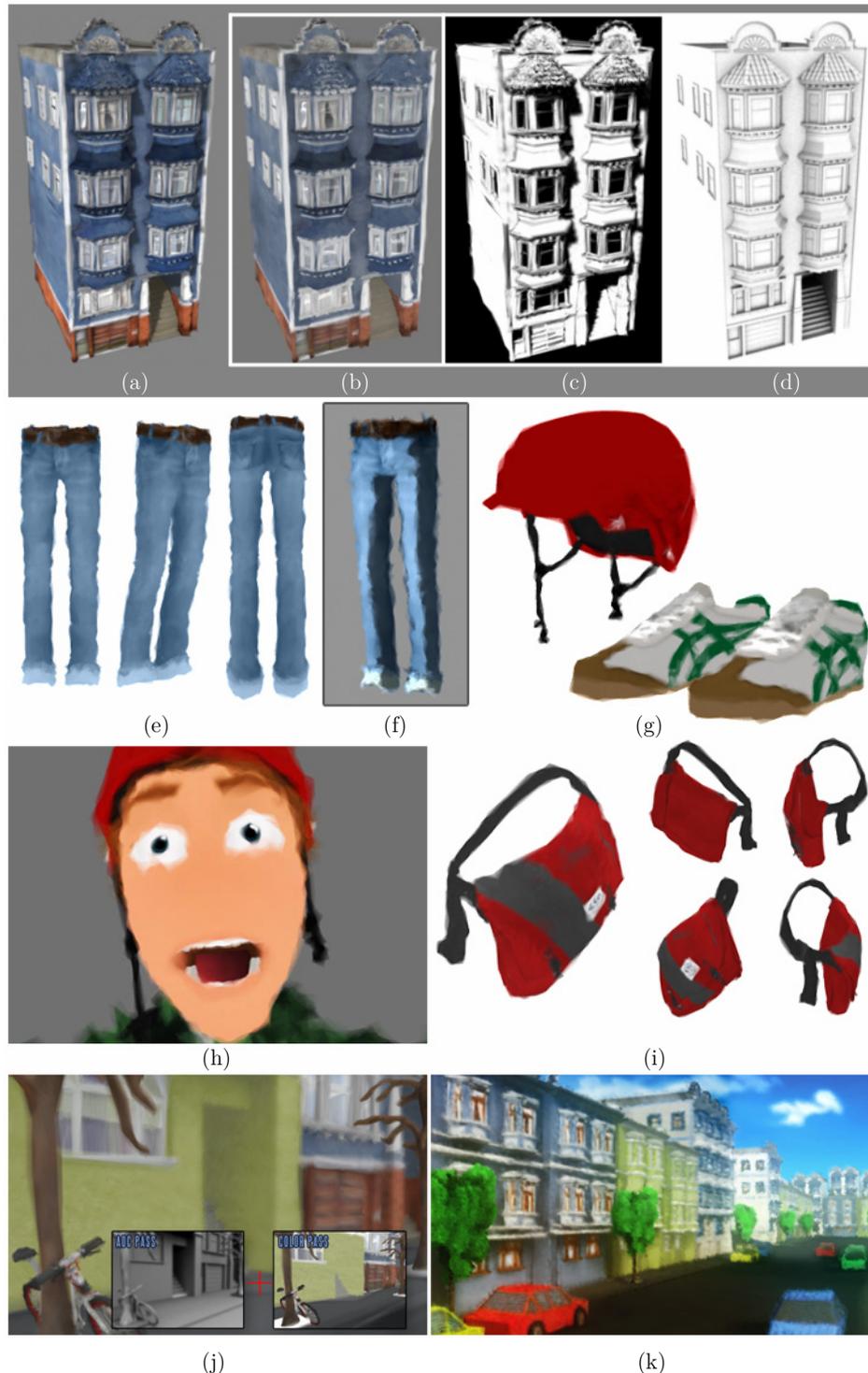


Abbildung 8.13 Objekte im malerischen Artworkstil aus der praktischen Anwendung. Das Bild zeigt einige der, für die praktische Anwendung, verwendeten Objekte. Die Bilder (a)–(d) stellen anhand eines Hauses einige der eingesetzten Render Passes dar. (a) Resultat. (b) Color Pass. (c) Shadow Pass. (d) Ambient Occlusion Pass. Die beiden Bilder (e) und (f) stellen die Hose des Hauptcharakters dar. Hierbei zeigt (e) den Color Pass und (f) das Endresultat. Das Bild (g) zeigt 2 weitere Gegenstände der praktischen Anwendung auf. Das Bild (h) zeigt den Color Pass des Hauptcharakters und (i) die Tasche aus unterschiedlichen Perspektiven. Das Bild (j) stellt einen Straßenzug dar. Hierbei wurde das finale Bild aus den beiden abgebildeten Passes (kleinere Abbildungen) erstellt. Das Bild (k) zeigt ein Bild aus der finalen Bildersequenz. (Quelle: Eigene Darstellung).

Schlussbetrachtung

Artist-eingebundene Erstellung von nicht-fotorealistischen 3D Elementdarstellungen

Die zweidimensionalen nicht-fotorealistischen synthetischen Bildgenesen einer malerischen Bildästhetikerzeugung besitzen, im Gegensatz zu den analog oder digital handgemalten Bildern, in ihren Darstellungen eine als unnatürlich durch den Rezipienten wahrgenommene formale Kontinuität, welche auf die Perfektion des Computers zurückzuführen ist. Aus diesem Grund fehlt bei den computergenerierten malerischen Bildästhetiken die Natürlichkeit in den Darstellungen, welche bei handgemalten Bildern in der Unregelmäßigkeit – bedingt durch die Unvollkommenheit des Menschen – liegt und durch welche die Bilder ihre einzigartige optische Qualität erhalten. Speziell für eine dreidimensionale Verwendung einer natürlichen Malstilimitation ergibt sich zusätzlich eine weitere Schwierigkeit. So muss eine kohärente Bildästhetik der 3D Objektdarstellungen für alle Perspektiven vorliegen, um sie für einen Computeranimationsfilm einsetzen zu können. Einige Ansätze in der automatisch erzeugten natürlichen Bildästhetikerzeugung ermöglichen bereits die Erzeugung und Darstellung von 3D Elementen in einem malerischen Stil über algorithmische Berechnungen. Jedoch ist nach wie vor keine handgemalte natürliche Bildästhetik in den synthetischen Bildern vorhanden. Zudem wird dem Artist durch diese algorithmisch basierten Hilfsmittel – Prothesen – gleichzeitig die kreative Arbeit und die Kontrolle entzogen, da die verwendeten Hilfsmittel nicht dazu eingesetzt werden, um sein kreatives Potential zu vervollständigen, sondern lediglich um computergenerierte Malstildarstellungen erzeugen zu lassen. Dadurch wird der Artist lediglich zu einem Beobachter im Erstellungsprozess und zum Freud'schen „*Prothesengott*“ [Freud, S. 50], der letztlich durch den Einsatz dieser Hilfsmittel im kreativen Erstellungsprozess übergangen wird, da die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel nicht als Ergänzungen zu seiner vorhandenen schöpferischen Kraft eingesetzt werden (siehe Abschnitt 2.3).

Zusammenfassung und Ergebnisse. Diese Tatsachen boten den Anlass für die Untersuchungen im Rahmen dieser Masterthesis. Die dabei zugrunde liegende Forschungsfrage mit der sich diese Arbeit auseinandersetzte, war die Überlegung, wie ein 3D Element unter Einbezug des Artist so erzeugt werden kann, dass in der Verwendung in einer 3D Umgebung die Objektdarstellung eine kohärente Bildästhetik aufweist. Aufgrund der aufgestellten Hypothesen (S. 5) lag der Fokus bei den Untersuchungen

auf einer aktiven, künstlerischen Anteilnahme des Artist in Form einer 2D-basierten Erzeugungweise einer malerischen Artworkstilästhetik. Dieser spezielle Artworkstil, welcher durch seine optische Verwandtschaft zu Farbmaltechniken im Bereich der Pinselmalarten liegt, erhält sein Aussehen durch verschiedene, untereinander verzahnte Beeinflussungsfaktoren. Diese Faktoren rühren zusammengefasst von den unterschiedlich eingesetzten Techniken, Malwerkzeugen und der persönlichen Malfähigkeit her (S. 18ff.). Um in der digitalen Malerei die Ästhetik einer analogen Malerei zu erhalten, wurden einige dieser Faktoren daher versucht zum einen über verschiedene digitale Arbeitswerkzeuge wie z.B. über unterschiedliche Formen der Pinselspitzen und zum anderen über Filter in den 2D Paint Programmen (z.B. [Photoshop, CorelPainter]) nachzuahmen (siehe Abschnitt 1.2.2). Die Walt Disney Animation Studios nutzten diese Entwicklungen aus dem 2D Bereich, um für ihre ersten eingesetzten 3D Elementen in den Zeichentrickfilmen ein gemaltes Aussehen über digitale Malereien zu erreichen. Hierbei verwendeten sie eine, in der Arbeit als hybriden Ansatz bezeichnete, 2D-basierte Methode, bei welcher jedoch der Computer wiederum über Berechnungen den dreidimensionalen Darstellungsprozess des Objektes weiterhin dominierte (siehe Kapitel 4).

Zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage wurde die Darstellungsproblematik in der vorliegenden Arbeit als ein inverses Problem behandelt. Hierdurch wurde die Formulierung eines Lösungsansatzes in Form eines adaptierten Modells nach [Daily] über eine reine formale Betrachtung der Artworkästhetik – im Speziellen lediglich über die Objektform und die Objektmaterialität – ermöglicht (siehe Abschnitt 5.4). Aus diesem Grund wurde zur Erstellung eines berechnungslosen, lediglich auf die schöpferische Kraft des Artist basierten Entwurfs, die 3D Objekterstellung detailliert betrachtet, um zu untersuchen in wie fern der Artist in die einzelnen Prozesse der Objektform- und Objektmaterialitätserstellung beteiligt ist. Die Untersuchungen ergaben, dass gerade im Bereich der klassischen Texturierungsarten der Artist lediglich auf eine technische Weise in den Materialitätserzeugungsprozess involviert wird. Die in der Arbeit aufgezeigten alternativen Texturierungsmethoden [Piponi, Tarini, Benson, DeBry, Lefebvre07] erlauben hingegen größtenteils einen kreativen, künstlerischen Einbezug des Artist. Jedoch können diese nicht für alle arbiträren Objektformen problemlos eingesetzt werden (siehe Kapitel 3). Daher wurde auf Grundlage der gewonnenen Erkenntnisse sowohl aus diesen speziellen theoretischen wie auch praktischen Untersuchungen 5 Artist- und Artwork-bezogene Anforderungen induktiv erstellt (S. 91f.), welche zur Lösungsfindung dienen. Im Bereich der Materialitätserzeugung wurde eine für die vorliegende Arbeit neu entwickelte 2D-basierte Texturierungsmethode für die Anwendung bei arbiträren Objekten als erste Teillösung eingeführt (S. 110). Diese als grenzenlose Objekttexturierung (GOT) zusammengefasste Variante, basiert auf einer 3D Texture

Painting Methode [Hanrahan] mit einem eigenen 2D Texturkachelungsansatz für die Bemalung des Objektes direkt im Screen Space zur Erzeugung der, für den malerischen Artworkstil kennzeichnenden, losen Objektkantendarstellung (siehe Kapitel 1). Da diese Teilkomponente in dieser Form im Rahmen dieser Thesis nicht umsetzbar für eine Validierung war, wurde schließlich ein angepasstes Modell aufgestellt (siehe Kapitel 6). Hierbei wurde die GOT Komponente durch einen computergenerierten Effekt – als `d_PAINT` bezeichnet – ausgetauscht und diesen als Prototyp für einen praktischen Einsatz entwickelt (siehe Kapitel 7). Wie die Untersuchungen weiter aufzeigten, stellt im Bereich der Objektmodellierung die SubDs Modellierung, aufgrund ihrer einfachen polygonalen Erzeugungsweise und ihr NURBS-ähnlichen Charakter, die häufigste verwendete Modellierungsart in der Praxis dar, so auch bei den WDAS. Die Objekterzeugung entspricht allerdings hierbei einer polygonalen Modellierung. Dies bedeutet für den Artist, dass dieser wiederum auf eine technische Weise in den Erstellungsprozess eingebunden wird (siehe Kapitel 3). Um jedoch eine kreative, künstlerische Anteilnahme auf Seiten des Artist auch in den Objektformgebungsprozess zu erhalten, wurde zur Lösungsfindung daher auf eine alternative Modellierungsmethode – das Sketch-Based Modeling (SBM) – als zweite Teillösung im Bereich der Objektformgebung zurückgegriffen. Anhand dieser Modellierungsart ist es dem Artist möglich ein 3D Element über einen 2D Malprozess zu erstellen (siehe Abschnitt 5.2). Die Zusammenführung der beiden Teillösungen lieferte schließlich den finalen Lösungsansatz für die zugrunde liegende Forschungsfrage anhand eines aufgezeigten theoretischen Gedankenmodells (Abb. 5.20, S. 114).

Diskussion. Aufgrund seiner ähnlichen Funktions- und Darstellungsweise des Prototyps zu der 2D Texturkachelungsmethode, stützt sich die Validierung des theoretischen Gedankenmodells im Bereich der Objektkantendarstellung zum einen auf den entwickelten Prototyp selbst und zum anderen auf die reinen visuellen Ergebnisse (Abb. 8.4–8.13, S. 136ff.). Aufgrund dessen, diente der Prototyp in der vorliegenden Arbeit als ein Argument (S. 130), um das ursprüngliche Modell auf eine indirekte Weise zu validieren. Dies bedeutet, dass die in Abschnitt 8.2 vorgenommene Validierung von einer Teilkomponente des theoretischen Gedankenmodells auf indirekten, aber dennoch begründeten, Argumentationen basiert. Hierdurch wurde belegt, dass das entwickelte Modell für die Erzeugung und Darstellung von 3D Elementen im malerischen Artworkstil eingesetzt werden kann, um auf eine aktive und künstlerische Weise eine in einer 3D Umgebung funktionierenden Objektdarstellung zu erhalten. Für die zu Beginn der Arbeit aufgestellten Hypothesen, dass durch einen direkten Einbezug des Artist als schöpferische Kraft in Form einer 2D-basierten Erstellungsweise, eine kontrollierbare und kohärente 3D Elementdarstellung in einem Artworkstil mit seinen zweidimensiona-

len Darstellungsbesonderheiten – bedingt durch die menschliche Unvollkommenheit – erzeugt werden kann, bedeutet dies, dass die zugrunde liegenden Hypothesen durch die aufgezeigte indirekte Validierung des Modells bestätigt werden können.

Der *Vorteil* der entwickelten GOT Texturierungsart gegenüber anderen Texturierungsarten besteht darin, dass durch die Zuordnung der Objektkantendarstellung zur Texturierung *keine hochaufgelösten Objektnetze* verwendet werden müssen, da – wie bei Schmid et al.¹⁰² – eine grobe Objektform (Grundsilhouette) ausreichend ist. Während jedoch bei [Schmid] über kommerzielle Modellierungssoftware diese Geometrie auf eine herkömmliche polygonale Modellierungsart und über Verwendung von Digital Sculpting Programmen (wie z.B. [ZBrush]) erstellt wird, wird in der vorliegenden Arbeit in Anlehnung an Disneys Modellierungsart über Kurven – beschrieben in Abschnitt 4.2 auf Seite 87 – die alternative Sketch-Based Modeling Erstellungsart eingesetzt. Dies bietet den Vorteil gegenüber [Schmid], dass *eine Objektform* auf eine Artwork-gerichtete und zeichnerische Weise relativ *unkompliziert durch den Artist* erstellt werden kann. Ein weiterer positiver Aspekt gegenüber [Schmid], welcher über den Prototyp aufgezeigt wurde, ist die Verwendung der GOT Methode nicht nur im zweidimensionalen Standbildbereich, sondern ebenfalls im *dreidimensionalen Animationsbereich*, da bei sich veränderten Objektnetzen der Darstellungsstil – aufgrund der lokalen, fixen Positionierung der Texturkacheln an den einzelnen Vertices – ebenfalls erhalten bleibt.

Alternativen. Der in der Arbeit beschrittene Lösungsweg zur Beantwortung der zentralen Forschungsfrage, wie ein 3D Element auf eine Artist-eingebundene Weise so erzeugt und dargestellt werden kann, dass die Besonderheit eines zweidimensionalen konturlosen Artworkdarstellungsstils in einer 3D Umgebung erhalten bleibt, stellt jedoch nicht die Einzige und ausschließlich Richtige dar. So wurde die vorliegende Problemstellung in der Thesis als ein inverses Problem behandelt, auf welches der beschrittene Lösungsweg basiert. Aus diesem Grund wurden zur Beantwortung der Forschungsfrage lediglich 2 Aspekte einer formalen Objektbetrachtung berücksichtigt, mit welchen ein Objekt beschrieben werden kann – Objektform und Objektmaterialität. Diese Vorgehensweise wurde in der vorliegenden Arbeit als indirekte Herangehensweise vorgestellt (siehe Kapitel 5, S. 95) und stand unter anderem der direkten Herangehensweise gegenüber – die 3. theoretische Möglichkeit, welche in Kapitel 5 vorgestellt wurde, war die Sprite-Methode. Diese wurde jedoch für einen Computeranimationsfilmeinsatz ausgeschlossen.

¹⁰²Schmid et al. beschäftigten sich in einer unabhängigen und zeitgleichen Forschung mit der Darstellung von gemalt wirkenden 3D Objekten mit der Zuhilfenahme von Scalar Fields. Ein Scalar Field (dt. Skalarfeld) ordnet jedem 3D Wert ein Skalar (Wert) zu. Ihre Forschungen handelten unter anderem ebenfalls über dreidimensionale Objektübermalungen für die Realisierung von Fell- und Haardarstellungen. Vgl. [Schmid].

Alternativ zum aufgezeigten Lösungsweg wäre somit die direkte Herangehensweise über eine 1:1 Übertragung der, in Abschnitt 1.2.1 auf Seite 18 ff. dargelegten, Einflussfaktoren zur allgemeinen Bilddarstellung eines malerischen Stils möglich. Die Beschreitung eines solchen Lösungswegs anhand dieser direkten Vorgehensweise entspricht im Prinzip den, unter Abschnitt 2.3 auf Seite 42 dargestellten, post-processing Techniken. Da bei den algorithmisch basierten Techniken versucht wird jeweils ein spezieller Malstil auf eine computergenerierte Weise zu imitieren, ist die direkte Herangehensweise im Gegensatz zur beschrittenen indirekten Art, bei welcher der Artist lediglich die beiden Objektdarstellungsgrößen selbst beeinflussen kann, nicht universell einsetzbar (siehe Abschnitt 5.1, S. 94) und muss in der Regel für unterschiedliche Malstile angepasst oder neu erstellt werden. Diese Tatsache und das, aus der ersten Hypothese resultierende, Kriterium einer bewussten Artist-eingebundenen Lösung, stellen die Gründe dar, wieso dieser Lösungsweg in der vorliegenden Arbeit nicht beschritten wurde.

Ausblick. Aufgrund des entwickelten Kachelungsansatzes kommt es zu Überschneidungen der einzelnen Texturkacheln. Dadurch ergeben sich derzeit mehrere Fallunterscheidungen für die Darstellung der einzelnen Texturkacheln und je nach Objektnetz fehlerhaft aussehende Kantendarstellungen. Dieses Defizit wurde jedoch in der vorliegenden Arbeit bewusst hingenommen, da – wie in Kapitel 8 begründet – dieses im Allgemeinen dem Rezipienten nicht als solches bewusst wird.

Zur Verhinderung dieser Überschneidungen im finalen Ausgabebild könnte jedoch eine Methode eingesetzt werden, welche sich auf ein Z-Buffering¹⁰³ – auch Depth Buffering (dt. Tiefenspeicher Verfahren) genannt – stützt. Hierfür würden *2 Schritte* benötigt werden. Zuerst müsste eine *Überprüfung* aus der aktuellen Ansicht stattfinden, um herauszufinden welcher Vertex von einer davorliegenden Texturkachelfläche verdeckt wird. Danach könnte vor der eigentlichen Rasterisierung¹⁰⁴ eine *Aufteilung der Texturkachelfläche*, welche mit einem verdeckten Objektpunkt verankert ist, in *2 Teilflächen* erfolgen. Die Trennlinie entspräche hierbei der Schnittkante von den beiden sich orthogonal schneidenden Texturkacheln. Während der Rasterisierung sollte lediglich der sichtbare Teil der *hinteren Teilfläche bis zur Schnittkante* im Ausgabebild *dargestellt* werden. Die *Teilfläche*, welche sich *vor der durchdrungenen Texturkachel befände*, müsste im Gegensatz dazu für die Darstellung im Ausgabebild

¹⁰³Das Z-Buffering ist ein Standardverfahren in der Computergrafik zur pixelweisen Verdeckungsberechnung von Objektpunkten. Hierbei wird der Abstand zum Betrachter pro Pixel als ein Tiefenwert angegeben und intern in ein sog. Depth Map (oder auch als Z-depth image bezeichnet) gespeichert. Siehe hierzu [Okun, S. 893].

¹⁰⁴Unter einer Rasterisierung wird in der Computergrafik die Umwandlung der dreidimensionalen Objektdreiecksflächen im Object Space in den zweidimensionalen Screen Space (Bildschirmkoordinaten) verstanden.

ignoriert werden. Diese erweiterte Methodik zur Kantendarstellung würde bewirken, dass es anhand der Verwendung von den *Tiefeninformationen* durch das Z-Buffering und einer *mathematischen Flächenteilstückberechnung* zu keinen Überschneidungen der Texturkachelflächen im Ausgabebild kommen würde.

Da die Validierung für das entwickelte Modell (Abb. 5.20, S. 114) der vorliegenden Arbeit bisher lediglich auf eine indirekte Weise vorgenommen wurde, ist in einem nächsten Schritt eine *direkte Implementierung* des aufgezeigten Modells denkbar, um die Ergebnisse zu erhärten.

Die Forschungsarbeit befasste sich damit, den Artist bei der Erstellung von 3D Elementen in einem natürlichen gemalten Darstellungsstil durch seine aktive, künstlerische Anteilnahme als Hauptakteur einzusetzen ohne dem Computer die kreativen Entscheidungen zu überlassen, wie es die derzeitigen algorithmisch basierten Ansätze in diesem nicht-fotorealistischen Darstellungsstilbereich praktizieren. Doch im Gegensatz dazu wird gerade in der heutigen beschleunigten Zeit ein immer ökonomischeres Arbeiten angestrebt, welche dieser Kontrolle und der kreativen Freiheit des einzelnen Artist in der Erstellung dieses Stils gegenübersteht. Aus diesem Grund ergeben sich am Ende dieser Arbeit die berechtigten Fragen, *wie viel für einen Computeranimationsfilm selbst durch den Artist erstellt werden muss und welche Arbeiten durchaus ein Computer übernehmen soll*, um ein ökonomisches Arbeiten auf Seiten der Animationsstudios zu ermöglichen und dennoch als Artist die Kontrolle über das Bildaussehen zu behalten. Auf der einen Seite fehlt es den reinen computergenerierten Ansätzen, wie in der Arbeit aufgezeigt wurde, zum einen an Natürlichkeit und zum anderen sind sie zu unflexibel im Umgang mit verschiedenen Stildarstellungen. Auf der anderen Seite verlangt aber gerade die Bildkomposition im Bereich des Computeranimationsfilms einer rein Artist-erzeugten 3D Elementdarstellung für den Artist eine mühselige und zeitaufwendige Arbeit ab. Der Grund hierfür ist, dass hierbei der Artist für jedes Objekt verschiedene Detailstufen anfertigen muss, um das charakteristische Bildkompositionsmerkmal eines malerischen Stils zu erhalten. Daher ist es gerade in solchen Situationen durchaus sinnvoll den Computer für die Erzeugung der Detailstufen als Hilfsmittel für den Artist – als eine Prothese im ursprünglichen Sinn – einzusetzen, wie es beispielsweise der eigene Prototyp (Abb. 8.9, S. 139) oder die Ansätze von [Kalnins, Schmid] aufzeigen. Übertragen auf die Problemstellung dieser Arbeit bedeutet dies, dass *eine Balance* zwischen einer direkten Erzeugung durch den Artist und einer Automatischen durch die Zuhilfenahme des Computers gefunden werden muss. Diese Balance versuchten bereits die Walt Disney Animation Studios, wie die Untersuchungen in Kapitel 4 aufzeigten, in ihren Ansätzen zu finden, um auf eine hybride Art ein möglichst natürliches Bildaussehen in ihren 3D Animationen zu erhalten.

Durch die Annahme anhand der vorliegenden visuellen Ergebnisse des entwickelten Prototyps, dass bei geringfügigen Darstellungsunstimmigkeiten der Rezipient diese nicht bewusst wahrnimmt, kann der Gedanke eines hybriden Ansatzes bekräftigt werden. Wird diese Annahme auf die rein algorithmisch basierten Malstilimitationen und deren derzeit als unnatürlich empfundene, synthetische Bildgenesen übertragen, bedeutet dies im Umkehrschluss, dass davon ausgegangen werden kann, dass bereits ab einem gewissen *Mindestmass* an natürlicher Bilddarstellungsqualität, die entstehenden Bilder auf die Rezipienten natürlich wirken. Daher bleibt abschließend für weiterführende, sich durch diese Annahme ergebende, Forschungen auf den Gebieten des ökonomischen Arbeitens und der psychologischen Wahrnehmung die vor fast 2 Jahrzehnten¹⁰⁵ gestellte und dazu anknüpfende Frage zur Balancefindung, *wie viel Kontrolle und Arbeitsaufwand auf Seiten des Artist überhaupt benötigt wird, um für den Rezipienten die Wirkung eines natürlichen Darstellungsstils bei den dreidimensionalen Elementen zu erzielen.*

¹⁰⁵Siehe hierzu [Seims].

Quellenverzeichnis

Literatur

- [2DArtist06] **2DARTIST (2006):**
Making of The Park by daarken.
In: *2DArtist, Issue 4, April 06, S. 81–86.*
West Midlands UK: Zoo Publishing.
- [2DArtist07a] **2DARTIST (2007):**
Double Circus.
In: *2DArtist, Issue 13, January 07, S. 56.*
West Midlands UK: Zoo Publishing.
- [2DArtist07b] **2DARTIST (2007):**
Samurai: Painting Amour.
In: *2DArtist, Issue 14, February 07, S. 89–100.*
West Midlands UK: Zoo Publishing.
- [Agrawala] **AGRAWALA MANEESH, BEERS ANDREW C.
UND LEVOY MARC (1995):**
3D painting on scanned surfaces.
In: *I3D 1995 Proceedings of the 1995
symposium on Interactive 3D graphics, S. 145 ff.*
New York: ACM.
- [Appel] **APPEL ARTHUR, ROHLF F. JAMES UND
STEIN ARTHUR J. (1979):**
The haloed line effect for hidden line elimination.
In: *SIGGRAPH 1979 Proceedings of the 6th annual
conference on Computer graphics and interactive
techniques, S. 151–157.*
New York: ACM.

- [Au] **AU OSCAR KIN-CHUNG, TAI CHIEW-LAN, CHU HUNG-KUO, COHEN-OR DANIEL UND LEE TONG-YEE (2008):**
 Skeleton Extraction by Mesh Contraction.
 In: *SIGGRAPH 2008 ACM SIGGRAPH 2008 Papers, Article No. 44.*
 New York: ACM.
- [Bender] **BENDER MICHAEL UND BRILL MANFRED (2006):**
 Computergrafik. Ein anwendungsorientiertes Lehrbuch. 2. Auflage.
 München Wien: Carl Hanser Verlag.
- [Benson] **BENSON DAVID UND DAVIS JOEL (2002):**
 Octree Textures.
 In: *SIGGRAPH 2002 Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, S. 785–790.*
 New York: ACM.
- [Bier] **BIER ERIC A. UND SLOAN JR. KENNETH R. (1986):**
 Two-Part Texture Mapping.
 In: *IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 6, Issue 9, Sept. 1986, S. 40–53.*
 o. O.: IEEE Computer Society.
- [Birn] **BIRN JEREMY (2000):**
 [digital] Lighting & Rendering. 1st Edition.
 Indianapolis: New Riders Publishing.
- [Blinn] **BLINN JAMES F. (1982):**
 A Generalization of Algebraic Surface Drawing.
 In: *ACM Transcriptions on Graphics, Volume 1, Issue 3, July 1982, S. 235–256.*
 New York: ACM.
- [Burley] **BURLEY BRENT UND LACEWELL DYLAN (2008):**
 Ptex: Per-Face Texture Mapping for Production Rendering.
 In: *Eurographics Symposium on Rendering 2008, Volume 27, Number 4, S. 1155–1164.*

- [Catmull74] **CATMULL EDWIN E. (1974):**
A subdivision algorithm for computer display of curved surfaces.
PhD. Thesis. Salt Lake City,
The University of Utah.
- [Catmull78] **CATMULL EDWIN E. UND
CLARK JAMES H. (1978):**
Recursively generated b-spline surfaces on arbitrary topological meshes.
In: *Computer-Aided Design, Volume 10, Issue 6, November 1978, S. 350–355.*
o. O.: Elsevier Ltd.
- [Chen] **CHEN XUEJIN, NEUBERT BORIS,
XU YING-QING, DEUSSEN OLIVER
UND KANG SING BING (2008):**
Sketch-Based Tree Modeling Using Markov Random Field.
In: *SIGGRAPH Asia 2008 ACM SIGGRAPH Asia 2008 Papers, Article No. 109.*
New York: ACM.
- [Cherlin] **CHERLIN JOSEPH JACOB,
SAMAVATI FARAMARZ,
SOUSA MARIO COSTA UND
JORGE JOAQUIM A. (2005):**
Sketch-based Modeling with Few Strokes.
In: *SCCG 2005 Proceedings of the 21st spring conference on Computer graphics, S. 137–145.*
New York: ACM.
- [Cohen] **COHEN JONATHAN, OLANO MARC
UND MANOCHA DINESH (1998):**
Appearance-preserving simplification.
In: *SIGGRAPH 1998 Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, S. 115–122.*
New York: ACM.
- [Conlan] **CONLAN ROBERTA (1986):**
Computer Images.
In: *Time-Life: Understanding Computers.*
Alexandria Virginia: Time Life Education.

- [Cooper] **COOPER DOUG (1999):**
Personal Thoughts on
Non-Photorealistic Rendering.
In: *SIGGRAPH 1999 ACM SIGGRAPH Computer
Graphics, Volume 33 Issue 1, February 1999, S. 64.*
New York: ACM.
- [Correa] **CORREA WAGNER TOLEDO,**
JENSEN ROBERT J., THAYER CRAIG E.
UND FINKELSTEIN ADAM (1998):
Texture Mapping for Cel Animation.
In: *SIGGRAPH 1998 Proceedings of the 25th an-
nual conference on Computer graphics and interac-
tive techniques, S. 435–446.*
New York: ACM.
- [Cremante] **CREMANTE SIMONA (2008):**
Leonardo Da Vinci: Artist, Scientist, Inventor.
Florence-Milan: Giunti Editore.
- [Curtis97] **CURTIS CASSIDY J., ANDERSON JOSHUA E.,**
FLEISCHER KURT W. UND
SALESIN DAVID H. (1997):
Computer-Generated Watercolor.
In: *SIGGRAPH 1997 Proceedings of the 24th
annual conference on Computer graphics
and interactive techniques, S. 421–430.*
New York: ACM Press/Addison-Wesley
Publishing Co.
- [Curtis98a] **CURTIS CASSIDY J. (1998):**
Loose and sketchy Animation.
In: *SIGGRAPH 1998 ACM SIGGRAPH 98
Electronic art and animation catalog, S. 145.*
New York: ACM.
- [Daily] **DAILY JULIE UND KISS KENNETH (1995):**
3D painting: paradigms for painting
in a new dimension.
In: *CHI 1995 Conference companion on
Human factors in computing systems, S. 296–297.*
New York: ACM.

- [DeBry] **DEBRY DAVID (GRUE), GIBBS JONTHAN, PETTY DEVORAH DELEON UND ROBINS NATE (2002):**
 Design of tangent vector fields.
 In: *SIGGRAPH 2002 Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 763–768.
 New York: ACM.
- [Deussen00] **DEUSSEN OLIVER UND STROTHOTTE THOMAS (2000):**
 Computer-Generated Pen-and-Ink Illustration of Trees.
 In: *SIGGRAPH 2000 Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 13–18.
 New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [Deussen01] **DEUSSEN OLIVER (2001):**
 Nichtrealistische Computergrafik: Algorithmen und Anwendungen.
 In: *Informatik_Spektrum*, 24. April 2001, S. 71–80.
- [Dietrich] **DIETRICH FRANK (1986):**
 Visual Intelligence: The First Decade of Computer Art (1965-1975).
 In: *Leonardo*, Volume 19, Issue 2, S. 159–169.
 Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- [Eck] **ECK MATTHIAS, DEROSE TONY, DUCHAMP TOM, HOPPE HUGUES, LOUNSBERY MICHAEL UND STUETZLE WERNER (1995):**
 Multiresolution Analysis of Arbitrary Meshes.
 In: *SIGGRAPH 1995 Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 173–182.
 New York: ACM.

- [Eisenacher] **EISENACHER CHRISTIAN, TAPPAN CHUCK,
BURLEY BRENT, TEECE DANIEL UND
SHEK ARTHUR (2010):**
Example-based Texture Synthesis on
Disney's Tangled.
In: *SIGGRAPH 2010 ACM SIGGRAPH 2010
Talks, Article No. 32.*
New York: ACM.
- [Eppstein] **EPPSTEIN DAVID, GOODRICH MICHAEL T.,
KIM ETHAN UND TAMSTORF RASMUS (2008):**
Motorcycle Graphs: Canonical Quad
Mesh Partitioning.
In: *SGP 2008 Proceedings of the Symposium on
Geometry Processing, Volume 27, Issue 5,
July 2008, S. 1477–1486.*
Aire-la-Ville, Switzerland: Eurographics Association.
- [Fisher] **FISHER METTHEW, SCHRÖDER PETER,
DESBRUN MATHIEU UND
HOPPE HUGUES (2007):**
Design of tangent vector fields.
In: *SIGGRAPH 2007 ACM SIGGRAPH 2007
Papers, Article No. 56.*
New York: ACM.
- [Flückiger08a] **FLÜCKIGER BARBARA (2008):**
Visual Effects: Filmbilder aus dem Computer.
Marburg: Schüren Verlag GmbH.
- [Freud] **FREUD SIGMUND (1930):**
Das Unbehagen in der Kultur.
Wien: Internationaler Psychoanalytischer Verlag.
- [Fu] **FU YONGXIAO UND CHEN YONGHUA (2008):**
Haptic 3D Mesh Painting based on
Dynamic Subdivision.
In: *Computer-Aided Design and Application 2008,
Volume 5, Number 1-4, S. 131–141.*
o. O.: CAD Solutions, LLC.

- [Goldstein99a] **GOLDSTEIN DAN (1999):**
 Intentional non-photorealistic rendering.
 In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*,
Volume 33, Issue 1, February 1999, S. 62–63.
 New York: ACM.
- [Gooch] **GOOCH BRUCE UND GOOCH AMY (2001):**
 Non-photorealistic Rendering.
 Natick, MA: A K Peters, Ltd.
- [Gould] **GOULD DAVID A. D. (2003):**
 Complete Maya Programming.
 An Extensive Guide to MEL and the C++ API.
 San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- [Greenberg99a] **GREENBERG STEPH (1999):**
 Why Non-Photorealistic Rendering?.
 In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*,
Volume 33, Issue 1, February 1999, S. 56–57.
 New York: ACM.
- [Guskov] **GUSKOV IGOR, VIDIMČE KIRIL, SWELDENS
 WIM UND SCHRÖDER PETER (2000):**
 Normal meshes.
 In: *SIGGRAPH 2000 Proceedings of the 27th
 annual conference on Computer graphics and inter-
 active techniques, S. 95–102.*
 New York: ACM Press/Addison-Wesley
 Publishing Co.
- [Haas] **HAAS KATHARINA (2006):**
 „Ups, in den Zeichentrickfilm gehen so viele Leute?
 Ach so, animiert!“ Der computergenerierte
 Animationsfilm und seine Zuschauer.
 In: *Huber, Nathalie/Meyen, Michael (Hg.):
 Medien im Alltag.*
 Berlin: Lit Verlag.

- [Halper02] **HALPER NICK, SCHLECHTWEG STEFAN
UND STROTHOTTE THOMAS (2002):**
Creating Non-Photorealistic Images the
Designer's Way.
In: *NPAR 2002 Proceedings of the 2nd
international symposium on Non-photorealistic
animation and rendering*, S. 97 ff.
New York: ACM.
- [Halper03] **HALPER NICK, MELLIN MARA,
HERMANN CHRISTOPH S.,
LINNEWEBER VOLKER UND
STROTHOTTE THOMAS (2003):**
Psychology and Non-Photorealistic Rendering:
The Beginning of a Beautiful Relationship.
In: *G. Szwillus, J. Ziegler (Hrsg): Mensch & Com-
puter 2003: Interaktion in Bewegung*, S. 277–286.
Stuttgart: B. G. Teubner.
- [Hanrahan] **HANRAHAN PAT UND
HAEBERLI PAUL (1990):**
Direct WYSIWYG Painting and Texturing
on 3D Shapes.
In: *SIGGRAPH 1990 Proceedings of the 17th
annual conference on Computer graphics
and interactive techniques*, S. 215–223.
New York: ACM.
- [Heckbert] **HECKBERT PAUL S. (1989):**
Fundamentals of Texture Mapping
and Image Warpping.
Master Thesis. Berkeley,
University of California at Berkeley.
- [Hertzmann98] **HERTZMANN AARON (1998):**
Painterly Rendering with Curved
Brush Strokes of Multiple Sizes.
In: *SIGGRAPH 1998 Proceedings of the 25th
annual conference on Computer graphics
and interactive techniques*, S. 453–460.
New York: ACM.

- [Hertzmann02] **HERTZMANN AARON (2002):**
Fast Paint Texture.
In: *NPAR '02 Proceedings of the 2nd international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, S. 91 ff.
New York: ACM.
- [Igarashi99] **IGARASHI TAKEO, MATSUOKA SATOSHI
UND TANAKA HIDEHIKO (1999):**
Teddy: A Sketching Interface for
3D Freeform Design.
In: *SIGGRAPH 1999 Proceedings of the 26th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 409–416.
New York: ACM Press/Addison-Wesley
Publishing Co.
- [Igarashi03] **IGARASHI TAKEO UND
HUGHES JOHN F. (2003):**
Smooth Meshes for Sketch-based
Freeform Modeling.
In: *I3D '03 Proceedings of the 2003 symposium on Interactive 3D graphics*, S. 139–142.
New York: ACM.
- [Ijiri] **IJIRI TAKASHI, OWADA SHIGERU
UND IGARASHI TAKEO (2006):**
The Sketch L-System: Global Control of
Tree Modeling Using Free-form Strokes.
In: *Smart Graphics 2006, Vancouver, Canada, July 23-25, 2006*, S. 138–146.
- [Isenberg] **ISENBERG TOBIAS, NEUMANN PETRA,
CARPENDALE SHEELAGH, SOUSA MARIO
COSTA UND JORGE JOAQUIM A. (2006):**
Non-Photorealistic Rendering in Context:
An Observational Study.
In: *NPAR '06 Proceedings of the 4th international symposium on Non-photorealistic animation and rendering*, S. 115–126.
New York: ACM.

- [Jelen] **JELEN MARKO (2011):**
Möglichkeiten zur Erstellung von Horror-Gameplay durch Adaption filmischer Erzähltechniken und deren Projektion auf Konzepte des videoludischen Horror-Genres.
Diplomarbeit. Hagenberg, Austria: Upper Austria University of Applied Sciences, Digital Arts, Juni 2011.
- [Kalnins] **KALNINS ROBERT D., MARKOSIAN LEE, MEIER BARBARA J., KOWALSKI MICHAEL A., LEE JOSEPH C., DAVIDSON PHILIP L., WEBB MATTHEW, HUGHES JOHN F. UND FINKELSTEIN ADAM (2002):**
WYSIWYG NPR: Drawing Strokes Directly on 3D Models.
In: *SIGGRAPH 2002 Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 755–762.
New York: ACM.
- [Kaltenböck] **KALTENBÖCK DOMINIK (2009):**
Vom Zeichentrick zur Computeranimation.
Diplomarbeit. Wien, Universität.
- [Kohlmann] **KOHLMANN KLAUS (2007):**
Der computeranimierte Spielfilm.
Bielefeld: transcript Verlag.
- [Koller] **KOLLER JÜRGEN (2011):**
Interaktivität und visuelles Feedback mittels Animationen in Computerspielen.
Diplomarbeit. Hagenberg, Austria: Upper Austria University of Applied Sciences, Digital Arts, September 2011.
- [Kraevoy] **KRAEVOY VLADISLAV, SHEFFER ALLA UND PANNE MICHIEL VAN DE (2009):**
Modeling from Contour Drawings.
In: *SBIM 2009 Proceedings of the 6th Eurographics Symposium on Sketch-Based Interfaces and Modeling*, S. 37–44.
New York: ACM.

- [Kundert-Gibbs] **KUNDERT-GIBBS JOHN, DERAKHSHANI DARIUSH, CAPIZZI TOM, CARVEY JAKE, COSTA KRISHNAMURTI M., DAVIS TIMOTHY A., GEORGHIAN PETRE, IBRAHIM KENNETH, KOSAI ROBERT, MANN STEPHAN K., REICHER KEITH UND VASSEY KEVIN (2005):**
Maya: Secrets of the Pros. Second Edition.
Alemenda: SYBEX Inc.
- [Lee] **LEE AARON, MORETON HENRY UND HOPPE HUGUES (2000):**
Displaces Subdivision Surfaces.
In: *SIGGRAPH 2000 Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 85–94.
New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [Lefebvre06] **LEFEBVRE SYLVAIN UND HOPPE HUGUES (2006):**
Appearance-Space Texture Synthesis.
In: *SIGGRAPH 2006 ACM SIGGRAPH 2006 Papers*, S. 514–521.
New York: ACM.
- [Lefebvre07] **LEFEBVRE SYLVAIN UND DACHSBACHER CARSTEN (2007):**
TileTrees.
In: *I3D 2007 Proceedings of 2007 symposium on Interactive 3D graphics and games*, S. 25–31.
New York: ACM.
- [Leggitt] **LEGGITT JIM (2002):**
Drawing Shortcuts: Developing Quick Drawing Skills Using Today's Technology. 1st Edition.
New York: John Wiley & Sons.
- [Levet] **LEVET FLORIAN UND GRANIER XAVIER (2007):**
Improved Skeleton Extraction and Surface Generation for Sketch-based Modeling.
In: *GI 2007 Proceedings of Graphics Interface 2007*, S. 27–33.
New York: ACM.

- [Lévy] **LÉVY BRUNO, PETITJEAN SYLVAIN, RAY NICOLAS UND MAILLOT JÉRÔME (2002):**
Least Squares Conformal Maps for Automatic Atlas Generation.
In: *SIGGRAPH 2002 Proceedings of the 29th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 362–371.
New York: ACM.
- [Livny] **LIVNY BOAZ (2007):**
mental ray for Maya, 3ds Max, and XSI: A 3D Artist's Guide to Rendering.
Indianapolis: Wiley Publishing, Inc.
- [Lusinsky] **LUSINSKY ADOLPH, FELIX PAUL, PETTI ERNIE, JENKINS SEAN, OTHON ADRIENNE, DALTON PATRICK, DRISKILL HANK UND MURRAH JOHN (2009):**
Applying Painterly Concepts in a CG Film - BOLT.
In: *SIGGRAPH 2009 SIGGRAPH 2009: Talks, Article No. 21*.
New York: ACM.
- [Ma] **MA WAN-CHUN, WU FU-CHE UND OUHYOUNG MING (2003):**
Skeleton Extraction of 3D Objects with Radial Basis Functions.
In: *SMI 2003 Proceedings of the Shape Modeling International 2003*, S. 207.
Washington, DC: IEEE Computer Society.
- [McLuhan] **MCLUHAN MARSHALL (1964):**
Understanding Media: The extensions of man.
London: McGraw-Hill.
- [Meagher] **MEAGHER DONALD (1982):**
Geometric Modeling Using Octree Encoding.
In: *Computer Graphics and Image Processing, Volume 19, Issue 2, June 1982*, S. 129–147.
o. O.: Elsevier Ltd.

- [Meier96] **MEIER BARBARA J. (1996):**
Painterly Rendering for Animation.
In: *SIGGRAPH 1996 Proceedings of the 23rd annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 477–484.
New York: ACM.
- [Meier99] **MEIER BARBARA J. (1999):**
Computers for Artists Who Work Alone.
In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics, Volume 33 Issue 1, February 1999*, S. 50–51.
New York: ACM.
- [Mitchell] **MITCHELL JASON L., FRANCKE MOBY UND ENG DHABIH (2007):**
Illustrative rendering in Team Fortress 2.
In: *SIGGRAPH 2007 ACM SIGGRAPH 2007 courses*, 19–32.
New York: ACM.
- [Nealen] **NEALEN ANDREW, IGARASHI TAKEO, SORKINE OLGA UND ALEXA MARC (2007):**
FiberMesh: Designing Freeform Surfaces with 3D Curves.
In: *SIGGRAPH 2007 ACM SIGGRAPH 2007 Papers, Article No. 41*.
New York: ACM.
- [Neubert] **NEUBERT BORIS, FINKELSTEIN THOMAS UND DEUSSEN OLIVER (2007):**
Approximate Image-Based Tree-Modeling using Particle Flows.
In: *SIGGRAPH 2007 ACM SIGGRAPH 2007 Papers, Article No. 88*.
New York: ACM.
- [Okun] **OKUN JEFFREY A. UND ZWERMAN SUSAN (2010):**
The VES Handbook of Visual Effects.
Industry Standard VFX Practices and Procedures.
Burlington: Focal Press.

- [Park] **PARK JIN WAN, KOO BON KI, BARRY RICK, HONG SUNG DEA UNDYOON KYUNG HYUN (2006):**
Painterly Rendering with designed imperfection.
In: *SIGGRAPH 2006 ACM SIGGRAPH 2006 Sketches*, Article No. 99.
New York: ACM.
- [Piegl] **PIEGL LES UND TILLER WAYNE (1996):**
The NURBS book. Second Edition.
Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- [Piponi] **PIPONI DAN UND BORSHUKOV GEORGE (2000):**
Seamless Texture Mapping of Subdivision Surfaces
by Model Pelting and Texture Blending.
In: *SIGGRAPH 2000 Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques*, S. 471–478.
New York: ACM Press/Addison-Wesley Publishing Co.
- [Prusinkiewicz] **PRUSINKIEWICZ PRZEMYSŁAW UND LINDENMAYER ARISTID (1990):**
The Algorithmic Beauty of Plants
(The Virtual Laboratory). 1st Edition.
New York: Springer-Verlag.
- [Riegl] **RIEGL ALOIS (1901):**
Die spätrömische Kunst-Industrie nach Funden in
Österreich-Ungarn im Zusammenhange mit der Ge-
samtentwicklung der Bildenden Künste bei den
Mittelmeervölkern.
Wien: Österreich. Staatsdruckerei.
- [Robertson] **ROBERTSON BARBARA (2009):**
Ein großer Sprung der Animationskunst (Bolt).
In: *Digital Production*, 12. Jg, 01/09, S. 114–119.
München: ATEC Business Information GmbH.

- [Sadeghi] **SADEGHI IMAN, PRICHETT HEATHER, JENSEN HENRIK WANN UND TAMSTORF RASMUS (2010):**
An Artist Friendly Hair Shading System.
In: *SIGGRAPH 2010 ACM SIGGRAPH 2010 Papers, Article No. 56.*
New York: ACM.
- [Samet88a] **SAMET HANAN UND WEBBER ROBERT E. (1988):**
Hierarchical data structures and algorithms for computer graphics. I. Fundamentals.
In: *IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 8, Issue 3, May 1988, S. 48–68.*
Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
- [Samet88b] **SAMET HANAN UND WEBBER ROBERT E. (1988):**
Hierarchical data structures and algorithms for computer graphics. II. Applications.
In: *IEEE Computer Graphics and Applications, Volume 8, Issue 4, July 1988, S. 59–75.*
Los Alamitos: IEEE Computer Society Press.
- [Samet02] **SAMET HANAN UND KOCHUT ANDREZEJ (2002):**
Octree Approximation and Compression Methods.
In: *Proceedings of the 1st International Symposium on 3D Data Processing Visualization and Transmission, S. 460–469.*
o. O.: IEEE Computer Society Press.
- [Schlechtweg] **SCHLECHTWEG STEFAN, GERMER TOBIAS UND STROTHOTTE THOMAS (2005):**
RenderBots—Multi Agent Systems for Direct Image Generation.
In: *Proceedings of Eurographics 2005: Computer Graphics Forum, Volume 24, Issue 2, S. 137–148.*
o. O.: Wiley-Blackwell.

- [Schmid] **SCHMID JOHANNES, SENN MARTIN
SEBASTIAN, GROSS MARKUS UND
SUMNER ROBERT W. (2011):**
OverCoat: An Implicit Canvas for 3D Painting.
In: *SIGGRAPH 2011 ACM Transactions on
Graphics (TOG) - Proceedings of
ACM SIGGRAPH 2011 TOG,*
Volume 30 Issue 4, July 2011.
New York: ACM.
- [Schmidt] **SCHMIDT RYAN, WYVILL BRIAN UND
SOUSA MARIO COSTA (2006):**
Sketch-Based Modeling with the BlobTree.
In: *SIGGRAPH 2006 ACM SIGGRAPH 2006
Courses, Article No. 14.*
New York: ACM.
- [Secord] **SECORD ADRIAN (2002):**
Weighted Vorronoi stippling.
In: *NPAC '02 Proceedings of the 2nd international
symposium on Non-photorealistic animation and
rendering, S. 37–43.*
New York: ACM.
- [Shek] **SHEK ARTHUR, LACEWELL DYLAN,
SELLE ANDREW, TEECE DANIEL UND
THOMPSON TOM (2010):**
Art-directing Disney’s Tangled Procedural Trees.
In: *SIGGRAPH 2010 ACM SIGGRAPH 2010
Talks, Article No. 53.*
New York: ACM.
- [Smith] **SMITH ALVY RAY (1998):**
George Lucas Discovers Computer Graphics.
In: *IEEE Annals of the History of Computing,*
Volume 20, No. 2, 1998, S. 48–49.
o. O.: IEEE Computer Society.
- [Sousa03a] **SOUSA MARIO COSTA UND
PRUSINKIEWICZ PREZEMYSŁAW (2003):**
A Few Good Lines: Suggestive Drawing of
3D Models.
In: *Proceedings of Eurographics 2003: Computer
Graphics Forum, Volume 22, Issue 3, S. 381–390.*
o. O.: Wiley-Blackwell.

- [Sousa03b] **SOUSA MARIO COSTA, FOSTER KEVIN, WYVILL BRIAN UND SAMAVATI FARAMARZ (2003):**
Precise Ink Drawing of 3D Models.
In: *Proceedings of Eurographics 2003: Computer Graphics Forum, Volume 22, Issue 3, S. 369–379.*
o. O.: Wiley-Blackwell.
- [Sousa04] **SOUSA MARIO COSTA, SAMAVATI FARAMARZ UND BRUNN MERU (2004):**
Depicting Shape Features with Directional Strokes and Spotlighting.
In: *CGI '04 Proceedings of the Computer Graphics International, S. 214-221.*
Washington, DC: IEEE Computer Society.
- [Strothotte] **STROTHOTTE THOMAS UND SCHLECHTWEG STEFAN (2002):**
Non-Photorealistic Computer Graphics. Modeling, Rendering, and Animation.
San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- [Tarantola] **TARANTOLA ALBERT (2004):**
Inverse Problem Theory and Methods for Model Parameter Estimation.
Philadelphia, PA: Society for Industrial and Applied Mathematics (SIAM).
- [Tarini] **TARINI MARCO, HORMANN KAI, CIGNONI PAOLO UND MONTANI CLAUDIO (2004):**
PolyCube-Maps.
In: *SIGGRAPH 2004 ACM SIGGRAPH 2004 Papers, S. 853–860.*
New York: ACM.
- [Toth] **TOTH BARBARA (2007):**
Der Trend zu analoger Ästhetik in Motion Graphics.
Diplomarbeit. Hagenberg, Austria: Upper Austria University of Applied Sciences, Digitale Medien, Juli 2007.

- [Wilkins] **WILKINS MARK R. UND
KAZMIER CHRIS (2005):**
MEL Scripting for Maya Animators.
Second Edition.
San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers.
- [Wolfe] **WOLFE ROSALEE J. (1997):**
Teaching Texture Mapping Visually.
In: *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*,
Volume 31 Issue 4, November 1997, S. 66–70.
New York: ACM.
- [Wölfflin] **WÖLFFLIN HEINRICH (1917):**
Kunstgeschichtliche Grundbegriffe.
Das Problem der Stilentwicklung in
der neueren Kunst. 2. Aufl.
München: Bruckmann.
- [Zander] **ZANDER JOHANNES, ISENBERG
TOBIAS, SCHLECHTWEG STEFAN
UND STROTHOTTE THOMAS (2004):**
High Quality Hatching.
In: *Proceedings of Eurographics 2004: Computer
Graphics Forum, Volume 23, Issue 3, S. 421–430.*
o. O.: Wiley-Blackwell.

Online-Quellen/Audiovisuelle Medien

- [3DCoat] **PILGWAY (2012):**
3DCoat: Sculpting Tool.
URL: <http://3d-coat.com/>
[Stand: 22. April 2012].
- [Ackermann] **ACKERMANN TIM (2009):**
Wie Disney Grimms "Froschkönig" umschreibt.
URL: [http://www.welt.de/kultur/article5455072/
Wie-Disney-Grimms-Froschkoenig-umschreibt.html](http://www.welt.de/kultur/article5455072/Wie-Disney-Grimms-Froschkoenig-umschreibt.html)
[Stand: 18. November 2010].
- [AEC] **ARS ELECTRONICA CENTER (2012):**
Prix Ars Electronica.
URL: <http://www.aec.at/prix/de/>
[Stand: 23. Mai 2012].

- [AnimatedViews] **ANIMATED VIEWS (2004):**
Spider-Man: The New Animated Series.
URL: <http://animatedviews.com/2004/spider-man-the-new-animated-series-special-edition/>
[Stand: 6. Juni 2012].
- [ArtRage] **ARTRAGE (2012):**
Internetseite zu ArtRage.
Painting and Drawing Package that simulates
Real World Tools on your Computer.
URL: <http://www.artrage.com/artrage-studiopro-info.html>
[Stand: 18. Mai 2012].
- [Autodesk] **AUTODESK (2010):**
Autodesk Maya 2011 Online Help.
Toon shading Overview.
URL: <http://download.autodesk.com/us/maya/2011help/index.html>
[Stand: 3. Juni 2012].
- [Birn_online] **BIRN JEREMY (2001):**
3dRender.com. Glossary: Vertex, Vertices.
URL: <http://www.3drender.com/glossary/index.htm>
[Stand: 23. Juni 2012].
- [Boddy-Evans_a] **BODDY-EVANS MARION (2012):**
How to Paint in an Expressive or Painterly Style.
URL: <http://painting.about.com/od/paintingforbeginners/ss/expressive.htm>
[Stand: 18. Mai 2012].
- [Boddy-Evans_b] **BODDY-EVANS MARION (2012):**
Art Worksheet: Apple Painted with
Expressive Brush Strokes.
URL: <http://painting.about.com/od/paintingforbeginners/ig/Art-Worksheets/Art-Worksheet-Expressive.htm>
[Stand: 18. Mai 2012].

- [BodyPaint3D] **MAXON (2012):**
 BodyPaint 3D.
 URL: <http://www.maxon.net/de/products/bodypaint-3d.html>
 [Stand: 14. April 2012].
- [Botkin] **BOTKIN ISAAC (2009):**
 Painting with Polygons –
 Non-Photorealistic Rendering
 Using Existing Tools.
 URL: <http://www.outside-hollywood.com/siggraph/>
 [Stand: 14. September 2011].
- [Bourke] **BOURKE PAUL (1990):**
 Computer Sketching.
 URL: <http://local.wasp.uwa.edu.au/~pbourke//fractals/sketch/>
 [Stand: 7. Juni 2012].
- [Burley_slides] **BURLEY BRENT UND
 LACEWELL DYLAN (2008):**
 Ptex: Per-Face Texture Mapping
 for Production Rendering.
 URL: <http://www.disneyanimation.com/library/ptex/ptex-slides.pdf>
 [Stand: 17. November 2010].
- [CGSociety08] **CG SOCIETY (2008):**
 100 Greatest 3D Movies.
 URL: http://www.cgsociety.org/index.php/CGSFeatures/CGSFeatureSpecial/top_100_3d_movies
 [Stand: 31. Mai 2012].
- [CGSociety10] **CG SOCIETY (2010):**
 Disney Animation Studio brings The Foundry's
 Mari to work with Paint 3D.
 URL: http://features.cgsociety.org/story.php?story_id=5767
 [Stand: 15. November 2010].

- [CorelPainter] **COREL (2012):**
 CorelPainter: Mal- und Illustrationsprogramm.
 URL: <http://www.corel.com/corel/product/index.jsp?pid=prod4030123&cid=catalog20018&segid=2100077v>
 [Stand: 22. April 2012].
- [Curtis98b] **CURTIS CASSIDY J. (1998):**
 Loose and sketchy Animation.
 URL: <http://www.otherthings.com/uw/loose/sketch.html>
 [Stand: 14. November 2010].
- [Daarken] **DAARKEN (o. J.):**
 Internetseite von daarken.
 URL: <http://daarken.com/>
 [Stand: 17. Mai 2012].
- [Daimler] **DAIMLER (2012):**
 Das Daimler-Blog. Benz Patent-Motorwagen.
 URL: <http://blog.daimler.de/2009/03/04/wer-hats-erfunden/>
 [Stand: 14. Mai 2012].
- [DAM] **DIGITAL ART MUSEUM (2009):**
 Frieder Nake.
 URL: <http://dam.org/artists/phase-one/frieder-nake>
 [Stand: 23. Mai 2012].
- [Davis] **DAVIS TIMOTHY A. (o. J.):**
 Impressionist Animation.
 URL: <http://www.cs.clemson.edu/~tadavis/impress/impress3.pdf>
 [Stand: 17. November 2010].
- [Desowitz08] **DESOWITZ BILL (2008):**
 The Digital Eye: How Bolt Got Painterly.
 URL: <http://www.awn.com/articles/production/digital-eye-how-ibolti-got-painterly>
 [Stand: 17. November 2010].

- [Desowitz10] **DESOWITZ BILL (2010):**
 Disney Goes Open Source with Ptex.
 URL: <http://www.awn.com/articles/article/disney-goes-open-source-ptex>
 [Stand: 17. November 2010].
- [DMA] **DIGITAL MEDIA FOR ARTISTS (2011):**
 Digital Media for Artists. Archiv 2002–2011.
 Univ.Prof. Dr. Gerhard Funk.
 URL: <http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Allgemein:Einleitung>
 [Stand: 23. Juni 2012].
- [EmpireMag_a] **EMPIRE MAGAZINE (o. J.):**
 Early Snow White and the Seven Dwarfs
 Concept Art.
 URL: <http://www.empireonline.com/features/early-snow-white-and-the-seven-dwarfs-concept-art/default.asp>
 [Stand: 14. Mai 2012].
- [EmpireMag_b] **EMPIRE MAGAZINE (o. J.):**
 A History Of CGI In The Movies.
 URL: <http://www.empireonline.com/features/history-of-cgi/p1>
 [Stand: 20. Mai 2012].
- [Eurographics] **EUROGRAPHICS: EUROPEAN ASSOCIATION
 FOR COMPUTER GRAPHICS (o. J.):**
 Offizielle europäische Internetseite über NPR.
 URL: <http://www.eg.org>
 [Stand: 16. November 2010].
- [FBF] **FLAT BLACK FILMS (o. J.):**
 Rotoshop.
 URL: http://www.flatblackfilms.com/Flat_Black_Films/Rotoshop.html
 [Stand: 10. Juni 2012].
- [FFA] **FILMFÖRDERUNGSANSTALT
 GERMAN FEDERAL BOARD (o. J.):**
 Angaben zu Filmförderungen.
 URL: <http://www.ffa.de>
 [Stand: 18. November 2010].

- [Fivian] **FIVIAN MARTIN (2010):**
plainair paintings, march 2010.
URL: http://fivian-illustrationen.blogspot.com/2010_03_01_archive.html
[Stand: 20. Mai 2012].
- [Flückiger08b] **FLÜCKIGER BARBARA (2008):**
DRS2: Filmwissenschaftlerin Barbara Flückiger im Gespräch.
URL: <http://www.drs2.ch/www/de/drs2/sendungen/top/reflexe/2741.sh10034269.html>
[Stand: 14. November 2010].
- [Fragonard] **FRAGONARD JEAN-HONORE (o. J.):**
Ancien Regime – Rococo.
Jean-Honoré Fragonard: The Swing
URL: http://www.bc.edu/bc_org/avp/cas/his/CoreArt/art/anc_frag_swing.html
[Stand: 29. Juni 2012].
- [Fußmann] **GALERIE MÖNCH (2010):**
Klaus Fußmann. Landschaft mit Bäumen.
URL: <http://www.moench-galerie.com/klaus-fussmann-landschaft-mit-baeumen.php>
[Stand: 26. Juni 2012].
- [Gamespot] **GAMESPOT (2012):**
Video Game Reviews & News.
URL: <http://www.gamespot.com/>
[Stand: 5. Juni 2012].
- [Goldstein99b] **GOLDSTEIN DAN (1999):**
Intentional non-photorealistic rendering.
URL: <http://www.siggraph.org/publications/newsletter/v33n1/contributions/Goldstein.html>
[Stand: 31. Mai 2012].
- [Greenberg99b] **GREENBERG STEPH (1999):**
Why Non-Photorealistic Rendering?.
URL: <http://www.siggraph.org/publications/newsletter/v33n1/contributions/Greenberg.html>
[Stand: 14. November 2010].

- [Hurlbutt] **HURLBUTT TOM (2004):**
“Regression” Progression:
Non-Photorealistic Rendering Choices
in Game Design.
URL: [http://www.stanford.edu/group/
htgg/sts145papers/thurlbutt_2004_1.pdf](http://www.stanford.edu/group/htgg/sts145papers/thurlbutt_2004_1.pdf)
[Stand: 14. November 2010].
- [HyoJong] **HYOJONG SHIN (o. J.):**
Magic Canvas : Interactive Design Of 3D Scenes
From Freehand Sketches.
URL: <http://133.11.9.3/~shin/research.htm>
[Stand: 14. November 2010].
- [Igarashi] **IGARASHI TAKEO (o. J.):**
Internetseite von Takeo Igarashi.
URL: [http://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/
~takeo/index.html](http://www-ui.is.s.u-tokyo.ac.jp/~takeo/index.html)
[Stand: 16. November 2010].
- [Igarashi_RG] **IGARASHI TAKEO (o. J.):**
User Interface Research Group
Igarashi Laboratory.
URL: <http://133.11.9.3/en/publications/>
[Stand: 16. November 2010].
- [IGN] **IGN (2002):**
Waking Life. Richard Linklater delivers one hell of
an animation tour de force wrapped in a philoso-
phy tortilla.
URL: [http://dvd.ign.com/articles/
357/357695p1.html](http://dvd.ign.com/articles/357/357695p1.html)
[Stand: 10. Juni 2012].
- [IMDb] **THE INTERNATIONAL MOVIE
DATABASE (2012):**
Filmdatenbank.
URL: <http://www.imdb.de/>
[Stand: 22. April 2012].

- [Isenberg_slides] **ISENBERG TOBIAS, NEUMANN PETRA, CARPENDALE SHEELAGH, SOUSA MARIO COSTA UND JORGE JOAQUIM A. (2006):**
Non-Photorealistic Rendering in Context:
An Observational Study.
URL: http://pages.cpsc.ucalgary.ca/~isenberg/paperpages/Isenberg_2006_NPR.html
[Stand: 14. November 2010].
- [ISSBIM] **INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SKETCH-BASED INTERFACES AND MODELING (o. J.):**
Offizielle internationale Internetseite über Sketch-Based Modeling.
URL: <http://www.cl.cam.ac.uk/conference/cae-sbim-npar-2011/SBIM/PreviousEvents>
[Stand: 16. November 2010].
- [Iwerks] **IWERKS LESLIE (o. J.):**
Disney Insider Yearbook: CARS.
URL: <http://www.lesliewerks.com/cars.pdf>
[Stand: 15. November 2010].
- [JetGrindRadio] **SEGA (2000):**
Jet Set Radio.
URL: <http://www.sega.com/games/jet-set-radio/>
[Stand: 22. April 2012].
- [Kohr] **KOHR MATT (2012):**
Internetseite über digital painting.
Video über Lost Edges.
URL: <http://www.ctrlpaint.com/home/category/painting>
[Stand: 11. Mai 2012].
- [KunstMalerei] **KUNST MALEREI (o. J.):**
Internetseite über Ölmalerei.
URL: <http://www.kunst-malerei.info/oelmalerei.html>
[Stand: 17. Mai 2012].
- [Loegler] **LOEGLER MAXIMILIAN (2012):**
Maximilian Loegler // Character Artist // Austria.
URL: <http://maxloegler.com/#/>
[Stand: 3. Juli 2012].

- [LOSE] **LEAGUE OF SUPER EVIL (2012):**
Internetseite zur Zeichentrickserie.
URL: <http://www.leagueofsuperevil.com/>
[Stand: 6. Juni 2012].
- [Lumiere] **LUMIERE (o. J.):**
Datenbank über Filmbesucherzahlen in Europa.
URL: <http://lumiere.obs.coe.int/web/search/index.php>
[Stand: 18. November 2010].
- [MacDonald] **MACDONALD DONNA (2011):**
Backgammon in the Park by Donna MacDonald.
URL: <http://donnasartblog.blogspot.com/2011/06/backgammon-in-park-by-donna-macdonald.html>
[Stand: 20. Mai 2012].
- [Modo] **LUXOLOGY (2012):**
modo: Sculpting Tool.
URL: <http://www.luxology.com/modo/index.aspx>
[Stand: 22. April 2012].
- [MovieJones] **MOVIE JONES (2012):**
Kinocharts und Einspielergebnisse.
URL: <http://www.moviejones.de/charts/boxoffice-alltime-weltweit-seite-1.html>
[Stand: 22. April 2012].
- [Nake] **UNIVERSITÄT BREMEN (2010):**
compArt – Kompetenzzentrum Digitale Kunst.
URL: <http://viola.informatik.uni-bremen.de/typo/index.php?id=78>
[Stand: 23. Mai 2012].
- [Nvidia] **NVIDIA (2005):**
GPU Gems 2.
URL: http://http.developer.nvidia.com/GPUGems2/gpugems2_frontmatter.html
[Stand: 20. November 2010].
- [NPAR] **NPAR: NON-PHOTOREALISTIC ANIMATION AND RENDERING (2011):**
Offizielle Internetseite über NPR Konferenzen.
URL: <http://www.npar.org>
[Stand: 16. November 2010].

- [NPRDatenbank] **NPR LITERATUR DATENBANK (o. J.):**
Datenbank zu NPR relevanten Themen.
URL: <http://isgwww.cs.uni-magdeburg.de/~stefans/npr/nprpapers.html>
[Stand: 16. November 2010].
- [OhioState] **THE OHIO STATE UNIVERSITY (2003):**
A Critical History of Computer Graphics
and Animation.
URL: <http://excelsior.biosci.ohio-state.edu/~carlson/history/lessons.html>
[Stand: 21. Mai 2012].
- [Photoshop] **ADOBE (2012):**
Photoshop: Mal- und Bildbearbeitungssoftware.
URL: <http://www.adobe.com/de/products/photoshopfamily.html>
[Stand: 22. April 2012].
- [Pixar] **PIXAR (2012):**
Pixar: Meet the Execs.
URL: http://www.pixar.com/companyinfo/about_us/execs.htm
[Stand: 21. Mai 2012].
- [Ptex] **PTEX (2011):**
Internetseite über Ptex.
URL: <http://ptex.us/index.html>
[Stand: 9. Juli 2012].
- [Quietus] **THE QUIETUS (2012):**
Inside The Cabinet Of Dr. Caligari:
A Classic Of Expressionist Cinema.
URL: <http://thequietus.com/articles/01003-caligari>
[Stand: 16. Mai 2012].
- [Reynolds] **REYNOLDS ENGINEERING & DESIGN (2003):**
Stylized Depiction in Computer Graphics Non-
Photorealistic, Painterly and Toon Rendering.
URL: <http://red3d.com/cwr/npr/>
[Stand: 16. November 2010].
- [Ross] **ROSS BOB (2012):**
Bob Ross. Welcome to the Joy of Painting.
URL: <http://www.bobross.com/index.cfm>
[Stand: 17. Mai 2012].

- [Schumann] **SCHUMANN JUTTA, STROTHOTTE
THOMAS UND LASER STEFAN (1996):**
Assessing the Effect of Non-Photorealistic
Rendered Images in CAD.
URL: [http://www.sigchi.org/chi96/proceedings/
papers/Schumann/chi96fi.html](http://www.sigchi.org/chi96/proceedings/papers/Schumann/chi96fi.html)
[Stand: 7. Juni 2012].
- [Schwartz] **SCHWARTZ LILLIAN F. (2012):**
Lillian F. Schwartz – Digital Art & Art Analysis.
URL: <http://lillian.com/>
[Stand: 23. Mai 2012].
- [Sculptris] **PIXOLOGIC (2012):**
Sculptris: Sculpting Tool.
URL: [http://www.pixologic.com/
sculptris/features/](http://www.pixologic.com/sculptris/features/)
[Stand: 22. April 2012].
- [Seims] **SEIMS JOSHUA (1999):**
Putting the Artist in the Loop.
URL: [http://www.siggraph.org/publications/
newsletter/v33n1/contributions/Seims.html](http://www.siggraph.org/publications/newsletter/v33n1/contributions/Seims.html)
[Stand: 14. November 2010].
- [ShapeShop] **SHAPESHOP (o. J.):**
Internet Seite über Sketch-Based Modeling.
Infos about ShapeShop.
URL: [http://www.unknownroad.com/
publications/index.html](http://www.unknownroad.com/publications/index.html)
[Stand: 14. November 2010].
- [SIGGRAPH97] **SIGGRAPH COURSE NOTES (1997):**
Physically Based Modeling:
Principles and Practice.
URL: [http://www.cs.cmu.edu/~baraff/
sigcourse/index.html](http://www.cs.cmu.edu/~baraff/sigcourse/index.html)
[Stand: 14. November 2010].
- [SIGGRAPH99] **SIGGRAPH COURSE NOTES (1999):**
Advanced Graphics Programming
Techniques Using OpenGL.
URL: [ftp://ftp.sgi.com/opengl/contrib/
blythe/index.html](ftp://ftp.sgi.com/opengl/contrib/blythe/index.html)
[Stand: 14. November 2010].

- [SIGGRAPH00] **SIGGRAPH COURSE NOTES (2000):**
Subdivision for Modeling and Animation.
URL: <http://mrl.nyu.edu/~dzorin/sig00course/>
[Stand: 14. November 2010].
- [SIGGRAPH03] **SIGGRAPH COURSE NOTES (2003):**
DeepCanvas: Nuts and Bolts of a
Painterly Renderer.
URL: [http://citeseerx.ist.psu.edu/
viewdoc/download?doi=10.1.1.202.3069
&rep=rep1&type=pdf](http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.202.3069&rep=rep1&type=pdf)
[Stand: 14. November 2010].
- [Stoneschool] **STONESCHOOL (2010):**
SIGGRAPH 2010: Art-Directed Trees
in Disney's Tangled.
URL: [http://www.stoneschool.com/
Work/Siggraph/2010/](http://www.stoneschool.com/Work/Siggraph/2010/)
[Stand: 14. November 2010].
- [Stylemag] **STYLEMAG (2012):**
Metropolis 2010 | 28 Min. plus.
URL: [http://www.stylemag-online.net/
2010/02/19/metropolis-2010-28-min-plus/](http://www.stylemag-online.net/2010/02/19/metropolis-2010-28-min-plus/)
[Stand: 14. Mai 2012].
- [TD CD] **YOUTUBE (2006):**
Tarzan Deep Canvas Demo.
URL: [http://www.youtube.com/watch?v=
RZA6nitNeYw&p=362516DBB83CE27D
&playnext=1&index=22](http://www.youtube.com/watch?v=RZA6nitNeYw&p=362516DBB83CE27D&playnext=1&index=22)
[Stand: 17. November 2010].
- [TeamFortress] **VALVE (2004):**
Team Fortress 2.
URL: [http://www.valvesoftware.com/
games/tf2.html](http://www.valvesoftware.com/games/tf2.html)
[Stand: 22. April 2012].
- [UVMaster] **PIXOLOGIC (2012):**
UVMaster: Plugin for UV mapping.
URL: [http://www.pixologic.com/zbrush/
features/UV-Master/](http://www.pixologic.com/zbrush/features/UV-Master/)
[Stand: 22. April 2012].

- [Verostko] **VEROSTKO ROMAN (2005):**
 “ars sine scientia nihil est” – attributed to
 Jean Mignot, 14th C.
 URL: <http://www.verostko.com/mignot.html>
 [Stand: 23. Juni 2012].
- [VFX_HQ] **VISUAL EFFECTS HEADQUARTERS (1998):**
 What Dreams May Come.
 URL: <http://www.vfxhq.com/1998/dreams.html>
 [Stand: 9. Juni 2012].
- [Visgraph] **VISGRAPH (2008):**
 Skeleton Extraction by Mesh Contraction.
 URL: <http://visgraph.cse.ust.hk>
 [Stand: 14. November 2010].
- [WalkingDead] **TELLTALEGAMES (2012):**
 The Walking Dead.
 URL: <https://www.telltalegames.com/walkingdead>
 [Stand: 22. April 2012].
- [Wei] **WEI LI-YI, LEFEBVRE SYLVAIN,
 KWATRA VIVEK UND TURK GREG (2009):**
 State of the Art in Example-based
 Texture Synthesis.
 URL: <http://www.liyiwei.org/>
 [Stand: 14. November 2010].
- [Werner] **CREATIVBILD I ART &
 PHOTOGRAPHY (2012):**
 Martins’s Bilderblog.
 URL: <http://blog.creativbild.com/?p=126>
 [Stand: 23. Juni 2012].
- [Wulfmansworld] **WULFMANSWORLD (2012):**
 Kinocharts und Einspielergebnisse.
 URL: <http://www.wulfmansworld.com/Kinocharts/Kinocharts>
 [Stand: 22. April 2012].
- [XIII] **UBISOFT (2003):**
 XIII.
 URL: <http://www.ubi.com/US/Games/Info.aspx?pId=39>
 [Stand: 22. April 2012].

- [ZBrush] **PIXOLOGIC (2012):**
 ZBrush: Sculpting Tool.
 URL: <http://www.pixologic.com/zbrush/features/PolyPaint/>
 [Stand: 22. April 2012].
- [Zelda] **NINTENDO (2002):**
 The Legend of Zelda: The Wind Waker.
 URL: <http://www.zelda.com/gcn/>
 [Stand: 22. April 2012].
- [ZKM] **ZENTRUM FÜR KUNST UND
 MEDIEN TECHNOLOGIE (2012):**
 ZKM – Zentrum für Kunst und Medientechnologie.
 URL: <http://www.zkm.de/>
 [Stand: 23. Mai 2012].

Filme

- [Abyss] **ABYSS – ABGRUND DES TODES (1989):**
 Film. Regie: James Cameron, Drehbuch: James Cameron. Mit Ed Harris, Mary Elizabeth Mastrantonio und Michael Biehn.
- [Aladdin] **ALADDIN (1992):**
 Zeichentrickfilm. Produktion: Walt Disney Pictures, Regie: Ron Clements und John Musker, Drehbuch: Ron Clements und John Musker.
- [Appleseed] **APPLESEED (2004):**
 Anime. Haruka Handa. Nach einem Manga von Masamune Shirow. DVD. Universum Anime.
- [ASD] **A SCANNER DARKLY –
 DER DUNKLE SCHIRM (2006):**
 Film. Regie: Richard Linklater, Drehbuch: Richard Linklater. Nach dem Roman von Philip K. Dick. Mit Keanu Reeves, Winona Ryder und Robert Downey Jr.
- [Avatar] **AVATAR –
 AUFBRUCH NACH PANDORA (2009):**
 Film. Regie: James Cameron, Drehbuch: James Cameron. Mit Sam Worthington, Zoe Saldana und Sigourney Weaver.

- [Bolt] **BOLT – EIN HUND FÜR ALLE FÄLLE (2008):**
Animationsfilm. Produktion: Walt Disney
Animation Studios, Regie: Byron Howard und
Chris Williams, Drehbuch: Dan Fogelman
und Chris Williams.
- [DGDVT] **DAS GEHEIMNIS DES**
VERBORGENEN TEMPELS (1985):
Film. Regie: Barry Levinson, Drehbuch: Chris
Columbus. Nach der Figur von Arthur Conan
Doyle. Mit Nicholas Rowe, Alan Cox und
Sophie Ward.
- [Dinosaurier] **DINOSAURIER (2000):**
Animationsfilm. Produktion: Walt Disney
Animation Studios, Regie: Eric Leighton und
Ralph Zondag, Drehbuch: Thom Enriquez und
John Harrison.
- [DSUDB] **DIE SCHÖNE UND DAS BIEST (1991):**
Zeichentrickfilm. Produktion: Walt Disney
Pictures, Regie: Gary Trousdale und Kirk
Wise, Drehbuch: Linda Woolverton und
Roger Allers.
- [FinalFantasy] **FINAL FANTASY –**
DIE MÄCHTE IN DIR (2001):
Animationsfilm. Produktion: Square Pictures,
Regie: Hironobu Sakaguchi und Motonori
Sakakibara, Drehbuch: Hironobu Sakaguchi
und Al Reinert.
- [Futurama] **FUTURAMA (1999):**
Matt Groening. Season 1 Collection DVD.
Twentieth Century Fox Home Entertainment.
- [GITS] **GHOST IN THE SHELL 2 (2004):**
Anime. DVD. Regie: Mamoru Oshii,
Drehbuch: Kazunori Itô und Masamune Shirow.
Universum Anime.

- [HDH] **HINTER DEM HORIZONT (1998):**
Film. Regie: Vincent Ward,
Drehbuch: Ronald Bass. Nach dem Roman von
Richard Matheson. Mit Robin Williams, Cuba
Gooding Jr. und Annabella Sciorra.
- [HUH] **HIMMEL UND HUHN (2005):**
Animationsfilm. Produktion: Walt Disney
Animation Studios, Regie: Mark Dindal,
Drehbuch: Mark Dindal und Mark Kennedy.
- [JurassicPark] **JURASSIC PARK (1993):**
Film. Regie: Steven Spielberg, Drehbuch: Michael
Crichton. Mit Sam Neill, Laura Dern und Jeff
Goldblum.
- [KDF] **KÜSS DEN FROSCH (2009):**
Zeichentrickfilm. Produktion: Walt Disney
Pictures, Regie: Ron Clements und John
Musker, Drehbuch: Ron Clements und
John Musker.
- [LOSE_TV] **LEAGUE OF SUPER EVIL (2009):**
TV-Serie. Peter Ricq, Davila LeBlanc und
Philippe Ivanusic-Vallee. Produktion: Nerd
Corps Entertainment für Cartoon Network.
- [Rapunzel] **RAPUNZEL – NEU VERFÖHNT (2010):**
Animationsfilm. Produktion: Walt Disney
Animation Studios, Regie: Nathan Greno
und Byron Howard, Drehbuch: Dan Fogelman.
- [Spider-Man] **SPIDER-MAN:**
THE NEW ANIMATED SERIES (2003):
Stan Lee und Steve Ditko. Special Edition DVD.
DigiKids/Sentimental Journeys.
- [StarTrek] **STAR TREK II: DER ZORN DES KHAN (1982):**
Film. Regie: Nicholas Meyer, Drehbuch: Gene
Roddenberry und Harve Bennett. Mit William
Shatner, Leonard Nimoy und DeForest Kelley.

- [StarWars] **STAR WARS – EPISODE IV:
EINE NEUE HOFFNUNG (1977)**
Film. Regie: George Lucas, Drehbuch: George
Lucas. Mit Mark Hamill, Harrison Ford
und Carrie Fisher.
- [Terminator] **TERMINATOR 2 –
TAG DER ABRECHNUNG (1991):**
Film. Regie: James Cameron, Drehbuch: James
Cameron und William Wisher Jr. Mit Arnold
Schwarzenegger, Linda Hamilton und Edward
Furlong.
- [TDR] **TRIFF DIE ROBINSONS (2007):**
Animationsfilm. Produktion: Walt Disney
Animation Studios, Regie: Stephen J. Anderson,
Drehbuch: Jon Bernstein und Michelle Bochner.
- [Tron] **TRON (1982):**
Film. Regie: Steven Lisberger, Drehbuch: Steven
Lisberger und Bonnie MacBird. Mit Jeff Bridges,
Bruce Boxleitner und David Warner.
- [WakingLife] **WAKING LIFE (2001):**
Film. Regie: Richard Linklater,
Drehbuch: Richard Linklater. Mit Ethan Hawke,
Trevor Jack Brooks und Lorelei Linklater.
- [WinniePuuh] **WINNIE PUUH (2011):**
Zeichentrickfilm. Produktion: Walt Disney
Pictures, Regie: Stephen J. Anderson und
Don Hall, Drehbuch: Stephen J. Anderson
und Clio Chiang.

Anhang A

d_PAINT MEL Code

Listing A.1 *d_PAINT.mel*

```
/*
*****
* d_PAINT.mel - For Digital Artists
* Version 1.1.0
* author Matthias Isele
*
* Entstanden im Rahmen der Masterarbeit an der FH Hagenberg 2011
*
* Beschreibung:
*   Dieses Skript generiert ein Tool, mit welchem der Artist über Slider und Zahlen-
*   box festlegen kann, ab wo und wie stark der Paint Effekt entstehen soll. Über
*   einen Calculate Button wird der Effekt zu Vorschauzwecken angezeigt, Über
*   einen Reset Button zurückgesetzt und über den Render Button gerendert. Zu-
*   dem besteht die Möglichkeit die Animation zu Baken und die Objekte zu ex-
*   portieren.
*****
// Window UI
//-----
global proc d_PAINTWindow()
{
    global string $gDistSlider;
    global string $gRangeSlider;
    global string $gDisplaceStrength;
    global string $gActiveCamera;
    global string $gCheckBox;
    global string $gDPaintWindow;

    if ( `window -exists $gDPaintWindow` )
    {
        deleteUI $gDPaintWindow;
        reset();
    }

    window -t "d_PAINT4Artists v1.1.0" -mxb on -mnb on -menuBar true -s false -w 388 -h
    588 $gDPaintWindow;
    menu -label "Help" -helpMenu true;
        menuItem -label "About Tool..." -c "help";
    columnLayout ;
    frameLayout -collapsable true -label "Cameras" -labelAlign "bottom" -w 390;
    columnLayout;
    textScrollList -h 100 -fn "smallBoldLabelFont" -sc camView camList;
    loadAllCams;
    // Button
    button -label " Update Cams " -c cameraListUpdate;
```

```

setParent ..;
setParent ..;
frameLayout -collapsible true -label "Settings" -labelAlign "bottom";
columnLayout;
frameLayout -collapsible false -label "Ranges";
columnLayout;
//slider
$gDistSlider = `floatSliderGrp -label "Paint Distance"
                -field true
                -value 9.0
                -changeCommand "movePaintGatesDistance`;
$gRangeSlider = `floatSliderGrp -label "Paint Range"
                -field true
                -minValue 0
                -maxValue 50
                -value 2.0
                -changeCommand "movePaintGatesRange`;
rowLayout -nc 2 -cat 2 "left" 140;
//checkbox
checkBoxGrp -label "Display Paint Regions"
            -cw2 140 100
            -onCommand "paintGatesShow"
            -offCommand "paintGatesHide" $gCheckBox;
// Button
button -label "Generate Paint Regions" -c paintGates;
setParent ..;
setParent ..;
setParent ..;
frameLayout -collapsible false -label "Paint Effect" -labelAlign "bottom" -w 385;
columnLayout;
$gDisplaceStrength = `floatFieldGrp -cw2 100 110 -numberOfFields 1 -v1 0.35 -label
"Strength`;
setParent ..;
setParent ..;
setParent ..;
setParent ..;
frameLayout -collapsible true -label "Display" -labelAlign "bottom" -w 390;
columnLayout;
rowLayout -numberOfColumns 2 -columnWidth2 40 80 -columnAlign2 "center" "center";
symbolButton -image "paintEffectsTool.xpm" -c distPaint;
text -l "Click Icon to calculate" -al "center";
setParent ..;
rowLayout -numberOfColumns 2 -columnWidth2 40 80 -columnAlign2 "center" "center";
symbolButton -image "undo.xpm" -c reset;
text -l "Click Icon to reset" -al "center";
setParent ..;
setParent ..;
setParent ..;
frameLayout -collapsible false -label "Rendering" -labelAlign "bottom" -w 390;
columnLayout;
rowLayout -numberOfColumns 2 -columnWidth2 40 80 -columnAlign2 "center" "center";
symbolButton -image "makePaintable.xpm" -c render;
text -l "Click Icon to render" -w 100;
setParent ..;

```

```

setParent ..;
setParent ..;
frameLayout -collapsible true -label "Baking/Export" -labelAlign "bottom" -w 390;
columnLayout;
rowLayout -numberOfColumns 2 -columnWidth2 40 80 -columnAlign2 "center" "center";
symbolButton -image "setKey.xpm" -c bake;
text -l "Click Icon to bake Animation" -al "center";
setParent ..;
rowLayout -numberOfColumns 2 -columnWidth2 40 80 -columnAlign2 "center" "center";
symbolButton -image "redo.xpm" -c export;
text -l "Click Icon to export Object(s)" -al "center";
setParent ..;
setParent ..;
setParent ..;
showWindow $gDPaintWindow;
// Zurücksetzen wenn Fenster geschlossen wird
//-----
scriptJob -uid $gDPaintWindow reset;
//-----
// Erstellen der Paint Gates
//-----
paintGates();
} //end proc d_PAINTWindow()
//-----
//Überprüfung der Kamera
//-----
proc distPaint()
{
global string $gActiveCamera;
setFocus modelPanel4;
string $panel = `getPanel -wf`;
// Name der der aktiven Kamera ermitteln
$gActiveCamera = `modelPanel -q -camera $panel`;
switch ($gActiveCamera)
{
case "persp":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "top":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "side":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "front":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
default:
d_PAINT ($gActiveCamera);
}
} // end proc distPaint()
//-----
//Paint Bereiche erstellen
//-----

```

```

proc paintGates()
{
global string $gActiveCamera;
global string $gRangeSlider;
global string $gDistSlider;
global string $gP1;
global string $gP2;
setFocus modelPanel4;
string $panel = `getPanel -wf`;
// Name der der aktiven Kamera ermitteln
$gActiveCamera = `modelPanel -q -camera $panel`;
switch ($gActiveCamera)
{
case "persp":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "top":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "side":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
case "front":
print ("Keine gueltige Kamera gewaehlt!");
break;
default:
$userDistValue = `floatSliderGrp -q -v $gDistSlider`;
$userRangeValue = `floatSliderGrp -q -v $gRangeSlider`;
float $camPos[] = `xform -q -ws -t $gActiveCamera`;
float $camRot[] = `xform -q -ws -ro $gActiveCamera`;

if (`objExists $gP1`)
{
print "Paint Regions bereits vorhanden!";
}
else
{
$gP1= `plane -p $camPos[0] $camPos[1]
$camPos[2] -r $camRot[0] $camRot[1]
$camRot[2] -s 3 -w 5`;
$gP2= `plane -p $camPos[0] $camPos[1]
$camPos[2] -r $camRot[0] $camRot[1]
$camRot[2] -s 3 -w 8`;
select $gP1;
move -r -os -moveZ ($userDistValue*-1);
select $gP2;
move -r -os -moveZ (($userDistValue*-
1)+($userRangeValue*-1));
setAttr ($gP1 + ".visibility") 0;
setAttr ($gP1 + ".primaryVisibility") 0;
setAttr ($gP2 + ".visibility") 0;
setAttr ($gP2 + ".primaryVisibility") 0;
select -cl;
}
}
}

```

```

    }
} //end proc paintGates()
//-----
// Paint Bereiche anzeigen/verstecken
//-----
proc paintGatesShow()
{
global string $gP1;
global string $gP2;

if (`objExists $gP1`)
{
    setattr ($gP1 + ".visibility") 1;
    setattr ($gP2 + ".visibility") 1;
}
else
    print "Keine Bereiche zum Anzeigen vorhanden!";
} // end proc paintGatesShow()
//-----
proc paintGatesHide()
{
global string $gP1;
global string $gP2;

if (`objExists $gP1`)
{
    setattr ($gP1 + ".visibility") 0;
    setattr ($gP2 + ".visibility") 0;
}
else
    print "Keine Bereiche zum Verstecken vorhanden!";
} // end proc paintGatesHide()
//-----
//Paint Bereiche bewegen
//-----
proc movePaintGatesDistance()
{
global string $gActiveCamera;
global string $gRangeSlider;
global string $gDistSlider;
global string $gP1;
global string $gP2;

if (`objExists $gP1`)
{
delete $gP1;
delete $gP2;
float $camPos[] = `xform -q -ws -t $gActiveCamera`;
float $camRot[] = `xform -q -ws -ro $gActiveCamera`;
$gP1= `plane -p $camPos[0] $camPos[1] $camPos[2] -r $camRot[0] $camRot[1]
$camRot[2] -s 3 -w 5`;
$gP2= `plane -p $camPos[0] $camPos[1] $camPos[2] -r $camRot[0] $camRot[1]
$camRot[2] -s 3 -w 5`;
select $gP1;

```

```

    $userDistValue = `floatSliderGrp -q -v $gDistSlider`;
    move -r -os -moveZ ($userDistValue*-1);
    select $gP2;
    $userRangeValue = `floatSliderGrp -q -v $gRangeSlider`;
    move -r -os -moveZ (($userDistValue*-1)+($userRangeValue*-1));
    select -cl;
    }
    else
        print "Keine Bereiche zum Verschieben!";
} //end proc movePaintGatesDistance()
//-----
proc movePaintGatesRange()
{
    global string $gActiveCamera;
    global string $gRangeSlider;
    global string $gDistSlider;
    global string $gP2;

    if (`objExists $gP2`)
        {
            delete $gP2;
            float $camPos[] = `xform -q -ws -t $gActiveCamera`;
            float $camRot[] = `xform -q -ws -ro $gActiveCamera`;
            $gP2 = `plane -p $camPos[0] $camPos[1] $camPos[2] -r $camRot[0]
            $camRot[1] $camRot[2] -s 3 -w 5`;
            select $gP2;
            $userDistValue = `floatSliderGrp -q -v $gDistSlider`;
            $userRangeValue = `floatSliderGrp -q -v $gRangeSlider`;
            move -r -os -moveZ (($userDistValue*-1)+($userRangeValue*-1));
            select -cl;
        }
        else
            print "Keine Bereiche zum Verschieben!";
} //end proc movePaintGatesRange()
//-----
// Alle Kameras in Liste speichern
//-----
proc loadAllCams()
{
    // Alle Kameras laden
    string $listCam[] = `ls -ca`;
    string $listCamParent[] = `listRelatives -p $listCam`;
    for ($each in $listCamParent)
        {
            if ($each == "persp" )
                {}
            else if ($each == "top")
                {}
            else if ($each == "front")
                {}
            else if ($each == "side")
                {}
            else
                {

```

```

        textScrollList -e -a $each camList;
    }
}
} // end proc loadAllCams()
//-----
// Kameraliste aktualisieren
//-----
proc cameraListUpdate()
{
    textScrollList -e -removeAll camList;
    loadAllCams;
} //end proc cameraListUpdate()
//-----
// In Kameraansicht wechseln
//-----
proc camView()
{
string $camInCamList[] = `textScrollList -q -si camList`;
select $camInCamList[0];
lookThroughModelPanel $camInCamList[0] modelPanel4;
} // end proc camView()
//*****
// Hauptfunktion // (Main Procedure MEL code)
//*****
proc d_PAINT(string $cameraName)
{
global string $gMainProgressBar;
global string $gDistSlider;
global string $gRangeSlider;
global string $gDisplaceStrength;
global string $gP1;
global string $gP2;
global float $gUserDistValue;
global float $gUserRangeValue;
cycleCheck -e off;
SelectTool;
//Variablen deklarieren
//-----
string $nonPaintedVertices[];
string $nonPaintedVertShapes[];
string $paintedVertices[];
string $paintedObjects[];
string $shapeNodes[];
string $select[];
float $strength;
int $vert[];
$gUserDistValue = `floatSliderGrp -q -v $gDistSlider`;
$gUserRangeValue = `floatSliderGrp -q -v $gRangeSlider`;
$strength = `floatFieldGrp -q -v1 $gDisplaceStrength`;
//=====//
// Benutzerdefinierte Variablen //
//-----//
float $planeDistBegin = $gUserDistValue;
float $paintRange = $gUserRangeValue;

```

```

float $userFac = $strength;
//=====//
float $maxDist = $planeDistBegin + $paintRange;
//-----
//Render Einstellunegn ändern
//-----
setRenderSettings($planeDistBegin);
int $currentTime = `currentTime -query`;
// Überprüfung der Objekte, ob sie im Frustum der Kamera liegen
//-----
$objectsInFrustum = `dcbObjectsInCameraView $cameraName`;
string $cameraRemove[] = {$cameraName};
stringArrayRemove($cameraRemove, $objectsInFrustum);
currentTime -edit -2;
select $objectsInFrustum;
// Alle Poly Objekte in ein Array Speichern
//-----
$select = `filterExpand -selectionMask 12`;
// Motion Blur für Objekte deaktivieren & Polys in Softbody Objekte umwandeln
//-----
for ($each in $select)
    {
        setattr ($each + ".motionBlur") 0;
        soft -c $each;
        select -cl;
    }
// Particle Nodes in Array speichern
//-----
string $particle[] = `ls -type particle`;
// Übergeordnetes Objekt in Array speichern
//-----
string $relatives[] = `listRelatives -allParents $particle`;
// Attribute der Particle aendern
//-----
for ($each in $relatives)
    {
        setattr ($each + ".visibility") 0;
    }
select $select;
// Objekte, bei welchen Vertices hinter der PaintPlane liegen in ein Array speichern
//-----
float $paintPlaneBegin = `getattr mentalrayGlobals.paintPlaneDistance`;
int $x=0;
progressBar -edit -status "Start ..." $gMainProgressBar;
pause -seconds 1;
for ($each in $select)
    {
        $vert= `polyEvaluate -v $each`;
        select ($each + ".vtx [0:" + ($vert[0]-1) + "]");
        string $vtxs[] = `ls -sl -fl`;
        for ($v in $vtxs)
            {
                select $v;
                float $vtxPos[] = `xform -q -ws -t $v`;
            }
    }

```

```

float $cPos[] = `xform -q -ws -t $cameraName`;
vector $dist = <<($cPos[0]-$vtxPos[0]), ($cPos[1]-
$vtxPos[1]), ($cPos[2]-$vtxPos[2])>>;
float $magDist = mag($dist);

if ($magDist >= $paintPlaneBegin)
    {
        $paintedObjects[$x] = $each;
        setAttr ($paintedObjects[$x] +
".motionBlur") 1;
    }
}

$x++;
}
select $select;
pickWalk -d down;
pickWalk -d left;
pickWalk -d down;
$shapeNodes = `ls -sl`;
for ($each in $shapeNodes)
    {
        int $progressEnd = `size($shapeNodes)`;
        // Progressbar erstellen
        //-----
        progressBar -edit -beginProgress -isInterruptable true -maxValue
        $progressEnd $gMainProgressBar;
        int $progress;
        for($progress=0; $progress<size($shapeNodes); $progress++)
            {
                if(`progressBar -query -isCancelled
                    $gMainProgressBar`)
                    {
                        reset();
                        print("//Result: Script wurde durch
                        Nutzer abgebrochen!//");
                        progressBar -edit -endProgress
                            $gMainProgressBar;
                            currentTime -edit
                            $currentTime;
                    }

                // Displacement Regler für die einzelnen
                // Elemente generieren
                //-----
                if (!`objExists ($each + ".displaceFactor")`)
                    {
                        select $each;
                        addAttr -shortName dp
                            -longName displaceFactor
                            -defaultValue 0.0
                            -minValue 0.0
                            -maxValue 1;
                    }
            }
        progressBar -edit -status "Preparing Objects ..."

```

```

    $gMainProgressBar;
    //Dynamische Expression
    //-----
    dynExpression -c -s "startFrame = -2; \r\n
    saveInitialState -atr position;" $each;
    string $camera = $cameraName;
    string $displace = "cycleCheck -e off; \n
    vector $pos = worldPosition; \n
    vector $camPos = `xform -q -ws -t " + $camera + "`;
    \n vector $dist = <<($camPos.x-$pos.x),
    ($camPos.y-$pos.y), ($camPos.z-$pos.z)>>; \n
    float $magDist = mag($dist); \n
    float $fac = smoothstep(" + $planeDistBegin + "," +
    $maxDist + ",$magDist); \n\n if ($magDist>=" +
    $planeDistBegin + "){ \n" + $each +
    ".displaceFactor=$fac; \r\n position=position0+
    dnoise(rot(position0,<<0,0,1>>,time*25*
    deg_to_rad(360)))*displaceFactor*" + $userFac +
    "}; \n else{ \r\n position=position0;}";
    string $expr= `dynExpression -rad -s $displace`;
    dynExpression -rad -s $displace $each;
    }
    progressBar -edit -step 1 $gMainProgressBar;
}
progressBar -edit -status "Calculating ..." $gMainProgressBar;
// Render Layer mit paintedObjects befüllen oder erstellen
//-----
$nonPaintedVertices = stringArrayRemove($paintedObjects, $select);
$paintedVertices = stringArrayRemove($nonPaintedVertices, $select);
select -r $nonPaintedVertices;

if (size($nonPaintedVertices) != 0)
{
for ($each in $nonPaintedVertices)
{
    select $each;
    sets -e -forceElement blackHolesSG $each;
}
select -r $nonPaintedVertices;
pickWalk -d down;
pickWalk -d left;
pickWalk -d down;
$nonPaintedVertShapes = `ls -sl`;
for ($each in $nonPaintedVertShapes)
{
    dynExpression -rad -s "cycleCheck -e off; \n position=position0;" $each;
}
select -cl;
}
select -cl;
string $renderLayers[] = `ls -type "renderLayer"`;
for ($layers in $renderLayers)
{
    setattr ($layers + ".renderable") 0;
}

```

```

    if ($layers == "paintLayer")
    {
        ambientLight;

        setattr "ambientLightShape1.ambientShade" 0;
        select -cl;
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer
            $paintedVertices;
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer
            ambientLight1;
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer
            $nonPaintedVertices;
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer
            $cameraName;

        if (`objExists $gP1`)
        {
            editRenderLayerMembers -noRecurse
                paintLayer $gP1;
            editRenderLayerMembers -noRecurse
                paintLayer $gP2;
        }
        setattr "paintLayer.renderable" 1;
        editRenderLayerGlobals -currentRenderLayer
            paintLayer;
        break;
    }
}
string $paintLayer[] = `ls paintLayer`;

if (!size($paintLayer))
{
    ambientLight;
    setattr "ambientLightShape1.ambientShade" 0;
    select -cl;
    createRenderLayer -name "paintLayer" -noRecurse $paintedVertices;
    editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer ambientLight1;
    editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer $nonPaintedVertices;
    editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer $cameraName;

    if (`objExists $gP1`)
    {
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer $gP1;
        editRenderLayerMembers -noRecurse paintLayer $gP2;
    }
    editRenderLayerGlobals -currentRenderLayer paintLayer;
    setattr "paintLayer.renderable" 1;
    editRenderLayerGlobals -currentRenderLayer paintLayer;
}
clear $nonPaintedVertices;
clear $nonPaintedVertShapes;
clear $paintedVertices;
clear $paintedObjects;
clear $shapeNodes;

```

```

clear $select;
select -cl;
progressBar -edit -status "Done" $gMainProgressBar;
pause -seconds 1;
progressBar -edit -endProgress $gMainProgressBar;
print("//Result: Script wurde erfolgreich ausgefuehrt!//");
currentTime -edit $currentTime;
} // end proc d_PAINT()
//*****
//Render Einstellungen
//-----
proc setRenderSettings(float $planeDistBegin)
{
// MentalRay Attribut hinzufügen und Motion Blur aktivieren
//-----
setAttr "miDefaultOptions.motionBlur" 2;
setAttr "miDefaultOptions.motionSteps" 7;

if ("defaultRenderGlobals.enableDefaultLight"!=0)
{
setAttr "defaultRenderGlobals.enableDefaultLight" 0;
}

if (!`objExists "mentalrayGlobals.paintPlaneDistance"`)
{
select "mentalrayGlobals";
addAttr -shortName ppd -longName paintPlaneDistance -defaultValue
$planeDistBegin -minValue $planeDistBegin;
select -d "mentalrayGlobals";
}
} // Material fuer Black Holes erstellen
//-----
if (!`objExists "blackHoles"`)
{
string $material = `shadingNode -asShader lambert -name "blackHoles"`;
string $SG = `sets -renderable true -noSurfaceShader true -empty
-name "blackHolesSG"`;
connectAttr -f ( $material + ".outColor" ) ( $SG + ".surfaceShader" );
setAttr "blackHoles.matteOpacityMode" 0;
}
} // end proc setRenderSettings()
//-----
//Render
//-----
proc render()
{
renderIntoNewWindow render;
} // end proc render()
//-----
// Zurücksetzen
//-----
proc reset()
{
global string $gP1;

```

```

global string $gP2;
global string $gDPaintWindow;
int $currentTime = `currentTime -query`;
currentTime -edit -2;
// Particle Position zurücksetzen
//-----
string $delete[] = `ls -type particle`;

if (size($delete)!= 0)
    {
    for ($each in $delete)
        {
        //Dynamische Expression
        //-----
        dynExpression -rad -s "cycleCheck -e off; \n position=position0;" $each;
        }
        // Alle Softbody Particles loeschen
        //-----
        string $parentDelete[] = `listRelatives -parent $delete`;
        select $parentDelete;
        for ($i=0; $i<=size($parentDelete[$i]);$i++)
            {
            if (size($parentDelete)!= 0)
                {
                delete $parentDelete[$i];
                }
            }
        }
        else
        {
        print ("Keine Softbody Objekte vorhanden!");
        }
// Render Layer leeren
//-----
string $renderLayers[] = `ls -type "renderLayer"`;

if (size($renderLayers) != 1)
    {
    for ($layers in $renderLayers)
        {
        setattr ($layers + ".renderable") 1;

        if ($layers == "paintLayer")
            {
            editRenderLayerMembers -remove
            -noRecurse paintLayer `editRenderLayerMembers
            -fullNames -query paintLayer`;
            }
            else if ($layers == "defaultRenderLayer")
                {
                setattr "defaultRenderLayer.renderable" 0;
                editRenderLayerGlobals -currentRenderLayer
                defaultRenderLayer;
                }
        }
    }

```

```

else
    {
        print ("");
    }
}
clear $delete;
string $allLights[] = `ls -type "light"`;
for ($lights in $allLights)
    {
        if ($lights == "ambientLightShape1")
            {
                select -r ambientLight1 ;
                doDelete;
            }
    }
if (`objExists $gP1`)
    {
        delete $gP1;
        delete $gP2;

        if (`window -exists $gDPaintWindow`)
            {
                toggleOff();
            }
    }
currentTime -edit $currentTime;
select -cl;
print("//Result: Objekte wurden wiederhergestellt!//");
} // end proc reset()
//-----
// CheckBox auf OFF setzen
//-----
proc toggleOff()
{
global string $gCheckBox;
checkBoxGrp -edit -v1 0 $gCheckBox;
} // end proc toggleOff()
//-----
// Help Window
//-----
proc help()
{
string $text= "d_PAINT4Artists v1.1.0 \ncopyright Matthias Isele 2011 \n\nDieses
Skript generiert ein Tool, mit welchem der Artist ueber Slider und Zahlenbox festlegen
kann, ab wo und wie stark der Paint Effekt entstehen soll. Ueber einen Calculate Button
wird der Effekt zu Vorschauzwecken angezeigt, ueber einen Reset Button zurueckgesetzt
und ueber den Render Button gerendert. Zudem besteht die Moeglichkeit die Animation
zu Baken und die Objekte zu exportieren.\n\nNew Features List: \n\nv1.1.0 \n-
Update Camera Button \n- Bake Animation \n- Export Objects with baked keys
\n\nv1.0.3 \n- Graphical User Interface \n\nv1.0.2 \n- Rendering with Black Holes \n
Objects \n\nv1.0.1 \n- Vertex based calculation \n- Camera regions for effect \n\nv1.0.0
\n- Object based calculation";
string $helperWindow = `window -title "About d_PAINT" -iconName "d_Paint"

```

```

-width 5 -h 10 -s false -tlb true`;
paneLayout -configuration "horizontal2" -ps 2 5 15;
scrollField -wordWrap true -text $text -editable false;
button -label "Close" -command ("deleteUI -window " + $helperWindow);
setParent ...;
showWindow $helperWindow;
} // end proc help()
//-----
// Baked Keyframes bearbeiten
//-----
proc editKeys()
{
select -all;
string $polys[]=`filterExpand -selectionMask 12`;
select -d;
float $amount = 0.0;
int $objs = size($polys);
float $allObjs = size($polys);
int $verts =0;
// Fortschrittsfenster erstellen
//-----
progressWindow
    -title "Baking/Editing Keys"
    -progress $amount
    -status ("Rem.Obj: "+$objs+"   Verts: "+$verts+"   Done: 0%");
for ($each in $polys)
    {
        --$objs;
        int $count[]=`polyEvaluate -v $each`;
        $verts = ($count[0]);
        select $each;
        string $shapes[] = `pickWalk -d down`;
        for($i=0;$i<=($count[0]-1);$i++)
            {
                float $increase = 1.0/((($count[0]-1)*$allObjs);
                $amount+= $increase;
                string $pnts = ($shapes[0] + "_pnts_" + $i + "__pntx");

                if(`objExists $pnts`)
                {
                    // Keys von -2.0 selektieren und auf -1.0 kopieren
                    selectKey -r -k -t -2.0 ($shapes[0] + "_pnts_" + $i
                        + "__pntx");

                    copyKey;
                    pasteKey -time -1.0 -option merge -copies 1
                        -connect 0 -timeOffset 0 -floatOffset 0
                        -valueOffset 0;
                    selectKey -r -k -t -2.0 ($shapes[0] + "_pnts_" + $i
                        + "__pnty");

                    copyKey;
                    pasteKey -time -1.0 -option merge -copies 1 -connect 0
                        -timeOffset 0 -floatOffset 0 -valueOffset 0;
                    selectKey -r -k -t -2.0 ($shapes[0] + "_pnts_" + $i
                        + "__pntz");
                }
            }
    }
}

```

```

copyKey;
pasteKey -time -1.0 -option merge -copies 1 -connect 0
        -timeOffset 0 -floatOffset 0 -valueOffset 0;

// Keyframes im Graph Editor auf pre und post infinty setzen
selectKey -r -k ($shapes[0] + "_pnts_" + $i + "___pntx");
keyTangent -itt flat -ott flat;
setInfinity -pri cycle;
setInfinity -poi cycle;
selectKey -r -k ($shapes[0] + "_pnts_" + $i + "___pnty");
keyTangent -itt flat -ott flat;
setInfinity -pri cycle;
setInfinity -poi cycle;
selectKey -r -k ($shapes[0] + "_pnts_" + $i + "___pntz");
keyTangent -itt flat -ott flat;
setInfinity -pri cycle;
setInfinity -poi cycle;
}
int $resRound = `floor ($amount*100)`;
$verts--;
progressWindow -edit
        -progress $resRound
        -status ("Rem.Objjs: "+$objjs+" Verts: "+$verts+" Done: "
                +$resRound+"%");
}
selectKey -clear;
}
select $polys;
progressWindow -endProgress;
pause -seconds 1;
} //end proc editKeys()
//-----
// Bake Animation
//-----
proc bakingAnimation()
{
select -all;
string $objj[]=`filterExpand -selectionMask 12`;
for ($each in $objj)
    {
        bakeResults -simulation true -t "-2:-1" -sb 0.2 -cp true -s true $each;
    }
} //end proc bakingAnimation()
//-----
// Löschen der Particle Objekte
//-----
proc deleteParticles()
{
if (`objExists "*Particle"`)
    {
        select -r ("*Particle");
        doDelete;
    }
else

```

```

        {
            print("Keine Particle Objekte vorhanden!");
        }
    } //end proc deleteParticle()
//-----
// Hauptfunktion der Baking Prozedur
//-----
proc bake()
{
float $startTime = `timerX`;
bakingAnimation();
deleteParticles();
editKeys();
int $totalTimeSec = `timerX -startTime $startTime`;
int $timeHours = ($totalTimeSec/3600);
int $timeMin = ($totalTimeSec-($timeHours*3600))/60;
int $timeSec = ($totalTimeSec-($timeHours*3600)-($timeMin*60));
print("// Total Duration: " + $timeHours + "h:" + $timeMin + "min:" + $timeSec + "sec
("+ `date -format "hh:mm:ss MM/DD/YYYY" ` +)");
} //end proc bake()
//-----
// Exportiert die Objekte
//-----
proc export()
{
select -all;
string $exports[]=`filterExpand -selectionMask 12`;
select $exports;
ExportSelection;
} //end proc export()
//-----
// Window erstellen
//-----
d_PAINTWindow();

```

Anhang B

Inhalt der Daten-DVD

Format: DVD-R, Single Layer, ISO9660-Format

B.1 Masterthesis

Pfad: *./Thesis/*

MIsele_Thesis.pdf Digitale Version der Masterthesis.

B.2 Praktische Arbeit: *mi_Tools*

Pfad: *./Thesis/mi_tools/*

_d_PAINT/ Prototyp zur losen Objektkanten-
erstellung bei 3D Elementen.

_lightSequenceBaker/ Entwickeltes Tool zum speichern
von Schatten in Animationen.

_sceneParser/ Entwickeltes Tool zur Keyframe
Entfernung. Gleichzeitig ist es ein
Workflow und Management Tool.

_treetopGen/ Artist-freundlicher Baumkronen
Generator.

plugin/ Prozedur, um Objekte im Kamera
Frustum zu erkennen. Plugin liegt
für die Maya Versionen 2008 und
2009 in den Ordnern *plugin/2008*
bzw. *plugin/2009* vor.

README.html Installationsbeschreibung für die
mi_tools.

shelf_mi_Tools.mel Dient zur Einbindung der
mi_tools in Maya über die
Menüleiste.

B.2.1 *mi_Tools* Dokumentation

Pfad: *./Thesis/mi_tools/*

_d_PAINT/Docs/ Beschreibung zu *d_PAINT*.

<i>lightSequenceBaker/Docs/</i> . . .	Beschreibung zu <i>lightSequenceBaker</i> .
<i>sceneParser/Docs/</i>	Beschreibung zu <i>sceneParser</i> .
<i>treetopGen/Docs/</i>	Beschreibung zu <i>treetopGen</i> .

B.2.2 MEL Sourcecode

Pfad: *./Thesis/mi_tools/*

<i>d_PAINT/src/</i>	<i>d_PAINT.mel</i> .
<i>lightSequenceBaker/src/</i>	<i>lightSequenceBaker.mel</i> .
<i>sceneParser/src/</i>	<i>sceneParser.mel</i> .
<i>treetopGen/src/</i>	<i>treetopGen.mel</i> .

B.2.3 Icons für Maya Shelf

Pfad: *./Thesis/mi_tools/*

<i>d_PAINT/icon/</i>	Symbol für die Menüleiste.
<i>lightSequenceBaker/icon/</i>	Symbol für die Menüleiste.
<i>sceneParser/icon/</i>	Symbol für die Menüleiste.
<i>treetopGen/icon/</i>	Symbol für die Menüleiste.

B.3 Verwendete Quellen

Pfad: *./Quellen/*

<i>Internetquellen/</i>	Gesicherte Internetseiten.
<i>Papers/</i>	Verwendete Papers, Diplom- und Thesarbeiten.
<i>Vorschaubilder/</i>	Miniaturbilder der Quellen.

B.4 Sonstiges

Pfad: *./*

<i>Adobe/</i>	Adobe Acrobat Reader für Windows XP SP2–SP3.
<i>autorun.bat</i>	Startet die index.html.
<i>autorun.inf</i>	Setup Datei für autorun.bat.
<i>background.gif</i>	Hintergrundbild der index.html.
<i>ddimgtooltip.css</i>	Stylesheet Datei zur index.html.
<i>ddimgtooltip.js</i>	Jacascript für Tooltip.
<i>fade.gif</i>	Platzhalter Bild.
<i>index.html</i>	Ruft die Quellenübersicht auf.
<i>jquery – 1[1].3.2.js</i>	Jacascript für Tooltip.
<i>LIES_MICH.txt</i>	Informationen über DVD.

Anhang C

Inhalt der Video-DVD

Format: DVD-R, Single Layer, ISO9660-Format

C.1 Video-DVD Teil

Pfad: ./

VIDEO_TS/ Ordner enthält die benötigten
DVD Daten.
AUDIO_TS/ Leer.

C.2 DVD-ROM Teil

Pfad: ./ROM/

DVD_DESIGN/ Beinhaltet das DVD Cover unter
DVD_DESIGN/COVER/
sowie das DVD Label unter
DVD_DESIGN/LABEL
zum Projekt.
Docs/ Dokumentationen zum Projekt
im PDF Format.

C.3 Sonstiges

Pfad: ./

autorun.bat Startet die index.html.
autorun.inf Setup Datei für autorun.bat.
background.gif Hintergrundbild der index.html.
fade.gif Platzhalter Bild.
index.html Ruft die Quellenübersicht auf.
LIES_MICH.txt Informationen über DVD.

Index

2

2D xi, xv, 5, 21, 22, 23, 47, 53, 54, 55,
57, 61, 65, 66, 67, 72, 73, 84, 92, 96,
97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104,
105, 107, 109, 110, 111, 112, 114,
115, 121, 129, 130, 132, 133, 143, 144
Paint Programm 21, 23, 92, 143
 CorelPainter 21, 72, 92, 143, 169
 Photoshop 21, 92, 143, 175

3

3D i, iii, iv, vi, vii, xi, xii, xiv, xvi, 1, 4,
5, 6, 7, 8, 9, 14, 24, 30, 40, 42, 43, 44,
45, 47, 48, 49, 53, 54, 55, 56, 57, 58,
59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 68, 70,
71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 82,
83, 84, 85, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93,
96, 97, 99, 100, 101, 103, 104, 105,
106, 107, 108, 109, 110, 112, 113,
114, 116, 117, 119, 121, 122, 123,
124, 125, 126, 127, 129, 130, 132,
133, 134, 135, 136, 137, 138, 139,
140, 142, 143, 144, 145, 147, 148,
149, 152, 154, 156, 157, 158, 159,
160, 161, 163, 164, 165, 168, 172,
XVIII
Element i, iii, vi, vii, 1, 4, 5, 7, 9,
14, 24, 30, 44, 45, 47, 48, 49, 54,
56, 58, 67, 68, 73, 74, 75, 77, 86,
87, 89, 90, 91, 92, 96, 100, 101,
103, 107, 109, 110, 112, 114, 117,
121, 122, 123, 124, 126, 127, 129,
130, 133, 134, 142, 144, 145, 147,
148, XVIII
 Designement 37
Objekt xi, xii, xiii, xiv, xvi, 5, 7, 8,
13, 14, 15, 16, 18, 26, 27, 28, 39,

40, 43, 47, 49, 50, 51, 53, 54, 55,
56, 57, 58, 60, 61, 62, 63, 64, 65,
66, 67, 70, 72, 73, 74, 75, 76, 77,
78, 79, 80, 81, 82, 84, 85, 87, 88,
89, 90, 91, 92, 93, 95, 97, 98, 99,
100, 101, 102, 103, 104, 105, 106,
108, 109, 110, 123, 124, 125, 126,
130, 131, 133, 137, 138, 139, 140,
141, 143, 145, 147, I, VIII, XIII,
XIV, XVI, XVII, XVIII
Dreiecksflächen 146
Rand 137, 139
Übermalungen 145

A

abendfüllend 3, 35, 68, 74, 91, 94, 98
Abschnitt 2, 16, 20, 23, 25, 27, 32, 33,
34, 42, 44, 48, 53, 67, 68, 73, 74, 83,
89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 99, 100,
101, 103, 105, 106, 111, 112, 113,
116, 117, 121, 125, 126, 127, 129,
142, 143, 144, 145, 146
aktiv 44, 85, 88, 91, 99
alternativ 1, 8, 32, 45, 48, 55, 59, 67,
79, 83, 99, 114, 144, 145
Alternative 2, 8, 47, 67, 134, 143, 145
ambivalent 46, 74
analog iii, iv, vi, ix, x, xvi, 1, 3, 5, 6, 8,
10, 12, 16, 17, 20, 21, 22, 23, 24, 30,
33, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 43, 46, 49,
53, 68, 70, 71, 73, 74, 76, 83, 86, 90,
91, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 114,
123, 124, 127, 131, 138, 142, 143
Anforderung iii, xvii, 6, 7, 91, 92, 94,
95, 107, 111, 119, 143
angepasst iii, 6, 7, 8, 107, 114, 115, 116,
118, 119, 120, 122, 127, 129, 132,
134, 144

- Animation vii, xiv, xx, 2, 3, 6, 7, 8, 29,
 38, 41, 47, 67, 68, 72, 90, 91, 97, 104,
 122, 131, 143, 147, 152, 158, 161,
 165, 168, 169, 175, 177, I, III, XIV,
 XVI, XVIII
 Animationsstudio 147
 Annahme 48, 51, 81, 133, 148
 Ansatz 64, 67, 74, 89, 91, 95, 96, 98,
 102, 103, 110, 116, 142, 147, 148
 Ansicht 45, 48, 88, 92, 108, 109, 110,
 146
 Erstellungsansicht 111
 Anwendung iii, vii, xv, xvi, 3, 7, 22, 47,
 52, 110, 117, 118, 119, 122, 127, 129,
 130, 133, 135, 137, 139, 140, 141, 143
 Bereiche 2, 32, 84
 Gebiete 10, 28, 33
 Praxis 2, 7, 10, 20, 42, 52, 53, 55,
 97, 116, 117, 144
 Beispiel 103
 Betrachtung 6
 Einsatz 116, 134
 praxisbezogen 7, 122
 Arbeitsschritt 47, 67, 108, 129
 Arbeitswerkzeug 21, 73, 143
 arbiträr 48, 61, 63, 82, 88, 96, 101, 130,
 143
 Argument 144
 Argumentation 144
 Art vii, 13, 14, 18, 24, 27, 29, 32, 33,
 43, 45, 48, 51, 53, 59, 63, 65, 70, 72,
 76, 77, 82, 83, 88, 92, 96, 97, 98, 100,
 101, 103, 104, 107, 109, 111, 113,
 130, 145, 146, 147, 153, 164, 167,
 170, 176, 177, 178
 artifiziell 4, 43, 102, 121
 Artist i, iii, vii, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 21,
 22, 28, 30, 31, 40, 42, 43, 44, 45, 47,
 48, 53, 54, 59, 60, 61, 64, 67, 70, 71,
 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 82, 83, 85,
 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97,
 98, 99, 101, 102, 103, 104, 105, 106,
 107, 109, 110, 111, 112, 113, 114,
 117, 118, 121, 122, 124, 125, 126,
 127, 129, 130, 131, 132, 134, 139,
 142, 143, 144, 145, 146, 147, 148,
 152, 160, 163, 173, 176, I, XIV,
 XVIII
 Anteilnahme 5, 7, 129, 133, 143,
 144, 147
 -bezogen 143
 -einbezogen 98
 Einbezug i, iii, 5, 7, 9, 44, 45, 47, 48,
 70, 71, 88, 90, 96, 104, 111, 117,
 121, 142, 143, 144
 Einflussnahme 44
 -eingebunden vii, 4, 91, 94, 96, 98,
 103, 112, 118, 121, 122, 125, 127,
 142, 146
 -erzeugt 147
 -freundlich 5, 45, 48, 67, 78, 91, 92,
 94, 101, 107, 121, 125, 127, XVIII
 -gerecht 107
 -gesteuert 73, 88
 Involvierung 5
 schöpferische Kraft iii, 5, 7, 30, 42,
 47, 67, 87, 91, 97, 98, 130, 142,
 143, 144
 Artwork iii, vi, vii, ix, xiii, xvi, 6, 9, 11,
 12, 14, 15, 16, 40, 46, 72, 73, 75, 76,
 86, 87, 88, 89, 90, 91, 94, 95, 96, 98,
 100, 101, 102, 107, 110, 112, 115,
 117, 130, 136, 138, 143, 145
 -bezogen 143
 Darstellungsstil i, iii, vii, xvi, 5, 6, 7,
 9, 10, 33, 44, 45, 47, 48, 67, 74,
 90, 91, 96, 117, 121, 122, 127, 130,
 132, 134, 141, 143, 144
 -gerichtet vii, xiii, xvi, 87, 89, 90,
 91, 94, 136, 145
 art-directability 86, 87, 88, 89,
 90, 91
 Aspekt 2, 20, 44, 45, 98, 101, 118, 121,
 122, 145
 Hauptaspekt 17
 Teilaspekt 48, 67, 90, 101, 107, 114,
 118, 127
 Ausgabebild 146
- ## B
- Balance 147
 Findung 148
 Baum xii, xv, 72, 87, 88, 89, 98, 130,
 131, 135, 136, 171
 Beispiel 89
 Blatt 64, 87, 88, 131, 135, 136, 139
 Darstellung 131, 139
 Erstellung 89, 135
 Form 73, 88, 89, 98
 Gestalt 89
 Objekt 87, 89, 99, 130
 Baumkrone xvi, 135, 136, 139, XVIII
 Erzeugung xvi, 136
 Form 88, 89, 136
 Baumstruktur 64, 65, 88

Beispiel 42, 60, 122
 beispielsweise 111
 Beispielobjekt 102, 125, 137
 beliebig 23, 79, 89, 101, 104
 Bemalungsmöglichkeit xv, 110
 Beobachter 142
 beobachtende 44
 Berechnung 5, 51, 52, 74, 80, 124, 133, 137
 Berechnungsmethode 52
 Betrachter 2, 16, 17, 28, 32, 43, 58, 76, 92, 111, 133, 146
 Bewegungsunschärfe 131
 Bild vi, x, xv, 1, 4, 5, 6, 10, 11, 13, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 35, 39, 40, 41, 42, 46, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 59, 60, 61, 72, 75, 76, 77, 80, 81, 83, 84, 85, 86, 87, 89, 90, 92, 95, 97, 98, 102, 103, 104, 106, 108, 113, 117, 123, 124, 125, 126, 127, 130, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 148, XIX, XX
 Ästhetik iii, vi, 2, 3, 4, 6, 10, 12, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 23, 24, 25, 27, 29, 42, 43, 44, 46, 73, 74, 87, 88, 92, 93, 94, 95, 102, 103, 127, 130, 136, 138, 142, 147, 165
 Erzeugung 4, 142
 Imitation 86
 Präferenz 2
 Beispiel 3, 8, 25, 35
 Betrachtung iii, 6, 7, 10, 11, 13, 15, 16, 25, 30, 45, 48, 68, 73, 74, 93, 94, 95, 99, 103, 118, 132, 143
 formal iv, 87, 94, 95, 96, 102, 131, 133, 142, 143
 Bewegtbild
 Bereich 3
 Einsatz 41
 Bilderwelten 3, 26, 27, 73
 Bildgenesen iii, vi, 4, 6, 10, 23, 26, 27, 28, 31, 142, 148
 synthetisch vi, x, 6, 10, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 39, 41, 84, 88, 102, 131, 142
 Einzelbild 3, 122
 Information 32
 Inhalt 32
 Komposition 16, 34, 127, 147
 Merkmal 147
 Manipulationsoperationen 23
 Standbild
 Bereich 4, 145

Erzeugung 94, 132

binär 4
 Blackbox xiv, 93
 Blobby Object 100
 Bonsaibaum 100
 Bounding Box 64
 Budget 68

C

Charakteristik 20, 33, 35
 Charakter 18, 26, 40, 46, 106, 114, 141, 144
 Charaktere 26, 27, 77
 charakterisieren 20, 35, 131
 charakteristisch 6, 131, 132, 137, 147
 Charakterzüge 20
 Computer 4, 5, 12, 24, 25, 26, 29, 31, 42, 43, 68, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 83, 84, 88, 98, 100, 102, 103, 143, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161, 162, 163, 164, 165, 166, 167, 168, 175
 Computerberechnung iii, 4, 42, 47, 56, 117, 142, 143
 Algorithmus 4, 5, 29, 42, 47, 49, 52, 53, 54, 76, 88, 122, 127, 142, 146, 147, 148
 automatisch iii, 54, 62, 72, 74, 78, 104, 105, 109, 117, 118, 121, 122, 125, 127, 133, 142
 Regeln 4, 88
 Zufallsberechnung 4
 computergeneriert xx, 1, 3, 4, 6, 25, 27, 39, 41, 70, 129, 138, 142, 144, 147
 computer-generated xx, 1, 24, 25, 69, 152, 153, 160, 168
 computer-generated imagery xx, 1, 165, 170
 Computergrafik iii, vi, 1, 2, 6, 7, 8, 10, 23, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 32, 33, 35, 42, 45, 46, 48, 49, 53, 65, 76, 78, 84, 87, 92, 146, 150, 153
 Computerspielebereich xiii, 33, 37, 38, 84, 85

D

Darstellung i, iii, vi, vii, ix, x, xi, xiii, xiv, xv, xvi, xvii, xviii, xix, 2, 4, 7, 8, 14, 17, 19, 21, 22, 23, 24, 26, 27, 28, 32, 35, 36, 37, 41, 43, 44, 47, 48, 49, 52, 54, 55, 59, 69, 74, 79, 83, 84, 88, 89, 91, 93, 94, 96, 97, 100, 101, 102,

103, 106, 108, 109, 112, 114, 117, 118, 123, 125, 126, 128, 131, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 146

Abweichung 20, 27

Darstellungsart 13, 14, 32, 39, 40

Darstellungsdetail
Detailstufen xx, 131, 147

Darstellungsform ix, 1, 2, 3, 5, 6, 10, 11, 12, 13, 14, 24, 26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 38, 39, 40, 41, 44, 46, 47, 68

Darstellungsgrad 11

Darstellungsprozess 9, 10, 40, 44, 45, 47, 99, 103, 105, 118, 143

Darstellungsstil iii, vi, x, xiv, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 46, 71, 74, 78, 83, 86, 103, 104, 117, 121, 141, 145, 147

Bereich 147

grafischer 13

malerischer 13, 14

Vorlage 87

Darstellungsweise 144

Fotoaufnahmen 2, 12, 24

fotoREAL 3, 6, 10, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 41

Fotorealismus vi, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 32

Hauptdarstellungsformen 24

Illustrationen 11, 12, 31, 39

level of detail xx, 131

Matte Painting 12

Möglichkeiten 10, 24, 28

nicht-fotoREAL iii, vi, vii, ix, x, 1, 2, 3, 4, 6, 10, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 44, 46, 68, 72, 142, 147

Non-Photorealistic Rendering iii, iv, 1, 8, 152, 155, 156, 157, 168, 171, 172, 173

Painterly Stil iii, iv, vi, x, xiv, xvi, 10, 30, 31, 34, 40, 41, 42, 43, 71, 73, 74, 78, 83, 86, 97, 101, 102, 103, 117, 119, 121, 122, 136, 137, 156, 160, 161, 162, 167, 169, 175, 177

Sketchy Stil vi, x, xiv, 34, 35, 39, 40, 103, 104, 152, 169

Toon Stil vi, x, xii, 34, 35, 36, 37, 38, 41, 42, 71, 167, 175

NPR iii, iv, xx, 1, 158, 170, 173, 174, 175

Objektdarstellung 10, 12, 16, 25, 67, 131, 139, 140, 142, 144

Größen 146

konturlose iii, 37, 145

lose Kanten 14, 96, 97, 107, 123, 127, 137

Stil ix, x, xii, xiv, 3, 10, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 71, 91, 101, 102, 103, 122, 148

Variante 103

Realismusabbildung 1

realitätsnah 21

Schnellzeichnungen 12, 14, 18

Skizzenzeichnungen 12

Speed Paintings 12

Stil 147

Darstellungsfallunterscheidung xv, 32, 37, 44, 45, 63, 74, 88, 96, 98, 101, 111, 112, 132, 133, 146

Definition 5, 6, 11, 25

Defizit 146

Depth

Buffering 146

Map 146

Detail

Aufnahme 83, 131, 138

Bereich 131

digital iii, iv, 3, 4, 5, 6, 10, 11, 16, 20, 21, 22, 23, 24, 32, 43, 46, 73, 74, 75, 76, 100, 130, 142, 143, 150, 169, 170, 173

Digital Sculpting 100, 145

direkt iii, 4, 8, 14, 39, 42, 53, 74, 78, 81, 85, 88, 93, 95, 96, 97, 99, 103, 104, 105, 106, 107, 109, 110, 112, 113, 117, 119, 121, 127, 130, 131, 133, 144, 145, 146, 147

Disparität 102

dreidimensional 4, 6, 7, 10, 30, 43, 46, 48, 53, 55, 56, 58, 60, 67, 72, 73, 74, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 109, 110, 123, 130, 131, 139, 140, 142, 143, 145, 146

Durchführbarkeit 129

E

Effekt 21, 23, 26, 42, 117, 121, 126, 127, 144, I, XIV

Erzeugungsprozess 121

post-processing 42, 43, 45, 74, 76, 87, 117, 146

pre-render 117, 118, 119, 120, 121, 122, 125, 127, 129

Stärkegrad 125
 Steuerung 121, 126, 127
 Eigenheit 6, 18
 Einbeziehung 7, 47, 101, 114, 127
 Möglichkeiten 9
 Einheitswürfel 62, 63
 Einsatz
 Bereiche 3
 Gebiete 6, 46
 Einschätzung 8, 134
 Einspielergebnis xvii, 68, 69, 174, 178
 Entwicklung iii, ix, x, 1, 2, 3, 4, 5, 7,
 10, 25, 26, 31, 45, 67, 71, 73, 85, 86,
 87, 90, 95, 98, 114, 116, 118, 125,
 127, 143
 Entwurf vii, 6, 7, 8, 10, 45, 46, 47, 68,
 92, 112, 115, 116, 118, 122, 134, 143
 Entwicklung 117
 Environment 37, 72
 Map 58
 Erfahrung 20
 Ergebnis 8, 13, 33, 43, 58, 68, 90, 94,
 104, 105, 112, 113, 127, 131, 132,
 134, 142, 144, 147, 148
 Präsentation 8, 120
 Erkenntnis 4, 39, 45, 61, 68, 74, 100,
 101, 107, 112, 113, 143
 Erreichung 90, 127
 Erstellungsart 12, 122, 145
 Erstellungsmöglichkeit 90, 91, 94
 Erstellungsprozess iii, 5, 6, 7, 42, 44,
 67, 70, 87, 89, 99, 102, 121, 136, 142,
 144
 Erstellungsweise 35, 88, 108, 121, 144
 Erzeugung iii, xiv, 1, 3, 4, 7, 24, 25, 27,
 30, 33, 41, 47, 68, 73, 74, 75, 76, 77,
 83, 87, 88, 91, 96, 97, 98, 99, 107,
 110, 116, 117, 118, 121, 122, 123,
 125, 127, 131, 132, 135, 142, 144, 147
 Erzeugungsart 74, 121
 Evaluierung iii, 122, 130
 experiences 20
 Expression
 dynamische Expression 123, 125,
 128, X, XIII
 Extraktionsprozess xiii, 89, 90
 eyes 20

F

Fähigkeit 20, 21, 43
 Faktoren iii, vi, 3, 6, 10, 16, 17, 18, 20,
 21, 41, 43, 44, 49, 74, 92, 94, 96, 102,
 127, 143, 146

Multiplikationsfaktoren 125
 Skalierungsfaktoren 56, 57
 Farbe 16, 17, 18, 19, 21, 34, 71, 102,
 107, 109, 110, 132
 Farbinformation 58, 72, 79, 80, 104,
 105, 106
 Farbnuanceflächen 131
 Farbnuancierung 133
 Farbschicht 18, 19
 Färbung 19
 Objektfarbflächen 16, 138
 Pigment 18
 Farbgebungsprozess 107, 116
 Farbmaltechnik 6, 143
 Farbtechnik ix, 15, 22, 23
 Aquarell 22, 23
 Ölfarbe 22
 Wasserfarben 41
 Farbverläufe 19
 Faszination 31
 Filmbereich vi, 11, 12, 25, 26, 27, 33
 Animationsfilm 3, 4, 8, 27, 33, 35,
 42, 46, 68, 69, 73, 83, 85, 94, 98,
 103, 142, 147, 155
 Realfilm x, 33, 36, 41, 42
 Filter 21, 23, 143
 Filterung 82
 First-Come-First-Served-Prinzip xx,
 111, 112
 First-In-First-Out xx, 111
 Flächen xiv, 34, 49, 51, 62, 77, 82, 92,
 99, 106, 108, 109, 112, 133
 Flächenteilstückberechnung 147
 Form v, xviii, 2, 3, 5, 6, 11, 12, 16, 17,
 18, 21, 22, 24, 25, 28, 30, 45, 47, 49,
 50, 53, 54, 58, 60, 61, 63, 64, 70, 76,
 88, 95, 98, 99, 100, 105, 116, 117,
 118, 121, 122, 127, 137, 143, 144
 Ausprägungsform x, 9, 11, 12, 24,
 32, 39, 41
 Forschungen 14, 30, 42, 44, 48, 59, 61,
 64, 65, 72, 106, 113, 145, 148
 Forschungsfrage 5, 10, 14, 40, 45, 48,
 67, 68, 73, 90, 95, 111, 114, 118, 119,
 134, 142, 143, 145
 Freud 43, 44, 142, 154
 Funktion 44, 76
 Funktionsweise xii, xvi, 66, 105, 107,
 108, 132, 137, 144

G

Geometrie 47, 58, 145
 Gerüst 88

Gesamtheit 1, 27, 32, 90, 133
global 54, 66
grenzenlose Objekttexturierung xv, xx,
112, 114, 116, 117, 118, 121, 132,
133, 143, 145
Größen 74, 114
Grundlagen vi, 5, 6, 9, 46
Gruppe 12, 13, 14, 29, 31

H

handgemalt iii, 4, 5, 12, 18, 19, 20, 39,
41, 48, 67, 76, 78, 83, 85, 90, 94, 97,
130, 131, 137, 142, 145
Hauptakteur 147
Hauptprozedur xvii, 122, 123, 126
Hauptuntersuchungsgegenstand 24, 41,
107, 111
Herangehensweise
direkt 92, 94, 96, 97, 117, 146
indirekt 5, 93, 95, 145
Hilfsmittel 70, 110, 142, 147
Hilfsobjekt xi, 56, 57, 58
Hilfsprojektionsflächen 55
Hilfswerkzeug 71
hochaufgelöst 50, 76, 79, 145
Hypothese 5, 8, 91, 115, 134, 142, 144

I

Immersion 33, 38
inactive 16
indirekt 5, 56, 93, 95, 120, 129, 133,
134, 144, 145, 147
induktiv 6, 7, 91, 119, 143
Informationsvermittlung 2
interdisziplinäre 31
Interface 121, 122, 125, 126, 127, 131,
157, 159, 172, XIV
grafische Benutzeroberfläche xx, 121
Graphical User Interface xx, 121,
122, 126, 127, XIV
intrinsisch xii, xiii, 54, 76, 80, 81, 88,
104
inverses Problem iii, 6, 47, 95, 119, 143,
145
Isoparametrische Flächenkurve xx, 49,
81

K

Kanten
Darstellung xii, xvi, 75, 76, 96, 98,
111, 119, 121, 123, 127, 132, 133,
137, 140, 146, 147

Überlappungen xvi, 133, 140
Darstellungsform 13, 14, 45, 96, 97,
98, 107, 110, 131
feste 13
geschlossene 13, 99, 137
Kantenummerierung 81
Kantenpunkt 110
lose 14, 96, 97, 107, 123, 127, 133,
137
Objektkanten 7, 34, 75, 117, 121,
123, 125, 127, 131, 132, 133, 137,
XVIII
Kategorie 12, 32, 33, 39, 40, 42
Unterkategorie 33
Kernthese 44
Key Frame 72, 75
Subframe 125
Klasse 55
klassisch 15, 55, 60, 68, 99
kohärent 5, 130, 134, 142, 144
Kolorierung 72, 74, 78, 101, 109, 110
kolorieren 77, 82, 103
Kolorierungsprozess xii, 72, 74, 75,
101
Kombination 3, 23, 34, 55, 58, 103, 112,
114, 132
kommerziell ii, 104, 105, 145
Kommunikationsmittel 28, 29, 32, 37,
38, 39, 42
kommunizieren 29
Komponente xv, 25, 27, 51, 53, 112,
114, 116, 117, 121, 134, 144
Kontinuität 4, 81, 142
Konzept iii, vii, xv, 6, 7, 8, 47, 114,
115, 116, 118, 120, 122, 127, 129,
132, 134
Erstellung vii, 113
Koordinate xi, 53, 54, 79, 104
Bildschirm 146
Koordinatensystem xii, 54, 79, 80,
81, 82, 83
korrigierende 44
Kreativität 8, 27, 43, 74, 99, 106
kreativ iii, 4, 7, 29, 43, 44, 45, 73,
106, 142, 143, 147
Kreisbegrenzungsrahmen 61
Kriterien 33, 107
Kriterium 27, 146
Kugel 60, 61
Künstler 8, 18, 19, 29, 42
künstlerisch 8, 106
künstlich 23, 27, 29, 39
Kurve xi, xviii, xx, 2, 49, 50, 58, 88, 98,
145

Ansatz 99
Erstellungsart 89
Form 49, 89, 98
Zeichnung 99
Zeichnungsmethodik 99
Kurvenformen 49, 98

L

Limitation 28, 59, 63, 99, 104
linear 13
Liniengrafik 25, 26, 29, 30
Literatur 8, 99
 Kernliteratur 8
Lösung
 Größe 116
 Lösungsansatz xv, 4, 5, 7, 9, 14, 45,
 47, 68, 90, 91, 95, 96, 101, 114,
 115, 118, 122, 134, 144
 Lösungsfindung iii, vii, 6, 45, 47, 67,
 73, 74, 91, 92, 94, 98, 99, 103,
 105, 114, 119, 143
 Lösungsweg 6, 9, 91, 94, 98, 107,
 145, 146
 Teillösung 116, 121, 132, 143
L-System 87, 88

M

Machbarkeitsprüfung 132
Machbarkeitsprüfung vii, 6, 7, 47, 129
Machbarkeitsprüfung 132
Machbarkeitsprüfung 132
Machbarkeitsprüfung 134
Machbarkeitsprüfung 146
Machbarkeitsprüfung III
Machbarkeitsprüfung VIII
Maldarstellungsunstimmigkeiten 4
malerisch 14
Malgrund 18, 19, 21, 22, 123
Malprozess 22, 133, 144
Malrichtung xv, 19, 25, 26, 49, 53, 58,
 66, 79, 80, 92, 102, 111, 112, 124, 127
 Beschreibung 123
 Malanleitung 127
Malstil iii, ix, 1, 4, 6, 7, 12, 19, 20, 21,
 30, 31, 32, 41, 43, 44, 71, 104, 142,
 146, 169, 175
 Imitation 4, 24, 142, 148
Maltechnik 18, 19, 41
 Grundtechnik 18
 Impasto 18, 20, 138
 Lasurtechnik 19
 Nass-in-Nass Technik 19, 20

Primamalerei 18
Schichttechnik 19
Spachteltechnik 19
Malverhalten 74
Malvorgang 19
Malwerkzeug 18, 21, 74, 104, 143
 Malmesser 18, 23
 Spachtel 18, 19, 22
Mannigfaltigkeit 12
 mannigfaltig 62, 84
Master
 Arbeit ii, iii, v, viii, 4, 6, 8, 9, 10, 12,
 13, 14, 17, 24, 30, 33, 39, 40, 43,
 45, 46, 47, 48, 54, 55, 59, 68, 69,
 72, 73, 87, 92, 93, 94, 95, 96, 97,
 98, 99, 101, 103, 106, 110, 111,
 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119,
 120, 121, 130, 134, 142, 143, 144,
 145, 146, 147, I, XVIII
 Thesis viii, 5, 6, 8, 9, 10, 13, 14, 25,
 42, 43, 46, 55, 82, 90, 91, 92, 95,
 96, 115, 118, 119, 121, 134, 142,
 144, 145, 151, 156, XVIII
Materialität 5, 53, 95, 103
McLuhan 44, 160
medium 44
Mehrwert 12, 28, 38
menschlich 8, 43, 145
message 44
Metaballs 100
Methode vii, xi, xii, xiii, xiv, xv, 4, 5,
 23, 47, 48, 51, 52, 55, 58, 59, 60, 61,
 62, 63, 65, 66, 67, 72, 73, 74, 78, 79,
 82, 83, 84, 85, 89, 92, 94, 97, 98, 99,
 100, 101, 103, 104, 105, 106, 107,
 110, 114, 116, 117, 118, 127, 131,
 133, 143, 144, 145, 146
Methodik 26, 67, 73, 77, 90, 95, 98, 122,
 147
mi_Tools viii, 120, XVIII
Mindestmass 148
Modell iii, xiv, xv, 5, 47, 77, 80, 82, 83,
 85, 89, 93, 113, 114, 115, 119, 121,
 132, 143, 147
 theoretische Gedankenmodell iii, vii,
 xv, 5, 6, 7, 47, 112, 113, 114, 115,
 116, 117, 118, 121, 122, 129, 132,
 134, 144
Modellierung xi, xiv, 48, 49, 50, 51, 52,
 79, 87, 91, 97, 100, 144
 Flächenmodellierung 47
Modellierungsart 47, 48, 49, 51, 52,
 67, 68, 76, 91, 94, 101, 129, 130,
 144, 145

Modellierungsbereich vii, 6, 7, 8, 45,
48, 67, 90, 91
Modellierungsmethode 48, 76, 99,
144
Objektmodellierungssektor 105
Polygon 52, 79, 80, 81, 82, 106, 109
 Polygonnummerierung 81
Polygonnetz 79, 80
Software 145
Vorgang 97, 99
Modo 100, 174
Motion Blur 42, 131, 139, VIII, IX, XII
mühselig 147
Mutation 44

N

Nachteil 7, 47, 58, 78, 84, 93, 94, 104
Natürlichkeit 4, 102, 142, 147
 natürlich 4, 6, 7, 30, 31, 54, 73, 98,
 130, 133, 137, 142, 147, 148
Nichtertastbare 16
Normal Map 76
Normale 58, 66, 76, 79, 92, 111, 125,
133, 137
 Fläche 66, 67, 102, 112
 Kamera 112
 Pinselfrich 102
NURBS xi, xviii, xx, 49, 50, 51, 53, 54,
67, 76, 78, 81, 82, 99, 104, 144, 162
non-uniform rational B-Splines 49

O

Objektform 14, 63, 73, 88, 95, 96, 98,
101, 106, 110, 115, 130, 134, 143, 145
abhängig 110
Erzeugung 107, 118, 132
Objektformgebung xiii, 47, 73, 89,
98, 132, 144
 Phase 98
 Objektformgebungsprozess 98, 116,
 144
Objektkachelungsmethode 78
Objektmaterialität 76, 95, 96, 98, 101,
103, 106, 112, 115, 130, 134, 143, 145
Darstellung 55, 68, 73, 77, 98, 105,
107, 112, 116, 137
Erstellung 129, 143
Erzeugung vii, 74, 86, 87, 101, 114,
116, 131, 132, 134, 143
Objektnetz 47, 48, 51, 52, 53, 60, 61,
63, 67, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 104,
129, 130, 137, 140, 145, 146

Control Mesh 49, 51, 80, 81
Faces vii, x, xi, xii, xiii, 48, 49, 51,
52, 55, 58, 63, 65, 73, 78, 79, 80,
81, 82, 83, 150, 168
Knotenpunkt 48, 49, 77
Kontrollkurve 50
Kontrollnetz 49, 50, 51, 80, 81
Kontrollpunkt xi, 49, 50
Mesh 47, 48, 49, 50, 51, 60, 63, 97,
100, 104, 105, 106, 109, 150, 154,
178
Quads 48
Submesh 76, 77, 78
Triangles xiv, 48, 61, 63, 106
Objektnetzachelung xii, 76, 77, 78, 82
Objektposition 132
Objektpunkte 58, 62, 63, 76, 146
Objektsegment 62
Objektsilhouette
 Konturdarstellungsvariante 37
 Konturlinie 13
 Konturlosigkeit 17
 Linienführung 14, 16
 Objektkontur 15
 Silhouette 14, 40, 76, 98, 99, 100,
 145
 Form 13
Objektverformungsprinzip 97
ökonomisch 2, 68, 147, 148
 kostengünstig 2
Ölmalerei 17, 18, 19, 22, 173
 Bild ix, 22, 23, 138
 Gemälde ix, 15, 46
Opacity Map 76
optisch 5, 9, 15, 16, 25, 27, 47, 76, 86,
90, 91, 102, 108, 142, 143
orthogonal 58, 111, 112, 146
orthografisch 110

P

Parameter 49, 54, 74, 76, 92, 93, 94, 95,
96, 104, 110, 165
Parametrisierung 53, 60, 61, 63, 64, 66,
74, 77, 80, 106, 109
 parametrisieren 54, 76, 104
 unparametrisiert 82
Partikel xix, 88, 108, 123
 Per Particle Attribute 123
 Position 123
 Punkt 108, 123
 Soft Body 109, 122
Patches 49, 54, 76, 77, 78, 81
Pendant 2, 4, 16, 21, 33, 39, 89

Perfektion 4, 142
 perfektionieren 19
 Perspektive 55, 99, 130, 132, 133, 140,
 141, 142
 perspektivenabhängig 58
 Perspektivenwahl 28
 Perspektivenwechsel 92, 140
 Perspektivenzeichnen 99
 perspektivisch 108
 Pinsel 19, 22
 Bewegung 124
 Druckintensität 22
 Druckstärke 19, 20, 22, 127
 Imitation 131, 133, 139
 Eigenschaften 23
 Pinselformen 21, 22
 Pinselmalart ix, 15, 143
 Pinselspitzen ix, 21, 22, 143
 Formen 22
 Standard 22
 Strich ix, xii, xiv, 18, 19, 20, 22, 34,
 74, 75, 76, 101, 103, 123
 Darstellung 102
 Reproduktion 74
 Strichlänge 19, 20, 127
 Pixel 5, 53, 146
 Bildschirmpixel 53
 pixelweise 146
 polygonal 49, 54, 78, 82, 89, 129, 145
 Polygonlinie 81, 82
 Polygonobjekt 54
 Positionierung xvi, 97, 133, 140, 145
 Potential 26, 29, 30, 42, 43, 45, 91, 103,
 142
 praktisch 130, 141
 Präzision 4
 präzise 4, 130, 137
 Printmedien 2
 Printbereich 11
 Problematik xvi, 4, 43, 59, 106, 113,
 139
 Kantenproblematik 108
 Teilproblematik 105, 107
 Problemstellung 44, 91, 95, 100, 113,
 119, 122, 145, 147
 Produktion 83
 Beispiele 3, 77
 Zeit 68
 Projektionsmethode 60, 63
 Prothese 45, 142, 147
 Prothesengott 43, 44, 142
 Prototyp xvi, 6, 7, 8, 119, 122, 123,
 127, 129, 130, 131, 132, 133, 135,

 136, 137, 138, 139, 140, 144, 145,
 147, 148, XVIII
 Code-Fragment xvii, 125
 d_PAINT vii, viii, xvi, xvii, 7, 120,
 121, 123, 125, 126, 128, 129, 130,
 136, 144, I, III, VII, XII, XIV,
 XVII
 Effektberechnung 126
 Effektparametereinstellung 126
 Entwicklung vii, 119, 121
 Implementierung vii, 47, 118, 121,
 122, 127, 147
 Kamerawahl 125, 126
 Leistungsoptimierung 126
 prototypisch iii, vii, xv, 7, 116, 118,
 119, 121, 127
 Pseudocode xvii, xix, 123, 124
 Umsetzung iii, vii, xv, 7, 47, 73, 93,
 116, 117, 118, 119, 121, 122
 psychologisch 13
 Ptex vii, xii, xiii, xix, 48, 73, 78, 79, 80,
 83, 107, 150, 168, 170, 175

Q

Qualität iii, 4, 5, 142
 Bildarstellungsqualität 102, 148

R

Rasterisierung 146
 Realisierung 27, 119, 121, 122, 145
 Rendering iii, iv, xvi, 1, 4, 5, 8, 42, 65,
 75, 76, 131, 135, 136, 137, 138, 139,
 150, 152, 155, 156, 157, 160, 161,
 162, 165, 168, 171, 172, 173, 175, II,
 XIV
 Layer 78, X, XIII
 Pass 78, 141
 Ambient Occlusion Pass 141
 Color Pass 141
 Shadow Pass 141
 Technik vi, 18, 20, 21, 26, 30, 33,
 35, 36, 43, 44, 70, 71, 75, 78, 83,
 99, 100, 105, 122, 138
 Restriktion 61, 63, 116, 130
 Resultat iii, 75, 95, 100, 129, 130, 131,
 133, 138, 141
 Rezipient 4, 12, 13, 16, 27, 28, 30, 32,
 38, 39, 142, 146, 148
 RGB 76, 104
 Rotationsbewegung 123, 124
 Rotationsprozedur 124
 Rotationsschritt 82

Rückgang 68
Rückschlüsse 122

S

Sammelbegriff 8
Sättigungsphase 1
Scalar Field 145
Scale Map 85
Schnitt 61
 Kante xi, 59, 60, 61, 146
Schritt 61, 122, 146
Sehverhalten 20
sichtbar 92, 111, 131, 133
simpel 77
Skalar 145
 Skalarfeld 145
Skeleton xiii, 88, 89, 90, 150, 159, 160, 178
Sketch-Based Modeling iii, iv, vii, xiv, xv, xx, 96, 99, 100, 101, 114, 116, 129, 130, 132, 135, 136, 144, 145, 164, 173, 176
 Programme
 Teddy 130, 157
skill 20
Skriptsprache 119, 122, 124
 Maya Embedded Language viii, xx, 120, 122, 124, 155, 166, I, VII, XIX
Software 55, 119, 123, 136
Space
 Object 53, 104, 109, 146
 Parameter 110
 Screen 104, 109, 110, 144, 146
 Tangent 110
 Texture xi, 53, 54, 62, 104
speziell 2, 3, 5, 10, 16, 17, 18, 20, 28, 29, 37, 39, 44, 45, 46, 47, 53, 63, 72, 73, 83, 87, 92, 97, 98, 99, 101, 104, 110, 121, 127, 129, 131, 143
Sprite 92, 94, 108, 145
 Billboard 92
steril 4, 17, 130
Strategie
 divide and conquer xiv, 95, 96
Struktur 6, 19, 21, 71, 88
 Datenstruktur xi, 54, 63, 64, 65
 strukturiert 77
Subdivision Surfaces xii, xviii, xx, 51, 52, 54, 76, 77, 79, 80, 81, 82, 105, 144, 159, 162
Synonym 8, 35

T

taktisch 13
Teil vi, vii, viii, 6, 7, 9, 10, 11, 17, 32, 42, 45, 46, 47, 58, 62, 67, 72, 73, 115, 116, 118, 119, 146, XX
 Komponente vii, xv, 7, 114, 121, 127, 129, 130, 132, 134, 144
 Schritt 129
Teilfläche 48, 146
Testobjekt xvi, 64, 86, 136
 Erstellung xv, 135
Texel 53, 56, 58, 76, 105
 Anzahl 82
Textur xi, xiv, 48, 49, 53, 60, 61, 63, 65, 66, 67, 70, 77, 78, 80, 82, 83, 84, 85, 90, 92, 94, 101, 103, 110, 112, 131, 137
 Darstellung 58, 82, 105
 Information 53, 64, 65, 78, 80, 104
 Nähte 59, 83
 Position 55
 Texture Atlas 78, 84, 85
Texture Map vii, xi, xii, xiii, xiv, xviii, 48, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 70, 73, 74, 76, 77, 78, 79, 81, 82, 83, 85, 97, 104, 105, 106, 107, 146, 150, 152, 156, 160, 162, 165, 166, 168
Texture Mapping vii, xi, xii, xiii, xiv, xviii, 48, 53, 54, 55, 56, 57, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 67, 70, 73, 74, 78, 79, 83, 84, 85, 92, 104, 107, 150, 152, 156, 162, 166, 168, 177
 cubical 55, 57, 59, 61, 62, 65
 cylindrical xviii, xix, 55, 57, 59
 flächendeckend 67
 Intermediate surface normal xx, 58
 Object centroid 58
 Object normal 58
Octree xi, xii, 63, 64, 65, 66, 150, 160, 163
O-mapping xi, 56, 57, 58, 59
Pelting xi, 55, 59, 60, 61, 79, 162
Per-Face vii, xii, xiii, 48, 63, 65, 73, 78, 79, 80, 83, 150, 168
planar xviii, 55, 57, 59, 60
Polycube xi, 56, 62, 63
Polycube-Maps xi, 56, 62, 63
Reflected Ray 59
rückwärts 53, 104

S-mapping xviii, xix, 53, 56, 57, 58
 TileTree xii, 65, 66, 159
 vorwärts 53
 Texture Painting iii, iv, 72, 104, 105, 106, 109, 113, 116, 129, 130, 131, 132, 135, 137, 138, 144
 Programme
 3D Coat 100, 129, 166, 179, 180, 181, 182
 Textursynthese vii, xiii, 74, 83, 84, 85, 86
 synthetisieren 84
 Unstimmigkeiten 130
 Verzerrungen 58
 Volumentextur
 volumetrisch 64, 88
 Texturierung xiv, 48, 55, 56, 58, 61, 63, 64, 65, 67, 74, 78, 80, 81, 92, 94, 103, 109, 129, 130, 132, 145
 Ansatz 47, 59, 111
 hierarchisch 63, 64
 projektiv 55, 56, 57, 58, 65, 103, 105
 Texturierungsart vii, 48, 55, 57, 58, 64, 67, 79, 82, 85, 90, 92, 105, 114, 145
 Texturierungsmethode 103, 107, 110, 114, 132, 143
 Texturierungsverfahren 8, 45
 Texturkachelung 65, 110, 121
 Ansatz xv, 111, 112, 133, 144, 146
 Texturkachelflächen 109, 110, 111, 112, 133, 146
 Überschneidung 109, 140, 146
 Thematik 4, 6, 9, 37
 Thema 8, 33, 47, 175
 Themenbereich 8
 Tiefenspeicher Verfahren 146
 Tiefeninformation 111, 147
 Tiefenwert 146
 traditionell 2, 3, 11, 12, 23, 35, 68, 69, 70, 72, 74, 99, 114
 Translation 122, 123, 131, 140
 Parameter 108
 Vorschrift 132
 Trend vi, 1, 30, 165
 Trennlinie 146
 triangulieren 61

U

Überblendung
 Überblendungsfunktion 60
 Überblendungszone 60, 61

Überblick 6, 46, 48
 Übergangsbereich 125, 126, 131
 Überprüfung 146
 Umkehrschluss 44, 95, 148
 Ungenauigkeit 133
 Ungleichmäßigkeit 4
 Unklarheit 16
 unnatürlich 4, 142, 148
 Unregelmäßigkeit 130, 131, 142
 unsichtbar 111
 Untersuchungen 1, 5, 11, 142, 143, 147
 Untersuchungsgegenstand 40, 68, 101
 Unvollkommenheit 4, 5, 32, 102, 133, 142, 145

V

Validierung vii, 6, 7, 120, 122, 127, 129, 130, 132, 134, 144, 147
 indirekte 120, 129, 134, 145
 Konzeptvalidierung 111
 Variable 124, 127, VII
 Variante x, xvii, 18, 21, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 51, 52, 55, 56, 57, 58, 62, 63, 66, 79, 84, 85, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 107, 108, 114, 118, 132, 133, 143
 patchbasierte 84
 pixelbasierte 84
 vector flow field xiii, 86, 153, 154
 verankern 109, 111, 132, 146
 verdecken 146
 Verdeckungsberechnung 146
 Vereinfachung 32, 95, 98
 Vereinfachungsschemata xvii, 52
 Verständnisbasis 8, 9
 Vertex x, xiv, xv, xvi, xviii, xix, 5, 48, 49, 51, 52, 54, 55, 59, 60, 79, 82, 97, 98, 104, 105, 106, 108, 109, 110, 112, 122, 123, 124, 125, 131, 132, 133, 137, 138, 140, 145, 146, 167, VIII, XIV
 Anzahl 52, 104, 105, 106
 Entfernung 125
 Painting xiv, 104, 105, 106
 Vertex-Translationsformel xv, xix, 124, 125, 131, 133, 138
 Verwendbarkeit 129, 130, 132, 133, 134
 Verwendung iii, ix, xii, 2, 3, 5, 7, 8, 11, 19, 22, 25, 27, 32, 34, 37, 39, 41, 42, 43, 48, 55, 61, 62, 64, 65, 67, 70, 71, 72, 76, 78, 79, 81, 83, 87, 90, 97, 99, 100, 103, 116, 117, 121, 127, 131, 133, 139, 140, 142, 145, 147
 Verwendungszweck 2, 39

Vielfalt 11, 22, 24, 41
 vielfältig iii, 2, 3, 25, 42, 85
view point 58
Visual Effects Society xx, 1, 5, 12, 25,
 35, 53, 72, 92, 122, 146, 161
Visualisierungshilfe 33
visuell 3, 4, 36, 134, 140
Vorgehensweise 53, 97, 110, 117, 145,
 146
Vorstellungskraft 16, 28, 45, 99
Vorteil 52, 60, 63, 64, 66, 86, 93, 95,
 107, 123, 145

W

Wahrnehmung 25, 33, 148
Wahrnehmungsnuancen 32
wahrnehmungspsychologisch 4
Walt Disney Animation Studios vii, ix,
 xiii, xvii, xx, 2, 3, 6, 7, 26, 33, 35, 47,
 48, 67, 68, 69, 70, 71, 73, 74, 75, 76,
 78, 79, 82, 83, 85, 86, 87, 89, 90, 91,
 94, 106, 122, 126, 131, 143, 144, 147,
 154, 164, 166, 168, 170, 173, 177
Wandel 1, 3
Wechsel 34, 68
Weise 3, 11, 12, 18, 21, 22, 45, 52, 67,
 72, 73, 74, 76, 82, 85, 86, 88, 89, 91,
 96, 98, 99, 100, 101, 103, 109, 112,
 118, 121, 122, 127, 133, 143, 144,
 145, 146, 147
Weiterentwicklung 3, 8, 26, 71

Wert 76, 80, 145
winding order 82
Würfel
 Fläche 62
 Geometrie 64
 Komposition 63
 Projektionswürfel 62

Z

ZBrush 37, 100, 104, 145, 173, 177, 178,
 179
Z-Buffering 146
 Z-depth image 146
Zeichenstil 1, 35
Zeichentrick
 Film xvii, 3, 8, 38, 68, 69, 143
 Filmerfahrung 73
 zeichentrickhafte 2
zeichnerisch 145
zeitaufwendig 147
Ziel 4
Zuhilfenahme 5, 12, 23, 25, 38, 43, 86,
 89, 97, 107, 110, 112, 121, 131, 135,
 137, 138, 139, 145, 147
Zuordnungsfunktion xviii, 54, 60
Zusammenfassung 8, 142
zweidimensional iii, 4, 5, 6, 45, 46, 53,
 56, 70, 72, 74, 83, 88, 89, 90, 91, 92,
 99, 105, 107, 109, 110, 130, 132, 142,
 145, 146