

# Die Natur zum Vorbild – der Code als Werkzeug

ANDREA ASCHAUER



MASTERARBEIT

eingereicht am  
Fachhochschul-Masterstudiengang

Digital Arts

in Hagenberg

im September 2015

© Copyright 2015 Andrea Aschauer

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/>.

# 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 25. September 2015

Andrea Aschauer

# Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung</b>	<b>iii</b>
<b>Vorwort</b>	<b>viii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>ix</b>
<b>Abstract</b>	<b>xi</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Fragestellung . . . . .	2
1.2 Herangehensweise . . . . .	2
1.3 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Definition und Einschränkung</b>	<b>4</b>
2.1 Visual Effects . . . . .	4
2.2 Pipeline . . . . .	4
2.3 Modellbildung . . . . .	6
2.4 Workflowarten . . . . .	7
2.5 Stil . . . . .	9
2.6 Werkzeugwahl . . . . .	9
<b>3 Handzeichnung</b>	<b>11</b>
3.1 Optische Wirkung . . . . .	11
3.1.1 Organisch . . . . .	11
3.1.2 Stilisiert . . . . .	12
3.1.3 Konstant . . . . .	13
3.1.4 Glaubwürdig . . . . .	13
3.1.5 Fantasiewelt . . . . .	13
3.2 Workflow . . . . .	13
3.3 Charakteristika . . . . .	16
3.3.1 Wiederholung und Mengen . . . . .	17
3.3.2 Vielfalt . . . . .	17
3.3.3 Flexibilität . . . . .	17
3.3.4 Phantasie . . . . .	18

3.4	Wissen . . . . .	18
3.4.1	Solid Drawing . . . . .	18
3.4.2	Naturbeobachtung . . . . .	18
3.4.3	Experimente . . . . .	18
3.4.4	Instinkt . . . . .	19
3.4.5	Naturwissenschaften . . . . .	20
3.4.6	Abstraktion . . . . .	20
3.5	Kosten . . . . .	20
3.5.1	Hohe Personalkosten . . . . .	20
3.5.2	Geringe Materialkosten . . . . .	21
<b>4</b>	<b>Angewandte Softwaresimulation</b>	<b>22</b>
4.1	Optische Wirkung . . . . .	22
4.1.1	Künstlich . . . . .	22
4.1.2	Hyperrealistisch . . . . .	24
4.1.3	Technik bestimmt . . . . .	24
4.1.4	Vordefinierter Stil . . . . .	24
4.2	Workflow . . . . .	24
4.3	Charakteristika . . . . .	26
4.3.1	Wiederholung und Mengen . . . . .	26
4.3.2	Vielfalt . . . . .	27
4.3.3	Symmetrie . . . . .	27
4.3.4	Übertreibung . . . . .	28
4.3.5	Flexibilität . . . . .	28
4.3.6	Tooling . . . . .	28
4.3.7	Wiederverwendbarkeit . . . . .	29
4.4	Wissen . . . . .	29
4.4.1	Verzicht auf Solid Drawing . . . . .	30
4.4.2	Einstiegshürde . . . . .	30
4.4.3	Lernprozess . . . . .	30
4.4.4	Naturwissenschaften . . . . .	31
4.5	Kosten . . . . .	31
4.5.1	Animationszeit . . . . .	31
4.5.2	Recherchezeit . . . . .	31
4.5.3	Software . . . . .	32
4.5.4	Hardwarekosten . . . . .	32
4.5.5	Simulationszeit . . . . .	32
4.5.6	Renderzeit . . . . .	32
4.5.7	Teamwork . . . . .	33
<b>5</b>	<b>Prozedurale Gestaltung</b>	<b>34</b>
5.1	Optische Wirkung . . . . .	35
5.1.1	Künstlich . . . . .	35
5.1.2	Zu viele Details . . . . .	36

5.1.3	Kein vordefinierter Look . . . . .	36
5.1.4	Technik bestimmt . . . . .	37
5.2	Workflow . . . . .	37
5.3	Charakteristika . . . . .	38
5.3.1	Wiederholung und Mengen . . . . .	38
5.3.2	Vielfalt . . . . .	39
5.3.3	Phantasie . . . . .	39
5.3.4	Flexibilität . . . . .	40
5.4	Wissen . . . . .	41
5.4.1	Programmierung . . . . .	41
5.4.2	Einstiegshürde . . . . .	41
5.4.3	Beobachtung . . . . .	42
5.4.4	Disziplinen übergreifend . . . . .	42
5.4.5	Naturwissenschaften . . . . .	43
5.4.6	Sprache und Verständnis . . . . .	44
5.4.7	Denkprozess . . . . .	44
5.5	Kosten . . . . .	44
5.5.1	Aufwand . . . . .	45
5.5.2	Personalkosten . . . . .	45
5.5.3	Echtzeitfähig . . . . .	45
5.5.4	Geringe Simulations- und Renderzeit . . . . .	45
5.5.5	Das Rad neu erfinden . . . . .	46
5.5.6	Hardwarekosten . . . . .	46
5.5.7	Softwarekosten . . . . .	46
5.5.8	Teamwork . . . . .	46
<b>6</b>	<b>Werkzeugvergleich</b> . . . . .	<b>47</b>
6.1	Werkzeugwahl . . . . .	47
6.2	Gemeinsamkeit . . . . .	48
<b>7</b>	<b>Animationssynthese</b> . . . . .	<b>51</b>
7.1	Idee . . . . .	52
7.2	Relevanz . . . . .	53
7.3	Konzepte . . . . .	54
7.3.1	Look . . . . .	54
7.3.2	Emotion . . . . .	56
7.3.3	Divide and Conquer . . . . .	57
7.3.4	Trial and Error . . . . .	60
7.3.5	Abstand vom PC . . . . .	61
7.3.6	Disziplinübergreifend . . . . .	62
7.4	Workflow . . . . .	63
7.4.1	Elementbaukasten . . . . .	63
7.4.2	Vorgehensmodell . . . . .	68
7.4.3	Einschränkung . . . . .	72

7.5	Wissen . . . . .	72
7.5.1	Generalismus . . . . .	73
7.5.2	Denken außerhalb der Box . . . . .	74
7.5.3	Beobachtung . . . . .	75
7.6	Konklusion . . . . .	76
<b>8</b>	<b>Praktische Anwendung</b>	<b>79</b>
8.1	Rauch . . . . .	80
8.1.1	Optisches Konzept . . . . .	80
8.1.2	Energiefluss . . . . .	82
8.1.3	Abstrakte Form . . . . .	83
8.1.4	Refinement Bewegung . . . . .	84
8.1.5	Details . . . . .	86
8.1.6	Shading und Kontrast . . . . .	90
8.1.7	Fazit . . . . .	91
8.2	Nebel . . . . .	93
8.2.1	Optisches Konzept . . . . .	93
8.2.2	Energiefluss . . . . .	94
8.2.3	Abstrakte Form . . . . .	95
8.2.4	Refinement Bewegung . . . . .	96
8.2.5	Details . . . . .	98
8.2.6	Shading und Kontrast . . . . .	98
8.2.7	Fazit . . . . .	101
<b>9</b>	<b>Resümee</b>	<b>103</b>
<b>A</b>	<b>Inhalt der CD-ROM</b>	<b>106</b>
A.1	PDF-Dateien . . . . .	106
A.2	Projekt . . . . .	106
A.3	Online-Ressourcen . . . . .	106
A.4	Abbildungen . . . . .	106
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>107</b>
	Literatur . . . . .	107
	Filme und audiovisuelle Medien . . . . .	109
	Online-Quellen . . . . .	110

# Vorwort

Sämtliche personenbezogene Bezeichnungen dieser Masterarbeit sind als geschlechtsneutral zu verstehen. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf die gleichzeitige Verwendung der männlichen und weiblichen Sprachform verzichtet.

Ein besonderes Dankeschön gilt meinem Betreuer Dipl. Designer FH Alexander Wilhelm, der mich während der Erstellung dieser Arbeit stets beratend unterstützt hat. Ganz herzlich möchte ich mich auch bei meinen beiden Korrekturleserinnen Anna Aschauer und Michaela Rafetseder bedanken, dank deren Einsatz konnte die Qualität der Arbeit erheblich verbessert werden. Weiters möchte ich mich bei meiner Nachbarin Bettina Freyhofner ganz herzlich für die Durchsicht des englischen Abstracts bedanken. Ein weiterer Dank gilt meiner Familie, die mich während des letzten Semesters stets mental unterstützt hat.

# Kurzfassung

Die Natur und ihre Nachahmung fasziniert die Menschen schon immer. Den Wunsch Naturphänomene festzuhalten findet man in der Malerei, der Landschaftsfotographie und im Bewegtbild wieder. Aber nicht nur das Festhalten, sondern auch die Entschlüsselung der Geheimnisse hinter der Entstehung und Bewegung von Naturphänomenen, beschäftigt die Menschen. Moderne Computersimulationen nutzen dieses Wissen und kommen der realistischen Nachahmung von Naturphänomenen immer näher.

Diese Arbeit wendet sich jedoch bewusst von der realistischen Nachahmung ab und beschäftigt sich mit der Stilisierung von Naturphänomenen in der digitalen Computersimulation, denn oft scheinen moderne Visual Effects nicht zum restlichen Erscheinungsbild zu passen. Die Stilisierung, die in der handgezeichneten Effektanimation selbstverständlich ist, tritt durch die Computertechnologie immer mehr in den Hintergrund. Während die Charakter selbst und ihre Umwelt im Animationsfilm meistens stilisiert dargestellt werden, werden für die Naturerscheinungen dieselben Effekte wie im Realfilm verwendet.

Emotion wird durch die Stimmigkeit der einzelnen Elemente beeinflusst. Das Auseinanderdriften der verschiedenen Elemente beeinflusst somit die Wirkung. Die meisten großen Studios beschäftigen daher oft eine eigene Entwicklungsabteilung, die für ihre Anforderungen spezielle Tools programmieren. Anders sieht es bei kleineren Produktionen aus. Sie benötigen ein Vorgehensmodell, welches die Simulation von stilisierten Naturphänomenen in einem leistbaren Kontext, was Budget, Simulations- und Renderzeit betrifft, ermöglicht. Literatur zu diesem Thema ist jedoch nur spärlich vorhanden. Es gibt zahlreiche Varianten um Naturphänomene zu animieren. Die Gängigsten sind die handgezeichnete Effektanimation, Effektsimulation, prozedurale Gestaltung, sowie das Abfilmen von realen Naturschauspielen und Pyrotechnik. Alle diese Techniken haben einzeln betrachtet ihre charakteristischen optischen Merkmale, Stärken bzw. Schwächen und sind nicht für jeden Anwendungsfall einsetzbar. Gesucht wird ein Plan, welcher vom Vorgehen der verschiedenen Arbeitstechniken lernt und diese kombiniert, sodass die Umsetzung erschwinglich ist.

Diese Arbeit versucht ein solches Vorgehensmodell sowohl theoretisch, als auch praktisch zu erarbeiten. Die Theorie stützt sich auf das Studium der

Einzeltechniken und die Hybridanimation. Im praktischen Teil werden die Elemente Nebel und Rauch näher betrachtet, da diese beiden Erscheinungen für das begleitende Masterprojekt *Nimbus Nebula* eine zentrale Rolle spielen. Die Animation spielt in einer stilisierten 3D-Welt und wird vom Nebel, wie der Titel vermuten lässt, maßgeblich beeinflusst.

# Abstract

People have always been fascinated by nature and the imitation of nature. The desire to capture natural phenomena can be found in painting, landscape photography and moving images. But people are concerned with more than just capturing nature; they also want to unlock the secrets behind the origins and movement of natural phenomena. Modern computer simulations use this knowledge and are edging ever closer to being able to create realistic imitations of natural phenomena.

However, this work deliberately does not focus on realistic imitation and deals instead with the stylisation of natural phenomena in digital computer simulation because often visual effects do not seem to fit in with the rest of the image. Stylisation, which is important in hand-drawn effects animation, is pushed increasingly into the background with computer technology. While the characters and their environment are generally depicted in stylised form in animated films, the same effects as in real films are used for natural phenomena.

Emotion is affected by the coherence of the individual elements. Therefore, the drifting apart of the various elements has impact on the effect created. Because of this, most large animation studios often have their own development department which programmes special tools for their own specific requirements. The situation is different for smaller productions. They need a model of procedures which enables the simulation of stylised natural phenomena in an affordable context in terms of the budget and simulation and rendering time. But literature on this issue is scarce. There are numerous ways of animating natural phenomena. The most common are the hand-drawn effect animations, effect simulations, procedural animation and the filming of real-life natural phenomena and pyrotechnics. All of these techniques have their individual visual characteristics, strengths and weaknesses and cannot be used in every situation. What is needed is a workflow which learns from the various work techniques and combines them in such a way that the implementation is affordable.

This work seeks to devise such a workflow both in theoretical and practical terms. The theory is based on a study of the individual technologies and hybrid animation. For the practical component, the elements of fog and smoke are observed more closely because both of these phenomena play a

key role in the Master project *Nimbus Nebula* which is taking place at the same time. The animation takes place in a stylised 3D world and is heavily influenced by the fog, as the title suggests.

# Kapitel 1

## Einleitung

Spricht man vom Code der Natur, denkt man zunächst an DNA-Code, Atome, physikalische Gesetze und andere Naturwissenschaften. Doch von all dem ist in der vorliegenden Arbeit nicht die Rede. In dieser Arbeit geht es um die Animation von stilisierten Naturphänomenen. Wie passt das mit dem Titel *Die Natur zum Vorbild – den Code als Werkzeug* zusammen?

Eine klare Vision vom Endergebnis steht im Zentrum glaubwürdiger Animation. Nur wenn das Ziel klar ist, können Überlegungen zur Problemlösung angestellt werden. Denn in der Regel steht man nicht vor einem technischen, sondern einem visuellen Problem. Um animieren zu können benötigt man eine Vorstellung, wie das Ergebnis aussehen und sich bewegen soll. Die Natur ist dieses Vorbild für die Animation von Naturphänomenen und deren Beobachtung der Schlüssel für ein glaubwürdiges Ergebnis.

Der Code, von dem in dieser Arbeit die Rede ist, steht für Dreierlei.

1. Viele Animationen werden heute mit Software erstellt. Der *Programmcod*e ist das Werkzeug dieser Arbeiten.
2. Aber nicht nur in der Computeranimation ist der Begriff des *Codes* zu finden. Auch in der handgezeichneten Animation hat der Begriff seine Entsprechung. Die klassische Effektanimation beruht auf Naturbeobachtung. Jedes Naturphänomen folgt klaren Gesetzmäßigkeiten, wie kalte und warme Luft, die eine Verwirbelung erzeugen. Diese Gesetzmäßigkeiten, oder die Energie wie Joseph Gilland in seinem Buch *Elemental Magic* [11] schreibt, gilt es zu erkennen und zu animieren. Die Energie ist quasi der Code, der die Bewegung verursacht und dieser Code ist das Werkzeug der Animation von Naturphänomenen.
3. Die Natur selbst liefert einen dritten visuellen Ansatz der Codierung. Der goldene Schnitt<sup>1</sup> ist eine Gesetzmäßigkeit, die sich in der Natur

---

<sup>1</sup>Der goldene Schnitt ist ein Teilungsverhältnis, bei dem sich der längere Abschnitt zur Gesamtlänge gleich verhält, wie der kürzere Teil zum Längeren. In der Natur entspricht die Anordnung von Blättern oder Blütenstände mancher Pflanzen dem goldenen Schnitt. Eingesetzt wird dieses Verhältnis in der Bildkomposition, Musik und Architektur [55].

immer wieder findet. Der optische Aufbau von Pflanzen, Steinen, Muscheln aber auch Energiefeldern folgt den Regeln eines Fraktals<sup>2</sup>. Versteht man den Code als eine Kombination von erkennbaren Regeln, die künstlich nachkonstruiert werden können, so liefert die Natur selbst eine visuelle Codierung.

## 1.1 Fragestellung

Forschungsgegenstand dieser Arbeit ist die Erarbeitung eines Workflows, welcher das Wissen verschiedener Arbeitstechniken zur stilisierten Animation von Naturerscheinungen kombiniert. Dafür werden folgende drei Forschungsfragen untersucht.

1. Worin liegt der Unterschied in der optischen Wirkung, zwischen handgezeichneten, simulierten und programmierten Naturphänomene und wie wirkt sich die angewandte Technik auf die Stilisierung aus?
2. Wie kann das Wissen aus der handgezeichneten Animation in der digitalen Animation, in Bezug auf Naturerscheinungen, genutzt werden, beziehungsweise wie können die verschiedenen Techniken zur Animation von Naturphänomenen kombiniert werden?
3. Wie kann ein Workflow für die Animation von stilisierten Naturerscheinungen aussehen?

## 1.2 Herangehensweise

Als Basis der Arbeit dient eine ausführliche Literaturrecherche im Bezug auf Naturphänomene in der handgezeichneten und in der digitalen Animation. Da das Thema stilisierte Naturphänomene in der digitalen Animation in der Literatur aber nur bedingt behandelt wird, ist vor allem eine thematisch weiterführende Literaturrecherche Teil der Untersuchung. Recherchiert werden Themen wie Visual Effects, Simulation, Generative Gestaltung, Hybridanimation, Abstraktion und Teilaspekte der Mathematik. Aufbauend auf den Erkenntnissen wird ein theoretisches Konzept für die Kombination der verschiedenen Techniken entwickelt und praktisch ausgetestet. Die bei der Umsetzung gesammelten Erkenntnisse fließen wieder in die Arbeit ein, um allgemein gültige Grundsätze für die Umsetzung von animierten, stilisierten Naturerscheinungen aufzustellen. Das Hauptaugenmerk liegt dabei auf dem Versuch der Kombination der Vorteile von Handzeichnung, Simulation, Programmierung und Filmtricks, im Bezug auf den Arbeitsablauf und die optische Wirkung von Naturphänomenen.

---

<sup>2</sup>Der Begriff Fraktal leitet sich aus dem lateinischen *fractus* ab, welches *in Stücke zerbrechen* bedeutet. Mandelbrot definiert damit in der Natur vorkommende, selbstähnliche Formen, welche sich nicht mit der klassischen euklidischen Geometrie definieren lassen [18, S. 13ff].

Praxisnähe ist für diese Arbeit besonders wichtig, daher ist diese Arbeit eng mit dem begleitenden Masterprojekt, dem Animationskurzfilm *Nimbus Nebula* [30], verbunden. Die theoretischen Erkenntnisse werden anhand von Nebel und Rauch praktisch erprobt, der verwendete Workflow ausführlich dokumentiert und mit dem theoretisch erarbeiteten Workflow verglichen. Dabei steht der Workflow von der Idee zum Ergebnis im Zentrum, denn es sollen allgemein gültige Lösungswege erarbeitet und erprobt werden.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit definiert zunächst in Kapitel 2 *Definition und Einschränkung* welche Aspekte in dieser Arbeit betrachtet werden und welche nicht. Basierend auf diesen Einschränkungen werden in den nachfolgenden Kapiteln die Hauptwerkzeuge zur Animation von Naturphänomenen, klassische handgezeichnete Effektanimation, Anwendung von Simulationstools und prozedurale Animation, einzeln betrachtet. Behandelt werden dabei die optische Wirkung, der Workflow zur Erstellung von Naturerscheinungen, spezielle Charakteristiken der jeweiligen Technologie, das benötigte Wissen, sowie die Kosten der einzelnen Technologien. Das darauf folgende Kapitel versucht die Erkenntnisse der Einzeltechnologien zu vereinen, um Stärken, Schwächen, Gemeinsamkeiten und Präferenzen für die Werkzeugwahl zu analysieren.

Die nächsten beiden Kapitel sind die Hauptanliegen dieser Arbeit. Zunächst wird in Kapitel 7 *Animationssynthese* theoretisch die Kombination der einzelnen Werkzeuge betrachtet und ein möglicher Workflow erarbeitet. Dieser Workflow wird anschließend in Kapitel 8 *Praktische Anwendung* konkretisiert, indem die Umsetzung von Rauch und Nebel anhand des im Kapitel *Animationssynthese* aufgestellten, theoretischen Modells umgesetzt und dokumentiert wird. In Kapitel 9 *Resümee* werden die wichtigsten Erkenntnisse noch einmal im Überblick zusammengefasst.

## Kapitel 2

# Definition und Einschränkung

Ziel dieses Kapitels ist, abzuklären welche Aspekte Teil dieser Arbeit sind und welche nicht.

### 2.1 Visual Effects

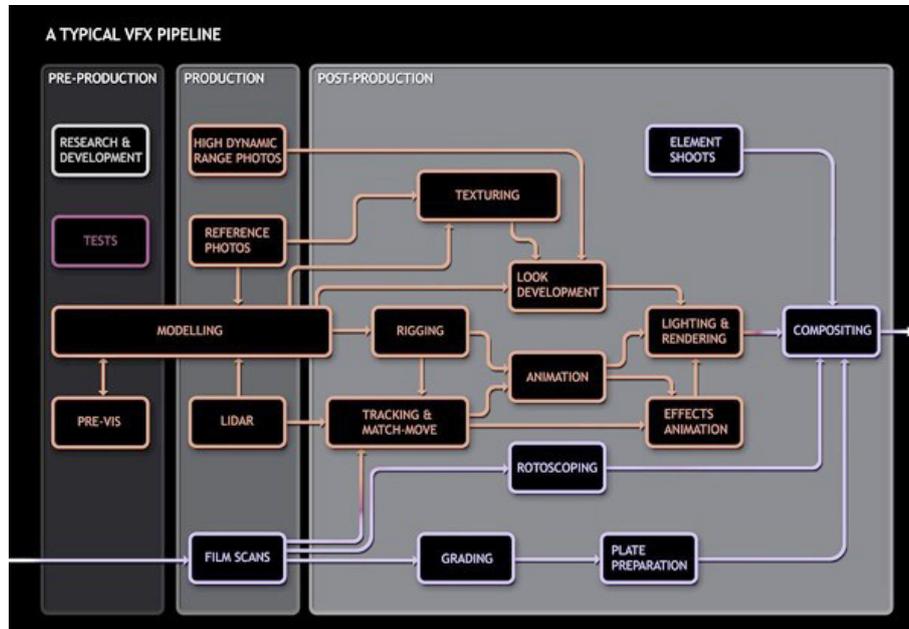
Tina O’Hailey teilt Visual Effects (abgekürzt VFX) in drei Kategorien [20, S. 158ff]:

1. Alle Gegenstände die sich in der Animation bewegen, fallen in die Gruppe Festkörperobjekte. Diese können Teil der Hintergrundanimation sein oder Utensilien mit denen der Charakter interagiert. Auch organische Objekte wie Bäume, Pflanzen oder Eis haben eine stabile Form und fallen in diese Kategorisierung.
2. Abstrakte Formen sind Flüssigkeiten, Feuer, Rauch, Wind, Erde, Magie und viele Effekte mehr, deren Form variabel ist. Abstrakt bedeutet nicht, dass Form und Bewegung abstrakt sind, denn jedes Element bezieht sich auf seine ihm eigenen physikalischen Gesetze. Ihre Erscheinungsform passt sich dabei flexibel den umgebenden Kräften, wie Gravitation, Wind bzw. Luftturbulenzen an.
3. Licht, Schatten und Schattierung sind der dritte Aspekt der Visual Effects Animation.

Naturphänomene fallen in die zweite Kategorie, folglich werden in dieser Arbeit nur die abstrakten Formen der Visual Effects genauer betrachtet.

### 2.2 Pipeline

Die Definition einer Pipeline ist wichtig für die Übersicht der Projektumsetzung, denn „A feature film will typically consist of 10,000 workflows with

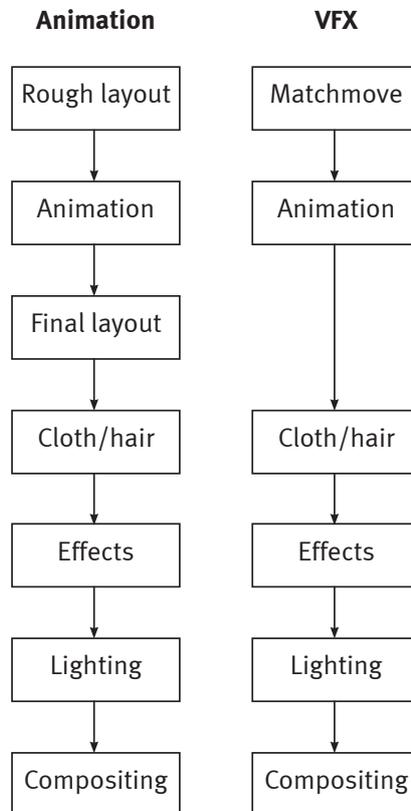


**Abbildung 2.1:** Darstellung der allgemeinen Visual Effects Pipeline. Bildquelle: [69].

100,000 tasks which are connected with 150,000 dependencies“ [70]. Naturphänomenanimation ist ein Teilgebiet dieser Pipeline.

Eine VFX-Pipeline nutzt Technologie, ist aber nicht die Technik und teilt den Workflow in separate und sinnvolle Aufgaben, die zwei oder mehr Personen zugeordnet werden [45]. Sie umfasst viele Tätigkeiten, die meistens als Blackboxes in einem allgemeinen Workflowdiagramm beschrieben werden (siehe Abbildung 2.1). Die genauere Beschreibung über den Ablauf innerhalb dieser Blackboxes fehlt in vielen Fällen. Die meisten Beschreibungen beziehen sich auf die Ergänzung von Visual Effects für den Realfilm. In dieser Arbeit geht es aber um Animationsfilm. Rob Bredow beschreibt den Unterschied zwischen der Visual Effects Pipeline im Realfilm und im Animationsfilm (siehe Abbildung 2.2) dahingehend, dass der Animationsfilm mehr Freiheiten bietet, da die Effekte nicht in ein gefilmtes Material nahtlos integriert werden müssen [4, S. 740ff]. Interessant für diese Arbeit sind die Felder *Element Shoots* und *Effects Animation*. Wobei auch hierbei nicht alle Aspekte dieser Blackboxes für diese Arbeit analysiert werden, sondern wiederum nur ein kleiner Teilaspekt, der sich auf stilisierte Naturphänomene bezieht. Ein möglicher Workflow innerhalb dieser Blackbox wird in der Literatur nicht beschrieben. In vielen allgemeinen Animationspipeline-Beschreibungen kommen Effekte noch nicht mal als Blackbox vor.

Ziel dieser Arbeit ist, mögliche Workflowdiagramme für die stilisierte Na-



**Abbildung 2.2:** Gegenüberstellung Visual Effects Pipeline im Realfilm und im Animationsfilm. Bildquelle: Nachkonstruktion nach [4, S. 741].

turphänomenanimation darzustellen. Dafür werden zunächst die Workflows für die Einzeltechnologien Effekтанimation per Hand, mit Hilfe von Simulationstools und mit prozeduralen Mitteln beschrieben und im Anschluss ein eigenes Modell aufgestellt, dass die Technologien und Workflows zu kombinieren versucht.

Bei all diesen Modellen ist jedoch zu bedenken, dass es sich immer nur um einen groben Leitfaden handelt, denn eine VFX-Pipeline ist formbar [45] und muss immer flexibel den Anforderungen des Projekts angepasst werden.

## 2.3 Modellbildung

Modelle definieren den Zusammenhang zwischen Teilaspekten. Es gibt verschiedene Arten von Modellen:

1. Klassifizierungsmodelle beschäftigen sich mit der Einteilung von Ar-

beiten in verschiedene Kategorien.

2. Analysemodelle beschreiben Aspekte, die für die Analyse eines Sachverhalts betrachtet werden und deren Zusammenhang.
3. Vorgehensmodelle definieren den Ablauf für die Umsetzung einer Aufgabe vom Problem zur Lösung. Sie teilen die Anforderung in mehrere Abschnitte und bringen die Einzelaktivitäten in eine sinnvolle, logische Ordnung. Vorgehensmodelle sind allgemeine organisatorische Hilfsmittel und werden für jede Aufgabenstellung individuell angepasst, da keine Aufgabe exakt der anderen gleicht [68].

In der vorliegenden Arbeit geht es nicht um die Analyse und Klassifizierung bestehender Arbeiten, sondern um mögliche Umsetzungswege von Naturphänomenen im Animationsfilm. Die Arbeit beschränkt sich daher auf die Beschreibung von Vorgehensmodellen.

## 2.4 Workflowarten

Ein Workflow ist die Definition eines Ablaufes bzw. ein Vorgehensmodell.

Die klassische Animation basiert oft auf dem linearen Wasserfallmodell (siehe Abbildung 2.3). Dieses ist allerdings, wenn man die Möglichkeiten moderner Technik ausnutzen möchte, nicht mehr zeitgemäß [59].

„That said, the ideal assembly line is rather linear in flow. But try as we may, a CG pipeline tends to be far more organic in nature—that means more complex and with more back and forth.“ [53]

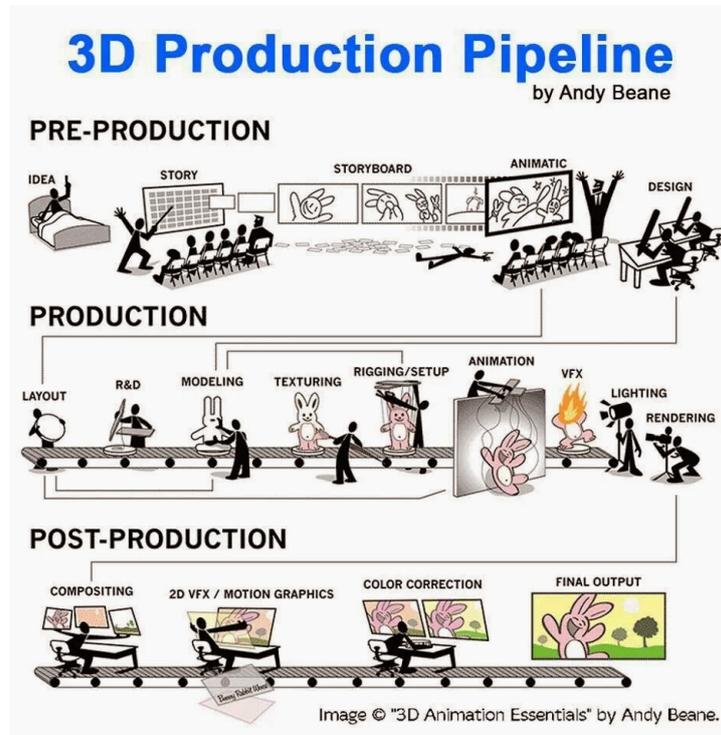
Es wird ein Modell mit mehr Interaktivität und kurzen Feedbackschleifen benötigt. Moderne Animationssoftware schafft ein Umfeld, indem Experimente, schrittweise Verbesserungen, Innovation und breite künstlerische Vision möglich sind [59]. Moderne Hardware verändert durch schnelleres Feedback den Umgang mit der Software und definiert so einen interaktiven Kreislauf aus Idee, Experiment und Analyse. Das Modell in Abbildung 2.4 zeigt ein auf Feedback basiertes Vorgehensmodell. Es beschreibt zwar wie viele andere Modelle auch nur wo in der Pipeline die Animation von Naturerscheinungen (FX<sup>1</sup>) einzuordnen sind. Allerdings wird klar,

1. dass es laut der Recherche dieser Arbeit keine bestehenden visuellen Workflowdefinitionen für die Effektanimation von Naturphänomenen in der Literatur gibt und
2. dass es verschiedene Workflowarten von linear bis zyklisch gibt und ein moderner Workflow auf Interaktion und Feedbackschleifen aufbaut.

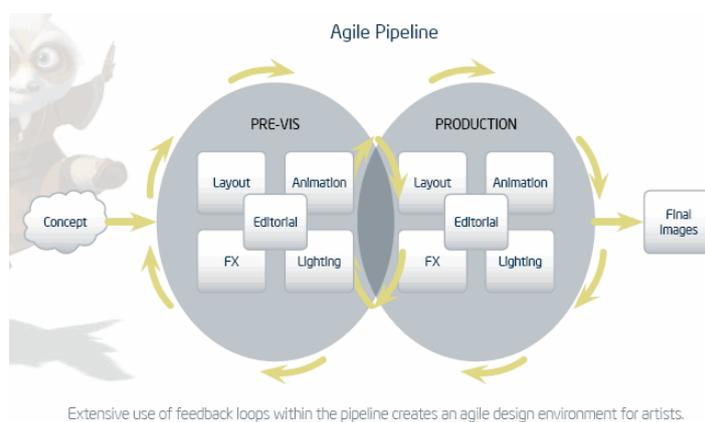
Diese Arbeit versucht daher ebenfalls einen Feedback orientierten Workflow zu erarbeiten.

---

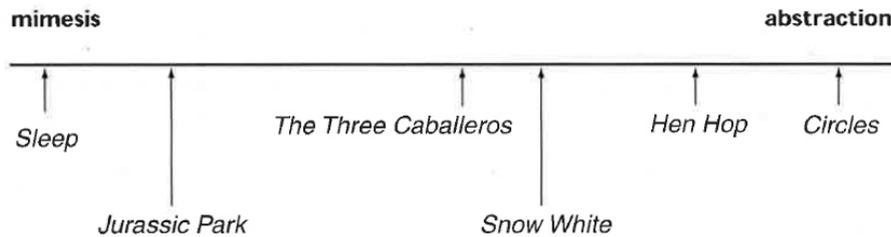
<sup>1</sup>FX steht für das englische Wort effects [54].



**Abbildung 2.3:** Die klassische Animation basiert auf einer linearen Produktionspipeline, vergleichbar mit einem Fließband bzw. dem Wasserfallmodell, in dem eine Phase in die nächste übergeht, ohne Interaktion bzw. Zyklen zwischen den Einzelschritten. Bildquelle: [47].



**Abbildung 2.4:** Moderne Hardware verändert durch schnelleres Feedback den Umgang mit der Software und definiert ein interaktives Vorgehensmodell. Bildquelle: [59].



**Abbildung 2.5:** Stileinteilung von Realfilm bis zur abstrakten Darstellung. Bildquelle: [10].

## 2.5 Stil

Maureen Furniss teilt den Stil von Bildern auf einer Leiste zwischen Mimesis<sup>2</sup> und Abstraktion ein (siehe Abbildung 2.5). Diese Arbeit betrachtet stilisierte Naturphänomene, die im Abstraktionsstrahl zwischen *Snow White* und *Hen Hop* einzuordnen sind. Auf der Stilisierung liegt in dieser Arbeit ein besonderes Augenmerk, denn Animationsfilme spielen in der Regel in ihrer eigenen Welt, mit ihren eigenen Gesetzmäßigkeiten und auch die Naturphänomene sollen diesen Regeln entsprechen [4, S. 740ff].

## 2.6 Werkzeugwahl

Naturphänomene sind so unterschiedlich, wie es Möglichkeiten gibt, sie zu animieren. Die heutige Technik bietet zahlreiche Softwarepakete, die sich mit der Animation von bestimmten Naturerscheinungen beschäftigen. Aber nicht nur moderne Simulationstools bieten die Möglichkeit der Naturanimation, auch die Animationsgeschichte lehrt zahlreiche Ansätze zur Nachahmung von Naturphänomenen. Um die optimale Technik für einen bestimmten Anwendungsfall auszuwählen, ist es zunächst sinnvoll, sich einen Überblick über die grundlegenden Ideen der Techniken zu verschaffen und die Verfahren voneinander abgegrenzt zu betrachten. Den laut Scott Squires geht es bei der Entwicklung von Visual Effects weniger darum, wie ein Effekt funktioniert, sondern vielmehr um die Frage, welche Technologie sich für die Anforderung am besten eignet [24, S. 47].

In den nachfolgenden Kapiteln geht es nicht um eine detaillierte Auseinandersetzung mit allen möglichen konventionellen Lösungen bzw. Softwarepaketen, sondern um eine allgemeine Betrachtung der traditionellen Animation per Hand und der Veränderung der Arbeitsweise mit dem Computer. Beim digitalen Ansatz unterscheidet man zwischen der Anwendung von Softwarelösungen bzw. der eigenen Kontrolle über den Programmcode.

<sup>2</sup>Mimesis ist die realistische Nachbildung der Natur [57].

In dieser Arbeit geht es in erster Linie um die Umsetzung und die Beschreibung von möglichen Workflows. Die Betrachtung der einzelnen isolierten Werkzeuge bezieht sich daher auf die optische Wirkung, die Workflows, die Kosten, das benötigte Wissen und spezifische Charakteristiker der Technologien, denn dies sind die Entscheidungsgrundlagen für die Werkzeugwahl und die Faktoren die in einen kombinierten Workflow zu bedenken sind.

Es geht nicht darum, alle Basistechnologien für die finale Produktion einzusetzen, sondern von den Methoden und Workflows zu lernen und so einen eigenen projektspezifischen Workflow zu gestalten. Die dabei entstehende Pipeline kann sich aus verschiedenen Technologien für die Einzelaufgaben zusammensetzen, kann aber genauso mit einem Werkzeug umgesetzt werden. Der kreative Umgang mit dem Werkzeug steht im Vordergrund. Wie die Einzelaufgaben gelöst und kombiniert werden ist projektspezifisch. Von den unterschiedlichen Methoden und Konzepten zu lernen, hingegen allgemein gültig.

## Kapitel 3

# Handzeichnung

Die handgezeichnete Animation ist die ursprüngliche Animationstechnik und auch die Animation von Naturphänomenen hat eine lange Tradition in der Animationsgeschichte. Bereits die erste bekannte Animation *Humorous Phases of Funny Faces* aus dem Jahr 1906 von James Stuart Blackton beinhaltet eine Rauchanimation (siehe Abbildung 3.1).

### 3.1 Optische Wirkung

Es gibt zahlreiche Beispiele (siehe Abbildung 3.2) für die handgezeichneten Animation von Naturerscheinungen. Sie alle zeigen den charakteristischen Look, der historisch entwickelten Animationstradition von Visual Effects per Hand.

#### 3.1.1 Organisch

Die Animation per Hand zeichnet sich durch einen natürlichen, organischen Look aus [20, S. 134]. Naturerscheinungen wirken wie abstrakte, in sich fließende Formen. Ihre Bewegung erscheint weich und homogen. Eine Form



**Abbildung 3.1:** *Humorous Phases of Funny Faces* aus dem Jahr 1906 von James Stuart Blackton. Bildquelle: [31].



**Abbildung 3.2:** Beispiele für per Hand animierte Rauch- und Nebel-effekte. Bildquellen: (a) [42], (b) [41], (c) [35], (d) [38], (e) [34], (f) [32] und (g) [40].

entsteht aus der anderen. Es sind immer wieder neue und doch ähnliche Muster zu erkennen. Allerdings heißt organisch in der Natur auch eine Fülle an Details. Fraktale Geometrien sind der Zauber von realen Naturschauspielen. Eine Vielzahl an Details die das Ereignis beleben, aber auch die Komplexität der Rekonstruktion per Hand steigern.

### 3.1.2 Stilisiert

Zu viele Details sind in der handgezeichneten Animation nicht zu bewältigen, da die Gefahr droht, die Übersicht zu verlieren. Deshalb werden handgezeichnete Effekte vereinfacht und stilisiert dargestellt und entsprechen einer Cartoonwelt und nicht der Wirklichkeit. Die klassische Animation entwickelt durch diese Einschränkung ihren charakteristischen Look und ihre allgemeinen Prinzipien für die gesamte Produktionspipeline, von der Zeichnung, über das Design, bis zur Animation [11, S. 67].

„Reducing the amount of detail considerably, we get to a drawing

that is actually manageable to animate. Even with 80% of the detail left out, it is still quite challenging to animate!“ [11, S. 38]

### 3.1.3 Konstant

Nicht nur die Naturerscheinungen, sondern auch die Charakter und Hintergründe, werden in per Hand animierten Filmen aus den selben Gründen stilisiert dargestellt. Da für alle Elemente eines gezeichneten Animationsfilms die selbe Notwendigkeit besteht, passen die einzelnen Teile in der Regel vom Stil gut zusammen. Das Gesamtergebnis wirkt homogen. Konsistenz ist einer der großen Vorteile der handgezeichneten 2D-Animation.

Konsistenz innerhalb eines Bildes und Konsistenz zwischen Stil und Animation, führen zu einem weiteren wichtigen optischen Merkmal der Animation – der Konsistenz des Gesamtfilmes. Erst wenn der Effekt der allgemeinen visuellen Vorstellung entspricht, wirkt der Film homogen. Im klassischen Animationsfilm ist das in der Regel der Fall.

### 3.1.4 Glaubwürdig

Eine genaue Beobachtung der Natur ist für die Animation von handgezeichneten Naturerscheinungen die Grundlage. Jeder Mensch ist täglich von Naturerscheinungen umgeben und studiert diese unbewusst. Fehlerhafte Bewegungen und Formen werden daher intuitiv erkannt [11, S. 36f]. Handgezeichnete Animationen verlangen durch die stilisierte Form auch eine vereinfachte Bewegung, die grundlegende Energie muss jedoch für eine stimmige Wirkung, den Gesetzen der Natur folgen. Beobachtung, Abstraktion der Realität und Stilisierung sind die Grundprinzip für die gesamte Produktionspipeline.

### 3.1.5 Fantasiewelt

Handgezeichnete Animation versucht nicht die Realität abzubilden, sondern sie zu erweitern, etwas Neues zu erschaffen, in eine Traumwelt zu entführen [22, S. 32]. Auch die Effektanimation versucht dieses Prinzip der Handzeichnung aufzugreifen. Sie schafft ihre eigene Version der Natur und verzaubert die Rezipienten, indem sie die Realität auf fantastische Weise übertreibt.

„As far as creating scale and perspective in our effects, we need to exaggerate as much as possible.“ [11, S. 48]

## 3.2 Workflow

Der Workflow zur Erstellung von Visual Effects in der klassischen, handgezeichneten Animation ist ein linearer Prozess (siehe Abbildung 3.3). Zunächst wird ein Designkonzept erstellt. Die Intension des Effektes und der

Stil der Gesamtanimation steht dabei im Zentrum, denn Naturphänomene sollen niemals von der Hauptanimation ablenken, sondern viel mehr die Szene abrunden und ihr mehr Glaubwürdigkeit verleihen [11, S. 45]. Ausgehend von einer Stildefinition ist der nächste Schritt, die Beobachtung und Abstraktion der Wirklichkeit, eine der wichtigsten Phasen zur Problemlösung [11, S. 18, 47]. Es geht darum die Gemeinsamkeiten und Unterschiede der Elemente zu beobachten. Elemente können im Ursprungszustand identisch aussehen und sich unterschiedlich entwickeln [12, S. 11f] bzw. unterschiedlich aussehen sich aber ähnlich bewegen. Animiert wird die Energie und nicht das Element selbst. Die Beobachtung der beeinflussenden Energiequellen ist daher für eine glaubwürdige Effektanimation entscheidend [11, S. 26f].

„It is physics, and it is complex, but it is also natural and sublime. If we spend some time observing fire and feeling it, all of this will make sense, it need not be a technical nightmare! Try to feel it, and have fun with your drawing!“ [11, S. 181]

Einer der großen Vorteile der Handzeichnung ist, dass die beobachteten Erkenntnisse direkt in die Zeichnung und die Animation einfließen können, ohne tiefgründige Auseinandersetzung mit anderen Disziplinen, wie Physik oder Programmierung [11, S. xxx].

In der Planungsphase wird der Effekt in seine Bestandteile zerlegt. Feuer besteht aus einer Brandquelle, Feuer und Rauch. Jeder dieser Bestandteile muss einzeln animiert und doch aufeinander abgestimmt werden. Begonnen wird bei der Umgebung, in die das Naturphänomen eingebettet wird. Effekte sind der Charakter- und Setanimation immer nachgestellt, damit sie keine wesentlichen Elemente überdecken [11, S. 82ff].

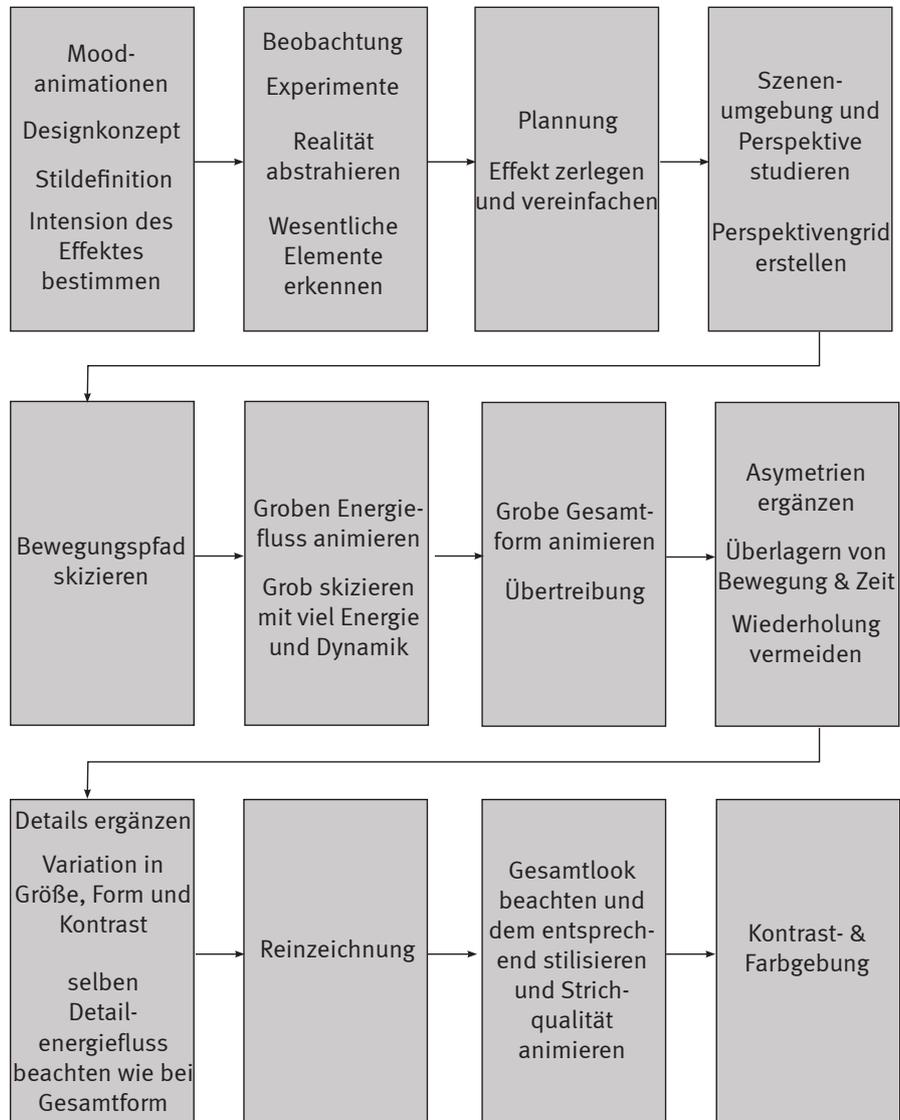
Die von der Szene vorgegebenen Perspektive ist zu beachten. Für die Animation werden zunächst Hilfskonstrukte wie Perspektivenraster<sup>1</sup> bzw. Bewegungspfade<sup>2</sup> skizziert, an denen sich der Animator orientieren kann [11, S. 127] (siehe Abbildung 3.4).

Die Animation selbst startet grob mit der Definition des Energieflusses (siehe Abbildung 3.5), denn in schnellen Skizzen steckt die meiste Dynamik und Energie [11, S. 25f]. Darauf aufbauend wird die grobe Gesamtform definiert und schrittweise verfeinert [11, S. 58]. Die Beachtung der Animationsprinzipien, allen voran die Übertreibung, ist dabei ein wichtiger Teil dieses Schrittes [11, S. 50]. Animiert wird *Straight Ahead* [48]. Die Form entwickelt sich aus der Bewegung der umgebenden Energie und entsteht aus sich selbst. Naturphänomene selbst sind unbelebt und werden erst durch die Energiebewegungen, wie kalte und warme Luft die sich vermischen bzw. Wind oder Gravitation, belebt [11, S. 192].

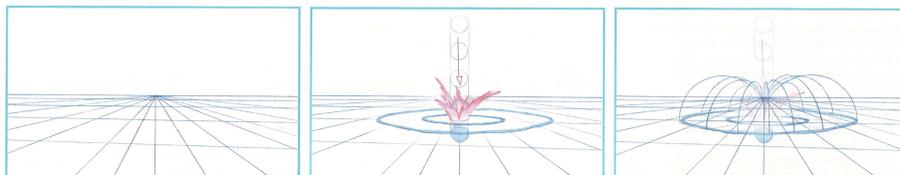
---

<sup>1</sup>Hilfslinien, bestehend aus einem schachbrettartigen Raster der Bodenebene, können die perspektivische Anordnung im Raum unterstützen. Die vertikalen Linien des Rasters laufen auf den Fluchtpunkt zu [1, S. 74f].

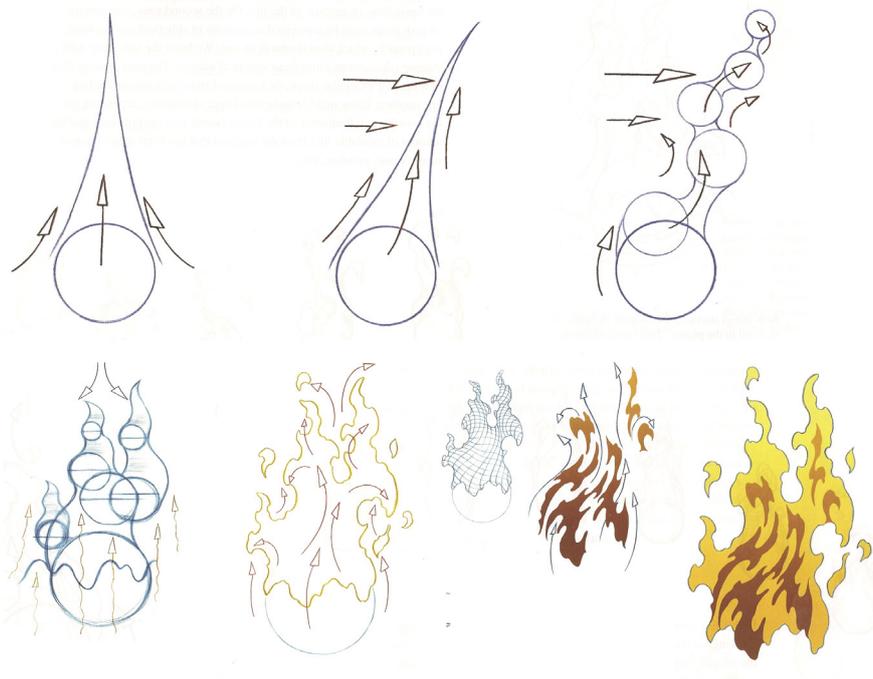
<sup>2</sup>Bewegungspfade sind Hilfslinien denen Objekte folgen.



**Abbildung 3.3:** Ablaufdiagramm der klassischen, handgezeichneten Animation.



**Abbildung 3.4:** Hilfskonstrukte zur Animation von Naturerscheinungen in der handgezeichneten Effektanimation. Bildquelle: [11, S. 127].



**Abbildung 3.5:** Schrittweise Verfeinerung einer Feueranimation per Hand von groben Energiefluss bis zur fertigen Flamme. Bildquelle: [11, S. 170–173].

Nach der groben Form werden Asymmetrien, Überlagerungen bzw. Wiederholungen ergänzt. Dadurch wird die Form lebendiger und glaubwürdiger, denn in der Natur sind Energieströme niemals symmetrisch [11, S. 33, 38, 52]. Stimmt die Gesamtform werden Details ergänzt. Dabei ist es wichtig darauf zu achten, dass die Details der selben Bewegungsrichtung folgen, wie die Gesamtform [11, S. 180] (siehe Abbildung 3.6).

Die weiteren Schritte sind das Reinzeichnen, die Strichqualität an die Gesamtanimation anpassen und Kontrast- und Farbgestaltung [11, S. 173].

Für nähere Information zu diesem Thema gibt es zahlreiche Bücher, die sich wesentlich detaillierter mit diesem Thema beschäftigen, als es im Rahmen dieser Arbeit möglich ist. Empfehlungen zu diesem Thema sind: *Elemental Magic – The Art of Special Effects Animation* [11] von Joseph Gilland, *Elemental Magic Volume 2 – The Technique of Special Effects Animation* [12] von Joseph Gilland und *Abstraction in Art & Nature* [14] von Nathan Carbot Hale.

### 3.3 Charakteristika

Die handgezeichnete Effektanimation ist aufwendig, vielseitig, flexibel und phantasievoll.



**Abbildung 3.6:** Die Bewegungsrichtung der Details muss der Ausrichtung der Gesamtform folgen. Bildquelle: [11, S. 180].

### 3.3.1 Wiederholung und Mengen

Die Animation von vielen gleichen Objekten ist in der handgezeichneten Animation sehr aufwendig, da die Anzahl der zu animierenden Linien enorm ist [20, S. 10]. Gerade die Effektanimation setzt sich oft aus vielen kleinen Details zusammen. Egal ob Regen, Schnee oder Feuerwerke, sie alle bestehen aus sich wiederholenden, ähnlichen Formen.

### 3.3.2 Vielfalt

Die Handzeichnung besitzt eine natürliche Vielfalt. Kein Strich und keine Form entspricht exakt einer anderen. Für Naturphänomene ist es essentiell, dass die Basiselemente in Form, Größe und Abstand zueinander variieren. Zerfällt eine große Rauchwolke gleichmäßig in kleinere Teile, so wirkt das Ergebnis wie aufpoppende Popcorns. Vielfalt und Variation sind daher wichtig. Der primäre Bewegungspfad soll einer kontinuierlichen Veränderung unterliegen und nicht linear von unten nach oben verlaufen [11, S. 201].

### 3.3.3 Flexibilität

Handgezeichnete Animation unterliegt kaum Limitierungen, abgesehen vom Zeichenaufwand. Flexibilität ist somit ein weiterer großer Vorteil der gezeichneten Effektanimation.

### 3.3.4 Phantasie

Die handgezeichnete Animation ist so vielfältig, wie die Fantasie des Zeichners. Alles was man sich vorstellen kann, kann auch gezeichnet werden. Der Trickfilm eröffnet dem Rezipienten eine Phantasiewelt [22, S. 32]. Das Medium Papier und Bleistift schränkt die Möglichkeiten des Künstler in keinerlei Hinsicht ein. Die einzige Einschränkung sind die Zeichenkenntnisse des Künstlers und die Vorstellungskraft.

## 3.4 Wissen

Die benötigten Qualifikationen der handgezeichneten Animation sind neben soliden Zeichenkenntnissen, eine gute Beobachtungsgabe, Freude am Experimentieren und die Fähigkeit komplexe Vorgänge zu abstrahieren.

### 3.4.1 Solid Drawing

Solid Drawing ist eines der Animationsprinzipien von Disney und definiert die Zeichenkenntnisse die ein Animator besitzen soll. Dazu zählt die Fähigkeit des perspektivisch korrekten Zeichnens. Jedes Objekt soll im 3D-Raum sein Volumen und seine Masse im Laufe der Animation beibehalten [25, S. 66f].

### 3.4.2 Naturbeobachtung

Um Naturerscheinungen glaubwürdig animieren zu können, ist ein gutes Verständnis über die Natur der Dinge entscheidend. Dabei geht es um kein naturwissenschaftliches, physikalisches Verständnis. Die genaue Beobachtung der Naturerscheinungen in der Realität ist für einen VFX-Animator essentiell. Die kleinen und großen Veränderungen, die den Effekt seinen Charakter verleihen, müssen erkannt werden. Eine intensive Beschäftigung mit dem Element, wodurch alle Facetten berücksichtigt werden, ist notwendig [12, S. xxi].

### 3.4.3 Experimente

Das Austesten von bestimmten Verhalten ist für den Effektanimatior wesentlich. Nicht alle Phänomene können in der Natur studiert werden. Um ein Phänomen beobachten zu können, ist es daher hin und wieder erforderlich, es künstlich nachzustellen [25, S. 254]. Diese Experimente sind vergleichbar mit dem Drehen von Referenzmaterial für die Charakteranimation, wo ebenfalls vor Animationsbeginn oft die Szene von Schauspielern bzw. den Animatoren selbst durchgespielt wird. Ziel ist es in beiden Fällen der Charakter- und der Effektanimation die kleinen unbewussten Bewegungen aufzuzeichnen, um sie später als Vorlage für die Animation zu verwenden.

Das physikalisch korrekte Verhalten der zu animierenden Elemente muss für alle Formen, Größen, Aggregatzuständen, Lichtverhältnissen und Interaktionsformen verstanden werden [11, S. 7].

„Experimentation with the actual substance we are trying to animate and shooting reference photos or footage can be enormously helpful, and is also a great deal of fun. Remember to have fun whenever you get the change, because the sheer volume of work involved in animating liquids can be daunting, and it’s not all fun and game. Play when you get the change.“ [11, S. 46]

#### 3.4.4 Instinkt

Ein VFX-Animator benötigt gute Instinkte. Visual Effects bauen auf der Intuition auf, die kleinen Dinge des Lebens zu beobachten. Die meisten Künstler betrachten das Gesamtbild. Special Effects Künstler hingegen müssen die kleinen Veränderungen beachten [16, S. ix]. Die Elemente bewegen sich oft nur minimal abweichend von der naheliegenden Vorstellung. Doch genau diese Abweichung ist ausschlaggebend, ob der Effekt künstlich oder natürlich wirkt. Ein Stein der ins Wasser fällt und Kreise zieht, lässt oberflächlich betrachtet vermuten, dass sich die Kreise gleichmäßig vergrößern, aber dem ist nicht so. Da gibt es Reibung und eine Menge an physikalischen Naturgesetzen. Das detaillierte Verständnis dieser Gesetze ist für die Animation per Hand nicht nötig, jedoch die Beobachtung [12, S. xxi], dass die Bewegung nicht linear ist, denn sonst wirkt die Animation künstlich. Die Details sind somit das Ausschlaggebende in der Effekt-Animation. Der Künstler muss entscheiden, welche Details relevant sind und wie sie vereinfacht und betont werden können [16, S. x].

„The real beauty of understanding and animating the elements is that it really is accessible to everyone, and it need not be an overly complex undertaking with a steep and daunting learning curve. I believe that a great deal of the understanding of how it all works can be grasped intuitively, with the imagination, rather than the intellect. As Einstein was famously quoted as saying, *Imagination is more important than knowledge*. Well, that wonderful quote applies perfectly to the world of animating the elements. Far from needing to understand complex sets of mathematical principles and scientific formulae, what a special effects animator really needs to be able to do is to feel and imagine how the elements work. And a great deal of that information is already within us, hard-wired into our DNA and reinforced by a lifetime of observing the elements all around us, firsthand.“ [12, S. xxvii]

### 3.4.5 Naturwissenschaften

Naturwissenschaften wie Mathematik und Physik beschreiben das Verhalten von Naturphänomenen, sind aber nicht die Basis für die handgezeichnete Effektanimation. Ein Grundverständnis der Mechaniken hinter den zu animierenden Dingen wirkt sich dennoch positiv auf das Ergebnis aus.

„And there certainly is no need for a degree in advanced physics, or an understanding of the strange jargon that often goes with it.“ [12, S. xxx]

### 3.4.6 Abstraktion

Die Sprache der Natur zu erlernen ist ohne Abstraktion eine Lebensaufgabe. Abstraktion klingt nach Vereinfachung und dass soll doch leichter sein als realistisch zu zeichnen und zu animieren. Allerdings reicht der Vorgang der Abstraktion über die reine Reduktion der Vorlage hinaus. Vielmehr geht es um das Erkennen von Zusammenhängen und der inneren Struktur des Zeichenmotivs. Die Natur unterliegt einer Ordnung und Abfolge aus Mustern und Regeln. Um stilisiert zeichnen zu können, müssen die Prinzipien der Abstraktion solange durch die Kombination von Studium, Beobachtung und Zeichnen geübt werden, bis sie verinnerlicht werden [14, S. 13f].

„The biggest challenge to the artist is the twentieth century is learning the abstract language of art. Long ago it was enough to copy the surface forms of nature, but now it is our task to get to the root of nature’s meanings.“ [14, S. 13]

## 3.5 Kosten

Die anfallenden Kosten sind eine wichtige Entscheidungsgrundlage bei der Technologiewahl. Die Animation per Hand zeichnet sich durch geringe Materialkosten und hohe Personalkosten aus.

### 3.5.1 Hohe Personalkosten

Effektanimation per Hand ist aufwendig, daher ist es wichtig die Natur zu abstrahieren und vereinfacht nachzubilden [11, S. 38]

Der Begriff Line Mileage definiert wie viele Linien pro Frame gezeichnet werden und bestimmt somit auch den Aufwand eines Bildes. Je mehr Details eine Animation enthält, desto aufwendiger, denn alle Linien müssen sich pro Frame richtig bewegen. Mit steigender Linienzahl wird es schwieriger, alle Details im Auge zu behalten, ohne das einzelne Linien davon kriechen, plötzlich auftauchen oder von der Animation ablenken [20, S. 9].

Der enorme Zeichenaufwand der mit einer handgezeichneten Animation entsteht, führt zu einer längeren Produktionszeit mit hohen Personalkosten.

### 3.5.2 Geringe Materialkosten

Die Kosten der handgezeichneten Animation werden primär von Zeichenaufwand bestimmt. Die Kosten für Papier und Bleistift sind vergleichbar gering. Software-, Render- und Simulationskosten entfallen bei der rein handgezeichneten Animationstechnik.

„If you consider how much time it can take to test, develop, and render 3D assets to look like what you want, then yes, 2D can cost less.“ [20, S. 132]

Die Aussage stimmt jedoch nur, solange nur eine Animation erstellt wird. Sobald weitere Produktionen in Plan sind, kann das recherchierte Wissen wiederverwendet werden. Der Zeichenaufwand bleibt jedoch gleich.

## Kapitel 4

# Angewandte Softwaresimulation

Bei der Simulation von Visual Effects berechnen Physik basierte Softwarepakete, wie sich Objekte verhalten [49]. Das Verhalten wird dabei durch Kräfte, wie Gravitation bzw. Wind oder der Kollision mit anderen Objekten beeinflusst [11, S. 219, 239]. Naturphänomene, die in der Realität bzw. in der Animation nicht bzw. nur sehr aufwendig konstruiert werden können, werden häufig am Computer simuliert. Simulationen sind keine exakten Abbilder der Wirklichkeit, sie sind eine vereinfachte Version der Realität, eine fiktive Berechnung des Verhaltens von Naturerscheinungen. Die simulierten Bilder werden meist nicht isoliert betrachtet, sondern mit Realfilm bzw. mit animierten Sequenzen kombiniert [17, S. 2f].

Die Simulation von Naturphänomenen kann aus zwei Blickwinkeln betrachtet werden,

1. der Anwendung von fertigen Simulationslösungen und
2. der Entwicklung von eigenen Simulationsverfahren.

In diesem Abschnitt wird ersteres der beiden Aspekte betrachtet. Der zweite Ansatz wird im anschließenden Abschnitt diskutiert (siehe Kapitel 5).

### 4.1 Optische Wirkung

Es gibt zahlreiche Beispiele (siehe Abbildung 4.1) für die simulierten Naturerscheinungen. Sie alle zeigen den charakteristischen Look von simulierten Visual Effects.

#### 4.1.1 Künstlich

Blickt man auf die Simulationsgeschichte, so scheinen die ersten simulierten Animationen speziell für „Effekte mit geringen Realitätseffekt“ geeignet. Die frühen Verfahren beruhen auf vereinfachten, regelbasierten Verhalten. Diese



**Abbildung 4.1:** Beispiele für simulierte Rauch- und Nebel-effekte. Bildquelle: (a) [37], (b) [39], (c) [29], (d) [28], (e) [36] und (f) [33].

Reduktion lässt sich in der Natur jedoch nicht finden [9, S. 135]. Fraktale Muster und Bewegungen sind die Sprache der Natur. Es gibt zwar viele Ähnlichkeiten aber keine exakten Wiederholungen in natürlichen Prozessen. Auch wenn es oft nur kleine Abweichungen von vereinfachten Formeln sind, so wirkt das Ergebnis dennoch leblos und künstlich. Dadurch wird der Betrachter irritiert, was dazu führt, dass er sich vom Werk distanziert [20, S. 211f].

„In the world of magic, however, computer animation can be a truly fantastic tool, because here what we are attempting to create is something that feels un-natural. It is for this reason, that so much of the computer-generated magic that we see in feature films in the 21st century really does work extremely well.“ [11, S. 244]

### 4.1.2 Hyperrealistisch

Um das Problem der Künstlichkeit zu umgehen, verwenden moderne Lösungen fraktale Regeln, um die Komplexität dem Realismus anzupassen. Das Ergebnis ist ein Detailgrad, der die natürlich wahrnehmbare Komplexität übersteigt. Das Ergebnis ist *realer als real*. Der entstehende Hyperrealismus wirkt in manchen Fällen zu perfekt [9, S. 281]. Was in Kombination mit dem Realfilm stimmig wirkt, ist für den Animationsfilm zu detailliert.

### 4.1.3 Technik bestimmt

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten Naturphänomene zu animieren. Alleine mit Simulationstools gibt es eine Vielzahl von Anbietern mit scheinbar ähnlichen Lösungen. Um sich einen Überblick über die einzelnen Softwarepakete zu verschaffen und deren Verwendung im Detail zu erlernen braucht es Monate, wobei die Palette an Tools ständig wächst. Die Frage „Wie und mit welchem Tool macht man einen Effekt?“ steht oft vor „Was soll gemacht werden und wie soll es aussehen?“. Die Optik wird dadurch oft durch die Vorgaben der Tools definiert.

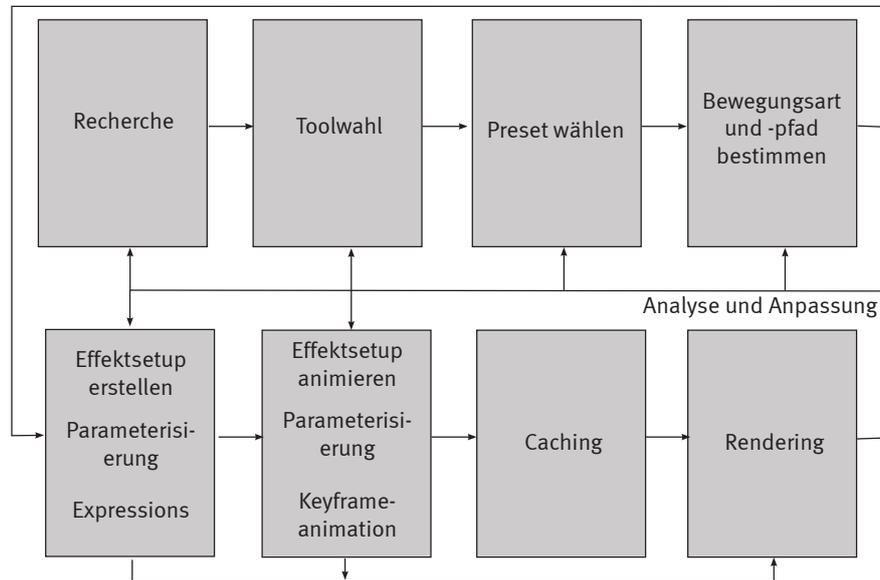
„Do not let the computer do your thinking or animating for you!  
If you do, the results will be mediocre, lifeless and uninspired.  
Bring your imagination, and your knowledge of what makes great  
animation great, to every element that you create.“ [11, S. 223]

### 4.1.4 Vordefinierter Stil

Simulationstools enthalten Presets, die vom Entwickler definiert werden. Der Entwickler gibt mit der Konfiguration der Preset einen Stil vor. Wird die Standardkonfiguration nicht abgeändert, läuft man Gefahr sich vom Toolhersteller den Look definieren zu lassen. Dies scheint zwar praktisch und nicht störend, hat jedoch zur Folge, dass viele Produktionen gleich aussehen und die einzelnen Elemente nicht zueinander passen. Die Folge ist fehlende Variation, wenig Innovation und Überraschung in der Stilentwicklung [20, S. 130f].

## 4.2 Workflow

Simulation ist ein interaktiver Prozess, die Entwicklung erfolgt in Zyklen, bei denen immer wieder in frühere Phasen des Workflows zurückgesprungen wird (siehe Abbildung 4.2). Gestartet wird die Entwicklung mit einer umfangreichen Recherchephase. Es gibt zahlreiche Produkte auf den Markt, die ähnliche, aber nicht identische Ergebnisse erzielen. Daher ist es zunächst wichtig, sich einen Überblick zu verschaffen und ein für die Anforderung idea-



**Abbildung 4.2:** Ablaufdiagramm der angewandten Softwaresimulation.

les Softwarepaket auszuwählen. Um die Entscheidung zu erleichtern, kann in einer initialen Testphase mit zahlreichen Produkten experimentiert werden.

Die einzelnen Produkte bieten Standardkonfigurationen, sogenannte Presets, für unterschiedliche Anwendungsfälle an. Auch diese können experimentell erprobt werden. Die Definition einer Grundbewegung ist der nächste Schritt. Die einzelnen Tools verhalten sich in ihre Bewegung unterschiedlich. Manche sind sehr physiknahe, wie etwa Fluids, die sich entsprechend von berechneten Energiefeldern automatisch ihren Weg errechnen und daher nur indirekt beeinflusst werden können. Andere bieten mehr Freiheiten. Mit Hilfe von Curve Flow kann der Bewegungspfad etwa anhand einer Kurve definiert werden.

Wenn klar ist, mit welchem Tool, Preset und Grundbewegungsmuster gearbeitet wird, ist der nächste Schritt die Erstellung eines Effektsetups. Dies ist vergleichbar mit dem Riggen<sup>1</sup> eines Charakters. Kontrollobjekte und Parameter definieren die nach außen steuerbaren Eigenschaften des Effektes. Natürlich können Naturerscheinungen auch ohne ein Effektsetup direkt durch die Manipulation von Parametern, Expressions<sup>2</sup> oder Keyframes

<sup>1</sup>Beim Rigging werden Hilfsobjekte definiert, welche die Beweglichkeit von Objekten steuern. Characterrigging besteht aus dem Anlegen eines beweglichen Knochenskeletts, der Erstellung eines Positionierungsobjektes im Raum, Anfassen für die beweglichen Komponenten, sowie der Definition von Bewegungseinschränkungen.

<sup>2</sup>Expressions sind kleine Codeteile, die einen Parameter abhängig von der Zeit berechnen [44, S. 643], [46]. Sie bestehen aus wenigen Anweisungen oder komplexen Algorithmen

animiert werden. Ein Effektsetup kapselt jedoch die Komplexität der dahinterliegenden Technik von der eigentlichen Animation ab und schaffen so mehr Übersichtlichkeit. Vor allem für nachträgliche Änderungen bzw. die Animation durch mehrere Animatoren, bietet dieser Zwischenschritt viele Vorteile.

Der nächste Schritt ist die Animation des Setups. Die Parameter werden individuell angepasst und zusätzliche Keyframeanimationen verleihen dem Effekt mehr Dynamik und Lebendigkeit. Bei Simulationen wird das Ergebnis anhand der vorgegebenen Werte berechnet. Um das Ergebnis als Bildsequenz rendern zu können, muss es zuvor berechnet und abgespeichert werden. Dafür wird ein Disc-Cache erstellt. Das Ergebnis wird anschließend immer wieder testgerendert und ausgewertet. Je nach Zufriedenheit wird nun beliebig tief in den Workflow eingegriffen.

Für nähere Information zu diesem Thema gibt es zahlreiche Bücher, die sich wesentlich detaillierter mit diesem Thema beschäftigen, als es im Rahmen dieser Arbeit möglich ist. Einige Empfehlungen zu diesem Thema sind: *Maya Visual Effects: The Innovator's Guide* [15] von Eric Keller, *Creating Visual Effects in Maya: Fire, Water, Debris, and Destruction* [17] von Lee Lanier und *Dynamics and Simulation* im Buch *The VES Handbook of Visual Effects* [7] von Judith Crow.

### 4.3 Charakteristika

Die Effektsimulation ermöglicht die Automatisierung von großen Mengen, Zufallsstreuung und physikalische Korrektheit. Der Preis dafür ist die Flexibilität und Einzigartigkeit.

#### 4.3.1 Wiederholung und Mengen

Partikelsysteme unterstützen die Animation einer großen Anzahl an Objekten. Das Verhalten der einzelnen Objekte kann gemeinsam gesteuert werden. Dabei gibt es sowohl globale Steuerungsmöglichkeiten, die auf die gesamte Gruppe angewendet werden, wie auch individuelle Beeinflussungsmöglichkeiten, die das Verhalten der einzelnen Partikel anhand globaler Regeln steuern [9, S. 133]. Dadurch können Naturphänomene, wie Regen, relativ einfach animiert werden. Tools zur Simulation von Partikelsystemen sind heute gängige Praxis und relativ gut erprobt. Solange das Verhalten einer Masse global bzw. anhand fixer Regeln kontrolliert werden kann, empfiehlt sich diese Methode [11, S. 219, 239]. Jedes beliebige Objekt kann als Partikel verwendet werden. Dadurch eignen sich Partikel für jeden Grafikstil und lassen sich gut ins Gesamtsystem integrieren. Mit Hilfe von Sprites<sup>3</sup> können

---

und sind Teil vieler Animationssoftwarepakete.

<sup>3</sup>Unter Sprite versteht man im Zusammenhang mit 3D Animation, zweidimensionale, rechteckige Flächen mit einer Textur, die animiert sein kann [64].

sogar animierte Bildsequenzen vervielfältigt werden [20, S. 10].

### 4.3.2 Vielfalt

Simulationstools ermöglichen das automatische Erzeugen von Zufällen. Standardmäßig verwenden Partikelsysteme immer das gleiche Objekt in der selben Größe und Farbe. Die optischen Merkmale der Einzelobjekte beruhen jedoch auf zahlreichen Parametern, die sich einfach variieren lassen. Durch das Berechnen von zufälligen Startwerten bzw. Laufzeitänderungen lassen sich die Effekte abwechslungsreich gestalten.

„Gleichzeitig besteht die Kunst des kontrollierenden Eingriffes darin, entweder überhaupt keine sichtbare Ordnung entstehen zu lassen oder aber die Ordnung so zu dimensionieren, dass sie wie zufällig erscheint.“ [9, S. 144]

### 4.3.3 Symmetrie

Symmetrie ist ein Problem von modernen Simulationstools. Naturerscheinungen wie Rauch werden standardmäßig gleichförmig berechnet. Um die Symmetrie zu vermeiden, gibt es jedoch ein einfaches Mittel. Durch die Definition von Kräften, wie beispielsweise *Turbulanze*, wird die Gleichförmigkeit aufgebrochen [11, S. 55]. Symmetrie klingt zwar nach einem Problem in der Effektanimation, aber im Gegenteil zur Animation per Hand, lässt sich in CG das Problem mittels einer Einstellung aufbrechen. In der Handzeichnung muss bei jedem Frame darauf geachtet werden.

„Smoke also can benefit enormously from our understanding of dynamic design and animation. All too often I have seen 3D computer-generated smoke animations that is extremely uniform and uninteresting looking even in very big budget live-action films. It seems that as long as it sort of looks like smoke, nobody seems to care if it doesn't really act like smoke. Long columns of smoke rising in the distance after a battle has been waged frequently look like perfectly symmetrical columns rising upwards, as if there is no hot and cool air to create more interesting shapes as would invariably happen in reality. And as animators, we need to exaggerate even reality and push the design and movement of our smoke animation even farther.“ [11, S. 223]

Aber ganz so einfach ist die Vermeidung von Symmetrie und parallelen Linien mit Software auch wieder nicht. Ja, Turbulance bricht die Grundform auf, aber für andere Elemente, wie Licht und Schatten von flachen Grundelementen (siehe Abschnitt 8.1) ist die Vermeidung nicht so einfach.

### 4.3.4 Übertreibung

Moderne Simulationstools liefern viele Effekte bereits vorkonfiguriert. Diese Voreinstellungen werden meistens von den Entwicklern definiert. Diese orientieren sich bei der Umsetzung der Software an den Naturwissenschaften und stellen die Standardparameter möglichst realistisch ein. Im Animationsfilm ist aber Realismus nicht so wichtig, wie Übertreibung. Es ist daher notwendig, die Konfiguration anzupassen [11, S. 67].

### 4.3.5 Flexibilität

Flexibilität ist der Preis, den man mit Standardlösungen zahlen muss. Denn der Programmierer definiert, was alles möglich ist. Vorstellungen, die sich nicht mit denen des Entwicklers decken, sind schwer umsetzbar. Partikelsysteme eignen sich zwar hervorragend zur Steuerung von Massen, soll jedoch das Verhalten einzelner Partikel beeinflusst werden, so stößt man mit CG-Partikelsystemen schnell an die Grenzen [11, S. 219, 239] [9, S. 135f]. Fluids sind ein wunderbares Mittel um Gase oder Flüssigkeiten zu simulieren. Sie eignen sich hervorragend um Rauch, Nebel, Wolken, Feuer und Explosionen nachzubauen [17, S. 147]. Jedoch sind Fluids extrem auflösungsabhängig. Hoch aufgelöst sind sie sehr rechenintensiv und langsam. Niedrig aufgelöst sind sie zwar schnell berechnet, ihr optisches Ergebnis sieht jedoch ganz anders aus. Benötigt man ein bestimmtes Verhalten mit genau definierten Gesetzmäßigkeiten und ästhetischen Vorstellungen, so sind Standardlösungen nur bedingt geeignet [11, S. 238f].

### 4.3.6 Tooling

Standardtools bieten schnelle Lösungen zur Animation von Naturphänomenen. Presets geben oft 80% der Lösung automatisch vor. Das klingt zunächst gut und nach einer enormen Arbeitserleichterung. Das Problem ist, dass die 80% sehr viel der künstlerischen Freiheit einschränken. Das Pareto-Prinzip<sup>4</sup> ist bei der Verwendung von Simulationstools besonders stark ausgeprägt. Mit wenig Aufwand kommt man einer annähernd guten Lösung sehr nahe. Der Aufwand, der für die restlichen 20% nötig wäre, wird aus ökonomischen Gründen oft gespart.

Wie bereits im Abschnitt 4.1 beschrieben gibt es zahlreiche Tools für ähnliche Aufgaben, dessen Erlernung viel Zeit beansprucht. Um bei der 80/20 Regel zu bleiben, benötigt man 80% der Zeit, um das richtige Tool für den gewünschten Stil zu wählen, den das Tool bestimmt den Stil (wie in Abschnitt

---

<sup>4</sup>Vilfredo Pareto entdeckte 1897 die 80/20 Regel, die besagt, dass 20% der Ursache 80% der Wirkung erzielen und umgekehrt. Auf Zeit und Aufwand angewandt, bedeutet dies, dass mit 20% der Zeit, 80% des Aufwands zu erreichen sind, und für die restlichen 20% nochmal 80% des Aufwands notwendig ist. Die Frage die sich daraus ergibt ist, sind die restlichen 20% ökonomisch notwendig [52].

4.1 beschrieben) maßgeblich mit. Die Konfiguration des Tools benötigt dann im Idealfall nur 20% der Zeit.

Die Tools bieten meistens zahlreiche Einstellparameter für die Konfiguration der Effekte. Diese Parameter sollen die Simulationen flexibel, anpassbar machen, sorgen aber auch für Unübersichtlichkeit und Komplexität beim Erlernen der Software (siehe Abschnitt 4.4.2). Die Lösung sind Tutorials, die den Umgang mit der Software erklären. Das Problem, das sich daraus ergibt ist, dass Tutorials die Software nicht vollständig erklären oder Variationsmöglichkeiten anbieten, sondern Arbeitsschritte vorzeigen und so den Umgang mit der Software in eine bestimmte Richtung lenken. Das visuelle Ergebnis sieht somit für alle Anwender des Tutorial gleich aus.

Will man das Tool punktgenau beherrschen, so ist sehr viel Recherchezeit nötig und oft ist die Lösung aufgrund der technischen Einschränkungen nicht erreichbar (siehe Abschnitt 4.3.5). Denn selbst wenn ein Tool zahlreiche Parameter und Einstellmöglichkeiten besitzt und eine vollständige Freiheit in der Konfiguration verspricht, so besitzt es die Freiheit nur in dem Rahmen, den das Regelwerk vorgibt [9, S. 138].

#### 4.3.7 Wiederverwendbarkeit

Alle Elemente werden von den selben Energien bewegt. Die grundlegenden Prinzipien sind daher für alle Effekte die selben. Wasser und Feuer scheinen zwar Gegensätze zu sein, beruhen aber auf den gleichen Kräften und sind somit in vielerlei Hinsicht enger miteinander verknüpft [12, S. 9]. Rauch, Dampf und Dunst sind vom selben optischen Ursprung, ihre Bewegung ist jedoch unterschiedlich [12, S. 11f].

Dieses Prinzip begünstigt die Verwendung von Effekten für verschiedene Anwendungsszenarien. So können beispielsweise Fluid System mit der entsprechenden Konfiguration, nicht nur wie der Name vermuten lässt, für Flüssigkeiten verwendet werden, sondern auch für Gase und Rauchwolken. Partikelsysteme sind vielseitig einsetzbar und lassen sich für zahlreiche Anwendungsfälle individuell konfigurieren. Aber auch allgemeine Prinzipien, wie Energiefelder, sind universell verfügbar und können zur Beeinflussung der verschiedenen Simulationsverfahren mehrfach zugewiesen werden.

## 4.4 Wissen

Die benötigten Qualifikationen für die Simulation von Naturerscheinungen sind Softwarekenntnisse. Neben dem Erlernen einer einzelnen Software wird aber auch ein allgemeines naturwissenschaftliches Verständnis, über die zu animierenden Naturphänomene, empfohlen.

#### 4.4.1 Verzicht auf Solid Drawing

Bei der Simulation von Naturerscheinungen treten Zeichenkenntnisse in den Hintergrund. Rudimentäre Zeichenfähigkeiten für Storyboard- und Konzeptzeichnungen sind empfehlenswert. Genaues perspektivisches und im Zeitverlauf bewegendes Zeichnen ist jedoch nicht mehr erforderlich.

#### 4.4.2 Einstiegshürde

Wie im Abschnitt 4.3.6 beschrieben, gibt es zahlreiche verschiedene Softwareanbieter. Die einzelnen Simulationstools erscheinen zunächst unübersichtlich und komplex. Ihr Umgang muss vorab erlernt werden. Für den Künstler der es gewohnt ist mit Papier und Bleistift zu arbeiten, ist dieser Zugang ungewohnt. Es muss ein neuer Denkprozess erlernt werden, der von der gewohnten Intuition abweicht. Beruht die Handzeichnung auf Beobachtung und Zeichenkenntnisse, so sind diese Fähigkeiten in der Simulation nur bedingt notwendig. Vielmehr ist es erforderlich sich mit Techniken, wie Fields, Partikels, Fluids bzw. Hair auseinanderzusetzen. Die Arbeitstechniken unterscheiden sich grundlegend wie die Abschnitte 3.2 und 4.2 zeigen.

#### 4.4.3 Lernprozess

Zahlreiche Bücher und Tutorials lehren den Gebrauch von spezifischen Effektools. Sie beschreiben zunächst das allgemeine Prinzip der Softwaretools und anschließend anhand von Beispielen die zahlreichen spezifischen Parameter. So auch das Buch *Creating Visual Effects in Maya: Fire, Water, Debris, and Destruction* von Lee Lanier bzw. *Maya Visual Effects: The Innovator's Guide* von Eric Keller. Was laut Joseph Gilland den modernen Lernhilfen fehlt, ist das zugrundeliegende Verständnis der Erscheinungen.

„More time is be spent teaching young artist ho to manipulate complex computer graphics software, and less time is spent teaching them how to observe, how to see and intuit the incredible subtleties of nature’s splendour in order to best represent it as artists.“ [11, S. 16]

VFX-Artists sind mit dem Erlernen von immer neuen Tools beschäftigt, sodass die Auseinandersetzung mit den Phänomenen an sich vergessen wird. Es scheint auch keine Notwendigkeit dafür zu geben, da das Wissen aus Beobachtungen schwer in den Tools umgesetzt werden kann. Die fertigen Softwarepakete bieten oft keine entsprechenden Einstellmöglichkeiten.

Der Lernprozess hat sich grundlegend verändert, wie Joseph Gilland beschreibt:

„In my experience supervising digital artists over the last ten years, I have consistently come across individuals who have de-

veloped a high level of design skills as well as a high degree of proficiency with their digital tools, but who haven't developed the sense of feeling the physics of what they were trying to animate. During the course of their schooling, the steps of understanding natural phenomena through the practice of research, touch, feel, personal interaction, and drawing had been all but left out.“ [11, S. 17]

#### 4.4.4 Naturwissenschaften

Naturwissenschaften wie Mathematik und Physik sind die Basis für die Berechnung der Simulationstools. Das Ergebnis ist ein physikalisch korrektes Verhalten. Als Anwender der Software ist die detaillierte Auseinandersetzung mit Naturwissenschaften jedoch nicht die Voraussetzung. Grundkenntnisse sind aber für das Verständnis sinnvoll, da die Simulationen über die Definition von Energiefeldern beeinflusst werden. Weites ergeben sich die steuerbaren Parameter und deren Namensgebung oft aus einer naturwissenschaftlichen Bedeutung.

### 4.5 Kosten

Die anfallenden Kosten der Effektsimulation zeichnet sich durch geringe Personalkosten und hohe Recherche-, Render- und Simulationszeiten aus.

#### 4.5.1 Animationszeit

Simulationstools automatisieren die Animation von Naturphänomenen. Wie unter Abschnitt 4.3.6 Tooling beschrieben, kann ein Großteil der Effekte mit relativ geringen Aufwand durch Standardlösungen erstellt werden.

„Even with a great deal of simplification, the drawing [...] is still a very detailed and difficult design to animate! Animating waterfalls is another area of special effects animation that can be much more *effectively* done with the aid of digital technology, and still retain a hand-drawn look.“ [11, S. 146]

#### 4.5.2 Recherchezeit

Der Großteil des Aufwandes betrifft (wie im Abschnitt 4.3.6 Tooling beschrieben) die Recherche. Die Recherche ist bei der Verwendung von Simulationstools deshalb besonders essentiell, da es so viele Optionen gibt und jede ein anderes visuelles Ergebnis erzeugt. Da jeder Film andere Voraussetzungen hat, muss sehr oft neues Wissen erlernt werden. Ulf Andersson erklärt in seinem Vortrag „Problem solving in 3d-graphics and vfx“, dass

man in der VFX oft vor dem Problem steht, etwas komplett Neues zu entwickeln, was es so noch nicht gibt, bzw. in den eigenen Projekten noch nicht Verwendung gefunden hat. Die Palette an Tools entwickelt sich ständig weiter. Die Recherche ist somit ein essentieller Teil vieler VFX-Projekte.

### 4.5.3 Software

Die Wahl des Tools beeinflusst die anfallenden Kosten. Durch sinkende Softwarekosten werden Animationstools für die Öffentlichkeit leistbar, dennoch sind die Anschaffungs- und Wartungskosten für entsprechende Software nicht zu unterschätzen [20, S. 11]. In einer Produktions-Pipeline eines 3D-Animationsfilms kommen oft viele Tools zum Einsatz. Spezielle Tools für Modeling, Texturing, Animation, VFX, Rendering, Compositing, Color-correction und Schnitt erleichtern die Arbeit, summieren aber auch die anfallenden Kosten. Die meisten dieser Tools sind relativ teuer und sorgen so für eine Hürde von Low-Budget- und Studentenproduktion. Neben den Industriestandards gibt es auch zahlreiche Open Source Produkte, die frei zugänglich sind. Was gegen die Entscheidung für Open Source spricht,

- ist der zusätzliche Lernaufwand, wenn andere Tools im Studium gelehrt werden,
- dass benötigen einer bestimmten Funktionalität eines Tools,
- bzw. dass Studenten- und Low-Budget-Produktionen oft als Referenz für die Industrie dienen, um den Umgang mit den entsprechenden Tools zu zeigen.

Softwarekosten können somit zwar vermieden werden, sind aber ein großes Thema beim Festlegen der Pipeline.

### 4.5.4 Hardwarekosten

Neben Softwarekosten fallen auch hohe Hardwarekosten an. Simulationen beanspruchen besonders die Arbeitsspeicher- und Prozessorleistung. Texturen bzw. fraktale Algorithmen belasten die Hardware. Ganze Renderfarmen, bestehend aus zahlreichen Rechnern, können unter Umständen für die Berechnung des Ergebnisses nötig sein.

### 4.5.5 Simulationszeit

Die Berechnung der Simulationen beansprucht viel Zeit und bindet die Hardwareressourcen.

### 4.5.6 Renderzeit

Selbiges gilt auch auf Renderzeiten. Die Simulationen müssen aus dem 3D-Raum auf eine 2D-Ebene projiziert werden. Die Berechnung des fertigen

Bildes ist sehr rechenintensiv.

#### 4.5.7 Teamwork

Der größte Kostenfaktor eines Projektes ist aber die Zeit und die Anzahl an Künstlern, die daran beteiligt sind. Die Maxime *Zeit ist Geld* unterstreicht die Argumentation. Der digitale Prozess spart Zeit durch die Wiederverwendbarkeit von Assets und kommt theoretisch mit kleineren Teams aus [20, S. 11].

## Kapitel 5

# Prozedurale Gestaltung

Prozedurale Techniken sind ein mächtiges Werkzeug zur Erzeugung von computergenerierten Bildern und Animationen. Sie finden sich bereits früh in der Geschichte der Computergrafik. Entsprechende Interfaces sind heute in den meisten Animationssystemen verfügbar. Die prozedurale Modellierung ist vielseitig einsetzbar und inkludiert Modelle ohne statische Form, wie Wasser, Rauch, Dampf oder Feuer [8, S. 1]. Komplexe Muster werden anhand von allgemeinen Regeln beschrieben. Aufgaben die klassisch nur durch mühsame Kleinarbeit gelöst werden können, werden automatisiert [9, S. 65].

Der Begriff *prozedural* wird in der Computergraphik verwendet, um die Beschreibung von Elementen und deren Verhalten durch Programmcode zu definieren. Die den Bausteinen innewohnende Logik wird codiert, anstelle alle Details händisch zu platzieren und zu animieren. Dabei wird zwischen prozeduralen und deklarativen Aspekten unterschieden. Der Programmcode ist der prozedurale Teil, das Festlegen von spezifischen Werten für die Ausführung der Deklarative [21, S. 12]. In dem Kapitel 4 liegt der Fokus auf dem deklarativen Teil, in diesem Abschnitt hingegen auf den prozeduralen Aspekten. Simulationstools stellen fertige Softwarepakete mit fixen, extern definierten Funktionsumfang zur Verfügung. Prozedurale Animation ist näher am Code und verkörpert teilweise die Entwicklerseite.

Prozeduren, Funktionen und Algorithmen sind Begriffe der Softwareentwicklung, die sich zwar für Programmierer unterscheiden, im Sinne der prozeduralen Gestaltung, aber aus Gründen der Einfachheit und des Verständnisses, als Synonym angesehen werden können. Es handelt sich dabei um kleine Programmabschnitte, welche die Aufgaben automatisch und wiederholbar übernehmen. Prozeduren können beliebige Inhalte enthalten und sind nicht auf ein Fachgebiet begrenzt. Alles was vorstellbar und auf die kleinste Einheit zerlegbar ist, kann auch programmiert werden. Wichtig ist dabei das Herunterbrechen auf Einzelaufgaben, den der Computer kann nur einfache Probleme lösen. Mathematische Berechnungen, Vergleiche, Wiederholungen und Speicherung von Daten sind die Kernkompetenzen

der Programmierung. Dies bedeutet jedoch nicht, dass das Endergebnis einer prozeduralen Entwicklung eine einfache Lösung beinhaltet. Vielmehr kann durch die Summe vieler einfacher Aufgaben eine sehr komplexe Aufgabe gelöst werden, vergleichbar mit der Mathematik, wo eine komplexe Gleichung ebenfalls in einzelnen Schritten gelöst wird. Die Gemeinsamkeiten, die bei der prozeduralen Arbeit und der Handzeichnung zu beobachten sind, sind die uneingeschränkte Phantasie und die Notwendigkeit der Vereinfachung der visuellen Darstellung und der Bewegung. Auch wenn das Endergebnis nicht wie in der Handzeichnung stilisiert sein muss, so ist die Überlegung, aus welchen Teilen sich das Phänomen zusammensetzt und wie sich diese Einzelteile im Vergleich zum Gesamtsystem verhalten, eine ähnliche.

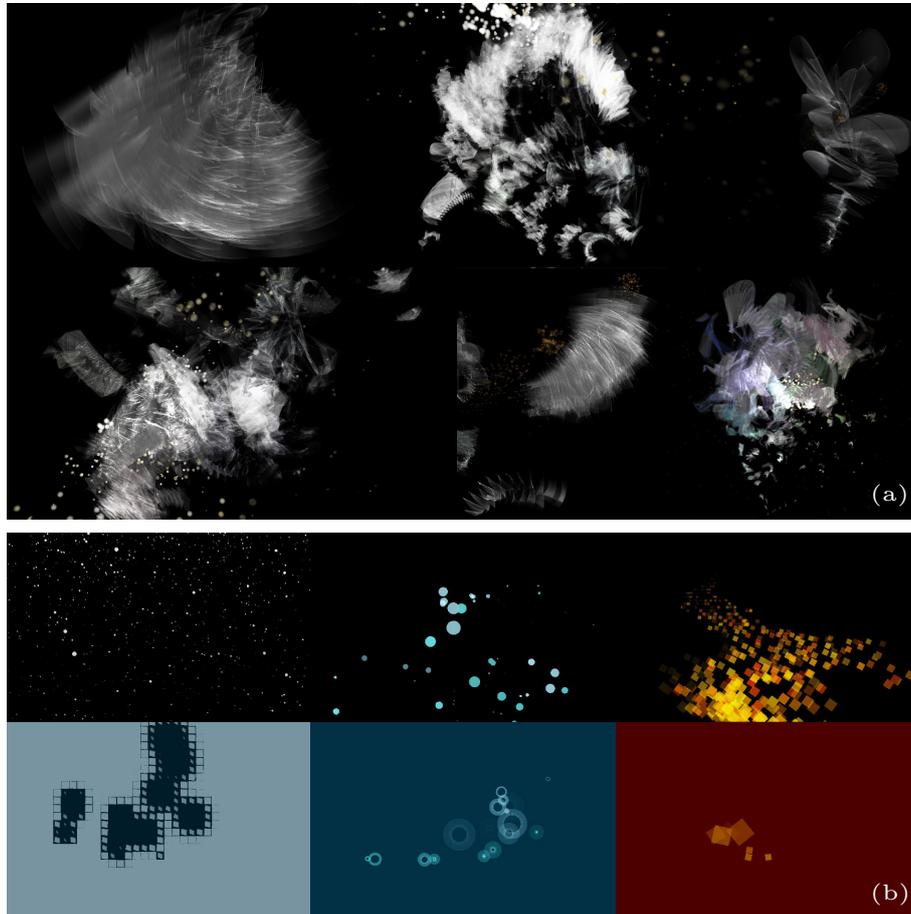
## 5.1 Optische Wirkung

Für die optische Wirkung gilt ähnliches, wie für die Anwendung von Simulationstools. Die Grenze zwischen Prozedural und Simulation lässt sich schwer ziehen, denn beide Technologien werden oft gemeinsam eingesetzt. Sie greifen auf die gleichen Gesetzmäßigkeiten zurück, verfolgen aber einen unterschiedlichen Zugang zur Problemlösung. Beispiele lassen sich nicht bzw. nur sehr schwer eindeutig einer der beiden Vorgehensweisen zuordnen. Dieselben Bilder die bei der Simulation als Beispiel dienen, werden auch hier zur Veranschaulichung herangezogen (siehe Abbildung 4.1).

Die visuelle Bandbreite der prozeduralen Animation ist jedoch breiter, als bei der angewandten Softwaresimulation. Neben der Erweiterung von bestehender Simulationssoftware durch Expressions bzw. Scripts (siehe Abschnitt 5.2) und der Eigenkonstruktion einer entsprechenden Software, gibt es auch den Ansatz der generativen Gestaltung. Dabei wird die Natur frei und künstlerisch interpretiert. Zwei Beispiele dafür sind die interaktive Installation *Elemental Footprints*, die in Zusammenarbeit mit den Ars Electronicer entstanden ist und eine abstrakte Datenvisualisierung in Form von Sternennebel, die ebenfalls im Verlauf des Studiums umgesetzt wurde (siehe Abbildung 5.1).

### 5.1.1 Künstlich

Das Ergebnis ist durch den direkten Eingriff in den Code in der Regel abstrakter. Die Abstraktion führt im Fall der prozeduralen Gestaltung oft zu einem cleanen, künstlichen Look. Formen werden stark reduziert, um die Programmierung überschaubar zu machen. Allerdings sind „Wolken [...] keine Kugeln, Berge keine Kegeln, Küstenlinien keine Kreise“ [18, S. 13]. Die Natur besteht aus Fraktalen, anstelle von euklidischer Geometrie. Die einzelnen Formen und Bewegungsmuster bestehen aus unendlich vielen verschiedenen Größenbereichen [18, S. 13].



**Abbildung 5.1:** (a) Abstrakte Sternennebel und (b) *Elemental Footprints* sind Beispiele für die freie Interpretation von Naturphänomenen mittels Programmcode.

### 5.1.2 Zu viele Details

Fraktale können zwar prozedural implementiert werden, das Ergebnis ist nur dann wieder so detailliert für den Rest der Animation. Man steht also wieder vor dem gleichen Dilemma, wie bei der Simulationsanwendung.

### 5.1.3 Kein vordefinierter Look

Ein optisches Merkmal, welches jedoch gegenüber der *angewandten Softwaresimulation* entfällt, ist, dass der Softwareentwickler den Look für den Animator bestimmt. Denn in diesem Fall ist beides dieselbe Person und der Look obliegt ganz der künstlerischen Freiheit des Anwenders. Dadurch erzeugt generative Animation auch ein breiteres Spektrum an Vielfalt.

„Jedes generative Programm ist auch gleichzeitig ein maßgeschneidertes Software-Werkzeug. Damit kann der Gestalter neue Wege einschlagen, die mit aktuellen Software-Standards nicht zu beschreiben wären, was insgesamt zu einer größeren Bandbreite an visuellen Gestaltungsmitteln führen wird.“ [3, S. 464]

#### 5.1.4 Technik bestimmt

Tutorials und Verwendung von fertigen Code aus dem Netz beeinflussen aber auch hier den Stil. Außerdem hat prozedurale Gestaltung ihren eigenen charakteristischen Stil, der meist erkennbar ist.

## 5.2 Workflow

Hinsichtlich prozeduraler Techniken sind im Zusammenhang mit Naturphänomenen besonders drei Verfahren interessant:

**Generative Gestaltung:** Alles wird selbst entwickelt. Einziges Hilfsmittel sind Bibliotheken und Tutorials.

**Expressions:** Es wird eine Simulationssoftware als Basis verwendet und mittels kleiner Code-Snippet<sup>1</sup> erweitert.

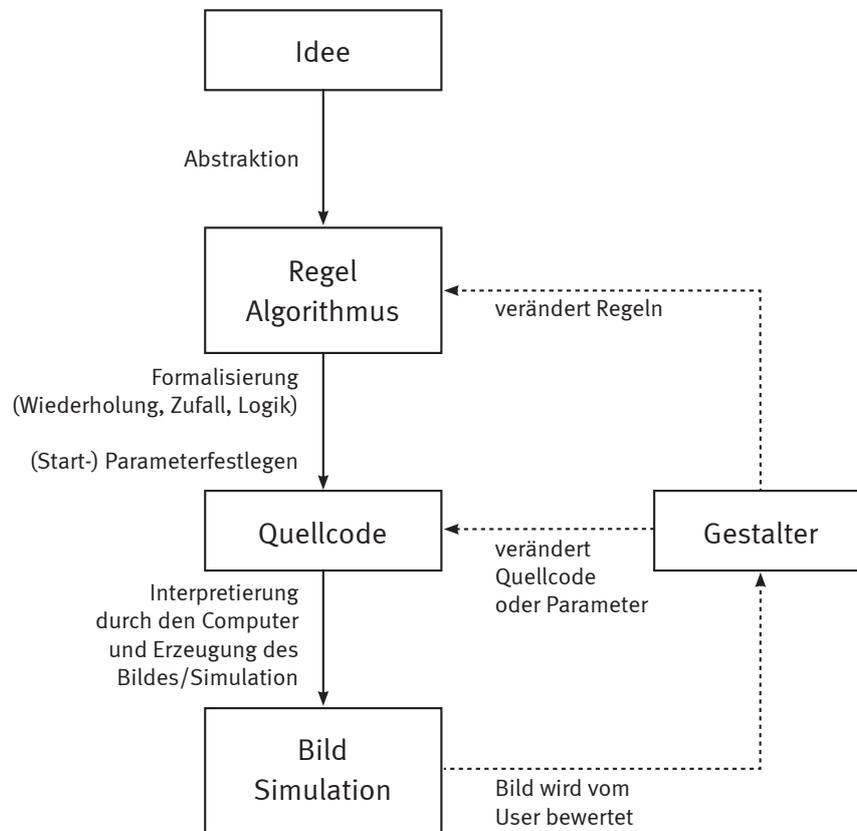
**Scripting:** Wiederholende, zeitaufwendige Vorgänge innerhalb einer bestehenden Softwarelösung werden nicht händisch durchgeführt, sondern mittels Code automatisiert.

Programmierung ist ein interaktiver Prozess. Regeln werden aufgestellt, codiert, getestet, evaluiert und angepasst bis das gewünschte Ergebnis erreicht wird. Die prinzipielle Arbeitstechnik von prozeduraler Animation ist in Abbildung 5.2 dargestellt. Am Beginn der Entwicklung steht eine visuelle Idee. Dieses gedankliche Bild kann jedoch mit Code nicht direkt rekonstruiert werden. Vielmehr muss die Idee zunächst abstrahiert werden. Dafür wird die Gesamtvision in Teilprobleme zerlegt und ein allgemein gültiges Regelwerk, eine Art Kochrezept, aufgestellt. Diese Regeln werden in Programmcode übersetzt und ausgeführt. Das Ergebnis ist ein Bild, welches in der Regel nicht auf Anhieb perfekt ist. Die Graphik wird daher ausgewertet und durch Regel- bzw. Programmcodeänderungen so lange angepasst, bis es den Vorstellungen entspricht [3, S. 460–462].

Für nähere Information zu diesem Thema gibt es zahlreiche Bücher, die sich wesentlich detaillierter mit diesem Thema beschäftigen, als es im Rahmen dieser Arbeit möglich ist. Einige Empfehlungen zu diesem Thema sind: *Generative Gestaltung* von Hartmut Bohnacker, Benedikt Groß und Julia Laub, *The Nature of Code – Simulating Natural Systems with Processing*

---

<sup>1</sup>Snippets sind wiederverwendbare Algorithmen, die meist nur aus wenigen Zeilen Programmcode bestehen [62].



**Abbildung 5.2:** Allgemeines Ablaufdiagramm für den prozeduralen Gestaltungsprozess. Bildquelle: Nachkonstruktion von [3, S. 461].

von Daniel Shiffman, *The Computational Beauty of Nature* von Gary William Flake und *Texturing & Modeling – A Procedural Approach* von David S. Ebert, F. Kenton Musgrave, Darwyn Peachey, Ken Perlin und Steven Worley.

## 5.3 Charakteristika

Die prozedurale Gestaltung bietet gegenüber der Effektsimulation mehr Flexibilität.

### 5.3.1 Wiederholung und Mengen

Auch hier kommen die gleichen Technologien und somit auch die gleichen Stärken und Schwächen, wie bei der Verwendung von Simulationstools, zum Einsatz. Jedoch können die Basiskonzepte selbst implementiert werden und

bieten dann mehr Kontrollmöglichkeiten. Eine Menge von Objekten kann auf jede denkbare, künstlerische Art kontrolliert werden.

### 5.3.2 Vielfalt

Der gleiche Programmcode kann durch Parametrisierung und Zufallswerte eine Palette an Variationen erzeugen [21, S. 14]. Expressions können die Veränderung von Eigenschaften über die Zeit berechnen und so komplexe Animationen automatisieren. Durch leichte Modifikation in der Berechnung lassen sich Variationen im optischen Ergebnis gestalten. Händisch aufgebaute Szenen bzw. Simulationssetups können durch Kopierscripts variiert werden, sodass ein abwechslungsreiches Bild an Naturerscheinungen entsteht (siehe Abschnitt 8.1.4).

Durch die Änderung der Werte für die Berechnung kann sowohl eine gleichmäßige Bewegung erzeugt werden, als auch ein komplett unterschiedliches Ergebnis [8, S. 2]. Beim Zufall unterscheidet man zwischen echtem Zufall und Rauschen. In der prozeduralen Gestaltung ist die Verwendung von echtem Zufall möglich. Dies klingt ideal um ein vielfältiges, initiales Bild zu gestalten. Allerdings wirkt echter Zufall künstlich und kommt in der Natur nicht vor, denn die Wahrscheinlichkeiten sind in natürlichen Prozessen nicht gleichmäßig verteilt. Was im statischen Bild nicht funktioniert, wirkt in der Bewegung chaotisch und sprunghaft. Die Elemente folgen in der Realität keinen abrupten Veränderungen, sondern einer gleichmäßigen, leicht unregelmäßigen Bewegung. Daher bevorzugt man in der Programmierung von Naturphänomenen meist die Verwendung von Rauschen. Durch Rauschen kann eine unregelmäßige Verteilung von Zufallszahlen erreicht werden, was zu einer breiten Palette an natürlich wirkenden Objektvarianten und Anordnungen führt [23, S. 7f].

### 5.3.3 Phantasie

Entwicklung von Programmcode klingt nicht sehr phantastisch, sondern eher trocken und wenig kreativ. Allerdings erlaubt die direkte Manipulation des Codes eine kreative Auslegung der physikalischen Gesetze. Die Physik der zu erschaffenden Welt muss nicht realistisch sein, sondern kann genauso gut einer eigenen fantastischen Idee entspringen [23, S. 189].

„Während die Hardware an die physikalischen Naturgesetze gebunden ist, unterliegt die Software nur noch den Grenzen der eigenen Vorstellungskraft.“ [26, S. 22]

Der Entwickler ist an keine Regeln gebunden. So können Naturwissenschaften zwar als Basis dienen, jeder andere künstlerische Anspruch kann aber ebenso verwendet werden [8, S. 2].

Das Schöne ist, dass die Naturwissenschaft in der Kunst als Inspiration betrachtet werden kann, mit der man spielen kann, um interessante Interpretationen zu finden [19, S. xi]. Mit dieser These sind sich viele Autoren einig, wie die nachfolgenden Zitate zeigen.

„For me, playing with numbers and patterns always has top priority. That’s why I like to call my pictures playgrounds.“ [19, S. xi]

„We are simply taking inspiration from the physics of the natural world, not simulating everything with perfect precision.“ [23, S. 66]

„Fully detailed physical models would be overkill for most computer graphics purposes and would involve intractable calculations.“ [21, S. 7]

„Remember, if it looks right, it is right; hang the math.“ [20, S. 247]

Diese kreative Auslegung der Physik ist ein Luxus gegenüber von wissenschaftlichen Simulationen, bei denen es um die genaue Evolution von Fakten geht. Prozedurale Animation baut zwar auf Naturwissenschaften auf, interpretiert sie aber nach dem Ermäßen des Animators frei.

„G is the universal gravitational constant [...]. This is a pretty important number if your name is Isaac Newton or Albert Einstein. It’s not an important number if you are a Processing programmer. Again, it’s a constant that we can use to make the forces in our world weaker or stronger. Just making it equal to one and ignoring it isn’t such a terrible choice either.“ [23, S. 89]

Realismus ist in der Animation nicht immer gewünscht, sondern das visuelle Ergebnis steht beim Film im Vordergrund. Die Wissenschaft muss sich nicht immer mit der Implementierung decken. So kann es vorkommen, dass Ansätze „zwar den wissenschaftlichen Ansprüchen nicht genügen, jedoch visuell interessante Resultate liefern“ [9, S. 143]. Die Imitation der Techniken der Vergangenheit und die Fehlschläge der Naturwissenschaften können für die Kunst oft interessanter sein, als eine eins zu eins Nachahmung und physikalisch, korrekte Berechnungen.

### 5.3.4 Flexibilität

Die Programmierung verspricht totale Flexibilität. Das Verhalten obliegt der Gestaltungsfreiheit des Künstlers. Es gibt keine Limitationen durch die

Vorstellungskraft eines externen Entwicklers. Durch die direkte Entwicklung des Codes kann in jeden Programmteil eingegriffen werden. Der Animator hat die Kontrolle über alle Parameter und Algorithmen, im Gegensatz zur Verwendung von vordefinierten Lösungen, wo nur nach außen sichtbare Parameter beeinflusst werden können.

„Erst innerhalb des Horizontes der Codes können alle künstlerischen Strategien und Herangehensweisen konsequent durchgespielt werden.“ [26, S. 44]

Alles was man programmiertechnisch erdenken kann, kann umgesetzt werden. Dabei ist zu beachten, dass der Programmierung ein eigenes, charakteristisches Sprach- und Denkmuster (siehe Abschnitt 5.4.7) zugrunde liegt. Alles was in diesem Rahmen, in einer sinnvollen Komplexität und Zeitspanne, entwickelt werden kann, ist umsetzbar.

Theoretisch ist mit prozeduralen Mitteln alles möglich, was vorstellbar ist, praktisch gibt es aber viele Einschränkungen, wie das benötigte Wissen bzw. die verfügbare Zeit.

## 5.4 Wissen

Die benötigten Qualifikationen der prozeduralen Animation sind Programmierkenntnisse, Naturbeobachtung, Naturwissenschaften und Abstraktionsfähigkeit.

### 5.4.1 Programmierung

Der Programmcode ist das Basismaterial prozeduraler Gestaltung und damit ein wesentlicher Bestandteil der Projektentwicklung [26, S. 42]. Programmierkenntnisse sind ein Muss für diese Form der Gestaltung.

### 5.4.2 Einstiegshürde

Programmierfähigkeiten reichen jedoch nicht aus [26, S. 12].

„Die theoretische und ästhetisch-praktische Reflexion des Programmierens geschieht [...] nicht von selbst, sondern bedarf eigener Methoden und Strategien der Analyse, des Experiments und der individuellen Auseinandersetzung.“ [26, S. 12]

Programmierung beruht auf Abstraktion [26, S. 31]. Die Natur wird analysiert und die dahinter liegenden Regeln bestimmt. Es werden Kenntnisse über das zu entwickelnde Naturphänomen benötigt. Naturwissenschaft und Beobachtung liefern die nötigen Vorgaben.

Gute Kenntnisse über die Animationssoftware, in der der Effekt entwickelt wird, ist eine weitere Voraussetzung. Die Funktionen der Originalsoftware werden anprogrammiert und in einem anderen Kontext wiederverwendet.

Grafikprogrammierung unterscheidet sich wesentlich von Standardprogrammierung, da Build und Debugprozesse oft entfallen. Dann müssen ungewöhnliche Wege zur Fehlersuche beschriftet werden und dies ist nur mit guten Kenntnissen des Werkzeugs möglich [21, S. 14]. Bei der Programmierung auf der Grafikkarte ist beispielsweise debuggen und die Ausgabe von Zwischenergebnissen auf die Konsole nicht möglich. Die Fehlersuche ist daher sehr schwierig.

### 5.4.3 Beobachtung

Das Wissen, dass durch Beobachtung erlangt wird, kann direkt in den Code einfließen. Durch die gesteigerte Flexibilität bekommt die Beobachtung der Natur wieder mehr Bedeutung und gleicht sich der Handzeichnung wieder an.

### 5.4.4 Disziplinen übergreifend

Animation und Naturwissenschaft beeinflussen sich gegenseitig.

„Mathematik und Visualisierung gehen seit einigen Jahren Hand in Hand und ergänzen sich dabei in kreativer Weise: So entwickelt die Mathematik neue Algorithmen für Verfahren der Computergraphik und profitiert umgekehrt von der anschaulichen Visualisierung ihrer oftmals abstrakten Strukturen.“ [13, S. v]

Joseph Gilland bemängelt bei der Verwendung von Softwaretools, die fehlende Beschäftigung mit der Natur hinter dem Phänomen. Diese Auseinandersetzung mit den Elementen ist bei der Codierung von Naturerscheinungen unerlässlich.

„Programmers are coming up with some fantastic simulations and programs that scientifically mimic nature with staggering accuracy and detail, and you can be sure that the people who create these visual effects simulations are out there researching natural phenomenon in order to break it down (much as the original Disney effects artists did in the 1930s).“ [11, S. 16]

Dies mag zunächst nach der gesuchten Vorgehensweise zur Nachahmung der Naturerscheinungen klingen. Das Hintergrundwissen, welches in Bezug auf Naturverständnis benötigt wird, übersteigt das Wissen, dass bei der händischen Animation gefordert wird, jedoch bei weitem. Mit der Naturbeobachtung ist es nicht abgetan.

„Die Grundlagen der prozeduralen Animation stammen aus unterschiedlichen wissenschaftlichen Zusammenhängen: aus der Chaostheorie, wenn es sich um die Berechnung zufälliger Verteilungen von Massen oder Objekten handelt; aus der biologischen und/ oder soziologischen Erforschung des Gruppenverhaltens bis hin zu neuropsychologischen Erkenntnissen zur künstlichen Intelligenz mit neuronalen Netzen oder Fuzzy Logic; aus physikalischen Modellen der Strömungslehre und der Mechanik, wenn es sich um die Berechnung von Bewegungsbahnen fester oder flexibler Körper handelt.“ [9, S. 131]

Ein Wissen, welches vielen Toolentwicklern jedoch abgeht, ist die Auseinandersetzung mit der Animationstradition, denn viele Tools wurden ursprünglich für andere Verwendungszwecke, wie Militär bzw. Aerodynamik in der Flug- und Autoindustrie geschrieben [12, S. xxiii-xxiv].

#### 5.4.5 Naturwissenschaften

Prozesse erscheinen oft auf den ersten Blick reduzierter, als sie tatsächlich sind. Eine genaue Beschäftigung über die Natur der Dinge ist notwendig, da die Lösung sonst schnell sehr falsch wirkt. Beispielsweise zieht ein Stein der ins Wasser fällt keine Kreise, die sich linear ausbreiten. Denn es gibt Reibung und eine Reihe an physikalischen Naturgesetzen, welche die Ausdehnung der Wellen beeinflussen. Daher heißt Beschäftigung mit generativer Gestaltung, auch die Schulung des Verständnisses über die Natur.

„Computers enabled us to see these dynamic models in action, since looking into the mind of a physicist and seeing them is not possible. But the possibility of creating code that can mimic hydrodynamics began there, in the creative and organizational center of the physicist’s brain, or knowledge field. Every molecule in the physicist’s brain is connected to all energy in the universe, and that is where the inspiration came from.“ [12, S. xxxvi]

Naturwissenschaften, wie Mathematik und Physik, sind die Basis der prozeduralen Entwicklung. Die Basiskonzepte zu verstehen ist essentiell für die Programmierung, denn anderenfalls füllt man sich in der abstrakten Welt der Codierung verloren [23, S. 190]. Die Tiefe des benötigten Wissens ist abhängig vom gewünschten Ergebnis. Eine vereinfachte Mathematik ist in vielen Fällen ausreichend wie das Buch *The Nature of Code* von Daniel Shiffman zeigt. Generell gilt, je realistischer die gewünschte Darstellung, desto umfangreicher ist das erforderliche Wissen.

### 5.4.6 Sprache und Verständnis

Programmierung beruht auf Sprache. „Ähnlich dem literarischen Schreiben werden Gedanken in Reihenfolge gebracht und schriftlich festgehalten“ [26, S. 43].

Die Sprache der Wissenschaft unterscheidet sich von der gängigen Umgangssprache. Programmiersprachen beruhen auf einem eigenen Vokabular und auf einer Grammatik, die keine syntaktischen und logischen Fehler verzeiht.

Naturwissenschaftler verwenden eine Art *akademische Sprache* mit Ausdrücken, die dem durchschnittlichen Künstler bzw. Laien unbekannt sind [12, S. xxi]. Wissenschaftler und Künstler benutzen unterschiedliche Sprachen, da sie unterschiedliche Zugänge und Interessen an den Elementen haben. Sie beschreiben das Gleiche auf unterschiedliche Weise. Manche Künstler sind zwar interessiert von der Wissenschaft zu lernen, viele scheitern aber an der Einstiegshürde. Wissenschaftler hingegen sehen oft nicht die Notwendigkeit sich mit der Kunst auseinanderzusetzen und so bleiben die Bereiche getrennt. Die generative Gestaltung versucht diese Lücke zu schließen. Daniel Shiffmans Buch *The Natur of Code* vereinfacht die Physik und eliminiert jene Teile der Formeln, die für das visuelle Ergebnis irrelevant sind. Dadurch werden die Formeln verständlicher und leichter lesbar.

### 5.4.7 Denkprozess

„Die Geschichte der Programmierung ist [...] eine Geschichte des Nachdenkens über das Denken.“ [26, S. 43]

Programmierung, als auch Naturwissenschaften, bilden eine eigene Welt des Denkens, die sich vom kreativen Denken des Künstlers stark unterscheidet. Die Schwierigkeit besteht darin, drei Welten in einer Person zu verbinden,

- die Kreativität der Kunst,
- die Logik und den Forscherdrang der Naturwissenschaften
- und die Abstraktionsfähigkeit der Programmierung.

Auch die Arbeitstechnik aller drei Disziplinen ist unterschiedlich. Der Naturwissenschaftler führt Experimente durch, der Programmierer arbeitet vorwiegend am Computer und der Kreative holt sich Inspiration aus der Umwelt.

## 5.5 Kosten

Die anfallenden Kosten der prozeduralen Gestaltung zeichnen sich gegenüber der Effektsimulation durch höhere Personalkosten, geringere Softwarekosten und kürzere Render- und Simulationszeiten aus.

### 5.5.1 Aufwand

Prozedurale Animation ist in der Regel sehr aufwendig. Der Aufwand ist jedoch stark abhängig von der Art der Entwicklung und der Tiefe des Eingriffes. Generative Gestaltung startet bei Null und bietet damit die totale Kontrolle, der Preis liegt dabei im Aufwand.

Expressions und Scripting unterstützen dagegen fertige Lösungen und sind verhältnismäßig schnell entwickelt. Scripting wird oft verwendet, um aufwendige Prozesse per Hand zu automatisieren und ist somit in der Regel schneller, als die konventionelle Lösung.

### 5.5.2 Personalkosten

Die Personalkosten sind abhängig von der verwendeten Technik. Bei der generativen Gestaltung kommt es durch den hohen Aufwand zu langen Entwicklungszeiten und hohen Personalkosten. Bei Scripting und Expressions fallen hingegen eher niedrige Personalkosten an, da sie zeitaufwendige Aufgaben automatisieren.

### 5.5.3 Echtzeitfähig

Im Idealfall sind prozedurale Effekte echtzeitfähig. Daher werden sie sehr gerne in Computerspielen eingesetzt. Die Echtzeitfähigkeit ist aber stark abhängig von der Technologie. Direkte Programmierung auf der Grafikkarte ist wesentlich schneller, als wenn die CPU für die Berechnung mit einbezogen wird. Aber vor allem die Komplexität des Codes trägt maßgeblich zur Laufzeit bei. Wie effizient ein Algorithmus läuft, ist von der Abstraktionsfähigkeit des Entwicklers und vom Wissen, was das Optimierungspotential des Codes betrifft, abhängig.

Die Ausführung prozeduraler Texturen und Expressions kann durchaus sehr lange dauern [21, S. 15]. Prozeduren können sehr effizient geschrieben sein, aber auch das Gegenteil ist der Fall. Alles liegt in der Hand des Programmierers. Das Optimierungspotential liegt dabei auf der Konzentration auf das Wesentliche, anstelle der Berücksichtigung von zahlreichen Sonderfällen, wie es in einer breit angelegten Standardlösung von Nöten ist.

### 5.5.4 Geringe Simulations- und Renderzeit

Die Simulations- und Renderzeiten liegen durch die Echtzeitfähigkeit in der Regel deutlich unter der Zeit von Simulationstools. Ausnahmen sind natürlich möglich, denn die Simulationszeit ist direkt proportional mit der Qualität und Ordnung des Codes.

### 5.5.5 Das Rad neu erfinden

Generative Gestaltung ist in mancher Hinsicht Basisentwicklung, denn der Gestalter beschäftigt sich mit Problemen, die andere bereits vor ihm gelöst haben. Zahlreiche Funktionen, die in fertigen Simulationstools bereits mehrfach umgesetzt sind, müssen neu implementiert werden.

Natürlich gibt es Bibliotheken, die gewisse Berechnungen übernehmen können. Jedoch ist man dann wieder an die Regeln der Bibliothek gebunden und die Vorstellungskraft eingeschränkt. Egal wie umfangreich Bibliotheken sind, sie enthalten immer nur eine definierte Funktionspalette [23, S. 189f].

### 5.5.6 Hardwarekosten

Prozedurale Echtzeittechnologie wurde erst mit der Steigerung der CPU-Leistung und programmierbaren Grafikkarten möglich. Diese Hardware ist heute in leistbaren PCs und Spielkonsolen verfügbar [8, S. 1]. In vielen Fällen genügt ein einzelner gut ausgerüsteter PC, um das Ergebnis zu berechnen.

Auch die Kosten für Festplattenspeicher sind geringer. Prozedurale Techniken speichern komplexe Graphiken in textuellen Programmcodes, anstelle von hochauflösenden Bildern [8, S. 2] [21, S. 14].

### 5.5.7 Softwarekosten

Die Softwarekosten sind abhängig von der gewählten Technologie. Bei der Erweiterung von Softwarepaketen mittels Expressions oder Scripting fallen natürlich die selben Softwarekosten an, wie bei den Simulationstools beschrieben.

Die Softwarekosten für *Generative Gestaltung* sind dagegen relativ günstig. Viele Technologien in diesem Bereich sind Open Source, wie etwa Processing, eine speziell für Künstler entwickelte vereinfachte Sprachversion von Java.

### 5.5.8 Teamwork

Teamwork wird in der Codierung groß geschrieben. Komplexe Probleme lassen sich meist in mehrere Teilproblem zerlegen, die von unterschiedlichen Personen entwickelt werden können. Außerdem lässt sich Technik und Kreativität leicht trennen und kann von verschiedenen Personen erledigt werden. Dadurch löst sich auch das Problem der drei Welten, die im Abschnitt 5.4.7 beschrieben sind.

# Kapitel 6

## Werkzeugvergleich

Die letzten drei Kapitel analysierten jeweils einzeln, eine mögliche Technologie zur Animation von Naturerscheinungen. Ziel dieser Arbeit ist, nicht die isolierte Betrachtung einer Einzeltechnik, sondern die Schaffung eines Gesamtbildes. Vergleicht man die Erkenntnisse der vorangegangenen Kapitel, so lässt sich folgendes erkennen.

### 6.1 Werkzeugwahl

Man kann das gleiche Problem auf unterschiedlichen Wegen lösen. Aufwand, optische Vorstellungen, individuelle Fähigkeiten bzw. persönliche Vorlieben beeinflussen die Wahl der Produktionsmittel. Angefangen bei der Wahl der Technik von Stopmotion bis 3D, über die Wahl des Werkzeugs, für 3D von Maya, Max, Cinema bis Blender, bis zu – wie das Werkzeug eingesetzt wird, von Keyframeanimation über Expressions bis Simulation, deren Spektrum wieder von Partikel- über Fluids- bis zur Hairsimulation reicht, gibt es zahlreiche Optionen.

Die Werkzeugwahl ist von mehreren Faktoren abhängig [20, S. 7–11].

**Stil:** Der visuelle Stil soll das Werkzeug definieren und nicht das Werkzeug das optische Ergebnis.

**Aufwand:** Der Aufwand variiert je nach eingesetzter Technologie.

**Komplexität:** Die Komplexität des zu animierenden Materials kann die Werkzeugwahl einengen. Nicht alles lässt sich mit jeder Technologie sinnvoll umsetzen.

**Individuelle Fähigkeiten:** Die Fähigkeiten der Teammitglieder führen zu einer Präferenz der Technologie. Maßgeblich sind persönliches Wissen, Talente und Interessen.

**Ausrüstung:** Die zur Verfügung stehende Ausrüstung und ein mögliches Budget sind weitere Entscheidungsfaktoren.

Weiters bleibt die Entscheidung immer eine Frage der persönlichen Vorliebe.

Denn es gibt mehr als einen Weg, um das gleiche Ergebnis zu konstruieren.

1. Man kann eine allgemeine Formel definieren und in einer Expression verwenden.
2. Oder man kann die gleiche Animation mittels Keyframes, Interpolationskurven und Out-of-Rang Type erzeugen.

Beide Varianten haben ihre individuellen Stärken und Schwächen.

1. Bei Berechnungen ist das Konstrukt leicht wiederverwendbar, adaptierbar, verallgemeinert komplexe Sachverhalte, mathematisch korrekt und sorgt für eine gleichmäßige Veränderung. Das Ergebnis kann aber künstlich wirken und das Eingehen auf spezifische Abweichungen ist schwierig.
2. Keyframeanimation sorgt für ein organisches, flexibel anpassbares Ergebnis, welches einen menschlichen Touch aufweist.

Aber letztendlich bleibt es eine Frage des Geschmacks.

„Gleichzeitig gilt aber, dass, nachdem die Festlegung auf ein bestimmtes Material erfolgt ist, man sich auf den 'Eigensinn' dieses Materials einlassen muss. Der Begriff des 'Eigensinns' geht davon aus, dass alle Medien etwas je eigenes auszeichnet, dass also auch Computer und Netzwerk je eigene spezifische Potentiale, Strukturen und Beschränkungen zeigen.“ [26, S. 21]

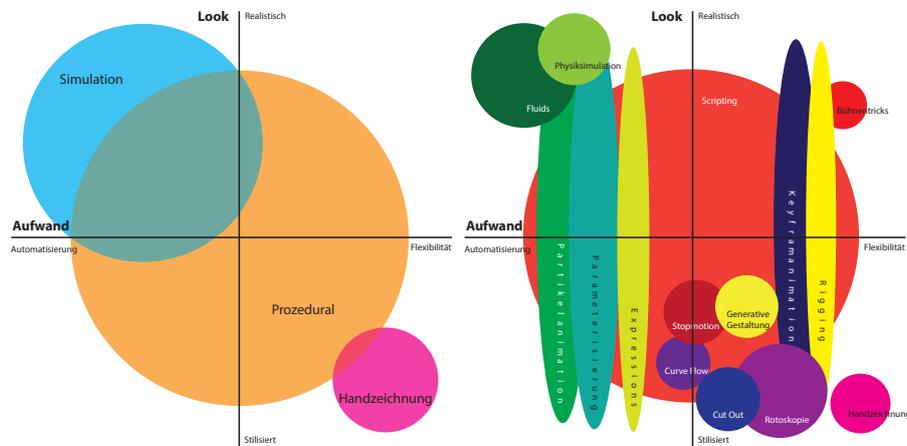
## 6.2 Gemeinsamkeit

Spannt man die ersten beiden Faktoren für die Werkzeugwahl auf zwei Achsen auf (siehe Abbildung 6.1), so sieht man, dass Simulation und Animation per Hand Gegensätze bilden. Neben diesen beiden Polen gibt es aber unzählige Techniken, die dazwischen ihre Einordnung finden. Diese Optionen setzen sich aus dem Wissen mehrerer Techniken zusammen und sind dementsprechend in Mischfarben dargestellt. Das Ziel ist, die geeignetsten Werkzeuge für die visuelle Anforderung, in der Vereinigung zu finden.

Stärken und Schwächen sind subjektiv von den Kenntnissen, Talenten und Interessen des Animators abhängig. Die nachfolgenden Auflistungen versuchen mögliche Gemeinsamkeiten der handgezeichneten Animation, der angewandten Softwaresimulation und der prozeduralen Gestaltung zu definieren. Die Begriffe unterliegen dabei einer subjektiven Auslegung. Daher geht es bei den drei Aufzählungen nicht um die exakt wissenschaftlich fundierte Zuteilung der Einzelbegriffe, sondern um den Gesamteindruck der nachfolgend diskutiert wird.

### **Gemeinsamkeit von Handzeichnung und Softwaresimulation:**

**Positiv:** Vielfalt



**Abbildung 6.1:** Aufwand und Look sind zwei Faktoren für die Werkzeugwahl. Effektanimation per Hand und mittels Simulationstools bilden dabei Gegensätze. Es gibt aber auch zahlreiche Optionen in der Mitte, die sich aus den Wissen beider Werkzeuge zusammensetzen.

#### **Gemeinsamkeit von Handzeichnung und Prozedural:**

**Positiv:** Abstraktion, Beobachtung, Vielfalt, Flexibilität, Phantasie, Naturwissenschaften, Energie

**Negativ:** Vereinfachung, Künstler abhängig, Aufwand und Personalkosten

#### **Gemeinsamkeit von Softwaresimulation und Prozedural:**

**Wirkung:** Künstlich, zu viele Details, Technik bestimmt

**Positiv:** Physikalisch korrekt, Automatisierung, Komplexität, Perspektive, Wiederholung und Mengen, Vielfalt, Naturwissenschaften, Teamwork

**Negativ:** Stilisierung, Mischung von Technologien, Einstiegshürde

Interessant ist, dass, laut dieser Aufstellung und auch laut Abbildung 6.1, die Handzeichnung und die Simulation nicht wirklich was gemeinsam haben. Die prozedurale Gestaltung verbindet scheinbar die beiden Welten, sowohl was die Stärken als auch die Schwächen betrifft. Programmierung gilt landläufig als trockener Prozess, kann aber in den Händen eines Künstlers vieles sein, ein sehr kreatives Gestaltungsmittel bzw. einfach nur ein Werkzeug zur Arbeitserleichterung von repetitiven Aufgaben. Künstler interessieren sich schon immer für Technik, so auch für die den Computer. Ihr Zugang ist jedoch ein anderer, als für den Ingenieur. Sie versuchen den Code kreativ zu erschließen [26, S. 11f].

Allerdings trägt der erste Anschein. Denn Handzeichnung und Programmierung sind Gegensatzpaare. Der Vorgang der Abstraktion entspringt in

beiden Welten einem anderen Denkmuster und Ideenkonzept. Gerade was das Wissen betrifft unterscheiden sich beide Techniken signifikant. Beide Wege fordern ein jahrelanges Studium bis zur Perfektion. Ein Wechsel von einer Disziplin in die andere ist daher nicht so einfach möglich. Das Werkzeug, das diese beiden Welten verbindet, ist dann wieder die Anwendung von Simulationstools. Denn dessen Vorgehensweise ist von beiden Technologien ausgehend am schnellsten erlernbar.

Wie kann man dennoch die beiden Technologien, die augenscheinlich gut harmonieren verbinden? Am idealsten in Kombination von mehreren Personen, einem Team aus Technikern und Künstlern.

## Kapitel 7

# Animationssynthese

Synthese ist der Vorgang der künstlichen Verbindung von Elementen zu einem neuen Ganzen bzw. das Ergebnis, dass aus dem Mix von unterschiedlichen Komponenten entsteht [65].

Der Begriff Hybrid steht für einen Mischling. Als Hybrid bezeichnet man alles was „sich erkennbar aus Elementen unterschiedlicher Herkunft zusammensetzt“ [6, S. 37]. Der Begriff Hybrid bezeichnet somit das Ergebnis, während Synthese auch den Herstellungsvorgang umschließt und als Ergebnis einen Hybrid generiert.

Tina O’Hailey bezeichnet Hybridanimation als die Kombination aus 2D und 3D Animation. Dabei können die beiden Animationsformen gemeinsam in einem Shot genutzt werden oder unabhängig voneinander hintereinander verwendet werden [20, S. 5].

Die Definition von Hybridanimation ist für die vorliegende Arbeit zu spezifisch. Behandelt wird vielmehr die Kombination von Technologien zur Erstellung von animierten Naturphänomenen. Weiters ist nicht nur das Ergebnis von Interesse, sondern auch der Herstellungsvorgang. Da Synthese für den Prozess der Verbindung steht, scheint dieser Begriff passend. Als Animationssynthese bezeichnet diese Arbeit daher den Prozess der Kombination von klassischer Animation (egal ob 2D oder 3D), Simulation und prozeduralen Aspekten.

Die Fragen, die sich aus dieser Definition ergeben sind:

1. Ist jede Animation mit klassischer Keyframe-Animation und simulierten Teilen, wie Partikels, Cloth oder Riddget Bodys, auf einen Syntheseprozess zurückzuführen?
2. Spricht man bei der alleinigen Verwendung von Simulationssystemen im Animationsprozess von einer Synthesetechnik, wenn Simulationen mit Expressions erweitert bzw. durch Keyframe-Animation verfeinert werden?

Im Prinzip ja, denn auch wenn alles mit der selben Software animiert ist, sind die grundlegenden Konzepte total unterschiedlich und entsprechen diesem

Prinzip. Das Ergebnis ist eine Mischung an Techniken, die eine Symbiose bilden. In großen Produktionen gibt es daher für die einzelnen Bereiche getrennte Abteilungen und Zuständigkeiten, denn es wird ein Mix an Talenten benötigt.

## 7.1 Idee

Traditionelle Effektanimation von Naturphänomenen zeichnet sich durch einen stilisierten Cartoonlook aus. Die Naturerscheinungen wirken harmonisch und entsprechen dem Stil der restlichen Animation.

In der digitalen Produktion zeigen Naturphänomene jedoch das Problem der Künstlichkeit, in Verbindung mit einer zu realistischen Darstellung. Zu viele Details und eine physikalisch korrekte Bewegung passen nicht in eine stilisierte Cartoonwelt [11, S. 146]. Der Realismus fördert das Gefühl der Unglaubwürdigkeit. Uncanniness<sup>1</sup> wird zwar meist für Charakter beschrieben, ist aber das allgemeine Gefühl der Unstimmigkeit. Der Mensch beobachtet nicht nur andere Menschen täglich, sondern auch die Natur. Ein fehlerhaftes Verhalten von Naturerscheinungen wird daher genauso als irritierend empfunden.

Um dieses Manko auszugleichen und dennoch nicht auf den Komfort der Automatisierung zu verzichten, wäre es die Überlegung, ob man nicht die neuen Softwaretools mit dem Wissen der traditionellen Animation verbinden kann. Wie eine Verbindung aufgebaut sein kann, soll in diesem Kapitel erörtert werden.

Derald Hunt meint in einem Interview [20, S. 29]: „There are many benefits that come from having access to a diverse set of animation tools and the skill to make them work together. This is a fantastic case of *if the only tool you have is a hammer, all of your projects start to look like a nail*. [...] It is important to choose that right tool for the job, and combine them whenever it makes sense.“

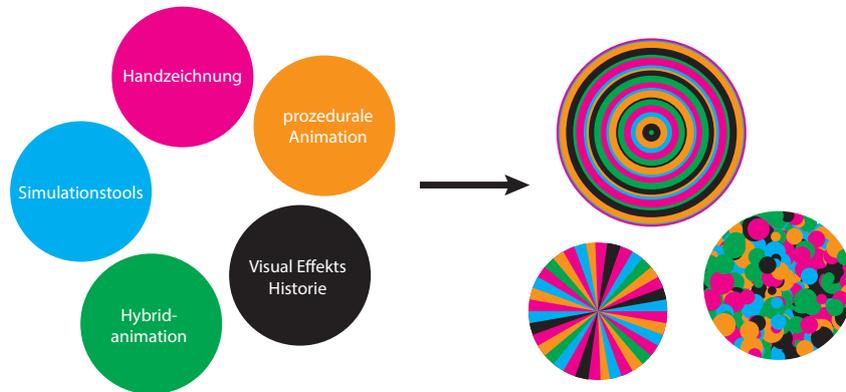
Die Idee der Synthese ist, die Erkenntnisse von

- klassischer Animation,
- Simulationstools,
- prozeduraler Animation,
- historischen Verfahren und
- Hybridanimation

zu kombinieren (siehe Abbildung 7.1). In die Verbindung miteinbezogen werden Stärken und Schwächen, Arbeitstechniken, optische Wirkung, Kosten und Erfahrung der einzelnen Verfahren. Wichtig ist dabei, nicht nur auf aktuelle Technologien Bezug zu nehmen. Die Werkzeuge der Historie scheinen

---

<sup>1</sup>Als Uncanny Valley bezeichnet man die Akzeptanz einer künstlichen Figur durch die Rezipienten [66].



**Abbildung 7.1:** Visualisierung der Syntheseidee. Bei der Animationssynthese gibt es eine Vielzahl von Kombinationsmöglichkeiten. Die Farben dieser Abbildung sind zufällig gewählt, jede andere Kombination wäre ebenso möglich.

zwar nicht mehr *State of the Art*, aber man kann dennoch von ihnen lernen und das eine oder andere Verfahren in abgewandelter Form wiederverwenden.

„To be an animation artist today is to inherit the tools and collective knowledge of the past 100 years and more. It is to adopt a venerable history and adopt oneself to an interconnected, global culture of competition and collaboration.“ [27, S. 3]

## 7.2 Relevanz

Naturerscheinungen mit nur einer Technologie nachzuahmen, kann sich laut Derald Hunt als schwierig erweisen, denn oft bietet eine andere Technik eine bessere und schnellere Lösung [20, S. 29]. Eine bzw. mehrere Technologien aufgrund der Aktualität zu wählen, kann ebenso problematisch sein [20, S. 7].

Die Idee der Synthese ist nichts Neues und wird auch in der Praxis vielfach angewandt. Literatur zu dem Thema ist jedoch nicht so leicht zu finden. Es gibt zahlreiche Berichte über konkrete Lösungen (Making-Ofs) oder Step-by-Step Anleitungen (Tutorials), die jedoch alle vermutlich nicht ganz dem gewünschten Ergebnis entsprechen. Das allgemeine Prinzip wird oft vernachlässigt.

Selbiges gilt für Literatur im Effektanimations-Sektor. Nur wenige EFX-Animatoren publizieren Texte, daher wird auch dieser Bereich oft unterschätzt und dementsprechend ungeeignet dargestellt [20, S. 157].

„All too often I have seen 3D computer-generated smoke animations that is extremely uniform and uninteresting looking even in very big budget live-action films. It seems that as long as it sort of looks like smoke, nobody seems to care if it doesn't really act like smoke.“ [11, S. 223]

Während in der Zeichnung alles möglich ist, was sich der Künstler erträumen kann, ist in der digitalen Produktion mit Standardsimulationslösungen nur realisierbar, was sich der Entwickler der Software vorstellen kann [20, S. 131]. Simulation ist mächtig und automatisiert aufwendige Prozesse, bietet aber nicht die Freiheit, die digitale Charakteranimation erlaubt. In der Animation per Hand sind beide Bereiche gleich flexibel. In der digitalen Pipeline entsteht eine Kluft zwischen den beiden Disziplinen, die doch eigentlich zusammengehören.

„To do this with computer animation, the behaviour of every individual particle needs to be described to the computer. This is not impossible, but when we are doing it by hand, it is a split second creative decision, rather than a technical exercise of figuring out precise mathematical coordinates. Fantastic organic-looking effects can be achieved digitally, but tweaking individual particles intuitively, and unpredictably on the fly, is far more easily achieved by hand.“ [11, S. 239]

Die Programmierer entwickeln Simulationstools für die Wünsche der meisten Animatoren. Einzelfälle bleiben mit Standardtools jedoch ungelöst. Daher erstellen die großen Studios meist eigene Inhousetools [69]. Für kleinere Produktionen ist das jedoch zu aufwendig.

## 7.3 Konzepte

Es gibt keinen einheitlichen Workflow für die Synthese von Naturerscheinungen. Vielmehr gibt es zahlreiche Teilaspekte, die bei der Gesamtkonzeptfindung zu beachten sind.

### 7.3.1 Look

Laut Ulf Andersson<sup>2</sup>, von der University West in Schweden, gibt es drei Klassen von Problemen,

- technische (Probleme der Produktion),
- visuelle (Probleme des Designs) und

---

<sup>2</sup>Ulf Andersson unterrichtet 3D-Graphik, Post Produktion und Programmierung an der University West in Schweden und hielt am 9.3.2015 einen Vortrag zum Thema „Problem solving in 3d-graphics and vfx“ an der FH ÖO Fakultät Hagenberg.

- logische (Probleme der Pipeline).

Die meisten der Probleme sind nicht technischer, sondern visueller Natur. Oft fehlt die Vorstellung über das optische Ergebnis. Doch nur, wenn der Look klar ist, können Überlegungen zur Problemlösung angestellt werden.

Daher steht bei der Konzeptausarbeitung der Look im Vordergrund. Er definiert alle nachfolgenden Schritte. Simulationstools neigen dazu, die Optik durch Preset<sup>3</sup> vorzugeben [20, S. 131]. Um sich den Stil nicht definieren zu lassen, ist eine klare Vorstellung umso wichtiger. Für die Konzeption soll bewusst auf andere Techniken, als in der Umsetzung, zurückgegriffen werden. Ansonsten besteht die Gefahr, sich von der Technik leiten und einengen zu lassen [20, S. 32f].

„It was felt that an entirely computer-generated magical element would have lacked the organic feel that we were able to archive with hand-drawn effects. But no matter what technique is used for the final effect, great effects animations still depends on a fertile, well-informed imagination and a skilled drawing hand at the stage of the initial concept.“ [11, S. 233]

Eine klare Stildefinition und dementsprechendes Referenzmaterial ist für eine Multitoolpipeline besonders wichtig, da sonst durch die Mischung der Techniken die Konsistenz des Endergebnisses Zufall ist [20, S. 12f, 37]. Aus einem fehlenden visuellen Konzept ergeben sich, speziell im Syntheseprozess, zahlreiche Probleme. Die Hauptprobleme dabei sind:

1. Unterschiedliche Vorstellungen und Ambitionen führen zu einem Kommunikationsproblem zwischen den Teammitgliedern.
2. Multitoolpipeline in einem Team bedeutet meistens, dass die einzelnen Arbeitsschritte von verschiedenen Personen durchgeführt werden. Die Vorstellung vom optischen Endergebnis unterscheidet sich, ohne definierte Vorlage, für jeden einzelnen. Man ist verleitet, sich von den Werkzeugen den Stil vorgeben zu lassen, anstelle die Tools aufgrund des zu erreichenden Stils zu wählen. Der Mix von Techniken führt dann zu einem optisch inhomogenen Ergebnis.
3. Die Technikwahl bleibt lange unklar, da sie von keinen optischen Faktoren eingeschränkt wird. Die Recherchephase ist damit viel breiter aufgestellt und aufwendiger.

Das Problem der mangelnden Vorstellung trifft auf die Animation von Naturphänomenen vielfach zu. Die meisten Künstler machen sich Gedanken, wie der Charakter aussehen soll und die Welt in der er lebt. Wie Rauch oder

---

<sup>3</sup>Preset sind Softwarevoreinstellungen für typische Anwendungsfälle. So lässt sich beispielsweise durch ein Preset definieren, das die Teile einer Simulation wie Rauch, Feuer oder Wasser aussehen und sich dementsprechend verhalten sollen.

Regen wirken sollen, wird im Designprozess oft vernachlässigt. Der Effektanimator steht dann zunächst vor einem visuellen Problem. Vergisst auch er, die Effekte der Natur zu stilisieren und verwendet die ihm bekannten Lösungen, so triefen die Naturphänomene und der Rest der Animation auseinander. Konzeptzeichnungen für Naturerscheinungen sind daher genauso wichtig, wie für alle anderen Bereiche des Filmes.

### 7.3.2 Emotion

In der Animation geht es darum, Emotionen zu transportieren. Gefühle assoziiert man meist mit Charakteranimation. Der allgemeine Spannungsbogen wird aber von der gesamten Szene bestimmt. Naturphänomene sind für die Emotionalität wichtig. Regen, Wind oder Feuer sind hoch emotionale Elemente der visuellen Erzählung [25, S. 484f]. Sie spiegeln die Empfindungen des Charakters wieder und tragen so zum emotionalen Aufbau entscheidend bei. Ein dramaturgisches und optisches Konzept, was ihre Wirkung betrifft, ist daher nicht zu unterschätzen.

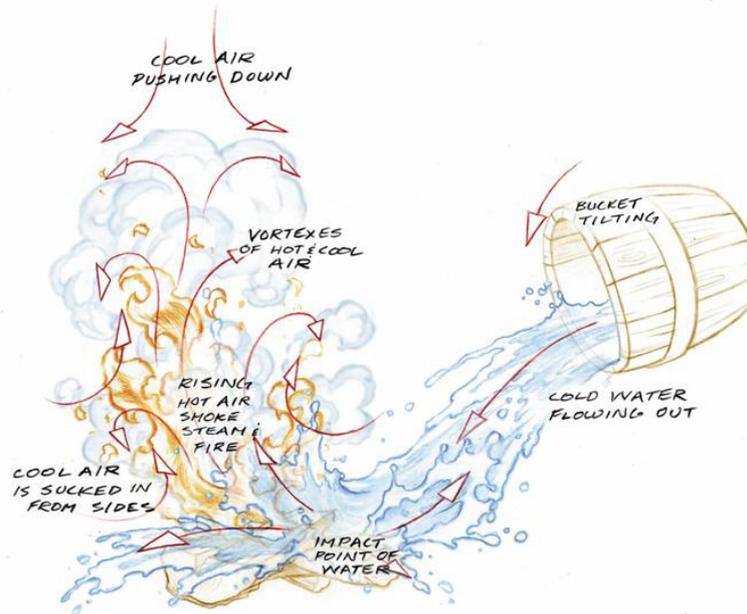
Fallen Elemente auseinander, so wird die Rezipienten aus der Dramaturgie gerissen [20, S. 211f]. Bei der Effektanimation ist zu beachten, dass der Effekt die Hauptanimation unterstützt, aber nicht davon ablenkt [20, S. 207]. Wird der Fokus permanent auf die Effektanimation gerichtet, verringert dies die allgemeine Aufmerksamkeit [20, S. 212].

„There is a fine line between adding visual intensity to a film when the story needs it and adding visual intensity to a film at every chance.“ [20, S. 212]

Das emotionale Konzept teilt sich in zwei Schritte, das Visuelle und das Technische. Ersteres ist Teil der Planungsphase (Postproduktion), zweiteres fällt in die anschließende Recherchephase [20, S. 33].

Die visuelle Planung des emotionalen Konzepts ist, wie die Stilentwicklung (siehe Abschnitt 7.3.1), unabhängig von der zu verwendeten Technologie und soll der Werkzeugwahl vorausgestellt sein. Der emotionale Bogen muss von Anfang an geplant werden und zwar was alle Elemente des Filmes betrifft. Ansonsten läuft man während der Entwicklung Gefahr, sich in technischen Details zu verlieren und den Stellenwert der Naturerscheinung zu vernachlässigen. Wird auf die Emotionen in der Planungsphase vergessen, kann dies trotz guten technischen Know-How dazu führen, dass die Rezipienten emotional nicht wie gewünscht erreicht werden [20, S. 32f].

Beim technischen Teil ist es sinnvoll, zunächst das emotionalste und technisch anspruchsvollste Conceptpainting, was die Naturerscheinungen betrifft, mit den zur Verfügung stehenden Techniken zu rekonstruieren. Ziel ist es, so nahe wie möglich an das Original zu kommen. Dabei ist es wichtig, so früh wie möglich die Integration der einzelnen Teile zu testen. Nur wenn



**Abbildung 7.2:** Naturphänomene setzen sich aus verschiedenen Elementen zusammen, die sich gegenseitig beeinflussen. Bildquelle: [11, S. 85].

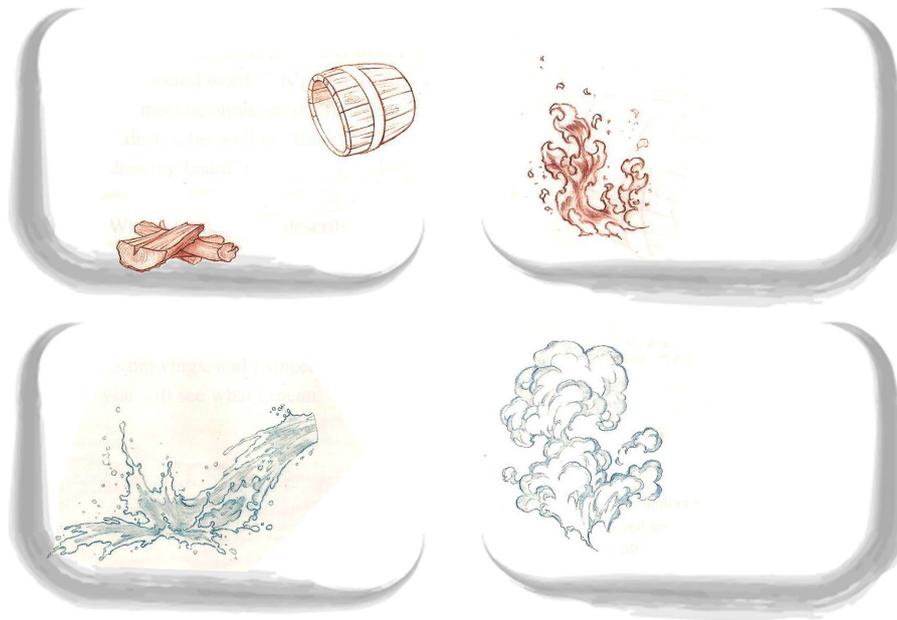
die gesamte Szene nahtlos ineinander greift, ist der emotionale Bogen zu gewährleisten [20, S. 33, 36f].

„The second stage is basically research and development. However, I cannot stress how important it is that we keep a look at the visual target as our goal. So, often it is the research and development—the technology—that leads the scene, instead of the desired look.“ [20, S. 34]

### 7.3.3 Divide and Conquer

Naturphänomene sind ein komplexes Zusammenspiel aus verschiedenen Elementen, die sich gegenseitig beeinflussen (siehe Abbildung 7.2). Das Gesamtproblem in überschaubare Teilaufgaben zu zerlegen, ist daher ein wichtiger Schritt für die Animation von Naturerscheinungen (siehe Abbildung 7.3). Die Zergliederung erfolgt auf zwei Ebenen:

1. Naturerscheinungen werden in Objekte die den Effekt auslösen, Haupteffekt und Sekundäreffekte zerteilt. Die Elemente, die den Effekt verursachen, müssen zuerst animiert werden. Danach folgt die Realisierung des Haupteffekts und erst danach werden die Sekundäreffekte ergänzt (siehe Abbildung 7.4) [11, S. 78].



**Abbildung 7.3:** Naturphänomene setzen sich aus verschiedenen Teilen zusammen. Bildquelle: [11, S. 82f].



**Abbildung 7.4:** Der Effektanimationsworkflow zerteilt die Umsetzung in drei Phasen [11, S. 78, 127]. (1) Element die den Effekt auslösen animieren. (2) Haupteffekt animieren. (3) Sekundäreffekte ergänzen. Bildquelle: [56].

2. Naturphänomene werden von sichtbaren und unsichtbaren Komponenten gebildet. Regen oder Rauch bestehen aus kleinen Einzelteilen, die einem bestimmten Verhalten folgen und so eine abstrakte, sichtbare Form erzeugen. Die sichtbaren Komponenten sind dabei Wassertropfen oder Rußpartikel, die Unsichtbaren Gravitation oder Wind.

Betrachtet man nur die äußere Hülle, so erscheint ihre Nachahmung komplex. Die Zerlegung in bewältigbare Teile ist dabei sehr hilfreich. Die Realität der Naturerscheinungen wird abstrahiert, um die wesentlichen Elemente zu

bestimmen.

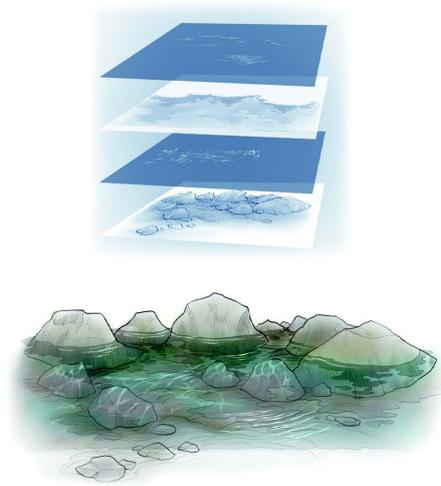
„What is consistent from one shop’s pipeline to another is the attempt to break down the workflow into logical and functional chunks. This may be done in any one of many ways, and is often something of a hybrid of many ideas.“ [53]

Ulf Anderson hat für die Problemlösung in CG eine allgemeine Frage- bzw. Taskliste aufgestellt, die sich gut auf die Effektanimation anwenden lässt.

1. Wie soll das Endergebnis aussehen?
2. Was sind die Teile des visuellen Konzeptes?
3. Wie sieht der Stil für die Teile aus?
4. Welches Werkzeug bietet dafür eine Lösung?
5. Wenn das Teilproblem mit keinem Tool zu lösen ist, stellt sich die Frage: Wie kann man das Problem weiter zerkleinern, bzw. kann man es einfach per Hand animieren?
6. Anschließend ist die Lösung zu testen, das Ergebnis zu evaluieren und zu verbessern. Erweist sich die Lösung für den aktuellen Kenntnisstand als zu komplex, so empfiehlt Andersson ein kleines Rechercheprojekt zu starten. Diese Vorgehensweise ist auch bei den großen Animationsstudios zu beobachten, die vor einem Kinofilm oft Kurzfilme produzieren.
7. Die Lösung ist bis zum gewünschten Ergebnis immer weiter zu verbessern. Auftretende Probleme sollen dabei mit anderen diskutiert werden, denn Lösungen können nur gemeinsam erarbeitet werden.

Für jeden Teil kann die Technologie neu bestimmt werden. Ein Mix an Möglichkeiten eröffnet sich dem Animator. Es entsteht eine Spielwiese an Optionen, in der sich der EFX-Animator nach Belieben austoben kann. Dabei ist es wichtig den Fokus, was Look und Zeit betrifft, nicht aus dem Auge zu verlieren.

Beim Ansatz der Zerteilung ist zu bedenken, dass jede Technologie am Ende zweidimensionale Bilder erzeugt. Diese Zwischenergebnisse oder auch Layer genannt, können im Compositing beliebig übereinander geschichtet (siehe Abbildung 7.5) und verändert werden [20, S. 130]. Der typische Aufbau einer Szene, von der Kamera aus betrachtet, ist Hintergrund, Mittelgrund und Vordergrund. In diesen drei Hauptebenen werden die Elemente in unterschiedlichen Abständen von der Kamera positioniert [20, S. 218]. Die Zerlegung in diesen traditionellen Aufbau ist auch bei der Synthese, von Naturphänomenen in Kombination mit der Hauptanimation, zielführend. Naturerscheinungen, wie Regen oder Nebel, können auf einen eigenen Layer im Vordergrund vor die gesamte Szene geblendet werden, ohne physisch mit den 3D-Objekten interagieren zu müssen. Die Verschachtelung im



**Abbildung 7.5:** Kombination mehrerer zweidimensionaler Schichten zum finalen Bild. Bildquelle: [11, S. 92].

Compositing ist jedoch nur eine Option. Eine Zerteilung kann auch an allen anderen Stellen des Workflows erfolgen.

### 7.3.4 Trial and Error

Ziel ist es, laut Ulf Andersson, eine so einfache Lösung als möglich zu finden. Optik und Qualität müssen dafür definiert sein. Denn Detailgrad, Framerate, Zoomfaktor, Kameraeinstellung und vieles mehr bestimmen, wie genau ein Effekt zu erkennen ist und wie sehr bei seiner Herstellung getrickt werden kann. Aber was tun, wenn man es einfach nicht weiß? Die Antwort ist, Entscheidungen treffen und trotzdem planen, denn ein schlechter Plan ist besser, als gar keiner, da ein fehlerhafter Plan verbessert werden kann. Gibt es hingegen Keinen, ist das Ergebnis Zufall. Idealerweise gibt es mehr als einen Lösungsweg. Wichtig ist es, so schnell wie möglich über die Phase des Nachdenkens hinwegzukommen, denn erst beim Testen eröffnen bzw. schließen sich Optionen. Die perfekte Lösung ergibt sich erst im Prozess, nicht in den Gedanken. *Trial and Error* ist laut Ulf Andersson das empfohlene Prinzip, denn Problemlösung in CG ist ein interaktiver Prozess, in dem ständig vor und zurück gegangen wird.

Dabei ist zu beachten, dass der erste Versuch meist nicht der Beste ist. Ziel ist es verschiedene Pipelines zu testen, um zu sehen was möglich ist. Fehler sind dabei erlaubt und sogar gewünscht, denn aus Fehlschlägen eröffnen sich neue Optionen. Wird der Test bereits vor der Durchführung abgebrochen, entfallen auch alle nachfolgenden Überlegungen [20, S. 39].

„Even if the experiment was going to be a failure, its branches

might have led to a success!“ [20, S. 39]

Bei diesen ersten Tests geht es nicht um die exakte, spätere Umsetzung, sondern nur darum, ob das optische Ziel überhaupt möglich ist. Das Ausmerzen von Problemen und das Verfeinern der Pipeline erfolgt in einem späteren Schritt. Wichtig ist dabei, die Tests anhand eines Einzelbildes bzw. einer Szene durchzuführen, um schnell zu einem Ergebnis zu gelangen [20, S. 39].

Dabei ist es in der Testphase entscheidend, grob zu arbeiten und viele Optionen auszutesten, sowie regelmäßig Feedback und Zustimmung der Teamkollegen einzuholen. [20, S. 167]. Für abstrakte Formen, wie Wasser, genügen für einen ersten, schnellen Test Primitives, wie Kugeln, die später verfeinert werden. Anfänglich geht es in der Recherche nur um Richtung, Volumen und Bewegung [20, S. 170].

„A great guideline is to work rough and fast; show early; show often.“ [20, S. 167]

Das Arbeiten mit Simulationstools bzw. prozeduralen Mitteln ist ein interaktiver Prozess (siehe Abschnitt 4.2 und 5.2). Eine ständige Evaluierung des Zwischenergebnisses, verbunden mit laufenden Anpassungen, ist essentiell. Die Lösung kann nur schwer theoretisch erdacht werden. Das Austesten und Zwischenrendern bis zum finalen Ergebnis ist Teil des Prozesses.

„An iteration is the ability to repeat the idea or concept until you get the desired results. What is key is that you are able to iterate quickly. You do not want to spend a lot of time working through one idea only to find out it won't work!“ [20, S. 32]

### 7.3.5 Abstand vom PC

Ein weiterer Grund, den Denkprozess so schnell wie möglich hinter sich zu bekommen, ist einen neue Gedankeninputs zu bekommen, sei es durch Testen, Diskussionen, eine Pause, Beobachtung des zu animierenden Effekts bzw. sich anderen Aufgaben zu widmen. Abstand von einem eingefahrenen Problem ist wichtig. Interessanterweise fügen sich die Komponenten oft von selbst zu einem logischen Bild zusammen, wenn man keine bewussten Gedanken daran verschwendet. Joseph Gilland schreibt, das Wissen ist in der DNA längst vorhanden, daher erkennen Menschen Fehler bzw. logische Kombinationsmöglichkeiten instinktiv. Es passiert aber nicht bewusst, sondern im Unterbewusstsein durch Abstand.

„The blueprints, all the information and energy, is in our DNA.“ [12, S. xxxi]

Bei jeder Witterung raus in die Natur zu gehen bringt gerade für den Animator von Naturphänomenen sehr viel. An einem nebeligen Tag erkennt man unbewusst den Aufbau der Landschaft. Elemente, wie Rauch aus Schornsteinen, werden auf einmal viel bewusster wahrgenommen, ihre Bewegung analysiert und mit dem zuvor erstellten Effekt am Computer verglichen. Fehler im Konzept werden beim Blick auf das Original sofort erkannt. Dabei spielt das Unbewusste eine interessante Rolle. Den gleichen Effekt als Video zu beobachten, ist zwar auch möglich, löst jedoch nicht die gleichen Assoziationen aus. Die Distanz vom Arbeitsplatz (PC) macht den Unterschied. Joseph Gilland schreibt, man muss das Element fühlen, im analogen wie im digitalen. Der PC ist Werkzeug der zwischen Animator und animierendem Element steht. Konzeption ohne PC ist entscheidend [12, S. xxxiii].

„We must never forget that the real *super computer* is our imaginations. The cold digital box in front of us filled only with plastic and wire, zeros and ones, and a bit of electricity, are really only information storage devices, like a blank piece of paper awaiting the stroke of a pencil. And our audiences around the world, the countless millions of peoples who are inexplicable drawn to and have been enormously entertained by the magic of animation for the past 80 years, need us to remember that.“ [11, S. 71]

### 7.3.6 Disziplinübergreifend

Ein Mix an Werkzeugen bringt auch einen Mix an Konzepten mit sich. Jede Technologie hat ihren charakteristischen Arbeitsprozess. Die Idee ist von allen Techniken bezüglich der Vorgehensweise zu lernen.

- Bei der Naturphänomenanimation per Hand steht die Beobachtung und die Animation von Energie im Fokus.
- Simualtionstools bieten Voreinstellungen, Parameter und Energiefelder zur Steuerung an.
- Für die Gestaltung mit Code sind hingegen Abstraktion, logisches Denken, ein interaktiver Prozess und diverse Vorgehensmodelle der Softwareentwicklung entscheidend.

Jede dieser Techniken folgt ihren eigenen Entwicklungsmuster. Die handgezeichnete VFX-Animation ist die Älteste mit der meisten Erfahrung bezüglich Stilisierung, Charm und Glaubwürdigkeit. Von ihr zu lernen ist essentiell. Die Basis der heutigen Animation von Naturerscheinungen bildet aber die Software. Die Erstellung dieser Softwaretool erfolgt durch andere Denkmuster und auch die Anwendung von Software ist von den Programmentwickler vorgegeben und daher anderen Herstellungsabläufen unterworfen, als die ursprüngliche Effektanimation vorgibt. Der Animationsprozess von Naturphänomenen wird dadurch verändert. Es kommt zu einer Kombination aus dem linearen Prozess der Handzeichnung mit der Interaktivität des

Computers. Da das Hauptwerkzeug der Computer und die Software ist, ist es sinnvoll ein Vorgehensmodell der Softwareentwicklung als Grundmodell zu verwenden und es durch die traditionellen Animationskomponenten zu ersetzen (siehe Abbildung 7.6). Die weiterführende Verwendung der Denkstrukturen erleichtert den Umgang mit der Software und somit den Prozess der Effektanimation.

Dieser Grundgedanke ist nichts Neues. Neu ist der Bezugsrahmen, denn Effektanimation ist oft nur als Blackbox im Gesamtsystem definiert (siehe Abschnitt 2.4). Diese Blackbox näher zu betrachten ist Ziel dieses Kapitels.

Das Spiralmodell von Barry W. Boehm (siehe Abbildung 7.6) ist ein relativ altes Vorgehensmodell. Es betrachtet die Erstellung als interaktiven Prozess, in den jederzeit eingegriffen werden kann. Es teilt den Entwicklungsprozess in vier sich wiederholende Phasen [2, S. 64]:

1. Festlegung der Ziele,
2. Beurteilung von Alternativen (Risikoanalyse),
3. Entwicklung und Test und
4. Planung des nächsten Zyklus.

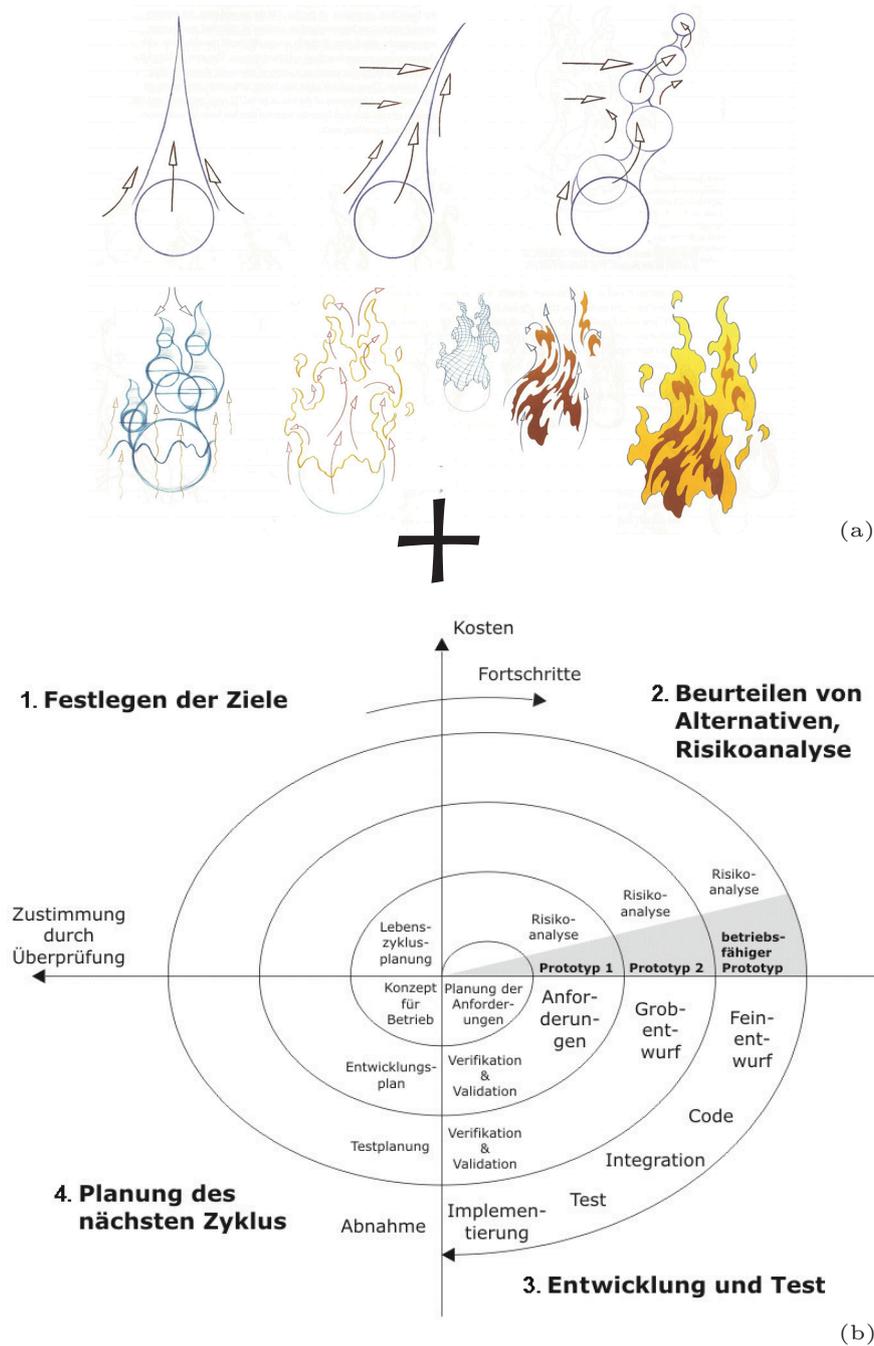
Wie bereits erwähnt, ist für die Synthese auch die Historie nicht zu vernachlässigen. So lässt sich dieses alte Modell, das durchaus noch projektspezifisch in der Softwareentwicklung verwendet wird, durch ein paar Anpassungen wiederverwenden. Ersetzt man die Aufgaben durch Teilkonzepte der zu mixenden Techniken, so erhält man eine mögliche Basis für ein Vorgehensmodell des Syntheseprozesses von animierten Naturphänomenen (siehe Abbildung 7.7). Dieses Modell wird im nächsten Abschnitt noch weiter verfeinert.

## 7.4 Workflow

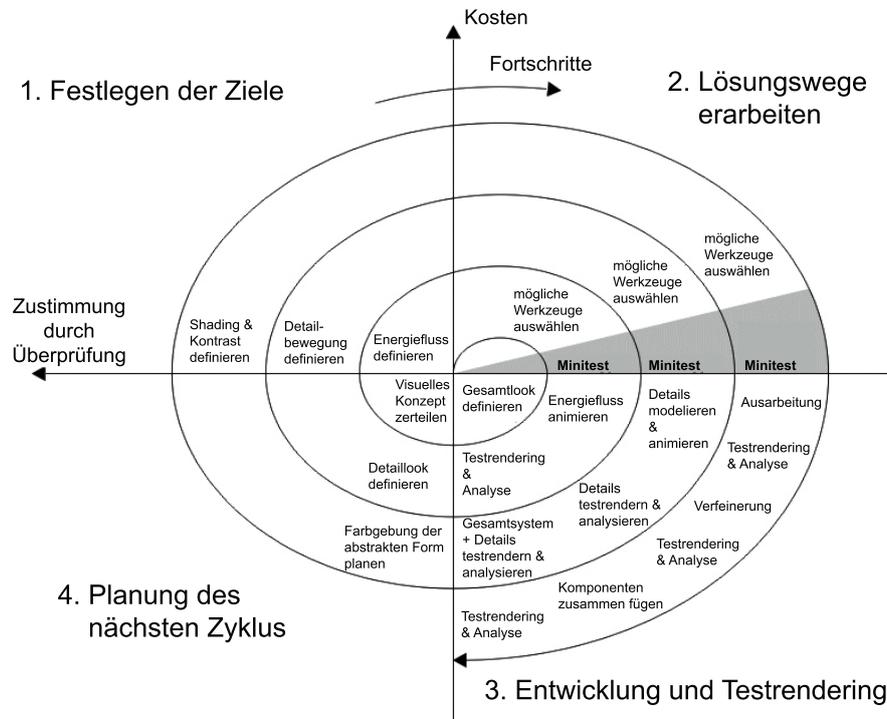
Die Vorgehensweise der Erstellung einer synthetischen Effektanimation von Naturerscheinungen ist eine Verbindung aus dem interaktiven Prozess der prozeduralen Simulation (siehe Abschnitt 5.2) mit einer linearen Technik der Animation per Hand (siehe Abschnitt 3.2). Wie bereits erwähnt, gibt es für die Synthese keine allgemeine Vorgehensweise, die schrittweise abgearbeitet werden kann. Es gibt aber sehr wohl allgemeine Konzepte für Teilaspekte und mögliche generelle Herangehensweisen. Diese Arbeit wird einige dieser Teilaspekte erläutern und ein globales Konzept darstellen. Eine vollständige Behandlung ist jedoch im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Spezifische Beispiele für die Anwendung finden sich in Kapitel 8.

### 7.4.1 Elementbaukasten

Die Animationssynthese kann man sich wie einen Baukasten, gefüllt mit unzähligen Optionen, vorstellen. Die einzelnen Elemente unterscheiden bzw.



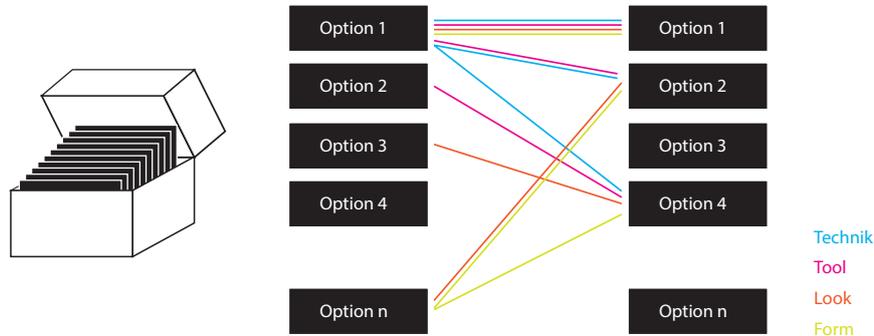
**Abbildung 7.6:** Das Wissen aus Handzeichnung und Softwareentwicklung wird durch Kombination für die VFX-Entwicklung wiederverwendet. (a) Der Konstruktionsprozess eines klassisch animierten Effekt. Bildquelle: [11, S. 170–173]. (b) Das Spiralmodell, ein Vorgehensmodell der Softwareentwicklung, von Barry W. Boehm. Bildquelle: [63].



**Abbildung 7.7:** Modifizierte Form des Spiralmodells für die Verwendung im Syntheseprozess von animierten Naturphänomenen. Bildquelle: Adaption von [63].

ähneln sich, was die verwendete Technik bzw. Tools, den finalen Look, die Bewegung bzw. die abstrakte Gesamtform betrifft. Abbildung 7.8 veranschaulicht den Zusammenhang zwischen den Elementen. Die Linien zwischen den Optionen zeigen, dass das Ergebnis bzw. die Vorgehensweise vergleichbar ist und für ähnliche Zwecke eingesetzt werden kann. Die Farbe der Linie definiert die Art des Zusammenhangs. Die enthaltenen Optionen sind theoretisch beliebig kombinierbar. Praktisch gibt es natürlich fallspezifische Einschränkungen.

Eine Kombination kann auf verschiedenste Weise erfolgen. Es können analoge Techniken mit digitalen gemixt werden. Aber auch innerhalb einer Methodik (zB. Simulation) und innerhalb einer Software gibt es zahlreiche Kombinationsmöglichkeiten. Es gibt nicht nur einen Weg, um das Problem zu lösen. Allein Maya bietet für die einzelnen Naturphänomene zahlreiche Lösungsansätze. Lee Lanier beschreibt in seinem Buch *Creating Visual Effects in Maya* mehrere Möglichkeiten, um Rauch, Wasser bzw. Explosionen umzusetzen. Jede der Möglichkeiten zeigt charakteristische Eigenschaften im visuellen Erscheinungsbild und Aufwand. Folglich sind die Möglichkeiten



**Abbildung 7.8:** Zusammenhang der Eigenschaften der Elemente des Elementbaukastens.

<i>Handzeichnung</i>	<i>Softwaresimulation</i>	<i>Prozedural</i>	<i>Sonstiges</i>
Zeichnung	Partikelanimation	Expressions	Keyframe-Animation
Animation per Hand	Fluids	Scripting	Pfadanimation
Cellanimation	Hairs	Generative Gestaltung	Rigging
Rotoskopie	Curve Flow		Bonesysteme
Cutout-Animation	Physiksimulation		Compositing
	Cloth		Stopmotion
	Parameterisierung		Montage & Retusche
	Painteffects		Bühnentricks
	Fur		

**Tabelle 7.1:** Auszug an Elementen des Synthesebaukastens.

nicht simultan zu verwenden, sondern look- und anwendungsspezifisch einzusetzen bzw. zu kombinieren. Durch die Kombination ergeben sich noch mehr Möglichkeiten. Dabei stellt sich für den Laien bald die Frage: „Wie soll man in diesem Dschungel an Möglichkeiten den Überblick behalten?“ Vor allem, weil die Optionen für sich allein betrachtet, oft nicht den gewünschten Look erzeugen und die Kombinationsmöglichkeiten nicht sofort ersichtlich sind. Es gibt keine Handbücher, die sich mit den unzähligen Wegen der Verschachtelung beschäftigen. Die Fülle an Optionen würde ein solches Werk vermutlich auch sprengen. Daher soll auch diese Arbeit keine vollständige Auflistung von konkreten Kombinationstechniken schaffen. Vielmehr soll ein Bewusstsein für den Baukasten geschaffen werden. Die individuelle Kombination muss pro Projekt, dem Look entsprechend, selbst erarbeitet werden.

Tabelle 7.1 zeigt einige mögliche Elemente des Baukastens. Die Tabelle ist jedoch nicht vollständig, denn bei der Synthese kann alles, was vorstellbar ist und zum gewünschten Ergebnis führt, als Baustein dienen. Nachfolgend ist jeweils ein Element jeder Kategorie der Tabelle näher beschrieben. Dabei werden Optionen gewählt, deren Verwendung sich von der Standardfunktionalität unterscheidet. Eine vollständige Behandlung ist für den Rahmen

dieser Arbeit zu umfangreich und ist für das Verständnis auch nicht nötig.

**Rotoskopie:** Rotoskopie ist eine geschichtliche Animationstechnik bei der gefilmtes Material Frame by Frame nachgezeichnet wird. Damit ist es möglich, realistische Bewegungen auf Cartoonfiguren zu übertragen. Für die Animation von Detailelementen kann Rotoskopie auch in der Effektanimation hervorragend eingesetzt werden. Rauchwolken lassen sich mit bewegenden Kugeln in einen 3D-Programm vorsimulieren. Um den Wolken aber den gewünschten Look, in einer 2D-Cartoonwelt, zu verleihen, werden die gerenderten Sequenzen rotoskopiert.

**Hair und Curve Flow:** Hair wurden wie der Name vermuten lässt entwickelt, um lange Haare zu simulieren. Sie eignen sich aber auch zur Simulation von dynamischen Kurven, die von Energiefeldern, wie Wind, beeinflusst werden [17, S. 33] und können für alles eingesetzt werden, dass sich entlang einer Kurve bewegt. Durch Hair-Simulation wird die Bewegung auf einer Pfadanimation dynamischer. In Verbindung mit *Curve Flow* kann sich ein Effekt entlang einer Kurve ausdehnen, die ihrerseits durch die Hair-Simulation lebendig wirkt. Dadurch ergänzen sich die beiden Effekte zu einem dynamischen Verhalten.

**Scripting:** Scripting ist ein mächtiges und allgemeines Prinzip von vielen Animationstools. Mit Hilfe von Scripts kann man die Animationssoftware direkt anprogrammieren und wiederholende Aufgaben automatisieren. Sollen viele ähnliche Objekte verwendet werden, die zwar von Grundaufbau gleich sind, sich aber in einigen Eigenschaften unterscheiden, so empfiehlt es sich, diese per Scripts generieren zu lassen. Eine Vielfalt an Detailanimationen lassen sich auf diesem Weg sehr schnell kreieren und testen. Das Script ermöglicht eine rasche Anpassung aller Elemente an neue Bedingungen. Die Eigenschaften können zentral definiert werden, anstelle sie jedes Mal mühsam unzählige Male kopieren zu müssen. Das so entstandene Ergebnis kann danach noch per Hand verfeinert werden. Der Aufwand für wiederholende Aufgaben wird durch Scripts reduziert. Somit bleibt mehr Zeit für kreative Verfeinerungen.

**Keyframe-Animation:** Keyframes in der digitalen Animation sind definierte Werte, die zu einem bestimmten Frame in der Zeitleiste gesetzt werden. Während der Laufzeit wird zwischen den Keyframes entsprechend der Animationskurven interpoliert.

Die Verbindung von Simulation und Keyframe-Animation ist eine Möglichkeit, den VFX-Erstellungsprozess durch mehr Flexibilität zu bereichern und einen menschlichen Touch im Ergebnis spürbar zu machen.

„From a technical standpoint, that can be easier said than done, most particles-generating computer programs are wickedly complex affairs, and learning how to tweak the inner workings of a particle simulation can be daunting. But there are easier tools to use as well. Simply by adding more dynamic key frames and more dynamic scale to our fire animation, begin to add to its dynamic appeal.“ [11, S. 222]

Keyframe-Animation ist nützlich, um den Details mehr Dynamik zu geben, kann aber auch den gesamten Prozess überstülpen. Effekte und Simulationssysteme können ähnlich wie Charakter geriggt werden. Das Rig enthält Kontrollobjekte und Parameter, welche durch klassische Keyframe-Animation gesteuert werden (siehe Abbildung 7.9). Dadurch wird das Standardverhalten des Computers aufgebrochen.

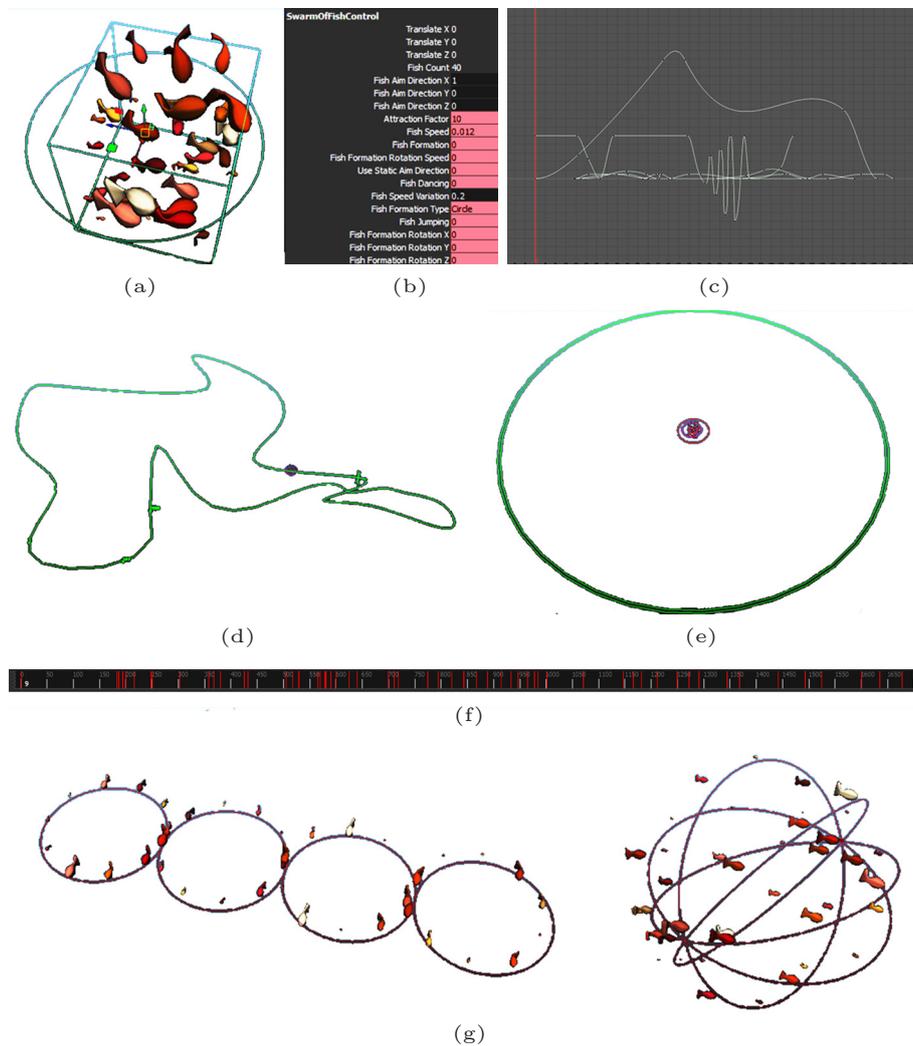
„If we allow our computer to do all the work, the result will be lacking in vibrancy and vitality. Not enough can be said about the importance of the human, or natural touch, when we are creating animation of any kind [...]. In fact, there are no exceptions.“ [11, S. 247]

#### 7.4.2 Vorgehensmodell

Es gibt, wie bereits erwähnt, kein einheitliches Vorgehensmodell. Allgemein betrachtet ist jedoch erkennbar, dass sich die Teilaspekte, ähnlich wie Zwiebelschalen, zu einem Gesamtwerk verschachteln (siehe Abbildung 7.10). Die einzelnen Schichten entsprechen den Phasen der Effektanimation per Hand (siehe Abbildung 7.6). In deren Mitte steht das optische Konzept, welches Basis für alle weiteren Entscheidungen ist. Konzeptzeichnungen und Stilentwicklung helfen eine Vorstellung von dem zu imitierenden Naturphänomen zu erhalten und eine Recherche über ähnlichen Produktionen zu starten. Das visuelle Konzept für die Naturphänomene ist ebenso umfangreich zu planen, wie für alle anderen Aspekte des Filmes und umfasst folgende Merkmale:

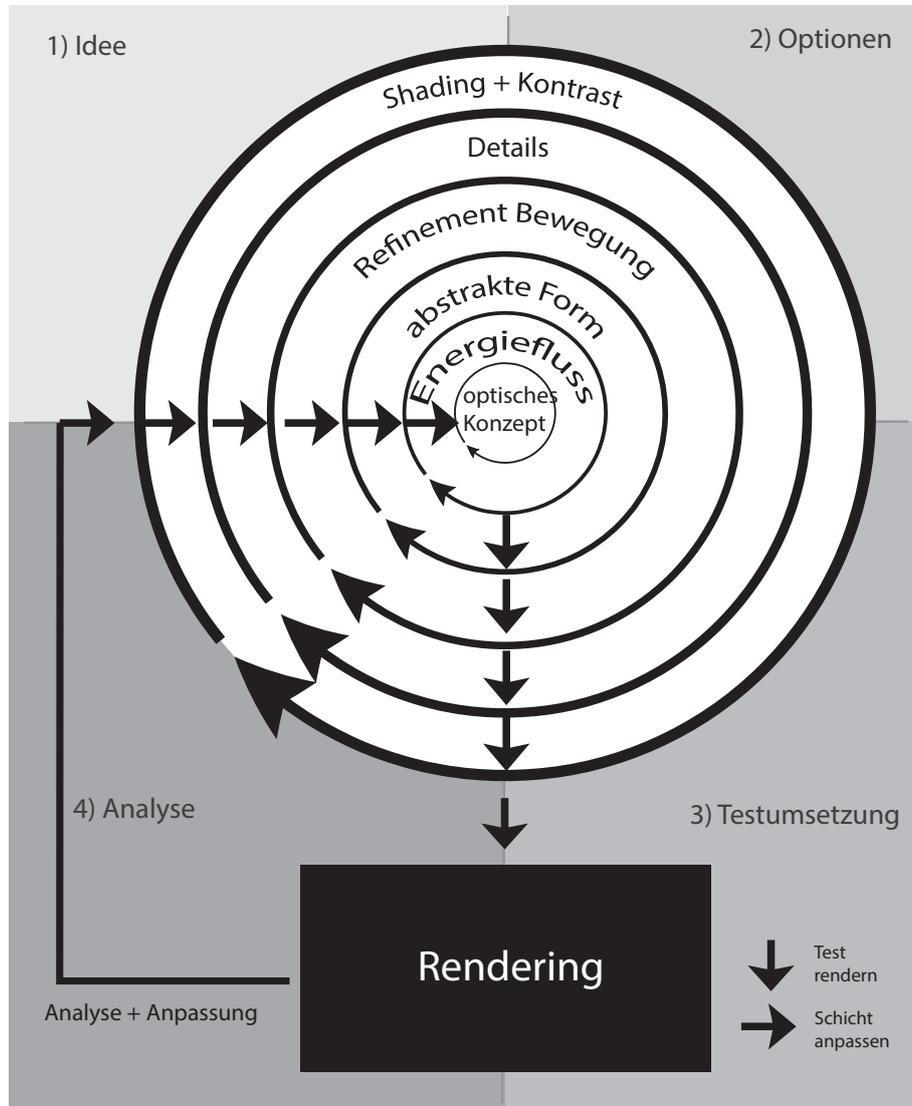
- Stil,
- Emotionalität des Einzelbildes,
- Bildaufbau und Bildkomposition,
- Form und Verhalten der Einzelemente und der Gesamtform,
- Farbdramaturgie,
- Schatten und Kontraste der Einzelteile und der Gesamtform.

Auf dem Stil aufbauend ist der Energiefluss die zentrale Triebfeder von Naturerscheinungen, denn sie sind unbelebt und bewegen sich nur durch die Energie, die sie umgibt. Die Bewegung der Energieströme ist wesentlich für die Glaubwürdigkeit des Effektes. Naturphänomene haben keine feste Form,



**Abbildung 7.9:** Rig bestehend aus Kontrollobjekten und Hilfsobjekten für die Animation eines Fischschwarms, beruhend auf einem Partikelsystem. (a) Steuerungsobjekt mit Parametern zum Steuern des gesamten Schwarms. (b) Attribute des Kontrollobjektes. (c) Keyframe-Animationskurven der Kontrollparameter. (d) Globaler Bewegungspfad des Schwarms. (e) Hilfsobjekte zur Steuerung der Abstoßungs- und Anziehungsdistanz. (f) Timeline mit Keyframes für Fischschwarmrig. (g) Hilfsobjekte zur Bildung einer Formation.

sondern unterliegen einem ständigen Wandel, bedingt durch die Energie, die sie umgibt. Daraus ergibt sich die wahrnehmbare Bewegung und abstrakte Form des Gesamtsystems. Die innersten Schichten lassen sich in vielen Fällen relativ einfach durch Softwaresimulation vorberechnen. Danach kommt das Feinjustieren per Hand. Mittels Parametrisierung, Keyframe-Animation bzw. Expressions wird versucht, das künstlich berechnete Ergebnis aufzu-



**Abbildung 7.10:** Eines von vielen möglichen Modellen, zur Erstellung eines Effekt mittels der Animationssynthese.

brechen und mit mehr Dynamik und Menschlichkeit zu ergänzen. Subtile Eingriffe bereichern den Effekt.

Erst wenn die grobe Animation stimmig wirkt, sind Details relevant. Details sind zwar für den Look sehr wichtig, machen das System aber auch träge und in der Handzeichnung schwer handhabbar. Durch die Definition von Stil, Form, Farbe, Detailgrad, Schattierung und Bewegung der Detailstrukturen entwickelt sich der Gesamtlook. Die Details sind somit zwar essentiell, können aber relativ spät im Gestaltungsprozess definiert und eingebaut wer-

den. Denn in der Naturphänomenanimation werden nicht Formen, sondern bewegte Energie animiert. Die Kernaussage von Joseph Gillands Büchern *Elemental Magic* ist „we do not animate things, we animate energy“ [12, S. xvii]. Dieses Konzept ist in der digitalen Animation unüblich, den ansonsten werden die Objekte zuvor modelliert, anschließend gerigged und animiert. In der Visual Effects Animation von Naturscheinungen ist es umgekehrt. Mit Hilfe von Dummyobjekten wird die Grundbewegung bestimmt, bevor Details definiert werden. Dies entspricht dem Vorgehen der handgezeichneten Effektanimation. Auch hier wird zunächst mit groben Skizzen der Energiefluss (Actionline) animiert, denn die Dynamik der Zeichnung liegt im schnellen Strich. Die Details werden erst zum Schluss ergänzt [11, S. 25, 58, 142].

Farben, Kontrast, Transparenz, Schattierung und Asymmetrien werden im nächsten Schritt für die Gesamtform ergänzt. Da es keine feste Form gibt, erfolgt die Schattierung und Kontrastdefinition über die Farbgestaltung der Einzelteile.

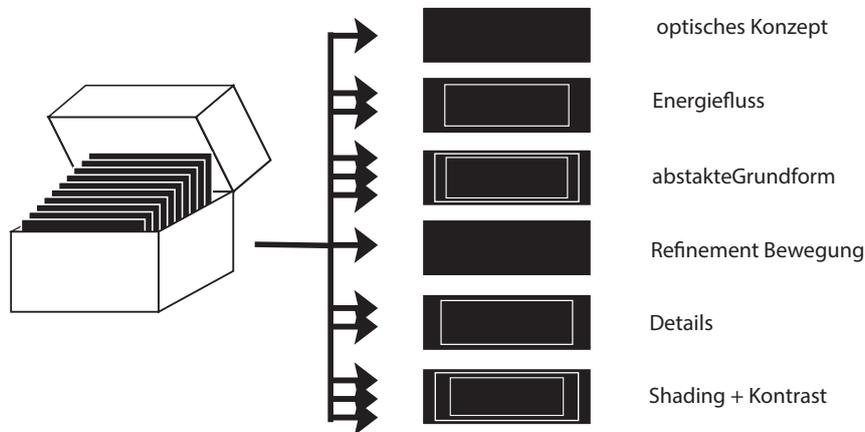
Verbunden mit diesem linearen Zwiebschalenprinzip ist der interaktive Erstellungsprozess des Spiralenmodells (siehe Abschnitt 7.3.6). Das Spiralenmodell baut sich ebenfalls von innen nach außen auf und teilt jeden Zyklus in vier Phasen. Zunächst wird eine Idee, wie ein möglicher Energiefluss aussehen kann, erarbeitet. Danach werden mögliche Umsetzungstechnologien bestimmt und gegeneinander abgewogen. Nach einer Entscheidung für eine Umsetzungsvariante erfolgt eine Testumsetzung mit anschließender Analyse des Ergebnisses. Je nach Zufriedenheit mit dem optischen Resultat werden neue Ideen für die selbe Schale entwickelt oder weiter nach außen gegangen. Nach jeder Testumsetzung erfolgt ein Testrendering, deren Bewertung bestimmt, wie tief in die Zwiebel eingegriffen wird. Der Vorteil des digitalen Prozesses ist, dass beliebig tief in das System eingriffen werden kann, die äußeren Schalen davon aber unbeeinflusst bleiben. Das ist eine entscheidende Verbesserung gegenüber der analogen Technologie, wo der gesamte Effekt neu gezeichnet werden muss.

Wichtig ist, dass eine einzelne Schicht dieses Modells nicht nur von einer Option des Baukastens erfüllt werden muss. Vielmehr können sich die Schichten wieder aus der Kombination mehrerer Optionen zusammensetzen (siehe Abbildung 7.11). Ein Beispiel dafür ist bereits die innerste Schicht. Der Designprozess greift auf zahlreiche Technologien als Inspiration zurück.

„By visual styles I am not necessarily referring to animation only. We can find inspiration in sculpture, painting, illustrations, architecture—any art form. Do not limit yourself.“ [20, S. 24]

Die Stilentwicklung umfasst einen Syntheseprozess aus verschiedenen Technologien. Die Art und Weise wie der Stil definiert wird, kann als Input für die Werkzeugwahl dienen.

Außerdem ist zu bedenken, dass die Effektanimation immer der Charakteranimation nachgereiht sein soll. Viele Effekte reagieren auf den Charakter.



**Abbildung 7.11:** Zusammensetzung der Schichten aus Optionen des Baukastens.

Aber auch Naturerscheinungen, wie Regen oder Feuer, deren Bewegung unabhängig von den Figuren ist, sind der Charakteranimation nachzureihen, damit sie nicht versehentlich die Personen verdecken [20, S. 162].

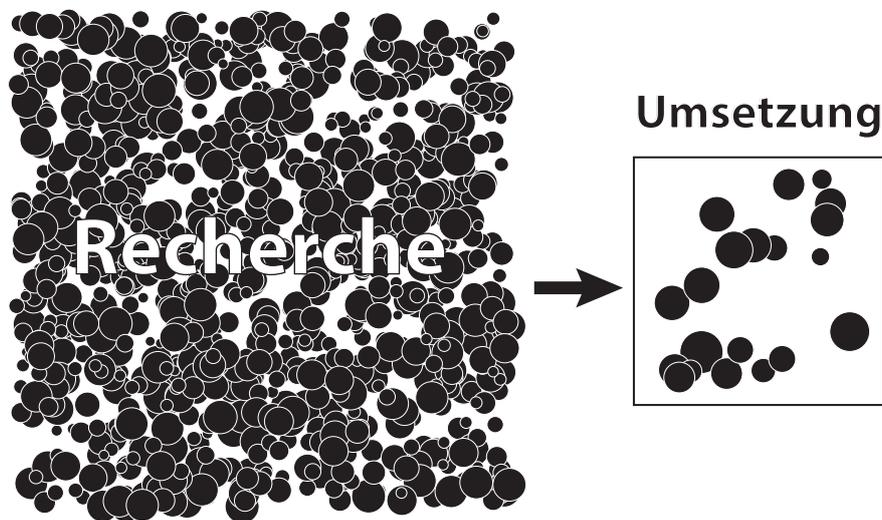
### 7.4.3 Einschränkung

Das Vorgehen entspricht dem der Naturwissenschaften. Durch Experimente werden, in einer relativ umfangreichen Recherchephase, zahlreiche Optionen und Kombinationsmöglichkeiten ermittelt und ausgetestet. Die enorme Menge an Möglichkeiten macht den Prozess unübersichtlich. Um auf ein bewältigbares Level zu kommen, ist eine Einschränkung nötig. Während der *Recherchephase* ist Zeit, in alle möglichen Richtungen zu experimentieren. In der *Umsetzungsphase* ist jedoch eine Auswahl an Werkzeugen notwendig (siehe Abbildung 7.12). Natürlich kann es auch in der Umsetzungsphase erforderlich sein, Nachforschungen anzustellen bzw. auf Beistellen aus der großen Box zurückzugreifen, denn der interaktive Prozess umspannt auch diesen Bereich.

## 7.5 Wissen

Das benötigte Wissen für die Animationssynthese lässt sich grob in folgende Bereiche einteilen:

- Breites Allgemeinwissen über mögliche Technologien,
- Kreativität, um unkonventionelle Lösungen zu erkennen und
- Beobachtung der zu animierenden Naturerscheinung.



**Abbildung 7.12:** Aus einer unendlichen Auswahl an Optionen wird eine begrenzte Anzahl an Elementen gewählt.

### 7.5.1 Generalismus

Laut Marty Altman sind Kenntnisse über viele Technologien und die Bereitschaft noch mehr zu lernen hilfreich bei der Animationssynthese. Denn je mehr Technologien bekannt sind, desto eher werden Verbindungen erkannt, die zu einer verbesserten, visuellen Qualität und Effizienzsteigerung führen [20, S. 155].

Bei der Synthese soll man jedoch nicht der Illusion erlegen, dass ein tieferes Verständnis aller Möglichkeiten (Expertenwissen in sämtlichen Bereichen) benötigt wird. Dies wäre für die meisten Menschen nicht machbar. Nicht detaillierte Kenntnisse eines Werkzeugs sind gefragt, vielmehr ein Gefühl für die Stärken und Schwächen vieler Werkzeuge. Nicht Spezialisten sondern Generalisten sind für die Synthese gesucht.

„What you need is the desire to create something of your own, and the willingness to learn and to experiment—to try and fail, and to try again and again.“ [27, S. 3]

Synthese ist auch bereits die Kombination von zwei Tools. Je vielfältiger die Palette der erlernten Tools, desto vielfältiger die Lösungsmöglichkeiten. Es lässt sich aber bereits mit der kreativen Kombination von zwei Optionen ein interessantes Ergebnis erzielen. Der Fokus liegt auf der phantasievollen Kombination. Und dieser kreative Umgang mit Optionen ist auch bei der Kombination von 100 Tool gleichermaßen bzw. noch mehr erforderlich, denn je größer die Auswahl, desto größer ist die Gefahr der Betriebsblindheit.

### 7.5.2 Denken außerhalb der Box

Eine weitere benötigte Eigenschaft ist, laut Ulf Andersson, das Denken außerhalb der Box und die Fähigkeit unkonventionelle Lösungen zu erkennen. Animationsfilm ist Trickfilm, dessen Ziel nicht die Kopie der Realität ist, sondern die Phantasie, in der das Unmögliche lebendig wird [22, S. 32f]. Bei der Erzeugung einer solchen Illusion ist jede Technik erwünscht, die optisch überzeugt und den geringst möglichen Aufwand verspricht. Kreativität ist mit modernen Techniken zur Animation von Naturerscheinungen wichtiger denn je. Moderne Softwaresimulation scheint auf dem ersten Blick nicht sehr viel Kreativität vorauszusetzen, aber ohne Einfallsreichtum bleiben die Lösungen künstlich, leblos und austauschbar. Mit der entsprechenden Vision ist jedoch beinahe alles möglich.

„Using the incredible new tools we now have before us, we are only limited by our imaginations. Animation is now an art form where literally anything is possible. If we can dream it up in our mind’s eye, we can create it. We can even go farther than that, with just a little more imagination, a little more energy, and just a little more love.“ [11, S. 294]

Eric Keller hat in seinem Buch *Maya Visual Effects: The Innovator’s Guide* von 2013 einen interessanten Zugang zum Erklären von Visual Effects. Er beschreibt nicht die klassischen Anwendungsfälle der spezifischen Effektgruppen, sondern für was man die Effekte noch einsetzen kann. Er schafft mit seinem Buch ein Bewusstsein für den phantasievollen Umgang mit Tools und zeigt Synthesemöglichkeiten auf.

„Joints can be used for a lot more than character animation. This chapter has three challenges to inspire you with ideas for how you can exploit the power of Maya’s skeleton tools.“ [15, S. xvi]

Lee Lanier, in dem Buch *Creating Visual Effects in Maya*, verfolgt, im Vergleich dazu den klassischen Verwendungszweck der Tools. Was beide Bücher gemeinsam haben ist der tutorialmäßige Aufbau. Die Bausteine werden anhand von konkreten Beispielen zum Mitmachen erklärt.

Texte und Videos sind meist lösungsorientiert. Es wird nach einer Erklärung für ein bestimmtes Tool gesucht und nicht nach einem allgemeinen Prinzip, da das allgemeine Prinzip ohne ein passendes Tool nicht umgesetzt werden kann. Das Problem beginnt, wenn die vordefinierten Lösungen aus optischen Gründen nicht passen oder zu aufwendig bzw. zu teuer sind.

Ulf Andersson betrachtet diesen Trend zu Tutorialliteratur kritisch. Er ist der Meinung, dass Tutorials zum Einstieg helfen, man aber diese Vorgaben niemals eins zu eins übernehmen soll. Denn es geht darum ein im Sinne der Kunst individuelles Werk zu gestalten.

Was Naturphänomeneanimation betrifft ist der Trend zur Nachahmung von Tutorials stark ausgeprägt. Naturphänomene stehen nicht im Zentrum der Storyentwicklung und werden oft erst am Schluss zur Vervollständigung der Szenen eingebaut. In kleineren Produktionen sind zu diesen Zeitpunkt bereits die Ressourcen, was Zeit und Geld betrifft, aufgebraucht. Eine schnelle Lösung scheint daher genug.

### 7.5.3 Beobachtung

Joseph Gilland und Wayne Kimbell betonen mehrfach die Wichtigkeit der Naturbeobachtung.

„It’s this kind of observation, seeing the details, that’s key to animating magic and making it believable.“ [16, S. x]

„Know the subject matter. Do your research and make sure you understand the material you are working with. Just as a character animator needs to know what inner thought process motivates his character, an effects animator needs to know what physical attributes lay under the surface of any material or prop he or she needs to animate.“ [11, S. 291]

„Anyone keeping his or her eyes open for great reference material will be rewarded with a wealth of fantastic stuff. With persistence, hard work, and lot of drawings, we can translate this reference material and our understanding of it, into beautiful special effects animations.“ [11, S. 198f]

Oft fehlt jedoch für die Beobachtung die Zeit, da der Effektanimator mit dem Erlernen anderer Dinge beschäftigt ist. Die Technik erleichtert vieles, beansprucht aber auch viel Zeit, sie zu beherrschen. Sie ist nicht konstant, sondern wird immer wieder neu erfunden, wodurch der Lernprozess niemals endet. Die Beobachtung der Naturgesetze bleibt hingegen konstant, scheint jedoch nicht relevant, da nicht klar ist, wie die Erkenntnisse in den Softwaretools angewandt werden können. Die Tools geben den Weg vor und liefern auch ohne das Verständnis der Natur plausible Lösungen. Es gibt keinen Parameter, um die Erkenntnisse direkt einzuarbeiten. Aber gerade deshalb ist ein Gefühl für das zu imitierende Element so wichtig. Nicht ein Parameter, sondern zahlreiche müssen angepasst werden. Und nicht ein Werkzeug, sondern ein Mix, ist oft die gesuchte Lösung.

„Add to that a solid understanding of the underlying structures and energy patterns inherent in all special effects elements, and the well-informed digital effects artist of today does not have to lean on the computer for inspiration, but rather to bring the

inspired imagination and vision of a classically trained animation artist to the computer.“ [11, S. 71]

## 7.6 Konklusion

Die Synthese zeichnet sich durch eine experimentelle Herangehensweise mit offenem Ausgang aus, die Mut zum Fehlschlag braucht. Aus dem *Trial and Error* Prinzip entsteht im Idealfall ein neuer, einzigartiger Look, der dem Erscheinungsbild der restlichen Animation entspricht. Das Vorgehen ähnelt dem der naturwissenschaftlichen Forschung, wo auch zu Beginn das Ergebnis ungewiss ist. Wobei in diesem Fall das optische Endbild bereits zu Beginn skizziert wird. Der Weg zu der visuellen Vision ist Forschungsgegenstand. Wünschenswert wäre eine Kombination, welche die 100%ige Kontrolle über Graphik und Bewegung verspricht.

- Klassische Animation basiert auf dem Einzelbild und bietet die totale Kontrolle über die Grafik. Die Animation der Bewegung ist für den ungeübten Effektdesigner jedoch schwierig zu kontrollieren.
- Simulation beruht auf Naturwissenschaften, Energiefeldern sowie Kausalität und bietet die Kontrolle über die physikalisch korrekte Bewegung. Die Grafik wird jedoch berechnet und kann so nur indirekt definiert werden. Auch die Beweglichkeit wird durch die Vorgaben des Softwareentwicklers begrenzt.
- Prozedurale Technologien basieren auf Abstraktion und verhalten sich ähnlich wie Simulationstools, bieten durch die Nähe zur Erstellungstechnologie jedoch mehr Flexibilität. Das Verhalten kann somit genauer bestimmt werden.

Auch wenn die Hybridlösung versucht die Stärken der einzelnen Technologien zu vereinen, so bringt sie neben den Stärken und Schwächen der Einzeltechnologien ihre eigenen in den Prozess ein [20, S. 12].

Die Stärken sind:

- Die Flexibilität der Handzeichnung, eingebunden in einen automatisierten, digitalen Prozess.
- Ein kreativer Prozess, in dem alles möglich ist, was sich der Animator vorstellen kann.
- Die Erweiterung der Fähigkeiten und der Bandbreite des Animators für zukünftige Projekte.
- Die Entwicklung eines individuellen Looks, welcher dem Gesamtkonzept entspricht.

Als Schwäche kann man hingegen folgende Eigenschaften betrachten:

- Die Schaffung eines konsistenten Erscheinungsbildes, in einer Multi-toolpipeline.

- Glaubwürdige Übergänge zwischen den Materialien.
- Die Fehleranfälligkeit einer Multitoolpipeline.
- Der zusätzliche Rechercheaufwand mit offenem Ausgang. Es gibt keine Garantie auf Erfolg, denn der Hybridansatz kann sich aufwendiger als eine Standardlösung erweisen.
- Die Gefahr des Verzettelns in der Recherchephase. Zu viele Optionen stellen den Animator vor die Qual der Wahl.

**Registration:** Registration entsteht dann, wenn sich zwei Objekte berühren. Bei der Animation mit verschiedenen Technologien kann es beim Zusammenfügen der einzelnen Teile zu Problemen kommen. Die Berührungspunkte der Ebenen müssen aufeinander abgestimmt werden, damit es nicht zu einem seltsamen Schwimmverhalten kommt [20, S. 13f]. Dieser nahtlose Übergang ist für jede verwendete Technologie in der Pipeline zu gewährleisten.

**Konsistenter Stil:** Je mehr Werkzeuge gemischt werden, desto wichtiger ist es auf die Konsistenz des Endergebnisses zu achten. Damit die Einzelergebnisse am Ende ineinander greifen ist eine ausführliche Previsualisierung empfehlenswert. In dieser initialen Recherchephase werden verschiedene Arbeitsabläufe getestet und für die weitere Verwendung dokumentiert [20, S. 12f].

Effektanimation dient dazu eine Szene abzurunden und ihr Realismus zu verleihen. Naturphänomene sollen aber nicht die bewusste Aufmerksamkeit der Rezipienten erlangen [11, S. 44]. Auf Konsistenz zu achten ist daher wichtig.

„As all hard-working visual entertainment specialists know (be they editors, VFXs, composers, animators, texture artists, lighters—any of us), *it is successful if our work is invisible*. If our visual style creates a homogeneous image that conveys the emotion of the story, if our registration is executed well and the contact points don't wiggle, if our animation timing is accurate and our media move well together, if our work is not visible and if the story is told without interruption, then our efforts have been successful.“ [20, S. 18]

Bei der Konsistenz geht es aber nicht nur um den Stil. Es ist darauf zu achten, dass alle Faktoren, in allen Tools gleichermaßen berücksichtigt werden. Perspektive und Lichtsetzung sind zwei dieser Faktoren [20, S. 18, 187f]. Weitere Faktoren für die Konsistenz sind im Absatz *Pipeline* zu finden.

**Pipeline:** Bereits in der Planungsphase sind in einer Multitoolpipeline mehrere Faktoren, wie gleiche Framerate<sup>4</sup>, Bildformat bzw. Bildgröße, zu definieren. Auch Maßnahmen für ein konsistentes Timing sind zu beachten [20, S. 14 - 17].

Je mehr unterschiedliche Technologien gemischt werden, desto aufwendiger wird der Datenaustausch zwischen den Techniken. Zusätzliche Zeit zur Fehlersuche lässt sich kaum vermeiden [20, S. 176].

Auch wenn durch den Mix von Technologien die Entwicklung einer funktionierenden Pipeline zeitintensiv ist, macht sich die Integration später bezahlt. Denn je mehr Probleme im Vorfeld geklärt werden, desto schneller geht es in der Produktionsphase. Außerdem ist zu bedenken, dass Konzepte für Intergrationspipelines beständiger sind, als Softwaretools. Während sich die Technik ständig weiterentwickelt, bleibt der grobe Workflow gleich [20, S. 43f]. Das Austesten verschiedener Pipelines vergrößert die visuelle Bandbreite des Animators für zukünftige Produktionen, denn ohne diese Tests limitiert man die visuellen Möglichkeiten bereits im Vorfeld [20, S. 80].

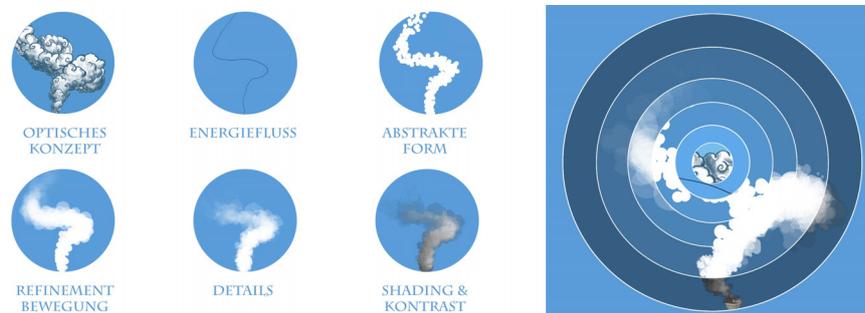
---

<sup>4</sup>Die handgezeichnete Animation verwendet traditionell 12 FPS. Die digitale Animation verwendet hingegen meist eine höhere Framerate.

## Kapitel 8

# Praktische Anwendung

Ziel des praktischen Teiles dieser Arbeit ist es, die zuvor gesammelten Erkenntnisse und das aufgestellte Vorgehensmodell anhand des Animationsfilms *Nimbus Nebula* auszutesten. Beschrieben werden die sechs Schalen des Modells und der Prozess der Umsetzung (siehe Abbildung 8.1). Da im Film Nebel und Rauch als Naturerscheinungen auftreten, werden diese beiden Phänomene in diesem Kapitel näher betrachtet. Auf den ersten Blick erscheinen sie ähnlich und eine getrennte Analyse fragwürdig. Sie bestehen aus den selben Grundelementen. Beide sind atmosphärische, volumetrische Erscheinungen, die von Energieströmen gelenkt werden. Ihre äußere Form ist nicht fassbar und setzt sich aus extrem kleinen Rußpartikel bzw. Wassermolekülen zusammen. Der signifikanteste Unterschied ist die Größe. Während Rauchschwaden eine sichtbare Form erkennen lassen, geht der Nebel weit über die sichtbare Grenze hinaus, sodass seine äußere Form nicht wahrnehmbar ist. Die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der Beiden machen die Betrachtung interessant, denn in der Effektanimation von Naturerscheinungen sind gerade die kleinen Verhaltensunterschiede von Bedeutung. Um Wiederholungen zu vermeiden wird Rauch zunächst genauer analysiert. Die



**Abbildung 8.1:** Das Zwiebelschalenmodell in der praktischen Anwendung am Beispiel von stilisiertem Rauch.

nachfolgende Nebelanalyse baut auf den Erkenntnissen der ersten Betrachtung auf und beschreibt nur jene Schichten die Unterschiede aufweisen.

Die Animationssynthese beschreibt die Herangehensweise der Umsetzung, dabei wird nicht das Endergebnis betrachtet, sondern der interaktive Prozess der Ergebnisfindung. Der Syntheseprozess ist wie in Abschnitt 7.3.4 beschrieben ein *Trial and Error* Prinzip. Aus Fehlern werden neue Ideen entwickelt. Irrwege sind Teil dieses Prozesses. Die nachfolgende Beschreibung der praktischen Tests umfasst daher neben

- einer Dokumentation der gewählten Vorgehensweise auch
- die Erörterung von Fehlschlägen und die Erkenntnisse die daraus erwachsen.

## 8.1 Rauch

Rauch entsteht beim Verbrennungsprozess und zerteilt feste Objekte in kleine Rußpartikel und Nebeltröpfchen, sodass ein Gemisch aus festen und gasförmigen Substanzen entsteht [60].

### 8.1.1 Optisches Konzept

Rauch steigt von der Verbrennungsquelle auf, wird vom kalten und warmen Luftströmungen verwirbelt, vom Wetter beeinflusst, folgt der Quelle in einer Kurve und bleibt für eine gewisse Zeit sichtbar, bevor er sich verdünnt und nicht mehr wahrnehmbar ist [11, S. 190].

Die optische Konzepterstellung für Rauch in *Nimbus Nebula* setzt sich aus drei Komponenten zusammen:

1. Beobachtung von Rauch in der Natur,
2. Recherche von stilisierten Rauch im klassischen Animationsfilm und
3. einer Konzeptzeichnung.

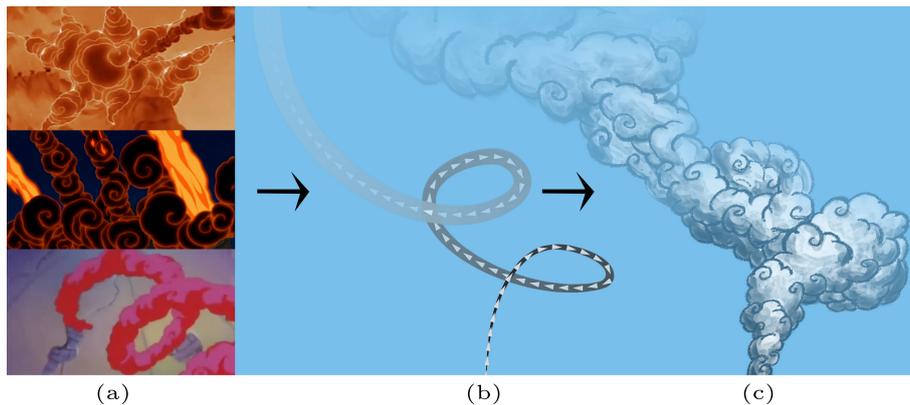
Bei Referenzmaterialien ist es wichtig Phänomene zu beobachten, die sich möglichst ähnlich, wie im resultierenden Animationsfilm, verhalten. Rauch verhält sich abhängig von der produzierenden Quelle und der Umgebung sehr unterschiedlich [11, S. 196f]. Die Art, Größe und Hitze der Verbrennungsquelle, sowie die den Verbrennungsprozess umgebenden Kräfte (Vakuum, geschlossener Innenraum bzw. windige Umgebung), sind entscheidend für das Verhalten von Rauch. Kleine Abweichungen können bereits zu einem komplett anderen Ergebnis führen [11, S. 190–209].

In *Nimbus Nebula* ist alles in Bewegung. Die Rauch produzierenden Quellen bewegen sich kontinuierlich weiter. Das Verhalten von Rauch bei Dampflokomotiven scheint daher als ideale Referenz (siehe Abbildung 8.2).

Die klassischen Animationsfilme *Mulan* und *Aladin* dienen als Zielvorgabe für die Stilentwicklung von Rauch in *Nimbus Nebula* (siehe Abbildung 8.3). Stilisierte Kringelwolken bilden ein wiederholbares, sichtbares Muster.



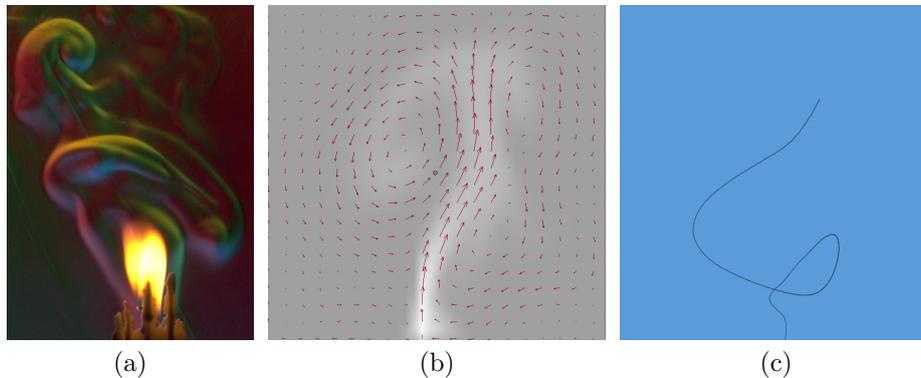
**Abbildung 8.2:** Verhalten von Rauch einer bewegten Verbrennungsquelle. Bildquelle: [51].



**Abbildung 8.3:** (a) Moods für stilisierten Rauch in Disneys *Mulan* und *Aladin und der König der Diebe*. Bildquelle oben und Mitte: [34], Bildquelle unten: [43]. (b) Bewegungspfad. (c) Concept Painting für Rauch für den Animationsfilm *Nimbus Nebula*.

Die sich drehenden Bewegungen sind sowohl im Detail, als auch in der Gesamtbewegung angestrebt.

Die Erkenntnisse aus der Beobachtung und die optischen Wunschzielvorgaben aus bestehenden Animationsfilmen werden schließlich in einer Konzeptzeichnung kombiniert (siehe Abbildung 8.3).



**Abbildung 8.4:** (a) Die Schlierenfotografie macht unsichtbares sichtbar und zeigt den Energiestrom der die Bewegung des Rauches einer Kerze steuert. Bildquelle: [67]. (b) Die Berechnung der Energieströme mit Hilfe der Softwaresimulation Fluids in Maya. (c) Dynamische Kurven erlauben den Energiestrom individuell zu steuern.

### 8.1.2 Energiefluss

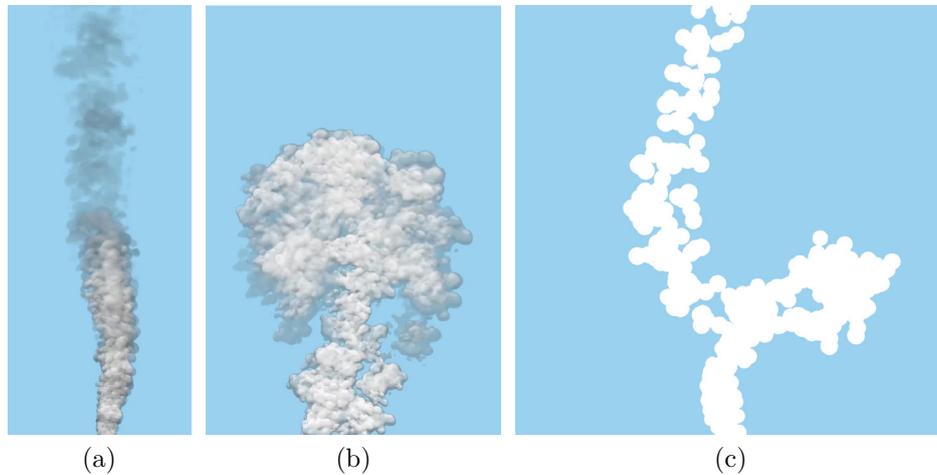
Rauch setzt sich aus sichtbaren und unsichtbaren Komponenten zusammen. Die sichtbaren Komponenten sind unzählige Rußpartikel von denen keines dem anderen gleicht. Aber noch wichtiger sind die unsichtbaren Elemente. Rauch wird bewegt durch kalte und warme Luftströmungen, die sich beim Aufsteigen von warmem Rauch vermischen und für Verwirbelungen sorgen [11, S. 193]. Aber auch Wind oder Gravitation haben Einfluss auf das Verhalten von Rauch. Rauch selbst ist unbelebt und bewegt sich durch die Energie, die ihn umgibt.

„Do not fail into the trap of animating as if the smoke itself has a life or mind of its own, [...] smoke is just particles of matter drifting in the air, and reacting to the air currents or the movement or intensity of its energy source.“ [11, S. 192]

Die Beschäftigung mit dem Energiefluss ist entscheidend, denn ohne die glaubwürdige Bewegung der Basisenergie wirkt Rauch unecht [11, S. 161]. Um diese unsichtbare Energie sichtbar und begreifbar zu machen gibt es mehrere Möglichkeiten:

- Experimente und Beobachtung des Verhaltens in der realen Welt,
- Studium von Referenzvideomaterial,
- durch sichtbar machen der Energieströme mit Hilfe der Schlierenfotografie<sup>1</sup> (siehe Abbildung 8.4 a) und

<sup>1</sup>Die Schlierenfotografie macht für das menschliche Auge unsichtbare Veränderungen der optischen Dichte in Gasen und Flüssigkeiten sichtbar und wurde 1864 vom Chemiker und Physiker August Toepler entwickelt [61].



**Abbildung 8.5:** Die abstrakte Form ergibt sich aus dem Energiefluss.

- durch mathematische Berechnungen und Simulationsverfahren (siehe Abbildung 8.4 b).

In *Nimbus Nebula* wird der Rauch mit Hilfe einer dynamischen Kurve gesteuert (siehe Abbildung 8.4 c). Dies macht den Umgang und das Verhalten des Rauches sehr flexibel. Die Kurve definiert den groben Energiefluss. Durch Konvertierung der statischen Kurven in ein Hair-System kann die Bewegung der Rauchfahnen im globalen Energiefluss kontrolliert werden. Der Endpunkt der Kurve wird an die sich bewegende Quelle geparentet und zieht so den Rauchkegel dynamisch und automatisch hinter sich her. Durch Definition von zusätzlichen Energiefeldern für Aufwind und Verwirbelung entsteht zusätzliche Dynamik und Lebendigkeit.

### 8.1.3 Abstrakte Form

Wie im letzten Abschnitt beschrieben, sind die sichtbaren Komponenten von Rauch kleine Rußpartikel. Allerdings sind die meisten davon so winzig, dass sie mit dem Auge als Einzelteil nicht wahrnehmbar sind. Sichtbar ist die abstrakte Gesamtform, die sich aus unzähligen Partikeln zusammensetzt. Die abstrakte Form ergibt sich durch den Energiefluss, dessen Auswirkung auf die Formbildung in Abbildung 8.5 zu sehen ist.

- a) Von äußeren Energieströmen unbeeinflusster Rauch, der nach oben strebt und verpufft, kommt in der Natur nicht vor.
- b) Durch Simulation des umgebenden Energiefeldes, mit Hilfe eines Maya Fluids-Container, können sehr realistische Ergebnisse, was das Verhalten von Rauch betrifft, erzeugt werden. Allerdings sind punktuelle Anpassungen und Bewegungssteuerung nicht sehr flexibel.

- c) Partikel, die sich entlang einer dynamischen Kurve ausdehnen, bieten eine sehr flexible Bewegungssteuerung und viel Freiheit bei der Definition der abstrakten, wahrnehmbaren Form.

In *Nimbus Nebula* wird aus Gründen der Flexibilität und optischen Wunschvorstellungen die dritte Variante eingesetzt. Wie man sieht sind der Energiefluss und die abstrakte Form eng miteinander verbunden. Der Energiefluss bestimmt die Ausrichtung, die abstrakte Form die Dichte und den Radius der Ausdehnung des Rauches.

#### 8.1.4 Reffinement Bewegung

Die abstrakte Form basiert auf Presets und konstanten Standardwerten. Durch individuelle Anpassung dieser Standardeinstellungen ergibt sich ein lebendiges, einzigartiges System. Parametrisierung ist ein wichtiger Schritt zur Gestaltung von Naturscheinung, welche sich optisch gegenüber der Verwendung von Standardeffekten unterscheiden. Das Problem ist, dass Simulationssysteme aus unzähligen Parameter bestehen, dessen Auswirkung auf das Verhalten nicht immer offensichtlich ist. Durch *Trial and Error* werden die Parameter für Partikelanzahl, Größe, Transparenz und Rotation variiert.

Erweitert man die Parameter durch Keyframeanimation und berechnete Werte (Expressions), erhält das Verhalten des Rauches mehr Dynamik (siehe Abbildung 8.6). Die einzelnen Partikel werden durch Berechnung von zufälligen Startwerten für Größe bzw. Transparenz abwechslungsreich und interessant. Auch eine zeitbasierte Veränderung der Rußpartikel wird berechnet. Der Rauch wird im Laufe der Zeit transparenter und dehnt sich aus, bis er nicht mehr wahrnehmbar ist.

Die Berechnungen verwenden selbstdefinierte Parameter als Eingabewerte. Diese Werte sind eigens für das entwickelte Rauchsystem erdacht und können mittels Effektrigging den Teammitgliedern für die Detailanimation zur Verfügung gestellt werden (siehe Abbildung 8.7). Steuerbar sind in *Nimbus Nebula* folgende Eigenschaften:

**Rauchausdehnung:** durch Anpassung der Kreisradien kann die Rauchausdehnung entlang der Kurve gesteuert werden (siehe Abbildung 8.7).

**Dichte:** steuert die Anzahl der Rußpartikel und deren Transparenz (siehe Abbildung 8.8 a).

**Startzeitpunkt:** jede Verbrennungsquelle startet die Rauchproduktion zu einem leicht unterschiedlichen Zeitpunkt. Variation in Verhalten, Dichte und Startzeitpunkt verleihen mehreren Brandherden mehr Glaubhaftigkeit (siehe Abbildung 8.8 b).

**Kontinuität:** definiert, ob der Rauch durchgängig und gleichförmig erzeugt wird oder dazwischen verebbt und kleine Puffwolken bildet (siehe Abbildung 8.8 c).

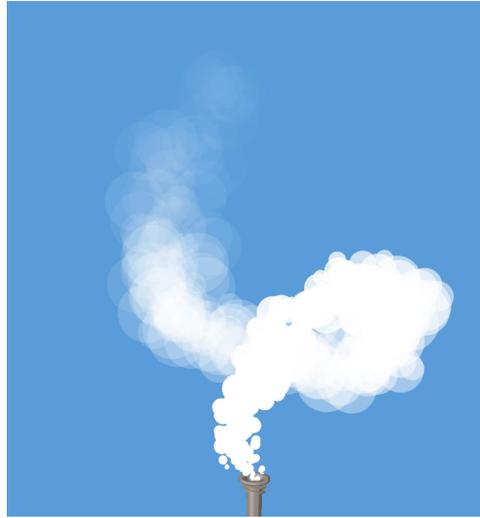


Abbildung 8.6: Verfeinerung des Verhaltens der Rußpartikel.



Abbildung 8.7: Riggingssystem und Parameter für Rauch in *Nimbus Nebula*.

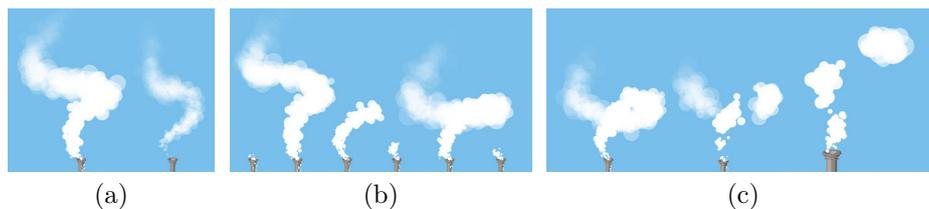
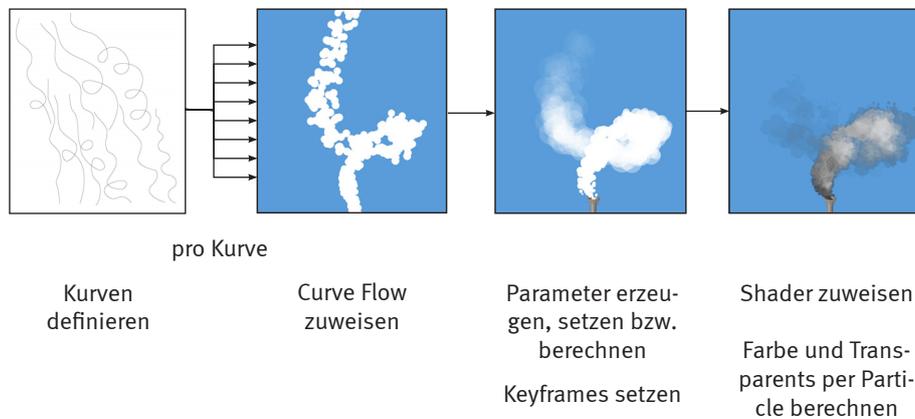


Abbildung 8.8: Anpassbarkeit des Rauchsystems in *Nimbus Nebula*.

Zusätzliche Flexibilität, Wiederverwendbarkeit und Variationsmöglichkeiten werden durch Scripting (siehe Abbildung 8.9) ermöglicht. Scripts erlauben die flexible Anwendung eines funktionierenden Rauchsetups auf beliebig viele Kurven (siehe Abbildung 8.10). Die definierten Parameter werden vom Zielsystem auf alle markierten Kurven übertragen bzw. durch Zufallssteuerung variiert. Wiederkehrende monotone Copy and Paste Aufgaben werden so automatisiert und ermöglichen ein schnelleres Austesten und Än-



**Abbildung 8.9:** Scripting-Workflow zur flexiblen Übertragbarkeit der Raucheinstellungen auf beliebig viele Kurven.



**Abbildung 8.10:** Anwendung der Raucheinstellungen auf zahlreiche unterschiedliche Kurven. Bildquelle: [30, 3:11].

dern der Einstellungen.

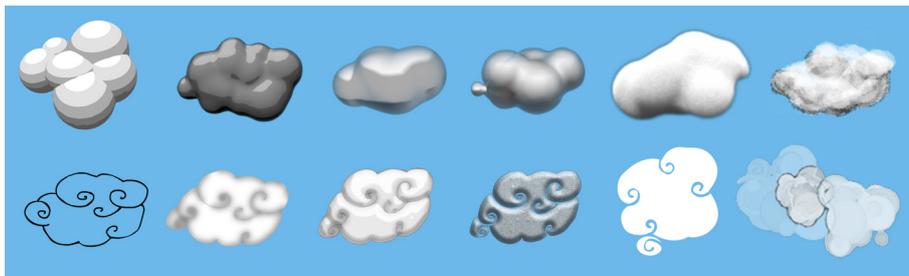
### 8.1.5 Details

Details definieren den Stil der Effektanimation. Abbildung 8.11 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Abstraktionsgrad der Details und der abstrakten wahrnehmbaren Form. Wie man sieht, müssen die Detailstrukturen nicht sehr realistisch sein, denn sie lösen sich in der Gesamtstruktur auf und bilden ein homogenes Erscheinungsbild. Interessant ist, je abstrakter die Detailwolke, desto stimmiger der Gesamtlook. Realistische Detailstrukturen erzeugen bis zu einem gewissen Grad ein realistisches Ergebnis bei weit entfernten Rauchfahnen. Allerdings kann die Struktur der Detailwolke bei sehr detaillierter Ausdefinierung auch zu realistisch werden. Die Einzelwolke wird ab einem gewissen Grad an Details dominant und das Gesamtergebnis wirkt unglaublich (siehe letztes Beispiel in Abbildung 8.11).

Die finale Detailstruktur von *Nimbus Nebula* entsteht durch einen konti-



**Abbildung 8.11:** Zusammenhang Detailstruktur und Stilisierung der abstrakten Gesamtform.



**Abbildung 8.12:** Detailentwicklung in *Nimbus Nebula*.

nuierlichen Entwicklungsprozess, indem viele Techniken ausprobiert werden (siehe Abbildung 8.12). Gewünscht ist eine stilisierte Wolke, wie im klassischen Animationsfilm (siehe Moods in Abbildung 8.3). Der erste Ansatz dafür ist die Verwendung von 3D-Kugeln zur abstrakten Wolkenbildung. Die einzelnen Kugeln bewegen sich zunächst auf Pfaden, später innerhalb eines Partikelsystems durch Energiefelder. Durch verschiedene Schattierungsvarianten entsteht eine sehr glaubwürdige Einzelwolke in verschiedenen Abstraktionsgraden. Im Gesamtsystem wirkt die Wolke jedoch zu dominant und verleiht dem Rauch nicht den gewünschten abstrakten Stil. Die berechnete Bewegung wirkt stimmig, die Graphik jedoch zu real. Der nächste Gedanke ist, die Animation zu rotoskopieren und die angestrebten Kringeldetails zu ergänzen. Rotoskopie ist ein mühseliger Prozess, bei dem jedes Bild per Hand abgepaust wird. Daher wird in der handgezeichneten Animation traditionell mit 12 Frames per Second gearbeitet. In Kombination mit einem 3D-Charakter ist diese Reduktion jedoch nicht möglich. Um den Aufwand zu minimieren wird nur der Umriss rotoskopiert. Die Flächenfarbgestaltung erfolgt durch Füllen der Kontur mittels Software. Es entsteht eine

sehr flache Zeichnung. Um dieser mehr Plastizität zu verleihen, wird die Wolke wieder in 3D importiert und mittels Bumpmapping Tiefe erzeugt. Aus dem gesamten Prozess entstehen allerdings mehrere Problem:

1. Die Detailanimation bewegt sich zu schnell. Ein nachträgliches Verlangsamten ist nicht ohne gesamte Neuzeichnung der Animation möglich, denn Effekt Animation unterscheidet sich von der Charakteranimation. Während Charakter in der Regel *Pose To Pose*<sup>2</sup> animiert werden, ist bei Naturphänomenen ein *Straight Ahead*<sup>3</sup> Vorgehen üblich. Nicht die Form, sondern der Energiefluss wird rekonstruiert. Die abstrakte Form fließt dynamisch von einem Bild zu Nächsten. Es gibt keine Keyposen und die Interpolation zwischen den Bildern ist schwierig [48]. Das Einfügen von Inbetweens führt zu einem seltsamen Ergebnis, wodurch Timinganpassungen zu einer zeitaufwendigen Aufgabe werden.
2. Die handgezeichnete Kontur unterliegt einem kontinuierlichen bowling (wabern), dass in Kombination mit der gerenderten 3D-Animation falsch wirkt.
3. Die dreidimensionale Version der Wolke wirkt im Gesamtbild zu dominant und daher unglaubwürdig.

Der nächste Ansatz ist den Vorgang zu Vektorisieren und die Formen ineinander übergehen zu lassen. Die Animation ist so beliebig in der Zeitleiste verlängerbar und der Bowling-Effekt verschwindet. Allerdings wirkt die Bewegung nun künstlich. Für die finale Lösung wird daher nach einer anderen Idee gesucht.

Die Beobachtung zeigt, dass Rauchwolken einem kontinuierlichen Verhaltensmuster aus Rauchbildung und Verpuffung folgen. Rauchwolken entstehen aus einem Zentrum, werden von der umgebenden Luft verwirbelt, werden dadurch größer und transparenter, bis sie nicht mehr sichtbar sind (siehe Abbildung 8.13). Dieses Prinzip lässt sich auf drei Regeln zurückführen, die sich durch Übertragung auf einfachen geometrischen Formen implementieren lassen.

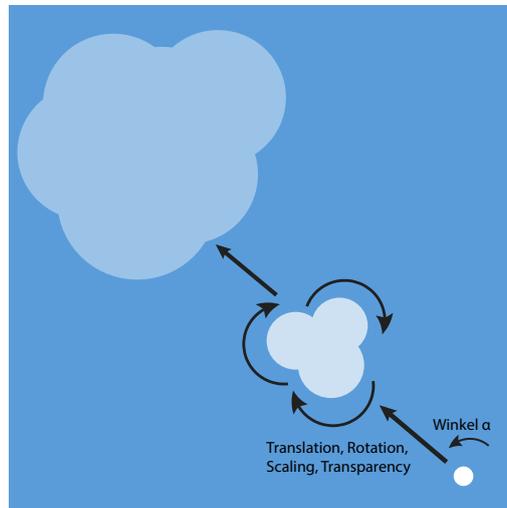
1. Mehrere Rußpartikel werden zu Kreise abstrahiert, von denen im Zentrum eine zufällige Anzahl gebildet wird.
2. Die Kreise streben auseinander und bilden abstrakte Wolkenformen, die von der umgebenden Luft rotiert werden.
3. Die Gesamtwolke bewegt sich vom Zentrum, in eine vom Wind abhängige Richtung fort und wird dabei größer und transparenter.

Das Aufstellen eines allgemeinen Regelsets ist ein Indiz, dass die Pro-

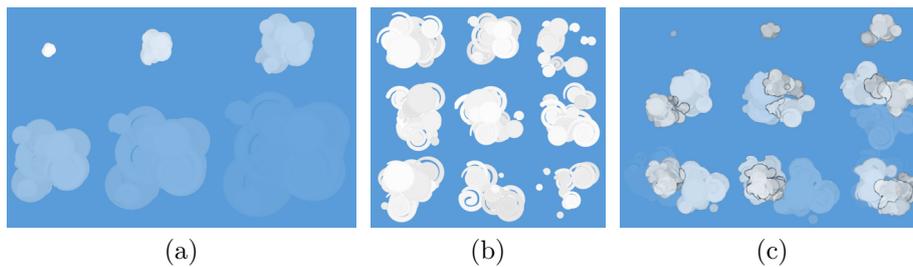
---

<sup>2</sup>Pose To Pose Animation ist, wenn zunächst Schlüsselposen gezeichnet werden. Die Bewegung dazwischen wird erst in einen weiteren Schritt ergänzt [25, S. 56].

<sup>3</sup>Straight Ahead Animation ist, wenn sich der Animator von einem initialen Bild vorwärts animiert. Das Endergebnis entsteht durch den Prozess [25, S. 56].



**Abbildung 8.13:** Regelwerk für den Lebenszyklus von Rauchwolken.

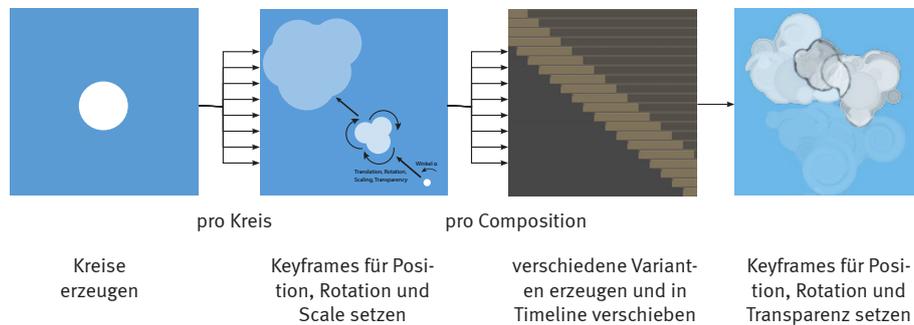


**Abbildung 8.14:** (a) Rauchwolkenentwicklung, (b) Variantenbildung und (c) Verpuffungsprozess mit Hilfe von Scripts.

grammierung ein ideales Werkzeug zur Lösung des Problems darstellt. Der Programmcode arbeitet sukzessive Regel ab und kann über selbstdefinierte Parameter individuell gesteuert werden. Dadurch ist es möglich, durch Verwendung von Zufallszahlen, unzählige graphische Varianten aus ein und dem selben Code entstehen zu lassen. Timing und Vielfalt sind beliebig skalierbar (siehe Abbildung 8.14 a und b). Durch Kombination mehrerer Rauchwolken entsteht ein kontinuierlicher Rauchbildungs- und Verpuffungseffekt (siehe Abbildung 8.14 c).

Abbildung 8.15 visualisiert die einzelne Schritte des Scripting-Workflows

- von den punktförmig produzierten Rußpartikeln,
- aus deren Kombination die Einzelwolken gebildet werden,
- von denen mehrere Varianten generiert werden, die wiederum kombiniert und zeitlich gestaffelt,
- zum Endergebnis führen.



**Abbildung 8.15:** Rauchwolkenbildung Scripting-Workflow.

Die Entwicklung der Detailstrukturen zeigt den zyklischen *Trial and Error* Prozess der Synthese-Entwicklung (siehe Abbildung 7.10).

- Aus einer Verstellung (Idee)
- entwickelt sich eine Umsetzungsidee (Option)
- die ausgetestet wird (Testumsetzung) und
- durch Analyse des Ergebnisses zu neuen Ideen führt (Analyse).

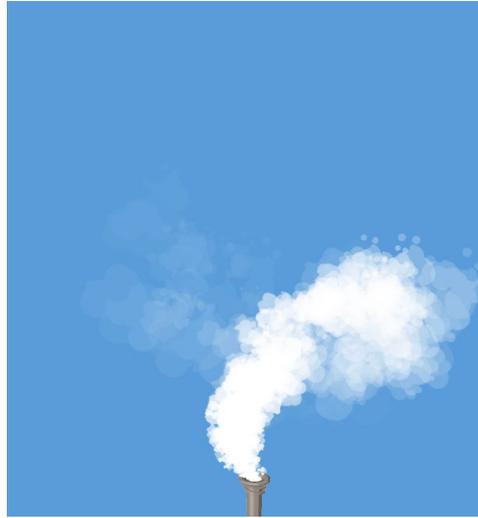
Allgemein lässt sich durch diesen Prozess erkennen, dass die ideale Umsetzungsvariante subjektiv vom Animator abhängt. Jeder hat eigene Vorlieben und Talente. Es ist spannend die Techniken anderer Disziplinen auszutesten und von ihrem Vorgehen zu lernen. Das visuell ansprechendste und einzigartigste Ergebnis erzielt man jedoch mit den persönlichen Komfortwerkzeugen. Der Entwicklungsprozess der Detailstrukturen in *Nimbus Nebula* zeigt, dass man am Schluss meistens beim favorisierten Werkzeug landet. Zu Beginn ist oft nicht klar, wie man die Vorstellung umsetzen soll. Das Austesten anderer Disziplinen führt zu einem Verständnis der Herangehensweise, welches später auf die bevorzugten Werkzeuge übertragen werden kann. Von dem Vorgehen verschiedener Techniken zu lernen ist das Ziel der Synthese, nicht das tatsächliche Anwenden vieler Techniken im Endergebnis.

In Abbildung 8.16 ist schließlich die Anwendung der Detailstruktur auf das Gesamtsystem zu sehen.

### 8.1.6 Shading und Kontrast

Farben, Licht und Kontraste sind essentiell, um Rauch Volumen zu verleihen. Shading hat jedoch auch Auswirkungen auf die Performance des Renderprozesses, daher empfiehlt es sich, Rauch nicht mit Geometrie zu realisieren, sondern mit Partikeln aus vorgerenderten Sprits [5, S. 56]. Für die Schattierung von Rauch gibt es drei Optionen:

1. Die Schattierung der Detailstruktur (siehe Abbildung 8.17 a). Dadurch werden die Detailformen betont und im Gesamtergebnis sichtbar. In



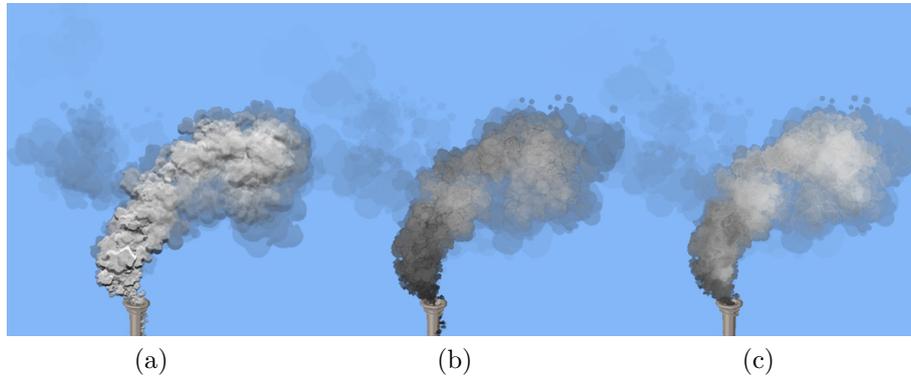
**Abbildung 8.16:** Details angewandt auf Rauchsystem.

der Natur verschwimmen die Detailstrukturen in der Gesamtform und sind als solche nicht erkennbar. Es wird vielmehr die Gesamtform von Licht und Schatten beeinflusst, als die einzelnen Details, da diese von unzähligen anderen Details beschattet werden.

2. Der zweite Ansatz ist die Farbgestaltung der Einzelpartikel über die Zeit. Die Schattierung erfolgt durch eine zeitabhängige Farbzueweisung von Schwarz zu Weiß, abhängig vom Alter der Partikel (siehe Abbildung 8.17 b). Der Rauch wird dadurch beim Verpuffen heller. Allerdings fehlt der Einfluss von Licht und Schatten auf die Gesamtform.
3. Die Schattierung der Gesamtform erfolgt in *Nimbus Nebula* im Compositing mit dem Reliefeffekt, welcher der Gesamtform die gewünschte Plastizität verleiht (siehe Abbildung 8.17 c).

### 8.1.7 Fazit

Die Entwicklung von Rauch mit Hilfe von Simulationstools, jedoch ohne Verwendung von Standardlösungswegen, hat gezeigt, dass die nähere Beschäftigung mit Naturphänomenen ein interessantes Experiment ist, von dem man sehr viel lernen kann. Man erlangt einen breiten Zugang zum Thema Naturphänomene, Abstraktion, Effektanimation, Simulation, Programmierung bzw. dem Aufbau und die Funktionsweise von Animationssoftware. Man hat die Chance vieles auszutesten und sich über die persönlichen Stärken und Schwächen, Präferenzen der Werkzeugwahl und beruflichen Ziele klar zu werden. Das Vorgehen ist somit für Studentenprojekte ideal. Für größere, zeitkritische Produktion ist die Animationssynthese jedoch nicht zu empfeh-

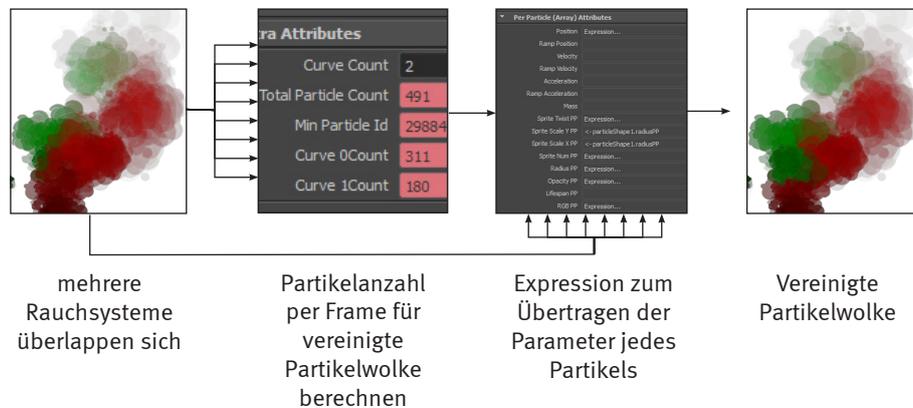


**Abbildung 8.17:** Shadingvarianten für Rauch.

len, denn es hat sich gezeigt, dass der Ausgang offen ist. Anvisierte Ziele und interessante visuelle Lösungen können oft schnell zu 80% erreicht werden. Die letzten 20%, um das Ergebnis renderfähig zu bekommen, können jedoch zur Hürde werden. Durch die für den Softwarehersteller unvorhergesehene Verwendung der Tools, lassen sich zwar zunächst ansprechende Effekte erzielen, man stößt jedoch immer wieder auf Schwachstellen und Grenzbereiche der Software. Die Technik lässt ab einem gewissen Punkt keinen Spielraum mehr zu und man endet in einer Sackgasse, die sich nur durch komplizierte Umwege umgehen lässt. Die Rauchbildung mit Kurven ist zwar für eine Rauchfahne ideal, mischt man jedoch mehrere Rauchsysteme, sodass sie sich überlappen, kommt es im Rendering zu einem unerwünschten Flackereffekt. Für das Problem muss erneut eine Lösung erdacht werden. Mögliche Optionen sind:

1. Die Überlappung vermeiden und durch Layering und Compositing in der Post das Problem lösen.
2. Ein Script erstellen, das die Werte mehrerer Partikelsysteme ausliest und auf ein Neues überträgt (siehe Abbildung 8.18). Befinden sich alle Partikel im selben Partikelsystem, so kommt es zu keinen Problemen beim Rendering. Scripts sind für diese Aufgaben sehr gut geeignet, da die Funktionalität der Software direkt beeinflusst werden kann.

Es lässt sich erkennen, dass Probleme lösen ein unvermeidbarer Teil des Prozesses ist und Programmierkenntnisse oft sehr hilfreich sind. Die Erarbeitung von Workflows ist langlebiger, als das daraus resultierende Animationsprojekt, denn sie können in abgewandelter Form im selben oder anderen Projekten wiederverwendet werden. Das selbe gilt für den Programmcode. Die Ideen bzw. Teile des Codes sind gut recyclebar. Durch leichte Anpassungen lassen sich viele Varianten erstellen. Der Code ist aber natürlich kein Allheilmittel für jegliche Probleme, auch er stößt irgendwann an die Grenzen. Eine Grenze ist der Aufwand. Mit Standardtools zur Simulation stößt man



**Abbildung 8.18:** Workflow zum Vereinigen von mehreren Partikelsystemen mit Hilfe von Programmcode.

jedoch viel früher auf Hürden, dessen Auslotung noch mehr Aufwand bedeutet, als die individuelle Entwicklung. Das ist vermutlich auch der Grund, warum die großen Studios eigene Entwicklungsabteilungen beschäftigen und oft auf Inhousetools zurückgreifen.

Die nachfolgende Beschreibung von Nebel ist ein Beispiel für das Workflowrecycling. Teile der Umsetzung verwenden die gleiche Technologie und die selben Schritte wie Rauch. Diese Arbeitsschritte werden im nachfolgenden Abschnitt 8.2 daher nicht erneut erörtert.

## 8.2 Nebel

Nebel ist physikalisch bzw. meteorologisch gesehen feinverteilter Wasserdampf in der Atmosphäre bzw. eine Wolke in welcher der Rezipient steht. Ab einer Sichtweite von weniger als einen Kilometer spricht man vom Nebel. Bei einer Sichtweite von einen bis vier Kilometer von Dunst. Nebel unterscheidet sich von einer Wolke durch den Bodenkontakt [58].

### 8.2.1 Optisches Konzept

Die einleitende Definition von Nebel ist naturwissenschaftlich korrekt, löst aber die visuelle Aufgabe der Rekonstruktion nicht. Für die Darstellung ist es sinnvoll die sichtbaren Auswirkungen von Nebel zu beobachten. Nebel hat keine eigene sichtbare Form oder Struktur. Er reicht über die Bildkanten hinaus, seine abstrakte Wolkenform ist als solche nicht sichtbar und somit nicht relevant. Es geht in der Visualisierung in erster Linie um die Auswirkung, welche die Gegenwart von Nebel bzw. Dunst auf die Umgebung hat.

Ein nebeliges Bild besteht vereinfacht gesagt aus Schichten, die nach



**Abbildung 8.19:** Nebel teilt die Landschaft in Schichten.



**Abbildung 8.20:** Nebel ist nicht statisch, sondern unterliegt einer laufenden Veränderung.

hinten heller und unschärfer werden. Nebel sorgt für unscharfe Kanten, entsättigt die Farben bzw. hellt die Objekte im Raum auf. Je weiter die Objekte vom Betrachter entfernt sind, desto unscheinbarer werden sie. Sie verschmelzen mit dem weißen Hintergrund der Nebelmasse. Nebel macht die Tiefe des Raumes sichtbar, indem er die Landschaft in Schichten teilt. Durch die Gegenwart von Nebel wird die Entfernung von Objekten viel deutlicher, als an einen klaren Tag (siehe Abbildung 8.19). Die Grundform von Nebel entspricht der Z-Depth-Berechnung<sup>4</sup> in 3D-Programmen.

Nebel ist nicht statisch, sondern unterliegt einer laufenden Veränderung. Die Tiefenwahrnehmung variiert je nach Dichte der Nebelschichten. Der Vordergrund ist meist einigermaßen klar, die wahrnehmbare Weite und Tiefe unterliegt jedoch einem ständigen Wandel (siehe Abbildung 8.20).

Damit lässt sich arbeiten und ein einfaches, schnelles Ergebnis erzielen. Durch Tiefenstaffelung der Häuser, kombiniert mit Rauch- und Nebelschichten, ergibt sich das optische Konzept für den Nebel in *Nimbus Nebula* (siehe Abbildung 8.21).

### 8.2.2 Energiefluss

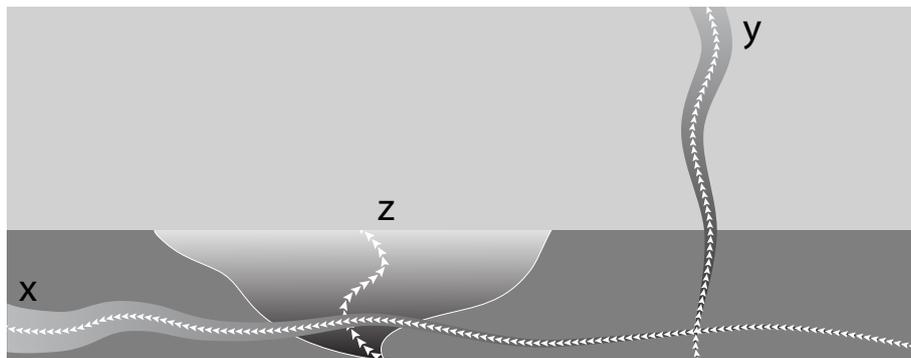
Der Energiefluss besteht aus drei Komponenten (siehe Abbildung 8.22):

1. Der primäre Energiefluss entspricht, wie im optischen Konzept beschrieben, der zDepth-Berechnung. Die Häuser werden abhängig von ihrer Distanz zur Kamera desaturiert, geblured und aufgehellt. Weit

<sup>4</sup>Ein Z-Depth ist ein Graustufenbild einer Szene, in welchem die Tiefe der Objekte im Raum berechnet wird. Schwarze Bildbereiche sind nahe bei der Kamera, Weiß weit entfernt [24, S. 688].



**Abbildung 8.21:** Konzeptzeichnung für Häuser-Nebel-See in *Nimbus Nebula*.



**Abbildung 8.22:** Der Energiefluss von Nebel in *Nimbus Nebula* unterliegt drei Komponenten. Diese entsprechen den Achsen des Koordinatensystems.

- entfernte Häuser verschmelzen so beinahe mit der Nebelmasse.
2. Der Nebel unterliegt jedoch auch einem permanenten Wandel. Nebelschwarten zwischen den Häuserschichten, die von rechts nach links ziehen und zwischenzeitlich transparenter bzw. dichter werden, erzeugen diesen Eindruck. Die Bewegungsrichtung des Nebels entspricht der Gehrichtung der Häuser. Wie bei einer Dampflok hinterlassen die Häuser während ihrer konstanten Fortbewegung einen Nebelrauch, der nach hinten zieht.
  3. Der Nebelrauch zieht nicht nur von links nach rechts, sondern steigt auch nach oben auf. Dabei wird er dünner und transparenter.

### 8.2.3 Abstrakte Form

Die *abstrakte Form* ergibt sich, genauso wie beim Rauch, aus dem Energiefluss und kann nur indirekt gesteuert werden. Die Vermittlung der Raumtiefe



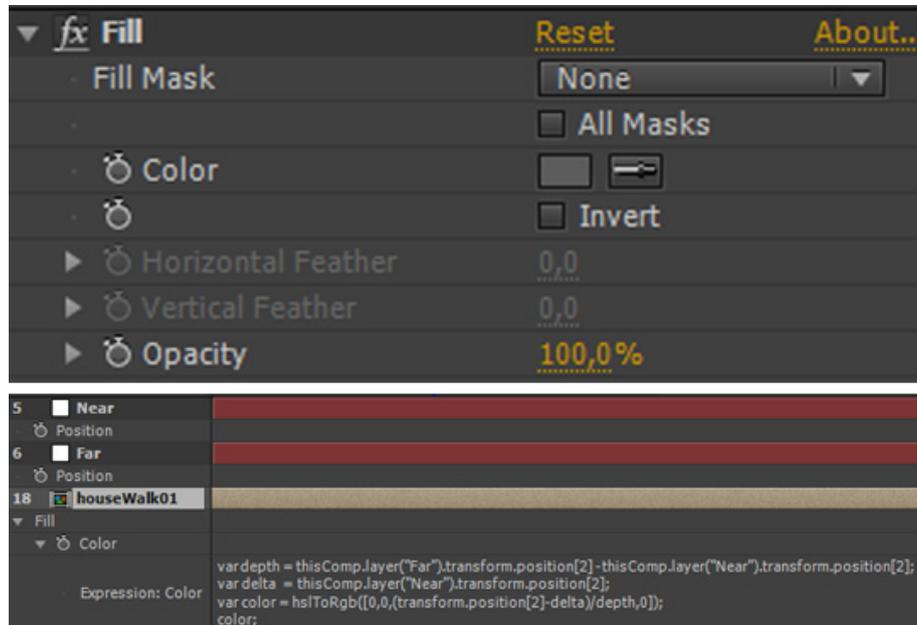
**Abbildung 8.23:** ZDepth Berechnung der Häuser abhängig von der Distanz der Kamera durch Definition von Near- und Far-Plane.

und ein Gefühl für die Dichte der Häuserherde ist für die wahrnehmbare Form entscheidend. Dafür wird eine zufällige Häuserzahl, die sich konstant vorwärts bewegt, zufällig in Raum und Zeit angeordnet. Anhand der Definition von zwei Null-Objekten, welche Near- und Far-Plane<sup>5</sup> repräsentieren, wird die Farbgebung der Häuser berechnet (siehe Abbildung 8.23). Die Berechnung erfolgt mittels Expressions, welche den Farbwert eines Fill-Effekt abhängig vom Positionsabstand zu Near- und Far-Plane berechnen (siehe Abbildung 8.24). Durch Veränderung von Near- bzw. Far-Plane kann das Ergebnis nun in Echtzeit manipuliert werden.

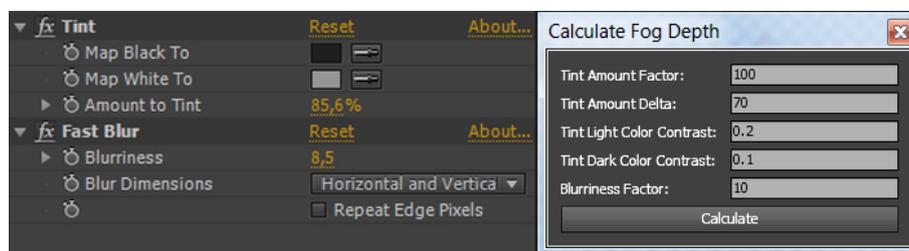
#### 8.2.4 Refinement Bewegung

Die *abstrakte Form* färbt die Häuser, abhängig von der Position, komplett entsprechend des berechneten Grauwertes. Bei der Verfeinerung geht es darum, diese Überdeckung wieder etwas zurückzunehmen und abhängig von der Distanz zur Kamera, Kontraste und Farben zuzulassen. Dafür wird der Fill Effekt durch einen Tint Effekt ersetzt. Die Kontraste werden über die Definition von Schwarz und Weiß Abstand berechnet und die Farbigekeit über den Gewichtungsfaktor gesteuert. Weiters werden die Kanten der Häusern in der Entfernung aufgeweicht. Der entsprechende Blurriness-Faktor wird anhand der Position im Raum bestimmt. Die Berechnungen erfolgen durch die Anwendung der gleichen Expressions auf jedes Haus. Um immer wiederkehrende Copy-Paste Aufgaben bei jeder Änderung der Berechnungen zu vermeiden, wird zum leichteren Austesten der idealen Gewichtungsfaktoren ein kleines Interface entwickelt, welches die Änderung aller Expressions

<sup>5</sup>Die Near-Plane bzw. vordere Clippingebene definiert den Sichtbereich im Nahbereich der Kamera. Die Far-Plane bzw. hintere Clippingebene definiert wie weit Objekte in der ferne sichtbar sind [50].



**Abbildung 8.24:** ZDepth Berechnung in *Adobe After Effects* mittels einer Expression, welche den Farbwert des Fill-Effekt abhängig vom Positionsabstand zu Near- und Far-Plane berechnet.



**Abbildung 8.25:** Definition von Steuerungsparameter zum Feinjustieren der Auswirkung des Nebels auf die Umgebung in *Adobe After Effects*.

automatisiert (siehe Abbildung 8.25).

Die optimalen Werte für die benutzerdefinierten, steuerbaren Parameter werden ausgetestet und so lange verfeinert bis das Ergebnis den Vorstellungen entspricht. Das Ergebnis wird aber auch händisch feinkorrigiert. Die Position der automatisch positionierten Häuser wird nachjustiert, sowie die Bewegungsgeschwindigkeit von Häusern, Rauch und Nebel, Near und Far Plane, Transparenz von Rauch und Nebelschichten angepasst.

Weiters wird die Tiefenberechnung der Häuser durch zusätzliche Nebelschichten zwischen den Häusern ergänzt (siehe Abbildung 8.26), um den Nebelraum mehr Glaubwürdigkeit zu verleihen. Die Nebelschichten werden



**Abbildung 8.26:** Nebelschwaden zwischen den Häusern verleihen den Nebelraum mehr Glaubwürdigkeit.

durch die selbe Technik wie der Rauch (siehe Abschnitt 8.1) erzeugt.

### 8.2.5 Details

Die Details von Nebel sind primär gesehen die selben, wie beim Rauch (siehe Abschnitt 8.1.5). Es gibt jedoch noch eine zweite indirekte Detailebene, die mit dem Nebel an sich nichts zu tun hat, für den Gesamteindruck der Häuserherde, die im Nebelmeer marschiert jedoch entscheidend ist. Um den Eindruck einer bunten, vielfältigen Herde zu erzeugen, ist eine Variation der Häuser wichtig. Dafür werden vier Häuser in 3D modelliert und von allen vier Seiten gerendert und unterschiedlich eingefärbt. Die Häuserdummies werden durch die so entstandenen 16 Silhouetten (siehe Abbildung 8.27) zufällig ausgetauscht. Zusätzlich werden im Vordergrund Häuser ergänzt, die nicht nur aus einem Rendering sondern einer Sequenz bestehen, welche eine leichte Drehbewegung der mechanischen Hüfte beim Gehen imitiert. Durch die Ergänzung all dieser Details erscheint die Szene abwechslungsreich (siehe Abbildung 8.28).

### 8.2.6 Shading und Kontrast

Auch bei der Farbgestaltung und Schattierung wird in *Nimbus Nebula* zwischen vier Typen unterschieden:

1. Die Schattierung der Nebelschwaden, welche dem Prinzip des Rauches in Abschnitt 8.1.6 entsprechen.



**Abbildung 8.27:** Häuservariationen sorgen für den Eindruck einer vielfältigen Herde.



**Abbildung 8.28:** Details verleihen der Szene ein abwechslungsreiches und glaubwürdiges Erscheinungsbild.

2. Die Farbgestaltung der Häuser und deren Veränderung in der Tiefe. Dieser Task wird bereits von den Schichten *Refinement Bewegung* und *Details* übernommen.
3. Das Setzen von sichtbaren Lichtquellen. Lichter werden durch die Gegenwart von Nebel weicher und bilden einen Lichtschein, der nach außen kreisförmig abstrahlt (siehe Abbildung 8.29).

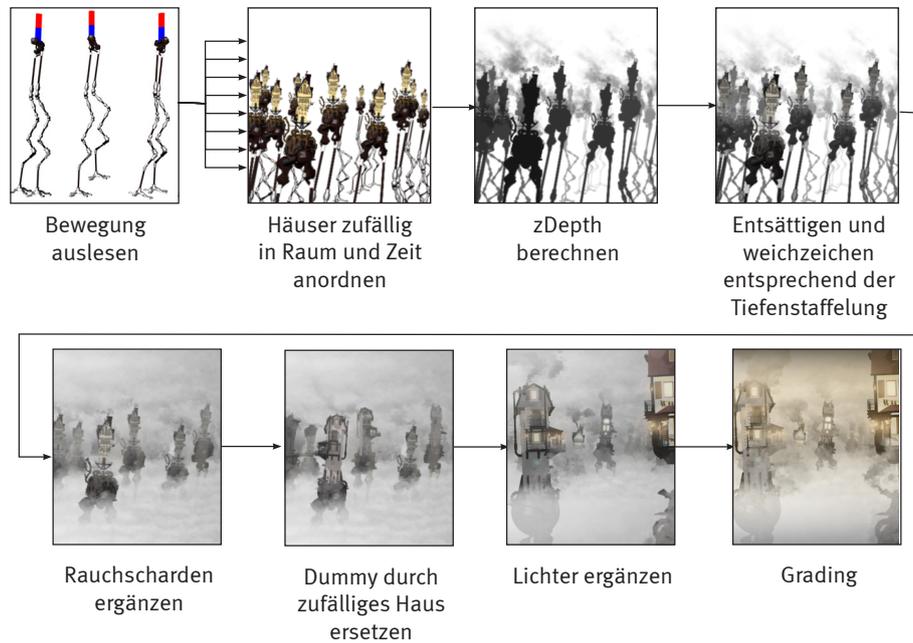


**Abbildung 8.29:** Lichter werden durch die Gegenwart von Nebel weicher und bilden einen Lichtschein der nach außen kreisförmig abstrahlt.



**Abbildung 8.30:** Finaler Look der Nebelstadt in *Nimbus Nebula*.

4. Der Farbgestaltung der Szene, durch setzen von Sonnenstrahlen und Farbfilttern (siehe Abbildung 8.30).



**Abbildung 8.31:** Ablauf zur Erzeugung des Eindrucks von Nebel in 2.5D.

### 8.2.7 Fazit

Die Schichtenaufteilung verschwimmt im Falle von Nebel etwas ineinander. Bei Rauch ist ein klares Vorgehen nach dem aufgestellten Synthesemodell (siehe Abschnitt 7.4.2) möglich. Bei Nebel sieht es anders aus. Die Farbgebung wird nicht erst in der Schicht *Shading und Kontrast* definiert, sondern spielt bereits in der *abstrakten Form* eine zentrale Rolle, des zu vermittelnden Nebelindrucks. Die Effektentwicklung anhand der Schichten des Modells ist dennoch sinnvoll. Ein Modell ist immer nur ein grober Leitfaden, welcher individuell angepasst wird. Das Vorziehen von bestimmten Teilaufgaben ist Teil dieses Prozesses.

„When almost each project is different, it creates the need to always be updating your pipeline in some way. Remember, almost nobody’s pipeline is a static thing.“ [53]

Der 2.5D<sup>6</sup> gestaffelte Nebel in *Nimbus Nebula* wird mit Adobe After Effects erstellt. Nebel lässt sich auf die in diesem Kapitel beschriebene Weise theoretisch sehr schnell faken (siehe Abbildung 8.31). Allerdings gelangt man dabei schnell an die Grenzen der Standardverwendung von After Effects. After Effects verfügt über einen 3D Raum, der für die Definition der

<sup>6</sup>2.5D bedeutet die Erzeugung eines 3D Eindrucks mit Hilfe von einfachen 2D-Werkzeugen [24, S. 689].

Entfernung zur Kamera sehr gut verwendet werden kann. Für die zDepth Berechnung stellt After Effects keinen automatischen Standard-Effekt zur Verfügung. Die Berechnung kann jedoch relativ einfach über Expressions gesteuert werden (siehe Abschnitt 8.2.3 und 8.2.4). Problematisch wird es bei nachträglichen Änderungswünschen der Berechnungslogik bzw. Gewichtungsfaktoren. Dafür muss die Expression jedes mal wieder händisch auf alle Objekte kopiert werden. Dies verhindert ein schnelles experimentieren. Abhilfe schafft das von Adobe bereit gestellte Scripting System. Der Adobe ExtendScript Toolkit ermöglicht Prozesse aller Adobe Produkte zu automatisieren. Das Duplizieren der Expression kann dadurch von einem Script übernommen werden, wodurch ein schnelles Experimentieren, durch nur einen zusätzlichen Mausklick, gewährleistet wird.

Ein weiteres Problem stellt der Schritt des zufälligen Ersetzens der Häuser dar. In After Effects gibt es für Kompositionen keine Übergabeparameter, mit denen man steuern kann, welches Haus angezeigt werden soll. Will man die gleiche Komposition mit einem anderen Haus verwenden, so muss sie kopiert und geändert werden. Dies klingt sehr mühsam und wird bei nachträglichen Änderungen noch viel aufwendiger. Doch auch dieses Problem lässt sich auf dieselbe Weise, wie das Expression-Kopie-Problem, lösen. Auch hier wird der monotone Vervielfältigungsschritt von Scripts übernommen.

Durch die Unterstützung von Scripts wird After Effects zu einem sehr effizienten Tool zum Faken von Nebel.

# Kapitel 9

## Resümee

Naturphänomene spiegeln die Stimmung einer Szene wieder, bilden den Rahmen in dem sich der Charakter bewegt und verleihen der Handlung mehr Glaubwürdigkeit. Die Beschäftigung mit Naturerscheinungen und der Frage nach der Auswirkung der Werkzeugwahl auf die Stilisierung bzw. die optische Wirkung lässt einen Wandel in der Effektanimation erkennen. Durch die zunehmende Verwendung von Standardlösungen werden die Effekte austauschbar und entsprechen nicht dem Gesamterscheinungsbild. Berücksichtigt man zusätzlich ökonomische Merkmale, wie Kosten oder benötigte Qualifikationen, lassen sich nachfolgende Einsatzempfehlungen erkennen.

Simulationen automatisieren den Prozess und bieten einen schnellen Lösungsweg an. Für alle Naturerscheinungen die Standardphänomenen gleichen, eignen sich Simulationstools sehr gut. Wird für die Naturphänomene vom Film kein bestimmter Look gefordert bzw. fehlt es an Budget und Zeit, empfiehlt sich diese Methode.

Lassen sich die Effekte auf ein Set von allgemeingültigen Regeln, Wiederholungen, Routineaufgaben und Zufall zurückführen, ist die prozedurale Animation ein passendes Werkzeug [3, S. 462]. Programmcode ist gut recyclebar. Durch leichte Anpassungen lassen sich viele Varianten erstellen. Die Berechnung des Verhaltens von Naturerscheinungen eignet sich besonders, wenn keine Standardlösung vorhanden ist und das Gedankenkonstrukt überschaubar ist. Die prozedurale Animation kann auch ergänzend eingesetzt werden. Expressions übernehmen kleine Detailberechnungen innerhalb einer fertigen Animationssoftware. Scripts helfen die Grenzen von bestehender Software zu überwinden bzw. Routineaufgaben zu automatisieren.

Handelt es sich um einen kurzen, einmaligen Effekt, der einzigartig zum Rest der Szene passen soll, ist die Animation per Hand ein adäquates Mittel. Klassische Effektanimation beruht auf Intuition, Dynamik, Naturbeobachtung, Stilisierung und der Auseinandersetzung mit dem umgebenden Energiefluss. Alle diese Eigenschaften verleihen dem klassischen Animationsfilm ihren Charme.

Im handgezeichneten Animationsfilm werden alle Elemente des Filmes mit der selben Technologie realisiert, wodurch es zu einem homogenen Endergebnis kommt. In der digitalen Produktion liegt meist ein Mix an Techniken vor, was dazu führen kann, dass die einzelnen Elemente optisch auseinanderdrifteten. Um diese Kluft zu schließen ist ein Wissenstransfer gefragt. Dafür werden die Arbeitsschritte der einzelnen Technologien analysiert, um sie zum kombinierten Workflow der Animationssynthese zu vereinigen. Bei dieser Kombination geht es aber nicht um die tatsächliche Anwendung vieler Techniken im Endergebnis, denn dies verstärkt nur das Problem. Das Resultat kann theoretisch mit nur einer Technologie umgesetzt werden. Der kreative Umgang und das Lernen von den Arbeitsschritten unterschiedlicher Disziplinen steht im Zentrum.

Die visuelle Vorstellung ist der Kern des Workflows. Erst wenn klar ist, wie das zu animierende Element aussehen soll, sind technische Recherchen sinnvoll. Der zweite wesentliche Schritt des Modells ist der Energiefluss. Naturphänomene werden von den umgebenden Energieströmen bewegt. Es gibt keine treibende Kraft innerhalb des Phänomens selbst. Dies ist die Kernaussage der Handzeichnung. Der Energiefluss wird im nächsten Schritt als abstrakte Form sichtbar, welche in den weiteren Schichten schrittweise verfeinert wird.

Allerdings ist die gewünschte Konsistenz auch mit diesem Mittel nicht mit Gewissheit zu gewährleisten. Was der Workflow jedoch mit sich bringt, ist ein individueller Look, der nicht dem von zahlreichen anderen Produktionen entspricht.

Die theoretische Betrachtung des Synthesemodells stützt sich auf den Einsatz im begleitenden Animationsfilm *Nimbus Nebula*. Bei der Anwendung des Modells ist erkennbar, dass ein Workflow nur ein Leitfaden ist, der individuell angepasst werden muss. Während beim Rauch das Modell eins zu eins anwendbar ist, verschwimmen beim Nebel die einzelnen Schritte ineinander. Dennoch hat sich das Modell als Orientierungshilfe auch bei der Rekonstruktion von Nebel als sinnvoll erwiesen. Für eine allgemeine Bestätigung der Praxistauglichkeit des Modells sind aber gewiss noch weitere Tests erforderlich. Die Beispiele aus dem Buch *Elemental Magic* von Joseph Gilland können jedoch auf einen ähnlichen Workflow, wie die Animationssynthese, zurückgeführt werden und stützen so die Theorie.

Durch die Beschäftigung mit Animationssynthese erlangt man einen breiten Zugang zum Thema Naturphänomene, Abstraktion, Effektanimation, Simulation, Programmierung bzw. dem Aufbau und die Funktionsweise von Animationssoftware. Das Vorgehen ist somit für Studentenprojekte ideal. Für größere, zeitkritische Produktionen ist diese Methode jedoch nicht zu empfehlen, denn die Animationssynthese ist vergleichbar mit Forschung. Beides kann große Innovationen hervorbringen, aber der Ausgang des Experimentes ist zu Beginn nicht klar. Aufwand und Resultat sind somit schwer abschätzbar.

Die Synthese kann empfohlen werden, wenn keine der Einzeltechnologien ideal ist, ein individueller Look gesucht ist, ausreichend Zeit für die Recherche zur Verfügung steht und der Animator Freude am experimentieren hat.

# Anhang A

## Inhalt der CD-ROM

**Format:** Single-Session (CD-ROM)

### A.1 PDF-Dateien

**Pfad:** /

Aschauer\_Andrea\_2015.pdf Masterarbeit (Gesamtdokument)

### A.2 Projekt

**Pfad:** /

NimbusNebula.mov . . . Masterprojekt (Gesamtfilm)

### A.3 Online-Ressourcen

**Pfad:** /Onlinequellen/

\*.pdf . . . . . Archivierte Online-Quellen im PDF-Format.

### A.4 Abbildungen

**Pfad:** /Abbildungen/

\*.\* . . . . . In der Masterarbeit eingebundene  
Abbildungen.

# Quellenverzeichnis

## Literatur

- [1] Barrington Barber. *Das große Buch vom Zeichnen*. London: Premio, 2007 (siehe S. 14).
- [2] Barry W. Boehm. „A Spiral Model of Software Development and Enhancement“. In: *Computer* 21.5 (1988), S. 61–72 (siehe S. 63).
- [3] Hartmut Bohnacker, Benedikt Groß und Julia Laub. *Generative Gestaltung*. Mainz: Schmidt, 2009 (siehe S. 37, 38, 103).
- [4] Rob Bredow. „Difference between visual effects and animation“. In: *The VES Handbook of Visual Effects*. Hrsg. von Jeffrey A Okun und Susan Zwerman. Burlington: Focal Press, 2010. Kap. 9, S. 740–747 (siehe S. 5, 6, 9).
- [5] Rob Bredow u. a. „From Mocap to Movie: The Making of The Polar Express“. In: *Siggraph 2005*. (Los Angeles). Hrsg. von Patricia Rosales. Culver City: Sony Pictures Imageworks, 2005. URL: <http://library.imageworks.com/pdfs/imageworks-library-from-Mocap-to-Movie-The-Polar-Express.pdf> (siehe S. 90).
- [6] Roger Clarke. „Hybridität – Bausteine zu einer Theorie“. In: *Ars Electronica 2005: HYBRID - living in paradox*. Hrsg. von Gerfried Stocker und Christine Schöpf. Ostfildern-Ruit: Hatje Cantz Verlag, 2005, S. 37–44 (siehe S. 51).
- [7] Judith Crow. „Dynamics and Simulation“. In: *The VES Handbook of Visual Effects*. Hrsg. von Jeffrey A Okun und Susan Zwerman. Burlington: Focal Press, 2010. Kap. 7, S. 637–642 (siehe S. 26).
- [8] David S. Ebert. „Introduction“. In: *Texturing & Modeling – A Procedural Approach*. Hrsg. von Brian A. Barsky. 3. Aufl. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003, S. 1–5 (siehe S. 34, 39, 46).
- [9] Barbara Flückiger. *Visual Effects – Filmbilder aus dem Computer*. Marburg: Schüren Verlag, 2008 (siehe S. 23, 24, 26–29, 34, 40, 43).
- [10] Maureen Furniss. *Art in Motion – Animation Aesthetics*. Indiana: Indiana University Press, 2007 (siehe S. 9).

- [11] Joseph Gilland. *Elemental Magic – The Art of Special Effects Animation*. Abingdon: Focal Press, 2013 (siehe S. 1, 12–17, 19, 20, 22–24, 26–28, 30, 31, 42, 52, 54, 55, 57, 58, 60, 62, 64, 68, 71, 74–77, 80, 82).
- [12] Joseph Gilland. *Elemental Magic Volume II – The Technique of Special Effects Animation*. Waltham: Focal Press, 2012 (siehe S. 14, 16, 18–20, 29, 43, 44, 61, 62, 71).
- [13] Georg Glaeser und Konrad Polthier. *Bilder der Mathematik*. 2. Aufl. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2010 (siehe S. 42).
- [14] Nathan Cabot Hale. *Abstraction in Art and Nature*. New York: Dover Publications, 1993 (siehe S. 16, 20).
- [15] Eric Keller. *Maya Visual Effects: The Innovator’s Guide*. 2. Aufl. Indianapolis: John Wiley & Sons, 2013 (siehe S. 26, 74).
- [16] Wayne Kimbell. „Foreword“. In: *Elemental Magic Volume II*. Hrsg. von Joseph Gilland. Waltham: Focal Press, 2012, S. ix–xi (siehe S. 19, 75).
- [17] Lee Lanier. *Creating Visual Effects in Maya: Fire, Water, Debris, and Destruction*. Burlington: Focal Press, 2014 (siehe S. 22, 26, 28, 67).
- [18] Benoît B. Mandelbrot. *Fraktale Geometrie der Natur*. Basel: Birkhäuser Verlag, 1991 (siehe S. 2, 35).
- [19] Eli Maor und Eugen Jost. *Beautiful Geometry*. Princeton: Princeton University Press, 2014 (siehe S. 40).
- [20] Tina O’Hailey. *Hybrid Animation: Integrating 2D and 3D Assets*. Burlington: Focal Press, 2010 (siehe S. 4, 11, 17, 20, 21, 23, 24, 27, 32, 33, 40, 47, 51–57, 59–61, 71–73, 76–78).
- [21] Darwyn Peachey. „Building Procedural Textures“. In: *Texturing & Modeling – A Procedural Approach*. Hrsg. von Brian A. Barsky. 3. Aufl. Morgan Kaufmann, San Francisco, 2003, S. 7–94 (siehe S. 34, 39, 40, 42, 45, 46).
- [22] Thomas Renoldner. „Was ist Animation?“ In: *Die Kunst des Einzelbilds – Animation in Österreich – 1832 bis heute*. Hrsg. von Christian Dewald u. a. Wien: Verlag Filmarchiv Austria, 2010, S. 11–39 (siehe S. 13, 18, 74).
- [23] Daniel Shiffman. *The Nature of Code – Simulating Natural Systems with Processing*. Mountain View: Magic Book Project, 2012 (siehe S. 39, 40, 43, 46).
- [24] Derek Spears. „3D Compositing“. In: *The VES Handbook of Visual Effects*. Hrsg. von Jeffrey A. Okun und Susan Zwerman. Burlington: Focal Press, 2010. Kap. 7, S. 681–690 (siehe S. 9, 94, 101).

- [25] Frank Thomas und Ollie Johnston. *The Illusion of Life – Disney Animation*. New York: Walt Disney Productions, 1981 (siehe S. 18, 56, 88).
- [26] Georg Trogemann und Jochen Viehoff. *CodeArt – Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*. Wien: Springer, 2004 (siehe S. 39, 41, 44, 48, 49).
- [27] Steven Withrow. *Secrets of digital Animation – A master class in innovative tools and techniques*. Mies: RotoVision SA, 2009 (siehe S. 53, 73).

## Filme und audiovisuelle Medien

- [28] Camille Andre u. a. *Nebula*. Animationsfilm. Goblin. 2014 (siehe S. 23).
- [29] Mark Andrews und Brenda Chapman. *Merida – Legende der Highlands*. Animationsfilm. Walt Disney. 2012 (siehe S. 23).
- [30] Andrea Aschauer u. a. *Nimbus Nebula*. Animationsfilm. FH OÖ Fakultät Hagenberg. 2015 (siehe S. 3, 86).
- [31] James Stuart Blackton. *Humorous Phases of Funny Faces*. Animationsfilm. 1906 (siehe S. 11).
- [32] Ron Clements und John Musker. *Arielle, die Meerjungfrau*. Animationsfilm. Walt Disney. 1989 (siehe S. 12).
- [33] Pierre Clenet u. a. *Home Sweet Home*. Animationsfilm. 2013 (siehe S. 23).
- [34] Barry Cook und Tony Bancroft. *Mulan*. Animationsfilm. Walt Disney. 1998 (siehe S. 12, 81).
- [35] See Credits. *Fantasia*. Animationsfilm. Walt Disney. 1940 (siehe S. 12).
- [36] Franck Dion. *Edmond was a donkey*. Animationsfilm. 2012 (siehe S. 23).
- [37] Sam Fell und Chris Butler. *ParaNorman*. Animationsfilm. Laika. 2012 (siehe S. 23).
- [38] Mike Gabriel und Eric Goldberg. *Pocahontas*. Animationsfilm. Walt Disney. 1995 (siehe S. 12).
- [39] Gil Kenan. *Monster House*. Animationsfilm. ImageMovers. 2006 (siehe S. 23).
- [40] Lauren MacMullan u. a. *Avatar: The Last Airbender*. Animationsfilm. Nickelodeon Animation Studios. 2005 (siehe S. 12).
- [41] Hayao Miyazaki. *Das wandelnde Schloss*. Animationsfilm. Studio Ghibli. 2004 (siehe S. 12).

- [42] Tomm Moore und Nora Twomey. *The Secret of Kells*. Animationsfilm. Cartoon Saloon. 2009 (siehe S. 12).
- [43] Tad Stones. *Aladdin und der König der Diebe*. Animationsfilm. Walt Disney. 1996 (siehe S. 81).

## Online-Quellen

- [44] *Adobe After Effects CC Help*. 2014. URL: [https://helpx.adobe.com/pdf/after\\_effects\\_reference.pdf](https://helpx.adobe.com/pdf/after_effects_reference.pdf) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 25).
- [45] Isa A. Alsup. *Seven Point Functional Description of Visual Effects Pipelines*. 2010. URL: <http://cgsupervisor.blogspot.co.uk/p/vfx-pipelines-defined.html> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 5, 6).
- [46] *Animation expressions*. 2015. URL: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-5F75516C-403A-4CC3-A118-AEDEFDE970B4> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 25).
- [47] Andy Beane. *3D Production Pipeline*. URL: <http://animator.am/3d-production-pipeline/> (siehe S. 8).
- [48] Alan Becker. *Straight Ahead & Pose to Pose – 12 Principles of Animation*. 2015. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=v8quCbt4C-c&list=PL-bOh8bttec4CXd2ya1NmSKpi92U\\_l6ZJd&index=4](https://www.youtube.com/watch?v=v8quCbt4C-c&list=PL-bOh8bttec4CXd2ya1NmSKpi92U_l6ZJd&index=4) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 14, 88).
- [49] Aaron Benitez. *Visual Effects Beginners PDF*. 2012. URL: <http://vfxbro.com/visual-effects-beginners-pdf/> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 22).
- [50] *Clippingebene*. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Clippingebene> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 96).
- [51] *Dampfloek*. URL: <http://abload.de/image.php?img=cisnazxd3t.jpg> (siehe S. 81).
- [52] *Das Pareto Prinzip - die 80/20 Regel*. URL: <http://www.poeschel.net/zeit/pareto.php> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 28).
- [53] Lance Evans. *How to set up a VFX pipeline*. 2013. URL: <http://www.creativebloq.com/audiovisual/how-set-vfx-pipeline-10134804> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 7, 59, 101).
- [54] *FX*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/FX> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 7).
- [55] *Goldener Schnitt*. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Goldener\\_Schnitt](https://de.wikipedia.org/wiki/Goldener_Schnitt) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 1).
- [56] Iaroslav Lazunov. *Create a Burning, Vector Match Using Gradient Meshes*. 2012. URL: <http://design.tutsplus.com/tutorials/create-a-burning-vector-match-using-gradient-meshes--vector-4349> (siehe S. 58).

- [57] *Mimesis*. URL: <http://www.duden.de/rechtschreibung/Mimesis> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 9).
- [58] *Nebel*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Nebel> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 93).
- [59] Lee Purcell. *Rethinking the Pipeline: DreamWorks Animation Advances the Art*. 2012. URL: <https://software.intel.com/en-us/articles/rethinking-the-pipeline-dreamworks-animation-advances-the-art> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 7, 8).
- [60] *Rauch*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Rauch> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 80).
- [61] *Schlierenfotografie*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Schlierenfotografie> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 82).
- [62] *Snippet (programming)*. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Snippet\\_\(programming\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Snippet_(programming)) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 37).
- [63] *Spiralmodell*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Spiralmodell> (besucht am 04.05.2015) (siehe S. 64, 65).
- [64] *Sprite (Computergrafik)*. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Sprite\\_\(Computergrafik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Sprite_(Computergrafik)) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 26).
- [65] *Synthese*. URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Synthese> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 51).
- [66] *Uncanny Valley*. URL: [http://de.wikipedia.org/wiki/Uncanny\\_Valley](http://de.wikipedia.org/wiki/Uncanny_Valley) (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 52).
- [67] J. Kim Vandiver. *caliber bullet and candle*. 1994. URL: <http://web.mit.edu/edgerton-archive/www/images/28.jpg> (siehe S. 82).
- [68] *Vorgehensmodell*. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Vorgehensmodell> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 7).
- [69] Andrew Whitehurst. *The Visual Effects Pipeline*. London. URL: <http://www.andrew-whitehurst.net/pipeline.html> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 5, 54).
- [70] *Workflows: Let HoBSoft map and document your workflows and make them automatic*. URL: <http://hobsoft.net/info/workflows> (besucht am 27.08.2015) (siehe S. 5).