

# Rauschen und Zufall in der Digitalkunst

Elmar Glaubauf



## MASTERARBEIT

eingereicht am  
Fachhochschul-Masterstudiengang

Digital Arts

in Hagenberg

im September 2018

© Copyright 2018 Elmar Glaubauf

Diese Arbeit wird unter den Bedingungen der Creative Commons Lizenz *Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International* (CC BY-NC-ND 4.0) veröffentlicht – siehe <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

# 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 21. September 2018

Elmar Glaubauf

# Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung</b>	<b>iii</b>
<b>Kurzfassung</b>	<b>vi</b>
<b>Abstract</b>	<b>vii</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Fragestellung . . . . .	2
1.2 Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2 Zufall, Wahrscheinlichkeit und Notwendigkeit</b>	<b>4</b>
2.1 Zufall . . . . .	4
2.1.1 Arten des Zufalls . . . . .	5
2.1.2 Kausalität . . . . .	6
2.1.3 Die Unvorhersehbarkeit eines Ereignisses nach von Mises . . . . .	6
2.1.4 Die Typentheorie nach Martin-Löfs . . . . .	7
2.1.5 Die Kolmogorov-Komplexität . . . . .	7
2.2 Indeterminismus . . . . .	7
2.3 Der Zufall am Beispiel des Würfelwurfs . . . . .	8
2.4 Nichtdeterminismus . . . . .	9
2.4.1 Algorithmische Komplexität . . . . .	10
2.4.2 Grad des Zufalls . . . . .	11
2.5 Rauschen . . . . .	11
2.6 Erzeugung des Zufalls . . . . .	13
2.6.1 Pseudozufallszahlen . . . . .	13
2.6.2 Pseudozufallszahlen in der Anwendung . . . . .	13
2.7 Zufall und freier Wille . . . . .	15
<b>3 Zufall in der Kunst abseits des Computers</b>	<b>18</b>
3.1 Zeichensysteme in der Anwendung . . . . .	18
3.2 Die Ästhetik des Zufälligen . . . . .	19
3.3 Aleatorik . . . . .	20
3.3.1 Das aleatorische Prinzip in der Musik . . . . .	21
3.3.2 Die nichtintentionale Werkzeugenese . . . . .	22
3.3.3 Das aleatorische Prinzip in der Literatur . . . . .	23
3.4 Zufall in der bildenden Kunst des 20. Jahrhunderts . . . . .	24

3.4.1	Der Zufall im Dadaismus . . . . .	25
3.4.2	Der Zufall in der bildenden Kunst nach 1945 . . . . .	26
3.5	Zufall in der klassischen experimentellen Animation . . . . .	29
3.5.1	Hans Richter - <i>Rythm 21</i> . . . . .	30
3.5.2	Oskar Fischinger - <i>Wachsexperimente</i> . . . . .	32
3.5.3	Tony Conrad - <i>The Flicker</i> . . . . .	33
3.5.4	John und James Whitney - <i>Five Film Exercises</i> . . . . .	34
3.5.5	Dennis Pies - <i>Luma Nocturna</i> . . . . .	35
3.6	Zusammenfassung . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Zufall in der digitalen Computeranimation</b>	<b>37</b>
4.1	Parametrische Animation . . . . .	37
4.2	Prozedurale Animation . . . . .	38
4.3	Generative Ästhetik . . . . .	39
4.4	Algorithmische Eigenschaften der Animation . . . . .	40
4.5	Frühe Computeranimation . . . . .	42
4.5.1	John Whitney - <i>Permutations</i> . . . . .	42
4.5.2	John Stehura - <i>Cybernetik 5.3</i> . . . . .	45
4.5.3	Ken Knowlton . . . . .	45
4.6	Die Entkopplung des Künstlers . . . . .	47
4.6.1	Harold Cohen - <i>AARON</i> . . . . .	48
4.6.2	John Horton Conway - <i>Game of Life</i> . . . . .	49
4.6.3	Variation durch Rauschen - Perlin Noise . . . . .	51
4.6.4	Karl Sims . . . . .	51
4.7	Aktuelle Beispiele . . . . .	55
4.7.1	Nikita Diakur - <i>Ugly</i> . . . . .	55
4.7.2	Mario Klingemann . . . . .	59
4.7.3	Prozesshafte nichtintentionale Werkgenese in der Animation am Beispiel von <i>Obscure</i> . . . . .	61
<b>5</b>	<b>Fazit &amp; Ausblick</b>	<b>64</b>
	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>66</b>
	Literatur . . . . .	66
	Audiovisuelle Medien . . . . .	68
	Online-Quellen . . . . .	70

# Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Zufall als künstlerisches Element in der digitalen Computeranimation betrachtet. Der Zufall findet dabei speziell in der digitalen Computeranimation rege Verwendung jedoch gibt es noch wenige Untersuchungen über den Zufall in dieser Form des Animationsfilmes. Anhand einer Beobachtung des Zufalls in der Literatur und Bildender Kunst wird zunächst das Konzept der nichtintentionalen Werkgenese herangezogen, um es auf die analoge Animation und digitale Computeranimation zu übertragen. Dabei erfolgt die Analyse aber nicht nur aufgrund der Technik, sondern auch anhand der Verwendung als stilistisches Element oder grundlegendes Konzept der Werke. Die Breite der Analysebeispiele erstreckt sich dabei von den Animationen zu Beginn des 20. Jahrhunderts über prozedurale Werke in den 1980er und 1990er Jahren bis hin zu aktuellen Beispielen. Dabei wird das Konzept der Entkopplung von Künstler\*innen von ihren Werken vorgeschlagen und festgestellt, dass diese Entkopplung in der Animation nur teilweise erfolgen kann bzw. das Konzept der nichtintentionalen Werkgenese nur partiell übertragen werden kann.

# Abstract

This thesis deals with the concept of randomness and its usage in digital computer animation. Randomness is a frequently used concept in digital animation, although there are only a few theoretical analyses regarding randomness in computer animation. Therefore, an analysis of randomness in literature and visual arts leads to the concept of unintentional genesis of artworks. This thesis takes the concept of unintentional genesis of artworks and applies this concept to traditional animation and digital computer animation. The analysis of animation films applies not only to the technical aspects, but especially on the usage as a stylistic element or as the concept of animation itself. Examples range from early animation at the beginning of the twentieth century through procedural and generative animations and artworks in the 1980s and 1990s to contemporary works. The concept of decoupling of artists from their artworks is suggested. The analysis leads to a partial translation of the concepts of unintentional genesis of artworks and it is explained that in animation a decoupling of artists from their artworks only can happen partially.

# Kapitel 1

## Einleitung

Der Zufall beschäftigt die Menschen seit mehreren Hundert Jahren. Zufälligkeit begegnet uns in vielen Bereichen der Wissenschaft, wie etwa der Statistik, Wahrscheinlichkeitstheorie, Quantenphysik oder der Computergrafik. Aber auch in den Geisteswissenschaften wie der Philosophie beschäftigen sich die Forscher\*innen immer wieder mit dem Zufall. Nicht zuletzt die Kunst versucht dem Umstand des Zufalls mehr als nur Beachtung zu schenken. Zufall wird als Technik, stilistisches Element oder auch als grundlegendes Konzept verschiedener Werke verwendet und eingesetzt. Bereits Leonardo DaVinci hat sich mit dem Zufall beschäftigt und beschreibt in seinem *Traktat von der Malerei*, dass zufällige Eigenschaften in Bäumen oder Gemäuern erkennbar sind [8, S. 385]. Insbesondere im 20. Jahrhundert erlebte der Zufall, in der dadaistischen Bewegung eine vermehrte Verwendung bzw. konzeptionelle Auseinandersetzung mit dem Zufall. Künstler\*innen wie Hans Arp oder Hans Richter setzten dabei gezielt Zufälligkeiten in ihren Werken ein, um diese als beliebig aber auch einzigartig darzustellen. Daraus hervor gingen in weiterer Folge Künstler\*innen wie John Cage, der mit seinen Werkzeuggeneratoren und *Chance of Operations* den Zufall zum Konzept machte. Jackson Pollock verlieh hingegen seinen *Drip Paintings* mit scheinbar zufälligen Bewegungen einen herausragenden Charakter (siehe Abb. 1.1).

Weiters wurde in der Computertechnik versucht den Zufall nachzubilden. Das wahrscheinlich bekannteste Beispiel in der Computergrafik ist hierbei die technische Realisation von *Perlin Noise* [23]. Aber auch Karl Sims, der mit seinen *Evolved Virtual Creatures* evolutionstheoretische Eigenschaften beschreibt, sollte hier nicht zu kurz kommen [31]. Digitalkünstler\*innen setzen die immer weiter entwickelten Algorithmen, die versuchen den Zufall abzubilden, tagtäglich ein, besonders in der generativen und prozeduralen Animation. Speziell die generative Kunst beschäftigt sich dabei immer wieder mit der Rolle des Künstlers in einem zufälligen System. Die gesteigerte Popularität von prozeduralen Animationstechniken und der Einsatz von den oft als künstlichen Intelligenzen bezeichneten Deep-Learning-Algorithmen erfordert jedoch eine aktuellere Betrachtung des Zufalls und eine erneute Diskussion des Verhältnisses zwischen Künstler\*innen, Rezipient\*innen, Werk und dem Zufall selbst.



Abbildung 1.1: Drip Paintings, Jackson Pollock [53].

## 1.1 Fragestellung

Die Kunst setzt sich bereits seit mehreren Jahrhunderten mit dem Zufall und dem Freien Willen auseinander und diskutiert deren Verhältnis zueinander immer wieder. Nicht zuletzt die Animation bedient sich zufälligen Anordnungen, randomisierten Formen oder stochastischen Techniken. Der Zufall spielt speziell bei der Erstellung von digitalen Objekten, Texturen und Animationen eine große Rolle, da dieser in der Natur zu Variation führt und bei der Nachbildung von zufälligen Erscheinungen der Wirklichkeit auf Zufallstechniken zurückgegriffen wird. Insbesondere in der prozeduralen Animation stellt der Zufall ein essenzielles Element dar, da dieser automatisierten Vorgängen natürliche Variation erlaubt. Der Zufall wird dabei aber nicht nur als Technik, sondern auch als stilistisches Element oder grundlegendes Konzept für Werke verwendet. Dabei wird immer wieder diskutiert, inwiefern sich Zufall und freier Wille vereinbaren lassen und die Rolle von der Künstler\*innen, Rezipient\*innen und des Werks selbst zueinander diskutiert. Inwieweit gibt es also eine Verschiebung der Positionen von Künstler\*innen und Rezipient\*innen zueinander? Welche Rolle nehmen die Künstler\*innen ein, wenn sie zufällige Elemente, speziell in der digitalen Animation einsetzen? Und inwiefern lassen sich prozedurale Systeme und Animationen vom Künstlern steuern? Anhand einer Beobachtung des Zufalls in der bildenden Kunst, in der klassischen Animation und in der digitalen Computeranimation wird versucht Gemeinsamkeiten festzustellen und eine Formalisierung des Arbeitens mit dem Zufall in der digitalen Computeranimation vorzunehmen.

## 1.2 Aufbau der Arbeit

Der erste Teil der Arbeit setzt sich mit dem theoretischen Hintergrund des Zufalls auseinander. Dabei werden zunächst die möglichen verschiedenen Arten des Zufalls genannt. Darauf hin wird der Begriff der Kausalität erörtert und die mathematische Kategorisierung des Zufalls nach von Mises, Martin-Löfs und Kolomogorov erörtert. Dies führt zu einer für das Verständnis des Zufalls notwendigen Diskussion von Indeterminismus und der detaillierten Beschreibung der Basis von chaotischen und komplexen Systemen. Das Prinzip des Zufalls wird in weiterer Folge am Beispiel des Würfelwurfes dargestellt was zu der Problematik des Nichtdeterminismus führt, welche die Grundlage für die Darstellung von algorithmischer Komplexität und Grad des Zufalls bildet. Eine genaue Beschreibung von Rauschen und der Erzeugung des Zufalls am Computer mittels Pseudozufallsgeneratoren und anschaulichen Beispielen bietet den Einstieg in die Diskussion der computergestützte Verwendung des Zufalls. Abschließend wird in Kapitel 2 der Zufall hinsichtlich seiner Auswirkung auf den Freien Willen von Künstler\*innen und Rezipient\*innen diskutiert. In Kapitel 3 erfolgt eine Untersuchung der Zufallstechniken in der Geschichte der Kunst über Leonardo DaVinci hin zu aleatorischen Prinzipien in Kunst und Literatur des 20. Jahrhunderts. Dabei wird zunächst der Begriff der nichtintentionalen Werkgenese erörtert, der in weiterer Folge auf die bildende Kunst des 20. Jahrhunderts angewendet wird. Mittels der Analyse der klassischen experimentellen Animation wird versucht das Prinzip der nichtintentionalen Werkgenese auf die Animation umzulegen. Kapitel 4 führt zu einer grundlegenden Beschreibung der parametrischen, prozeduralen und generativen Animation und stellt die algorithmischen Eigenschaften des Filmes selbst dar. Nach eingehender Analyse von frühen Computeranimationen von John Whitney und John Stehura erfolgt die Diskussion von automatisiert ablaufenden Animationen die zu einer Entkopplung der Künstler\*innen von ihren Werken führen und so den Zufall wiederum in ihre Werke integriert. Darauf aufbauend erfolgt eine Analyse von Nikita Diakurs Kurzfilm *Ugly* [76], Mario Klingemanns aktuellen Arbeiten und den nichtintentionalen Methoden im Thesis Project *Obscure*. Abschließend versucht ein Kapitel 5 einen Ausblick in zukünftige Technologien und die mögliche weitere Entwicklung des Zufalls in der Animation abzubilden.

## Kapitel 2

# Zufall, Wahrscheinlichkeit und Notwendigkeit

Zufall und Wahrscheinlichkeit finden in unserem Sprachgebrauch eine rege Verwendung. Der Gebrauch der Begriffe unterscheidet sich allerdings stark von deren analytischer und technischer Benutzung. Diese Diskrepanz ist speziell im künstlerischen und technischen Kontext durchaus bedeutsam. Die Begriffe finden ihren Ursprung teilweise in der Stochastik, aber auch, wie eingangs bereits erwähnt, in der Philosophie und Psychologie. Dabei soll hier ein kurzer Abriss und Verweis auf die verschiedenen Konzepte des Zufalls geliefert werden, um die relevanten Bereiche zu sammeln und mit Beispielen zu versehen.

### 2.1 Zufall

Bereits um 450 vor Christus hat sich der griechische Philosoph Leukipp mit der Frage von Zufall und Notwendigkeit beschäftigt. Dabei postulierte er das nach ihm benannte Kausalgesetz [18, S. 56]:

Kein Ding entsteht planlos, sondern aus Sinn und unter Notwendigkeit.

Diese Erste, wenn auch indirekte, Erwähnung des Zufalls findet auch heute noch Bemerkung. Aber auch viele Jahrhunderte später setzten sich Philosoph\*innen nach wie vor, wenn auch teilweise widersprüchlich, mit den Eigenschaften des Zufalls und der Notwendigkeit auseinander. So auch Imanuel Kant und Arthur Schopenhauer.

Kant beschäftigte sich dabei in seiner *Kritik der reinen Vernunft* [15] unter anderem mit dem Zufall und der Theorie des Freien Willens [15, S. 564]. Er schreibt etwa, dass das Zufällige nur unter Bedingung eines anderen existieren könne, und dies notwendigerweise so sein müsse [15, S. 561]. Kant sieht also auch den Zufall immer durch eine kausale Kette bedingt. Schopenhauer, obwohl er sich selbst als Schüler Kants sah, war mitunter einer der heftigsten Kritiker Kants, besonders auch auf die Thematik des Zufalls bezogen. Er ging dabei sogar so weit Kant nahezulegen, dass er Zufall und Notwendigkeit miteinander verwechselt habe. Schopenhauer war demnach der Meinung, dass die Zufälligkeit das kontradiktorische Gegenteil der Notwendigkeit darstellt [28, S. 539]. Er begründet dies damit, dass etwas notwendig ist, wenn es auf etwas folgt, also

aus einem Grund besteht. Wenn nunmehr das Zufällige aus einem nicht nachvollziehbaren Grund entsteht, so bedingt dies den Gegensatz. Gleichzeitig beschreibt er aber dennoch, dass sowohl absoluter Zufall als auch Notwendigkeit nicht möglich sind [28, S. 541]. Tschauscheff hat sich dabei speziell mit den Differenzen der beiden Philosophen auseinandergesetzt. Schopenhauer bezeichnet Tschauscheff zufolge zufällig, *was nach Kant ein Nonsens wäre, eine Succession von Begebenheiten, die in keinem Kausalnexus zueinander stehen* [34, S. 42]. Wie man also erkennt, ist die Thematik durchaus brisant, denn auch heute ist das Verhältnis dieser beiden Konzepte zueinander noch Gegenstand der Diskussion. Abseits der Philosophie wird vor allem in der Quantenmechanik diskutiert, ob die dort beobachtbaren Phänomene als sogenannter objektiver Zufall, also echter Zufall der ohne kausalen Zusammenhang entsteht, betrachtet werden können [16].

### 2.1.1 Arten des Zufalls

Grundsätzlich können jedoch verschiedene Arten des Zufalls unterschieden werden, die unter unterschiedlichen Bedingungen entstehen können. Diese Unterscheidung dient für die weitere Betrachtung der Thematik als Grundlage und erfolgt dabei in die folgenden Punkte.

#### Objektiver Zufall

Als objektiven Zufall bezeichnet man ein Ereignis für das es objektiv keine Ursache gibt und das rational nicht erklärbar ist. Das heißt, dass keine in der Vergangenheit liegende Handlung das betreffende Ereignis ausgelöst haben darf. Das Gegenteil dazu wird als kausales Ereignis bezeichnet. Der objektive Zufall bildet dabei die Grundlage des Indeterminismus [16, S. 19f.]. Der objektive Zufall gilt dabei aufgrund der Tatsache der rationalen Nichterklärbarkeit als nicht nachweisbar [7, S. 46]. Verschiedene Theorien beschäftigen sich jedoch mit der Möglichkeit des objektiven Zufalls in der Quantenmechanik.

#### Ereignis ohne erkennbare Ursache

Dabei handelt es sich um Ereignisse deren Kausalketten zwar miteinander verknüpft, aber nicht lückenlos nachgewiesen werden können. So kann etwa die Halbwertszeit des Zerfalls von radioaktivem Material bestimmt werden, allerdings kann man nicht vorhersagen warum bestimmte Kerne zuerst zerfallen [12, 106].

#### Empirisch-pragmatischer Zufall

Der Würfelwurf mit einem idealen Würfel kann als empirisch-pragmatischer Zufall bezeichnet werden. Theoretisch sind zwar alle möglichen Einflussfaktoren die zum Ergebnis führen bekannt, allerdings können diese nicht gemessen werden. Der Endzustand ist daher unbestimmt. Dies wird auch als Laplacescher Dämon bezeichnet [7, S. 44].

#### Ereignisse ohne Zusammenhang

Als zufällig werden ebenso Ereignisse bezeichnet, die keinen (bekannten) Zusammenhang haben. Beispielsweise kann das Schlagen der Kirchenglocken in Wien keinen Ver-

kehrsunfall in New York hervorrufen. Treten beide Ereignisse zum selben Zeitpunkt ein bezeichnet man dies als gemeinhin als zufällig bzw. nicht kausal verknüpft [92].

### 2.1.2 Kausalität

Allen diesen Fällen liegt die Gemeinsamkeit des Fehlens einer vollständig geschlossenen Kausalkette zugrunde. Es ist somit keine Ursache für ein Ereignis feststellbar, erkennbar oder vorhanden. Die verschiedensten Bereiche der Wissenschaft beschäftigen sich dabei mit der Kausalität, da es sich dabei um ein Paradoxon zu handeln scheint. So setzt sich die Philosophie etwa mit der Theorie des Zufalls und ob dieser tatsächlich existiert grundsätzlich auseinander. Die Kunst hingegen versucht den Zufall auf breiter Basis mit den verschiedensten Methoden zu diskutieren. Sowohl die Überlegungen aus der Philosophie als auch die Diskussion der Position der Künstler\*innen und Rezipient\*innen werden unter anderen mit dem Bruch von Kausalketten betrachtet. Die Mathematik hingegen versucht den Zufall statistisch und mathematisch zu beschreiben, deswegen sei zunächst die Eingrenzung eines zufälligen Ereignisses diskutiert, um eine Basis für die weitere Diskussion zu schaffen.

### 2.1.3 Die Unvorhersehbarkeit eines Ereignisses nach von Mises

Der österreichische Mathematiker und Statistiker von Mises hat sich 1919 als Erster mit Wahrscheinlichkeitstheorie basierend auf statistischen Auswertungen beschäftigt und das Verhalten von zufälligen Ereignissen mathematisch zu beschreiben. Für die einfache Darstellung wird dazu eine Zahlenfolge als Beispiel herangezogen. Von Mises war dabei der Überzeugung, dass die Zufälligkeit einer Folge eine statistische Eigenschaft sein muss [87]. Dabei folgt er zwei verschiedenen Methoden. Erstens verfolgt er das Prinzip der statistischen Stabilisierung, welche beschreibt, dass die Wahrscheinlichkeit aller möglichen auftretenden Elemente einer Sequenz in etwa gleich sein muss, wobei die Gleichverteilung bei Erhöhung der Anzahl der Ziffern steigt. Die Frequenzen der unterschiedlichen Elemente müssen dementsprechend gleich groß sein. Zweitens muss das Prinzip der Zufälligkeit erfüllt sein. So kann etwa die Sequenz  $x=(0,1,0,1,0,1,0,\dots)$  nicht herangezogen werden, obwohl diese gleich-verteilt ist, weil diese ganz offensichtlich einer zugrunde liegenden Regel entspricht. Kern seiner Aussage ist, dass sich ein zufälliges Ereignis nicht voraussagen lassen darf. Somit darf eine zufällige Zahlenfolge auch nicht auf den Eigenschaften oder ausschließlich den Positionen der möglichen Elemente beruhen. So darf etwa eine zufällige Sequenz nicht aus Subsequenzen anderer Folgen passieren, wie Khrennikov ebenfalls darstellt [16, S. 5]. Als mögliche Lösung schlägt er daher vor, nach x-gleich bleibenden Ziffern, die an der um x Stellen verschobene Ziffer zu wählen, und mit dieser den Prozess neu zu starten und so eine Unregelmäßigkeit zu gewährleisten. Zieht man zur Betrachtung ein Glücksspiel heran, dessen Ausgang in jeder Runde kausal unabhängig von der vorangegangenen Runde ist, so kann es dazu kein Spielsystem geben. So ist etwa bei aufeinanderfolgenden Münzwürfen der aktuelle unabhängig von dem vorangegangenen. Ein Spielsystem verlangt per Definition, dass es die Frequenzen zugunsten eines möglichen Ergebnisses verschiebt. Bei echt zufälligen Abläufen gilt dies als unmöglich, da kein kausaler Zusammenhang zur Vergangenheit besteht, weswegen von Mises das System als Prinzip des ausgeschlossenen Spielprinzips bezeichnet. Von Mises Zufälligkeitsprinzip wurde aber schon bald als unzureichend an-

gesehen, da sie bei der Anwendung auf große Zahlenräume nicht genügt. Demzufolge wurde von Mises Prinzip um neuen Theorien erweitert [87].

#### 2.1.4 Die Typentheorie nach Martin-Löfs

Als weiteres mögliches Kriterium gilt die Einschränkung nach der Typentheorie nach Martin-Löfs. Er schlägt vor, die Zufälligkeit einer Folge mit Hilfe von rekursiven, algorithmischen Tests zu überprüfen. Dabei wird versucht mittels statistischer Signifikanz nachzuweisen, dass die geprüften Folgen zufällig sind [87]. Von Mises zufolge darf aber keine zufällige Folge berechenbar sein, weshalb nicht nachgewiesen werden kann, dass eine Folge zufällig ist. Vielmehr kann nur nachgewiesen werden, dass sie einer nicht zufälligen Folge nicht entspricht. Demzufolge können also zufällige Sequenzen nach Martin-Löfs nicht nachgewiesen werden [16, S. 5].

#### 2.1.5 Die Kolmogorov-Komplexität

Die Kolmogorov-Komplexität besagt dabei, dass eine absolut zufällige Sequenz nicht weiter reduziert werden kann, d.h. die kürzeste algorithmische Beschreibung der Folge ist diese selbst. Die gesuchte Sequenz kann also von keinem Programm weiter komprimiert werden. Diese Aussage baut dabei auf dem Prinzip der Musterlosigkeit bzw. der Unordnung einer Folge auf. Wie zuvor argumentiert, darf eine zufällige Folge nicht auf vordefinierten statistischen Mustern aufbauen, ebenso dürfen sich diese nicht auf die Elemente der Folge selbst beziehen. Nun ist aber ein Algorithmus per Definition die Befolgung einer detaillierten sequenziellen Anleitung von Befehlen, die ausgeführt werden. Selbst bei der höchstmöglichen Komplexität eines Algorithmus für diese dennoch zu einer feststellbaren Periodizität der Folge was wieder bedeutet, dass es sich dabei um keine zufällige Folge handeln kann. Insofern kann die gesuchte Sequenz von keinem Algorithmus abgebildet, also nicht komprimiert oder verkürzt werden. Dementsprechend besagt die Kolmogorov-Komplexität, dass eine echt zufällige Folge nur durch sich selbst abgebildet werden kann.

## 2.2 Indeterminismus

Die Unvorhersehbarkeit wurde bereits zu Zeiten Aristoteles als Grundlage für ein zufälliges Ereignis benannt [1, S. 38–41].

Unbestimmbar nun müssen die Ursachen sein, durch die das Zufällige geschehen mag.

Auch Claus Grupen schreibt in *Die Künste des Zufalls* ähnlich über die Ableitbarkeit eines zufälligen Ereignisses [13, S. 15]:

Lässt sich ein individuelles Ereignis nicht aus seiner Vorgeschichte ableiten, so nennt man dieses Ereignis zufällig.

Anders formuliert, bezeichnet also ein zufälliges Ereignis, eines, das sich nicht aus seiner Vergangenheit ableiten lässt, somit Ereignisse die indeterministisch sind. Die wichtigste Feststellung hierbei ist, dass sich zufällige Ereignisse nicht vorhersagen lassen,

bevor sie eingetreten sind und kein feststellbarer, kausaler Zusammenhang zu jeglichen zuvor passierten Ereignissen besteht. Dies wird von Philosophen als auch Mathematikern als Voraussetzung angesehen. So können etwa komplexe Systeme als indeterministisch bezeichnet werden. Diese werden im Feld der Systemtheorie und der Komplexitätstheorie, die sich speziell mit der algorithmischen Komplexität beschäftigt, behandelt. Komplexe Systeme bestehen allgemein aus einer großen Anzahl von verschiedenen Elementen die auf ähnliche und umliegende Elemente und auch sich selbst einwirken [10, 97, S.5, S.4]. Betrachtet man etwa ein einfaches Zwei-Körper-Problem, so kann die Endposition von beiden Körpern zu jeder Zeit einfach über lineare Gleichungen bestimmt werden. Fügt man diesem System jedoch einen dritten Körper hinzu, ändert sich das Verhalten des gesamten Systems signifikant, wenn die Ausgangsbedingungen nur minimal verändert werden [97] und man spricht dann von einem komplexen System. Dabei ist wichtig festzuhalten, dass komplexe Systeme von komplizierten Systemen zu unterscheiden sind. Denn komplizierte Systeme mögen umgangssprachlich zunächst komplex wirken, wenn jedoch die Änderungen der Bedingungen zu direkt voraussehbaren Ergebnissen führen, können diese nicht als komplex bezeichnet werden. Systeme deren Entwicklung auf diese minimalen Änderungen, über die zeitliche Komponente betrachtet, ein unvorhersehbares Verhalten hervorrufen, werden auch als chaotische Systeme bezeichnet. Galanter erörtert diesbezüglich, dass diese chaotischen Systeme allerdings von zufälligen zu unterscheiden sind, da diese zwar schwer vorherzusagen sind, sich aber generelle nach eine ihr zugrunde liegenden Struktur verhalten [10, S. 5]. Insbesondere in der Generativen Kunst sei diesem Unterschiede laut Galanter besonderer Bemerkung zu schenken. Dem ist entgegenzuhalten, dass vor allem in der digitalen Kunst eben kein echt zufälliges Verhalten erwünscht ist, sondern ein gewisses Maß an Kontrolle von den Künstler\*innen verlangt wird. Oft dient die Randomisierung von Inhalten dazu die Zusammenhänge vor den Rezipient\*innen zu verstecken. Betrachtet man die Dinge allerdings streng nach deren Definition, ist Galanter in diesem Punkt durchaus zuzustimmen.

### 2.3 Der Zufall am Beispiel des Würfelwurfs

Als sicherlich klassischstes Beispiel für den Zufall kann der Würfelwurf genannt werden. Grundsätzlich bestünde dabei zwar die theoretische Möglichkeit den Ausgang eines Würfelwurfes zu berechnen, dazu müssten aber sämtliche Faktoren, wie Wind, Reibungswert der Tischoberfläche, oder auch Ungleichmäßigkeit des Würfels zu jedem Zeitpunkt des Wurfes bekannt sein [16, S. 20]. Bei einem Würfelwurf handelt es sich nach der Systemtheorie der komplexen Systeme eben um ein solches komplexes System, da es eine Vielzahl unterschiedlicher Variablen gibt die zum Endergebnis des Würfelwurfes beitragen [108, Punkt 6]. Da bei dem Würfelwurf allerdings jede noch so kleine Änderung der Anfangsbedingungen zu einem vollständig unterschiedlichen Ergebnis führt, kann dieses zusätzlich als chaotisch bezeichnet werden, da die theoretische Berechnung zwar möglich wäre, praktisch aber nicht zu vollziehen ist [16, S. 20]. Ein ähnliches, komplexes System ist etwa das globale Wettersystem, wie von Galanter beschrieben [10, S. 4].

Alleine diese zugegebenermaßen vereinfachte, theoretische Überlegung macht schnell klar, dass solche komplexen Systeme, nur schwer berechnet werden können, da vor allem die Präzision der Messung eines solchen Systems problematisch ist, wie auch Khrennikov anmerkt [16, S. 20]. Stattdessen kann etwa wie in der Meteorologie nur eine Wahrschein-

lichkeit angegeben werden, dass dieses oder jenes Ereignis eintritt. Das bedeutet aber auch, dass der Würfelwurf vom Ausgangszustand unabhängig ist, da die Veränderung der Anfangsbedingungen keine Rückschlüsse auf das Ergebnis zulässt. Daher kann man also, wie gemeinhin akzeptiert, behaupten, dass der Wurf auf jede Seite des Würfels gleich wahrscheinlich ist. Wenn nun ein Rückschluss nicht möglich ist und die Kausalkette unterbrochen ist, wird der Vorgang indeterministisch genannt oder auch als objektiver Zufall bezeichnet [38, S. 22]. Wirklich möglich ist dieser zwar nur in der Quantenmechanik, für die künstlerische Betrachtung reicht dies aber vollständig. Im Gegensatz dazu ändert sich die Situation signifikant, wenn der Würfel auf jeder Seite die gleiche Anzahl von Augen trägt. Nunmehr reduziert sich die mögliche Menge von Ergebnissen logischerweise auf genau eine. Dies bedeutet abgeleitet, dass die Kausalkette wiederhergestellt ist, und das Ergebnis vorherbestimmt, also determiniert ist. Sozusagen ist demnach das zu erwartende Ergebnis auch notwendig, da keine andere Möglichkeit mehr bleibt [7, S. 34 ff.].

Zufall existiert folglich nur, wenn es mehrere mögliche Resultate gibt. Coy formuliert weiter, „Mathematisch gesehen, wird Zufall [...] zur Wahrscheinlichkeit oder Unwahrscheinlichkeit eines Ereignisses.“ [7, S. 38]. Somit ist die Zufälligkeit eines Geschehnisses nicht die Wahrscheinlichkeit ihres Eintretens, sondern die Unwahrscheinlichkeit, wenn man so möchte. Denn, je größer die Menge der möglichen Ergebnisse ist, desto höher wird die Möglichkeit des Zufalls oder anders, wie von der Mathematik oder Wahrscheinlichkeitsrechnung formuliert, die Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer der Fälle sinkt. Dies bedeutet auch, dass die Notwendigkeit dem Zufall gegenübersteht und sozusagen über die Wahrscheinlichkeit differenziert wird, allerdings müssen die oben aufgeführten Darstellungen nach von Mises, Kolmogorov und Chaitin als bereits erfüllt gelten. Bezeichnet man nun eine Entscheidung als frei, als nicht von außenstehenden Ereignissen beeinflusst, so ist diese nach der Theorie des Kompatibilismus<sup>1</sup> ebenso wie der Würfelwurf mit unterschiedlicher Augenanzahl indeterminiert, also nicht vorherbestimmt.

## 2.4 Nichtdeterminismus

Der Indeterminismus ist in weiterer Folge auch vom Nichtdeterminismus zu unterscheiden. Beide Begriffe finden in Überlegungen zum Zufall allerdings Anwendung. Wie zuvor am Würfelbeispiel erklärt, bezeichnet der Indeterminismus die Unabhängigkeit des Resultates von der Ausgangssituation. Der Nichtdeterminismus bezeichnet hingegen die Möglichkeit, dass eine Funktion mehrere mögliche Ergebnisse annehmen kann. Das bedeutet, dass der Würfelwurf auch nichtdeterministisch ist, da dieser verschiedene Endzustände annehmen kann. Betrachtet man nun Computer die auf der Von-Neumann-Architektur<sup>2</sup> aufbauen, sogenannte Turing-Maschinen, also praktisch alle Verfügbaren, stellt man fest, dass diese per Definition einen streng deterministischen Ablauf ihrer Programme bedingen [21].

Diese Maschinen sind durch die folgenden vier Punkte definiert wie Trogemann schreibt [33, S. 348]:

---

<sup>1</sup>Determinismus und Indeterminismus schließen sich im Kompatibilismus nicht aus, sondern erlaubt die Theorie des freien Willens und des Determinismus gleichzeitig.

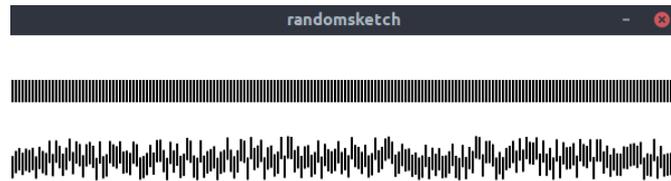
<sup>2</sup>Die Von-Neumann-Architektur bildet die Grundlage für praktisch alle modernen Computer.

1. Sie sind determiniert. Das Verhalten der Maschine ist eindeutig definiert und so gebaut, dass sie die Definition erfüllt.
2. Sie sind vergangenheitsunabhängig. Vorherige Eingaben haben keine Auswirkung auf die aktuelle Berechnung.
3. Sie sind analytisch bestimmbar. Das innerer Struktur kann durch Analyse der Ein- und Ausgaben festgestellt werden.
4. Sie sind voraussagbar. Eingaben sind wiederholbar und müssen zum immer selben Ergebnis führen.

Das bedeutet, dass jede möglich Eingabe in ein System, eine Abfolge von programmatischen Funktionen, genau eine mögliche Antwort haben muss. Aufgrund dieser Einschränkung ist es nicht möglich ein echt zufälliges Ergebnis auf einem handelsüblichen Computer zu erzeugen. Vergleicht man damit nun ein französisches Roulettespiel, mit seinen 37 möglichen Endzuständen, wird schnell klar, dass dies nicht über eine einfache einzelne Funktion darstellbar ist. Dies stellt die Computertechnik somit vor ein erhebliches Problem. Speziell im Hinblick auf Verschlüsselungstechnik sind diese Problematiken nicht ohne Weiteres auszuräumen, dies sei für diese Analyse aber außer acht gelassen, denn für die Wahrnehmung von Zufall reicht es wie zuvor erwähnt aus, das System als ausreichend komplex darzustellen.

#### 2.4.1 Algorithmische Komplexität

Die menschliche Wahrnehmung erlaubt es uns somit, speziell in der Kunst, quasi-zufällige Zustände zu erzeugen. Dabei gilt es zuerst abzuklären was unter der Komplexität eines Systems verstanden wird. Nunmehr wurde bereits festgestellt, dass die Kolmogorov-Komplexität den Grad des Zufalls einer Folge, bestimmt. Für die Berechnung der Kolmogorov-Komplexität, die auch als algorithmische Komplexität bezeichnet wird, gibt es jedoch kein Berechnungsverfahren [33, S. 350]. Galanter hat sich hierzu in seiner Definition zur generativen Kunst genau mit komplexen Systemen auseinandergesetzt [10, S. 4]. Werden nun also ausreichend verschiedene Funktionen in die Beschreibung des Systems eingegeben, kann der Anschein eines zufälligen Systems erzeugt werden. Dabei ist es aber äußerst wichtig, die komplexen Systeme von zufälligen Systemen klar zu unterscheiden. Wie Galanter postuliert, reicht es nicht einfach nur absolut zufällige Systeme zu erzeugen, sondern eine Art Equilibrium aus absolut zufälligen Systemen auf der einen und geordneten Systemen auf der anderen Seite herzustellen [10, S. 5]. Dabei beschreibt er, dass sowohl das Senden eines immer gleichen Signales, als Beispiel für ein absolut geordnetes System, als auch das Senden von absolut zufälligen Symbolen keine strukturelle Komplexität haben. Der Informationsgehalt eines immer gleichen Signals, etwa eines immer gleich bleibenden akustischen Signals ist Null. Wird stattdessen allerdings Rauschen übertragen, beinhaltet dieses zwar maximale Information, diese kann aber dennoch nicht entschlüsselt werden. Dieses Equilibrium bezeichnet Galanter als *effective complexity* [10, S. 5]. Im Regelfall möchte der Künstler dem Rezipienten eben etwas mitteilen und dies kann wie von Galanter dargestellt ohne strukturelle Komplexität nicht erfolgen.



**Abbildung 2.1:** Nicht-zufällige und zufällige Sequenz.



**Abbildung 2.2:** Bei zu starker Zufälligkeit geht Information verloren.

### 2.4.2 Grad des Zufalls

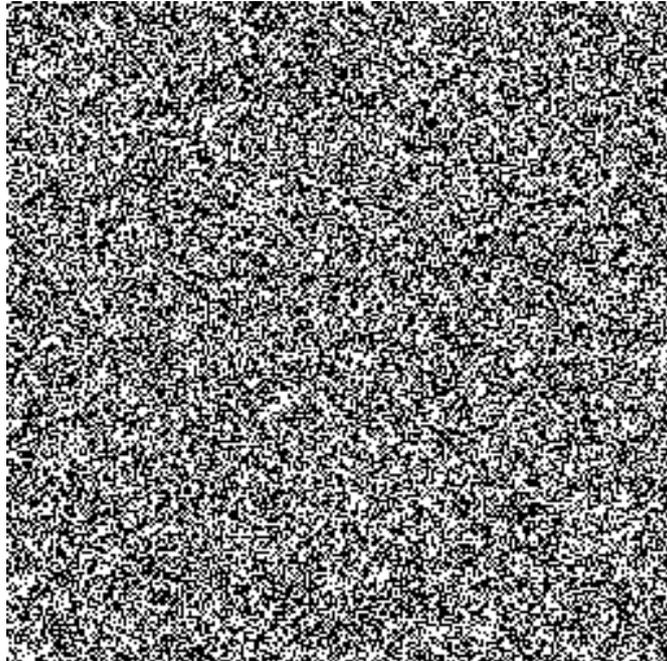
So kann also ein Grad des Zufalls bestimmt werden. Als anschauliches Beispiel sei dazu eine Folge von Linien betrachtet. Die erste Folge wird dabei unverändert abgebildet, in der zweiten Sequenz werden die Positionen der einzelnen Linien zufällig in ihrer Y-Achse verschoben. In Abbildung 2.1 lässt sich also erkennen, dass die zweite Folge zufälliger ist, als die erste, da ihre Ordnung durch die Verschiebung gestört wurde.

Folglich kann man behaupten, dass die zweite Folge mehr Information enthält als die Erste. Demnach könnte die Abweichung der Linien von ihrer Ausgangsposition einem Informationsgehalt zugeordnet werden. Würde man diese Linien einfärben könnte man den Informationsgrad des Bildes weiter erhöhen, obwohl dieses noch zufälliger würde. Verschiebt man diese Linien aber so weit, dass diese nicht mehr ihren Positionen zuzuordnen sind, so geht diese Information verloren, weil einzelne Linien nicht mehr erkennbar sind (siehe Abb. 2.2).

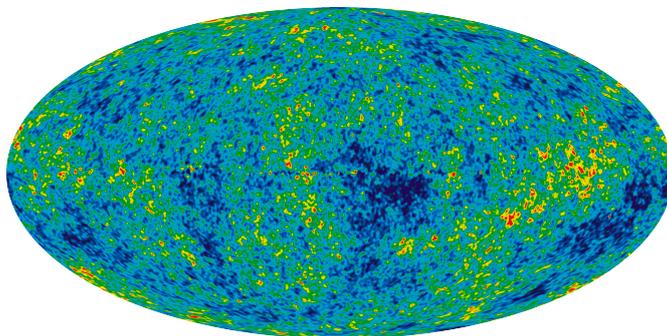
So ist also speziell im künstlerischen Kontext auf die Verwendung von zufälligen Algorithmen dahin gehend zu achten, als dass diese auch mit bedacht angewendet werden. An dieser Stelle sei erwähnt, dass in diesem Beispiel ein pseudo-zufälliger Algorithmus der Anwendung *Processing* verwendet wurde. Für die Veranschaulichung stellt dies allerdings keine Rolle dar. Als weiterer völliger Informationsverlust kann etwa auch Rauschen gelten. So enthält etwa ein Bild, dass auf der Grundlage von kosmischer Hintergrundstrahlung generiert wurde, keinerlei Information (siehe Abb. 2.3).

## 2.5 Rauschen

Rauschen wird in der physikalischen Definition als Überlagerung vieler verschiedener Wellen und Schwingungen mit unterschiedlicher Amplitude und Frequenz bezeichnet. Insbesondere natürlich auftretendes Rauschen kann dabei als echt zufällig interpretiert



**Abbildung 2.3:** Random, abgeleitet von der kosmischen Hintergrundstrahlung [66].



**Abbildung 2.4:** Temperaturschwankungen in der Hintergrundstrahlung [72].

werden [107]. Echtes Rauschen tritt dabei in elektronischen Halbleiter-Bauteilen, kosmischem Mikrowellenhintergrundstrahlung oder als die Anzahl der zerfallenden Teilchen von radioaktivem Material innerhalb einer Zeiteinheit auf (siehe Abb. 2.4). Alle genannten Phänomene werden als komplexe Systeme kategorisiert. So lässt sich etwa bestimmen, wie viele Teilchen circa zerfallen, jedoch nicht wie viele genau. Ebenso lässt sich das Rauschverhalten von Halbleiterbauteilen nicht bestimmen, da jedes Bauteil eine andere Anordnung der Teilchen besitzt, allerdings lässt sich ebenso voraussagen, dass es zu diesem Rauschverhalten kommt. Aufgrund dessen werden diese Eigenschaften verwendet um Zufallszahlen zu generieren, da die Systeme als ausreichend zufällig gelten (siehe Abb. 2.3).

## 2.6 Erzeugung des Zufalls

Da wie argumentiert die Verwendung von außenstehenden Phänomenen wieder kosmischen Hintergrundstrahlung Voraussetzung für die Erzeugung von echt zufälligen Zufallszahlen ist, muss bei der algorithmischen Erstellung von Zufallszahlen und in der weiteren Folge also von zufälligen Inhalten, auf die Generierung von sogenannten Pseudo-Zufallszahlen zurückgegriffen werden.

### 2.6.1 Pseudozufallszahlen

Nach Chaitin/Kolmogorov<sup>3</sup> lässt sich eine absolut zufällige Folge nicht mehr weiter reduzieren. Das bedeutet, dass die kürzeste Beschreibung einer solche Folge sie selbst ist [16, S. 10]. Da dies naturgemäß nicht besonders effizient ist, greift man in der Computertechnik auf sogenannte Pseudozufallsgeneratoren zurück. Als pseudozufällig werden somit alle nicht-linearen Funktionen beschrieben, die mithilfe eines Algorithmus eine scheinbar zufällige Folge erzeugen. Diese unterscheiden sich dabei wesentlich von echten, natürlichen Zufällen, da sie wie argumentiert aufgrund der Determiniertheit eines Algorithmus über deterministische Funktionen erzeugt werden müssen. Alternativ dazu können diese Algorithmen auf bereits vorkalkulierte Tabellen von Zufallszahlen zugreifen [90]. So wurde etwa vor der Trivialisierung der Erzeugung von Pseudozufallszahlen von der RAND Corporation 1955 das Buch *A Million Random Digits with 100,000 Normal Deviates* [6] veröffentlicht, das echt zufällige Zahlen enthält. Heute jedoch gilt die Generierung von Pseudozufallszahlen, die nicht im kryptografischen Sinne Verwendung finden als einfach. Als gutes Beispiel für einen simplen Zufallszahlengenerator gilt dabei der lineare Kongruenzgenerator [90, 33, S. 357]. Der große Unterschied zu echten Zufallsgeneratoren besteht darin, dass diese deterministisch sind, somit berechnet werden können. Sie bieten demnach auch die Möglichkeit, ihre Ergebnisse mit den gleichen Eingaben zu reproduzieren. Eine weitere Eigenschaft von Pseudozufallszahlen ist, dass diese periodisch sind, sich also nach einer gewissen Anzahl von Ziffern wiederholen. Die besondere Schwierigkeit dabei besteht darin, dass die Funktionen möglichst unabhängig von ihren Eingabewerten sein sollten, damit die Zufälligkeit der Funktion gewährleistet ist. Weiters sollte die Periodizität so niedrig wie möglich sein, um die offensichtliche Wiederholung von Mustern oder Folgen zu vermeiden. Ziel bei der Generierung von Pseudozufallszahlen ist somit, dass diese den Bedingungen der echten Zufälligkeit möglichst nahekommen. Nicht zuletzt in grafischen Anwendungen ist außerdem nicht zu vergessen, die Pseudozufallszahlen sehr einfach und effizient generiert werden können.

### 2.6.2 Pseudozufallszahlen in der Anwendung

Um nun in der digitalen Animation Informationen an die Rezipient\*innen übertragen zu können und diese möglichst interessant zu gestalten, bietet sich der Einsatz dieser Pseudozufallszahlen an, um die von Galanter postulierte *effective complexity* zu erreichen [10, S. 5].

---

<sup>3</sup>Gregory Chaitin, ein US-amerikanischer Mathematiker und Philosoph und Andrei Nikolajewitsch Kolmogorow ein sowjetischer Mathematiker gelten als zwei der bedeutendsten Mathematiker des 20. Jahrhunderts.

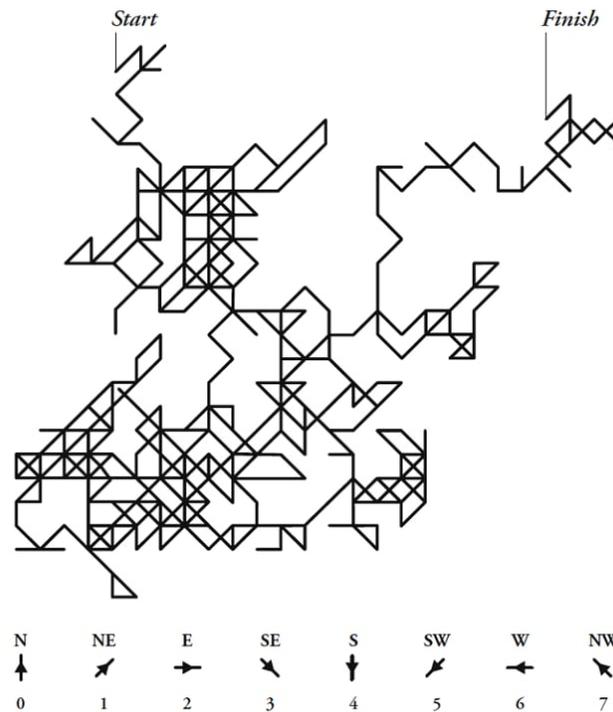


Abbildung 2.5: Random Walk, John Venn, 1888 [77].

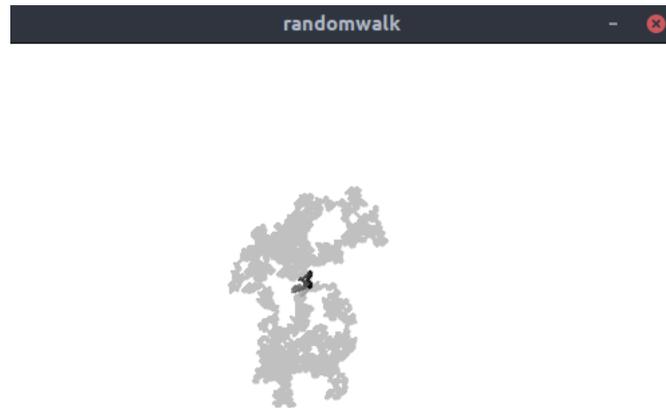
Die zunächst als einschränkend wahrgenommene Eigenschaft der Determiniertheit kann ebenso als positive Charakteristik verstanden werden. Somit können diese Funktionen gezielt zu der Generierung von Mustern oder Folgen verwendet werden oder diese Muster eben gezielt aufbrechen.

Oft wird dabei auch auf einen sogenannten *seed* zurückgegriffen um verschiedene Ausgangszustände zu simulieren [4, S. 142]. Diese Generatoren werden von vielen Künstler\*innen eingesetzt und sind mittlerweile gängige Methode in der Computergrafik. Dabei reicht die Verwendung dieser Algorithmen von der Variation einzelner Elemente bis hin zur Generierung von sämtlichen Inhalten gesamter Werke. Speziell aufgrund der Kontrollierbarkeit dieser Zufallszahlengeneratoren erfreuen sich diese besonderer Beliebtheit.

Ein klassisches Beispiel hierfür ist die Berechnung eines Random Walkers nach Karl Pearson, der auf einer Markow-Kette<sup>4</sup> basiert. Hierbei wird ein beliebiger Startpunkt auf einer zweidimensionalen Fläche gewählt. In jedem Zeitschritt, Bild oder Frame wird nun die neue Position, zufällig in eine der 4 Achsen, um eine Schrittlänge von Eins, bestimmt, wobei alle 4 Richtungen gleich wahrscheinlich sind. Zum nächsten Zeitpunkt beginnt der Prozess von Neuem. Interessanterweise wurde dieser Algorithmus, aber bereits lange vor der Erfindung des Computers das erste Mal verwendet und abgebildet. John Venn hat diesen das erste Mal im Jahr 1888 umgesetzt [4, S. 156ff.] (siehe Abb. 2.5).

Dabei wurde zur vermeintlich zufälligen Richtungswahl die Ziffernfolge der Nach-

<sup>4</sup>Eine Markow-Kette beschreibt einen stochastischen Prozess. Die Kette besagt, dass aufgrund der Kenntnis der Vorgeschichte eines Ablaufes auch die gesamte Zukunft bekannt ist.



**Abbildung 2.6:** Random Walk in Processing.

kommastellen der Zahl Pi verwendet. Demnach wurde in diesem konkreten Beispiel jeder Zahl von null bis sieben eine Richtung zugewiesen. Die Acht und Neun wurden dabei ignoriert und mit keiner Funktion versehen. Aufgrund der Verwendung der Kreiszahl muss man zwar behaupten, dass diese Grundlage eine nicht Zufällige ist, da diese berechnet werden kann und einer mathematischen Regel folgt. Diesem Argument sei aber die Reimplementierung des Beispiels als Processing-Sketch gegenübergestellt, bei dem der Einsatz von Pseudozufallszahlen erfolgt ist (siehe Abb. 2.6).

Stellt man nun die Überlegung an, dass echt zufällige Zahlen nach den Definitionen in Abschnitt 2.1.2 gleichverteilt sein müssen, würde dies in diesem Beispiel allerdings bedeuten, dass der Walker immer wieder zum Ausgangspunkt zurückkehren müsste bzw. sich nur um diesen herum bewegen dürfte. Daher ist in diesem Fall die Verwendung von Pseudozufallszahlen geradezu erwünscht.

## 2.7 Zufall und freier Wille

Spätestens seit Schopenhauer und Kant setzt sich auch die Philosophie mit dem Zufall auseinander. Bis heute gibt es zwar keinen Konsens zu der Thematik, aber gerade deswegen spielt das Verhältnis von Zufall und freiem Willen vielleicht die größte Rolle bei der Thematisierung des Zufalls in der Kunst. Diesbezüglich gibt es zwei Konzepte, denen zufolge der Lauf der Dinge vonstatten geht. Folglich vertritt der Determinismus die Position, dass der Lauf aller Dinge vorherbestimmt ist, unabänderlich und alleinig durch die kausale Folge von Ereignissen bedingt. Den Dingen wohne also eine besondere Kraft

inne, die den Lauf der Dinge bestimmt. Diese Theorie schließt demzufolge das Prinzip des freien Willens aus, da der freie Wille impliziert, dass Ereignisse bzw. Handlungen abänderlich sind. Weiters behauptet der Determinismus folglich auch, dass so etwas wie Zufall nicht existiert, da Dinge dann ja nicht vorherbestimmt wären. Dem gegenüber kann man als Vertreter\*in der Willensfreiheit behaupten, dass eine freie Entscheidung nicht von außen bestimmt ist. Das wiederum bedeutet, dass sie nicht von einer äußeren oder inneren Vorbedingung abhängt, sie ist also nicht determiniert. Demnach kann der freie Wille selbst also wieder als zufällig betrachtet werden. Nimmt man nun an, dass der freie Wille nicht möglich ist, bedeutet dies aber eine auf alle Zeiten vorherbestimmte Abfolge der Dinge. Somit würde man die Belanglosigkeit alles Tuns unterstreichen. Kant hingegen unterscheidet zwischen der Realität der Erscheinungen und der Realität der Dinge an sich. Er schreibt dazu [15, S. 564]:

Denn sind Erscheinungen Dinge an sich selbst, so ist Freiheit nicht zu retten. Als dann ist Natur die vollständige und an sich hinreichend bestimmende Ursache jeder Begebenheit [...] Wenn dagegen Erscheinungen für nichts mehr gelten, als sie in der That sind, nämlich nicht für Dinge an sich, sondern bloss Vorstellungen, die nach empirischen Gesetzen zusammenhängen, so müssen sie selbst noch Gründe haben, die nicht Erscheinungen sind. Eine solche intelligible Ursache aber wird in Ansehung ihrer Causalität nicht durch Erscheinungen bestimmt, obzwar ihre Wirkungen erscheinen und so durch andere Erscheinungen bestimmt werden können.

Er trennt die Realität somit in die der Erscheinungen, also wie die Dinge von den Menschen mit ihren Sinnen wahrgenommen werden und das *Ding an sich*, dass als einen intelligibler Gegenstand<sup>5</sup> verstanden wird. Er trennt die Betrachtungsweise demnach weiter auf und schlussfolgert [15, S. 564]:

Die Wirkung kann also in An-sehung ihrer intelligiblen Ursache als frei, und doch zugleich in Ansehung der Erscheinungen als Erfolg aus denselben nach der Nothwendigkeit der Natur angesehen werden;...

Er formuliert also, dass die Vorstellung der Dinge zwar dem freien Willen gerecht wird, die Erscheinung, also das Sichtbarwerden, deren Aussehen und Auftreten aber der Zufälligkeit unterzuordnen ist. Schopenhauer stimmt ihm dabei teilweise zu wenn er schreibt, dass Kants Unterscheidung zwischen dem *Ding an sich* und der Erscheinung zurückgeführt werden kann. Er argumentiert dazu [29, S. 237]:

Der [Gegensatz], zwischen der offenbaren Zufälligkeit aller Begebenheiten im individuellen Lebenslauf und ihrer moralischen Nothwendigkeit zur Gestaltung desselben, gemäß einer transeendenten Zweckmäßigkeit für das Individuum: – oder, in populärer Sprache, zwischen dem Naturlauf und der Vorsehung.

Somit wären Zufall und Freier Wille also miteinander vereinbar. Aber auch heute noch findet der Diskurs zu Zufall und freiem Willen weiter statt. So beschäftigten sich

---

<sup>5</sup>Gegenstände, die nur über den Verstand oder Intellekt erfasst werden können.

sowohl Michel Foucault als auch Gilles Deleuze mit der Thematik, wie Friedrich Balke in seinem Aufsatz in *Den Zufall denken*. [2] schreibt. Er bezeichnet dabei den Zufall als eine konstruktive Macht, die den Dingen innewohnt, wenn er schreibt das diese nicht hinzutritt [2, S. 53]. Diese Kraft sei aber nach Foucault keinem übergeordneten System oder einer Mechanik zuzuordnen. Vielmehr schlägt er vor den die Unterscheidung von Kausalität und Finalität, also dem Freien Willen und der Notwendigkeit zu vermeiden. Er sieht somit den Zufall ähnlich wie Deleuze und Foucault im Gegensatz zu Nietzsche, Kant und Schopenhauer als Serie von Ereignissen, als ein von ihm bezeichnetes *Wirrwarr unzähliger Ereignisse*, die den Dingen zustoßen, ohne das diese verschiedenen Abläufe in Kausalität zu einander stehen. Demnach bezeichnet er den Zufall also entsprechend der Definition eines komplexen Systems. Blake sieht dabei dennoch wie auch zuvor Schopenhauer sowie Kant Zufall und Notwendigkeit als gegenseitig bedingt an, da sich diese beiden Begriffe ergänzen, denn da wo kein Zufall ist kann auch keine Notwendigkeit sein [2, S. 57]. Deleuze zufolge „gibt es Denken nur als Unwillkürliches, als im Denken hervorgerufenen Zwang, der umso mehr absolute Notwendigkeit besitzt, als er einbruchartig aus dem Zufälligen der Welt entsteht.“. Folglich entsteht das Denken also unfrei, vom zufälligen bedingt, also von den äußeren Umständen abhängig.

Die Kunst versucht dabei, durch die Herbeiführung von Umständen die zur Diskussion der Zufälligkeit und demnach auch der des freien Willens führen anzuregen und somit die weitere Erörterung voranzutreiben. Insbesondere die Frage der Vorbestimmtheit der Dinge bringt immer wieder Künstler\*innen dazu, sich intensiv mit der Thematik des Zufalls auseinanderzusetzen. Über literarische, bildhauerische, auditive und nicht zuletzt filmische Werke beschäftigen sich Künstler aller Gruppen mit dem Zufall. Gene Youngblood beschreibt die Künstler\*innen diesbezüglich folgerichtig als *Design Scientist* [37, S. 70], die ebenso wie Wissenschaftler versuchen das Verhältnis zwischen den Menschen und seiner Umgebung zu beschreiben und somit versuchen das *inarticulate conscious* nach Wittgenstein auszuformulieren. Die Frage des Zufalls scheint sich ebenfalls im Rahmen dieses *inarticulate conscious* zu bewegen, wenn man versucht dieses zu definieren. Über die Erzeugung von spezifischen Situationen, die zunächst absurd zu sein scheinen, das Zurückgreifen auf zufällige Erstellungsmechanismen, die inhaltliche Auseinandersetzung mit dem Lauf der Dinge oder auch die Darstellung von verschiedensten Variationen wird in der Kunst jedoch versucht sich dem Zufall der *inarticulate conscious* anzunähern.

## Kapitel 3

# Zufall in der Kunst abseits des Computers

Um nun eine Untersuchung des Zufalls in der Kunst vornehmen zu können, muss zuerst ein Analysemodell definiert werden. In den folgenden beiden Unterkapiteln wird aus diesem Grund zunächst die Geschichte des Zufalls in der Kunst erörtert und in weiterer Folge das Prinzip der Aleatorik und das Modell der nichtintentionalen Werkgenese nach Friedrich Schulze erläutert. Nachfolgend werden diese Modelle auf die bildende Kunst angewendet und später auf die Animation erweitert.

### 3.1 Zeichensysteme in der Anwendung

Bereits in der Antike hat der Zufall die Menschheit beschäftigt, wie etwa die Erwähnung der Göttin Tyche, der Göttin des Schicksals, des Glücks und der Fügung zeigt. So erwähnte auch der Dichter Homer bereits 850 vor Christus den Zufall in seinem Werk *Illias* als entscheidendes Element [4, S. 28]. Auf solche narrativen Zufallselemente soll bei dieser Analyse allerdings nicht weiter eingegangen werden. Vielmehr soll die Rolle des Zufalls bei der Entstehung eines Werkes bzw. bei der Verwendung als Konzept eines Werkes untersucht werden.

Weitere Anwendung findet der Zufall im *I Ging*, dem sogenannten Buch der Wandlungen bei dem es sich um eine Art Orakel handelt, dass in der chinesischen Gesellschaft bis heute in Verwendung ist [4, S. 36] und auch in der Kunst, so etwa von John Cage, mehrmals aufgegriffen wurde. Die Fertigstellung des *I Ging* wird Konfuzius im 5. oder 6. Jahrhundert vor Christus zugeschrieben, frühe Teile des Systems können aber bis in das dritte Jahrtausend vor Christus zurückverfolgt werden. Das *I Ging* besteht dabei aus 64 Hexagrammen, die gemeinsam als Zeichensystem verwendet werden um Entscheidungen zu treffen. Die Hexagramme bestehen jeweils aus 6 Linien, die in zwei verschiedenen Arten, also als durchgezogene oder unterbrochene Linie, auftreten können. Durch die Kombination von offenen und geschlossenen Linien sowie der Variation ihrer Position ergeben sich nunmehr 64 mögliche Zeichen (siehe Abb. 3.1). Bei der Verwendung des *I Ging* als Orakel bzw. als Entscheidungshilfe wird anhand von mehreren Münzwürfen und den zuvor getroffenen Vorhersagen somit ein Hexagramm aus offenen und geschlossenen Linien zusammengesetzt. Die Reihenfolge bestimmt dabei die entsprechende Form des Zeichens. Jedem der 64 möglichen Zeichen wird dabei eine besondere Bedeutung zugeschrieben, die aber bei der Verwendung als künstlerisches Element nicht

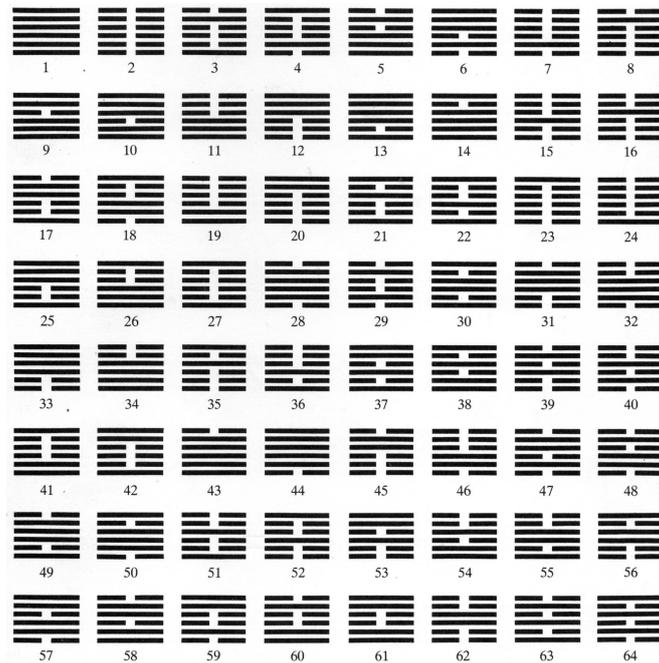


Abbildung 3.1: Die 64 möglichen Zustände des I Ging Systems [56].

immer berücksichtigt wurde, bzw. wurden den Zeichen neue Bedeutungen zugetragen. Das System wird außerdem als eines der ersten Dual- bzw. Binärsysteme der Menschheit bezeichnet. Das sicherlich bekannteste Beispiel der Nutzung dieses Systems in der Neuzeit wird John Cage zugeschrieben, der 1951 seine *Music of Changes* [41] auf fast vollständig auf dem *I Ging* aufgebaut hat.

### 3.2 Die Ästhetik des Zufälligen

Weitere Erwähnung fand der Zufall auch durch Leonardo DaVinci, der im *Traktat von der Malerei* [8] dazu, anriet in den zufälligen Mustern der Natur nach Inspiration zu suchen. Er beschrieb dabei, dass er in von Wasserflecken durchweichten Wänden Muster für Landschaften, Flüsse oder Gestein erkennen konnte [8, S. 385]. DaVinci schreibt dem Zufall damit ästhetische Relevanz bei der künstlerischen Gestaltung zu. Diese Art der Inspiration findet heute sowohl in den verschiedensten Bereichen der Gestaltung, wie etwa der Architektur oder dem 3D-Design aber ebenso in der Animation rege Verwendung. Die Künstler\*innen suchen dabei gezielt in zunächst scheinbar nicht verbundenen Gegenständen nach interessanten Eigenschaften und übertragen diese auf das Zielobjekt. Auch bestehende Computeralgorithmen zur Erstellung von Rauschverhalten orientieren sich auf diese Weise in vielen Fällen an natürlichen Phänomenen und versuchen diese nachzubilden (siehe Abschnitt 4.6.3).

Mehrere Hundert Jahre später (1759–1785) schlug auch der Maler Alexander Cozens eine ähnliche Vorgangsweise bei der Erstellung von Landschaftsgemälden vor. Er suggeriert dem Maler dabei spontane, fleckenartige Schnellskizzen mit Tusche anzufertigen,



**Abbildung 3.2:** Thumbnail Sketches zur Kompositionsfindung [59].

um so schnell und unbewusst eine Grundlage für detaillierte Landschaften zu erzeugen wie Rosenberg schreibt [25]. Diese Technik wird heute vor allem bei der Konzeption von Bildinhalten in der Filmindustrie eingesetzt, um schnell eine Vielzahl von Variationen zu erhalten (siehe Abb. 3.2). Cozens bezeichnet die Technik als *Blots* das dem französische Äquivalent *tache* entspricht. In den 1940er Jahren hat sich in weiterer Folge unter der Bezeichnung des Tachismus eine Form der abstrakten Malerei entwickelt, die sich eben dieser unbewussten, zufälligen Zeichentechnik widmet und Cozens Grundsätze verfolgt. In etwa zur selben Zeit wie Cozens hat sich Wolfgang Amadeus Mozart ebenso mit dem Zufall beschäftigt. So impliziert sein *musikalisches Würfelspiel*, dass sich aus 176 Takten Musik zusammensetzt, von denen sechzehn dieser Takte anhand von Würfelwürfen ausgewählt werden, einen zufälligen Faktor. Die gewählten Takte werden in weiterer Folge in der gewürfelten Reihenfolge am Klavier vorgetragen, wonach sich eine Vielzahl von verschiedenen Möglichkeiten des Musikstücks ergibt. Ziel Mozarts war es dabei dem Laien das Komponieren von Musik einfach, mit der Hilfe von zwei Würfeln, zu ermöglichen [91]. Allerdings wird auch vermutet, dass Mozart selbst diese Technik verwendet hat, um seine Kompositionen weiterzuentwickeln. Um dieses Prinzip zu beschreiben, wurde in den Musikwissenschaften der Begriff der aleatorischen Musik eingeführt, der in weiterer Folge auch auf Literatur und Kunst übertragen wurde.

### 3.3 Aleatorik

Die Aleatorik findet ihre erste Erwähnung mit Werner Meyer-Eppler, der den Begriff das erste Mal auf Musiktechnik und Signalverarbeitung angewendet hat [30, S. 99]. Er spricht dabei von elektroakustischen Signalen, die im Einzelnen vom Zufall abhängen. Grundsätzlich kann die Aleatorik aber dahin gehend beschrieben werden, als dass bei einem aleatorischen Werk, der Einfluss der Künstler\*innen auf das vollendete Stück so gering wie möglich ist [84]. Ziel ist es somit möglichst nicht-intentionale Werke zu erstellen. Dies kann einerseits wie oben beschrieben durch Würfeltechniken oder durch algorithmische Vorgaben an die Rezipient\*innen oder Künstler\*innen erfolgen. Andererseits besteht die Möglichkeit ausreichend komplexe Systeme zu erschaffen, die das Kunstwerk erzeugen, antreiben bzw. aus denen dieses besteht. Die Algorithmen müssen aber keineswegs von einem Computer ausgeführt werden, vielmehr gehen die ersten



Abbildung 3.3: Stockhausen Notation von Klavierstück XI [70].

Erwähnungen von aleatorischen Musikstücken auf christliche Mönche des Mittelalters zurück. Pierre Boulez übertrug den Begriff 1957 schließlich auf die Musikkomposition, in dem er schrieb, dass *in verschiedenen Stadien, auf unterschiedlichen Ebenen der Komposition „Chancen“ eintreten können* [101]. Unter „Chancen“ versteht man dabei wiederum den zufälligen Eingriff in die Generierung des Werkes, was zum einem indeterminierten Endprodukt führt.

### 3.3.1 Das aleatorische Prinzip in der Musik

Der Begriff der Aleatorik wurde vor allem in den 1950er Jahren von John Cage und seinen aleatorischen Kompositionen wie etwa der *Music of Changes* [41] sowie durch Karlheinz Stockhausens *Klavierstück XI* [71] geprägt. John Cages Musikstück baut vollständig auf das *I Ging*-Orakel und die dazugehörigen Münzwürfe auf, welches sowohl auf Takt, Tonhöhe, Klangfarbe als auch Dauer angewendet wird. Dabei wird die Komposition bereits vor dem Abspielen des Stückes festgelegt. Stockhausen hingegen verfolgt das Konzept die Entscheidung den Pianist\*innen selbst zu überlassen, indem die Notation unstrukturiert auf dem Papier platziert wird (siehe Abb. 3.3). Somit kann dem Stück ebenso eine Nichtintentionalität zugesprochen werden, da die Entscheidung zu den Pianist\*innen übergeht und diese aus dem Affekt handeln.

Das aleatorische Prinzip kann ebenso über John Cages *4'33"* [40] oder *Roaratorio* [42] oder gestülpt werden. Bei *4'33"* handelt es sich um ein Musikstück, das aus vier Minuten und 33 Sekunden Stille besteht, was dazu führt, dass die Rezipient\*innen unruhig werden und selbst Geräusche, wie etwa Husten oder leises Tuscheln von sich geben und somit ungewollt zu den Akteuren des Stückes verkommen. Die Nichtintentionalität des Werkes entsteht also somit ebenfalls erst bei der Aufführung des Stückes an sich und die Position des Künstlers ist soweit reduziert wie es möglich scheint, in dem er sozusagen nichts tut. Die Unfreiwilligkeit des Publikums an dem Stück mitzuwirken regt dieses durch die unübliche Situation zum Denken an und erfordert eine Auseinandersetzung mit der Rhythmik des Alltags und der menschlichen Geräusche, die aus einem komplexen System, also den einzelnen Personen im Hörsaal, die zum Gesamtwerk beitragen an. Gleichermäßen nimmt Cage den Zuschauern aber auch die Möglichkeit nicht an dem Werk beizutragen, weil selbst das Verlassen des Raumes Geräusche mit sich

bringt, oder absolutes still sitzen eben keinen Ton von sich gibt. Auf gewisse Art und Weise entzieht er dem Publikum also deren freien Willen nicht an etwas teilnehmen zu können, obwohl üblicherweise alle Teilnehmer\*innen freiwillig an der Aufführung teilnehmen. Demzufolge könnte man diese Unfreiwilligkeit als Notwendigkeit bezeichnen. Das Musikstück ist aufgrund der Teilnahme des Publikums aber jedenfalls als indeterminiert anzusehen, da es bei jeder Aufführung wieder neu geschrieben wird. Nun könnte man behaupten, dass dies bei allen aufgeführten Musikstücken der Fall wäre, da diese von minimalen Abweichungen geprägt sind, allerdings ist dem entgegenzustellen, dass das Konzept von *4'33"* gerade darin besteht diese Unterschiede zu erzeugen bzw. die Gesamtkomposition vom Publikum ausgeht. Betrachtet man nun Cages späteres Werk *Roaratorio* kann man Parallelen erkennen, wobei er hier das Publikum wieder aus der Verantwortung nimmt. Er bedient sich dabei James Joyces *Finnigans Wake* [14], welches er auf Tonbändern aufgenommen hat. Weiters liess er zwischen 4000 und 5000 akustische Phänomene aufnehmen, die Joyce in seinen Texten erwähnte. Zusätzlich nahm er weitere 626 Audiosamples auf, die sich auf die 626 Seiten von *Finnigans Wake* beziehen [30, S. 94]. Durch die erneute Anwendung des *I Ging*-Orakels ergaben sich schlussendlich 64 Tonspurvarianten in der Endabmischung. In diesen werden die verschiedenen Tonaufnahmen wiederum scheinbar zufällig ineinander überblendet, verlangsamt oder schneller abgespielt. Somit ist also wiederum eine Nichtintentionalität durch einen ausstehenden Faktor, den des *I Ging* gegeben.

### 3.3.2 Die nichtintentionale Werkgenese

Friedrich Schulze argumentiert anhand der Werke Cages das Prinzip der nichtintentionalen Werkgenese [30, S. 113], dass beschreibt, dass bei jeder Form der zufälligen Werkgenese, eine Art aleatorisches Spiel erfunden wird. Zuvor hatten Stockhausen und König vor allem zwischen der *improvisatorisch-indeterminierten, automatischen* und der *automatisch-determinierten, maschinellen* Werkgenese unterschieden, wobei sich Ersterer auf die Improvisation der Künstler\*innen bzw. die vollkommene Absichtslosigkeit des Erschaffens eines Werkes, Letztere hingegen auf rein maschinelle oder algorithmische Vorgänge bezieht. Schulze zufolge ist dies jedoch unzureichend, da das verwendete Material belanglos sei bzw. die Wahl einer Gattung eines Werkes aleatorisch sein kann [30, S. 101], weshalb er die folgenden drei Fragen in den Raum stellt, mit denen er versucht die nichtintentionale Werkgenese zu beschreiben [30, S. 114]:

1. *Was sind meine Auswahlbereiche? [die der Künstler\*innen]* – Mit dieser Frage wird zunächst der Wirkungsbereich eingeschränkt. Somit kann also eingeschränkt werden welche Grafiken, Musikstile oder Farben grundsätzlich in Frage für das Auswahlverfahren kommen.
2. *Was sind meine Auswahlverfahren?* – Auf welche Art und Weise werden die Gegenstände oder Elemente ausgewählt. So kann etwa das *I Ging* Orakel als Auswahlverfahren bezeichnet werden.
3. *Was ist mein Organisationsmuster?* – Werden die ausgewählten Elemente sortiert oder nicht? So kann etwa die Reihenfolge der Elemente oder die Positionierung gezielt gewählt werden. Falls dies nicht der Fall ist, kann die Tatsache der Nichtorganisation ebenfalls als Organisationsmuster bezeichnet werden, nämlich als das Ausbleiben eines solchen.

In den folgenden Abschnitten wird nun untersucht, ob sich dieses Konzept auch auf anderen Formen der Kunst übertragen lässt und ob speziell in der Animation eine Erweiterung dieses Konzeptes notwendig ist. Dabei wird insbesondere die Bedeutung des Zufalls bei der Weiterentwicklung der verschiedenen Kunstformen beleuchtet. Um einen entsprechenden Vergleich ziehen zu können, ist es somit notwendig zunächst die Anwendung der Aleatorik auf die Literatur und die bildende Künste zu behandeln, um später sowohl die analoge als auch die digitale Animation zu diskutieren.

### 3.3.3 Das aleatorische Prinzip in der Literatur

Das aleatorische Prinzip wird nunmehr nicht nur auf die Musik sondern wie bereits erwähnt ebenso auf die Literatur also die Erstellung von improvisierten oder kombinatorischen Texten angewendet. So setzten sich bereits Goethe und Kleist, wenn auch recht unterschiedlich mit dem Zufall auseinander [11, S. 196ff.]. Als weiterer Vertreter kann an dieser Stelle Jonathan Swift und sein Werk *Gullivers Reisen* [32] genannt werden, in dem die Figur eine Maschine entdeckt, die bei mechanischer Betätigung eine immer neue, zufällige Anordnung von Wörtern preisgibt [9, S. 248]. Als eines der herausragendsten aleatorischen Werke des 20. Jahrhunderts gilt hingegen *Lessness* [3] von Samuel Beckett aus dem Jahr 1961. Bei der Erstellung des Werkes schrieb der Autor die 60 vorkommenden Sätze auf separate Papierstücke und gab diese in ein Behältnis, aus dem die Sätze daraufhin in zufälliger Art und Weise herausgenommen wurden und so die Struktur des Textes bildeten. Nach eingehenden Analysen wurde zwar festgestellt, dass die Struktur des Textes wohl etwas zu regulär ist, um purer Zufälligkeit zu entsprechen, Beckett diese also nachträglich arrangiert hat, jedoch kann die zumindest teilweise aleatorische Methodik auch von Kritikern nicht abgelehnt werden. Elisabeth Drew zufolge sei es auch nicht notwendig den Zufall um der Zufälligkeit willen einzusetzen, sondern es genüge durchaus den Eindruck von Zufälligkeit zu vermitteln [86]. Ähnliches konnte auch Galanter im Bezug auf die generative Gestaltung feststellen, wie in Abschnitt 2.4.1 festgestellt hat. An dieser Stelle kann also durchaus eine Parallele zu der Wahrnehmung von Pseudozufallszahlen erfolgen. Vielmehr sei es wichtig, dass sich die Rezipient\*innen damit auseinander setzen, wie sie während des Lesens den Text interpretieren, somit immer wieder abschweifen, also ein gewisses Maß an Selbstreflexion passiert. Die grundsätzlich zusammenhangslosen Textfetzen lösen bei den Rezipient\*innen innere Bilder aus und diese versuchen einen Sinn oder eine zusammenhängende Handlung innerhalb dieses Textes zu finden. Ähnlich wie bei anderen Texten findet sich die eigentliche Erzählung hinter den geschriebenen Worten, zwischen den Zeilen, obwohl den den Leser\*innen bei diesem Text, im Gegensatz zu einem gewöhnlichen Roman, durchaus bewusst sein muss, dass es sich um ein künstlerisches Werk handelt, um den künstlerischen Wahrnehmungsprozess dementsprechend auszulösen.

Ein ähnliches Konzept verfolgte der Schriftsteller Marc Saporta mit seinem 1962 veröffentlichten, 150-seitigen Roman *Composition No 1* [27] dessen Blätter ungebunden, einseitig bedruckt und nicht nummeriert sind [81]. Die Rezipient\*innen sind dabei aufgefordert, die Seiten vor dem Lesen gut durchzumischen und dann mit der einer beliebigen Seite des Textes zu beginnen. Dementsprechend ergibt sich für jede oder jeden ein einzigartiges Leseerlebnis, die Durchmischung zufällig und individuell passiert, was wiederum dem aleatorischem Prinzip entspricht. Das Werk gilt dabei als eines der

extremsten Beispiele für interaktive Literatur und fand, wenn auch nicht inhaltlich, international Anerkennung. Doch auch in der bildenden Kunst setzten sich die Künstler\*innen intensiv mit der Thematik des Zufalls auseinander.

### 3.4 Zufall in der bildenden Kunst des 20. Jahrhunderts

1913 erschuf Marcel Duchamp sein erstes *Readymade*. Als *Readymade* oder auch *Objet trouvé*, was frei übersetzt *gefundener Gegenstand* bedeutet, bezeichnet man industriell hergestellte Alltagsgegenstände oder nicht mehr benötigte Gegenstände die als Kunstwerk behandelt werden [85]. Duchamp wird als erster Künstler, der damit international Erfolge feierte als Begründer des *Readymades* in der Kunst gesehen. Das Konzept wurde in weiterer Folge sowohl vom Surrealismus als auch von Kubisten wie Picasso oder auch später von Joseph Beuys aufgegriffen. Das Fahrrad-Rad, ein auf einem Hocker umgekehrt befestigtes Rad eines Fahrrades erwies sich bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts als vollkommen neue Art der Konzeptkunst, die es bis dahin so nicht gab (siehe Abb. 3.4). Zwei scheinbar beliebige Objekte wurden dabei zu einem Objekt verschmolzen, das so gar keinen Zweck hatte, wie er auch selbst über das Fahrrad-Rad bemerkte [85]. Marcel Duchamp verwendete bei seinen *Readymades* ausschließlich industriell gefertigte Objekte, die leicht erhältlich waren, und zweckentfremdete diese. Die Simplizität der Objekte und der Nonsens des Kontextes zwischen den verwendeten Objekten stellte zum damaligen Zeitpunkt eine Revolution dar und Duchamp verwendete den Zufall auf neue Art und Weise. Mit der Trivialisierung der Gegenstände reflektierte Duchamp sowohl anhand des Fahrrad-Rads als auch späteren Werken wie *Fountain*, einem auf den Kopf gestelltes Urinal, über die sehr biedere und strenge künstlerische Gesellschaft zu diesem Zeitpunkt. Die in Abschnitt 3.3.1 angeführte Überlegung findet demnach auch hier Anwendung. So kann der Auswahlbereich auf die industriell gefertigten Objekte festgelegt werden und das Organisationsmuster kann als die Kombination dieser alltäglichen Gegenstände verstanden werden. Hierzu kommt weiter, dass die Objekte aufgrund deren willkürlicher Erhebung in den Kunststatus weiter organisiert bzw. selektiert werden. Der Auswahlprozess selbst hingegen ist fraglich, da nicht bekannt ist, ob Marcel Duchamp aleatorische Prinzipien für die Auswahl der Gegenstände verwendet hat oder diese aus freiem Willen, sozusagen aus künstlerischer Intuition heraus, ausgewählt hat. Allerdings bezeichnet er in einem Interview der BBC 1968, dass der Impressionismus vor 1912 bzw. 1913 als reine *retinal art*, die nur auf den visuellen Reiz der Darstellung abzielt und nicht mehr, also auf jede Bedeutung abseits des sichtbaren verzichtet [73, ab. Min 14:00]. Demnach versuchte er mit seinen *Readymades* zusätzlich zur visuellen Darstellung weitere Ebenen, also die der inhaltlichen Ebene und die der wahrnehmungspsychologischen und selbstreflexiven Ebene der Rezipient\*innen, hinzuzufügen. Den Findungsprozess der Gegenstände beschreibt er dahingehend, dass er eine Indifferenz gegenüber den Objekten empfinden musste, denn sobald er sie mochte oder den Objekten gegenüber Ablehnung empfand, wurden die Gegenstände von ihm verworfen. Weiter bemerkt er, dass alle seine *Readymades* komplett unterschiedlich sind, also keinem Stil entsprechen, was für ihn einen weiteren Beweis der Zufälligkeit darstellt. Somit kann die Gleichgültigkeit gegenüber den Objekten also unter der Vorbedingung der Indifferenz als beliebig und somit auch zufällig bezeichnet werden. Außerdem muss man die semiotische Neuordnung der Objekte als beliebig, zufällig bezeichnen, da eben



**Abbildung 3.4:** Fahrrad-Rad, Marcel Duchamp, 1913 [46].

Alltagsgegenstände in einen Kunstzustand erhoben werden. Demnach stellt Duchamp mit seinen *Readymades* auch den Rezipient\*innen die Frage des Kunstbegriffs. Seine *Readymades* inspirierten durch ihre Neuartigkeit und Radikalität viele weitere Künstler und auch ganze Kunstrichtungen wie etwa den Dadaismus, der sich ausdrücklich mit der Zufälligkeit beschäftigte.

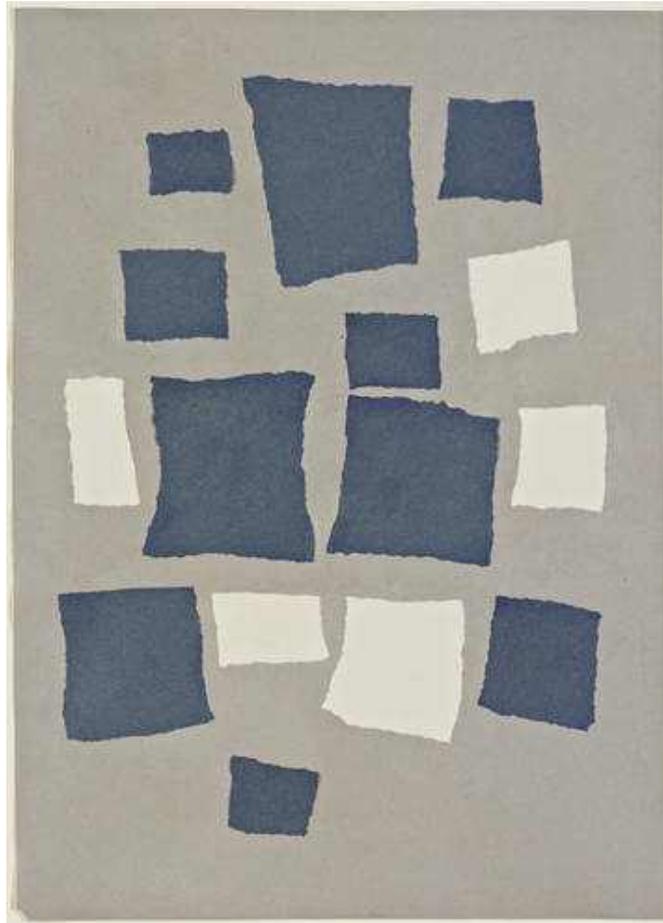
### 3.4.1 Der Zufall im Dadaismus

Der Dadaismus verstand sich selbst als antikünstlerische Bewegung, die ebenso wie Duchamp gegen damals gängige Kunstformen aufbegehren wollte. Um dies zu erreichen, bediente sich der Dadaismus nebst anderen auch zufälligen Techniken, um eine Form von Gleichgültigkeit zu transportieren und semiotische Bedeutungen neu zu formulieren. So wurde etwa selbst der Begriff des Dadaismus bei seiner Gründung 1916 zufällig gewählt wie Marietta die Monaco schreibt [20, S. 87], die damals selbst bei der Gründung anwesend war. Dada wurde wie von ihr dokumentiert aus dem Affekt benannt, was dem Konzept des Zufalls rund um den Dadaismus noch eine weitere Facette hinzufügt. Dada setzte den Zufall dabei über verschiedenste Formen, wie etwa zufällige und willkürliche Lautgedichte bis hin zu Collagen um. So wird auch Marcel Duchamps Objektkunst dem Dadaismus zugeordnet, obwohl sich Duchamp selbst nie einer Künstlergruppe zugeschrieben und dies auch explizit abgelehnt hat [99, 73]. Wie Richter schreibt, war das Konzept des Dadaismus, obwohl sich die Richtung als Anti-kunst verstand, selbst ein Schritt vorwärts in der Geschichte der Kunst [24, S. 50]. Dazu trug auch der Zufall bei, weil unter anderem die Freiheit von Regeln eben zu diesem Fortschritt führte. Diese Absenz von Regeln und jeglichem Hintergedanken ermöglichte

es laut Richter auf das Unbekannte zuzugehen und aus dem Wissen und dem Unbekannten zu gewinnen, was Richter zufolge die zentrale Erfahrung des Dadaismus darstellt, wie auch Youngblood später formulieren sollte [37, S. 70]. Als beispielhafter Akt der zufälligen Gestaltung während des Dadaismus kann Hans Arps Werk *Nach dem Gesetz des Zufalls* betrachtet werden (siehe Abb. 3.5). Arp überließ darin die Orientierung der abgebildeten Papierfetzen seiner Collagen dem Zufall. Er hatte nach stundenlangen Versuchen ein ästhetisches Arrangement zu finden die Papierfetzen verzweifelt in die Luft geschmissen und nunmehr festgestellt, dass diese sich nun in der gesuchten ästhetischen Orientierung am Boden befanden. Er übertrug Richter zufolge das von ihm vorgefundene Arrangement akribisch auf die Leinwand [24, S. 51], obwohl bei der Betrachtung von Arps Collage sehrwohl hinterfragt werden kann, ob die Papierfetzen tatsächlich in der abgebildeten Anordnung auf den Boden fielen, da diese doch sehr arrangiert wirkt. Ferner verwendete nicht nur er, sondern die gesamte Dada-Bewegung den Zufall als eines ihrer primären Gestaltungsmittel. So beinhalten sowohl Hugo Balls Lautgedichte, Sophie Taeubers Malereien aber auch Max Ernsts *Collageromane* zufällige Charakteristika. Hans Richter stellt sich dazu die Frage ob nun das Unterbewusstsein oder eine mysteriöse, ausstehende Kraft zum Ergebnis Beitrag, ähnlich wie sich die Philosophie in Kants oder Schopenhauers Überlegungen damit auseinandergesetzt hat. Richter jedenfalls kam zu dem Schluss, dass der Dadaismus den Zufall als Anreiz für das künstlerische Schaffen anerkennen muss [24, S. 51]. Von außen betrachtet kommen hier wohl weitere Punkte hinzu. Zunächst spielt die künstlerische Erfahrung der Person eine Rolle bzw. ob sich diese dem künstlerischen Prozess bzw. der Zufälligkeit auseinandersetzt oder gesetzt hat. Wie Deleuze formuliert hatte, erfolgt das Denken aber zufallsartig und unwillkürlich, womit auch dieser Prozess, also der des Erkennens, dem indeterminierten Freien Willen zugeordnet werden kann, der jedoch von etwas Tieferem wie dem reinen Bewusstsein ausgeht [2, S. 54]. Hinzu kommt aber dennoch die bewusste Entscheidung des Künstlers selbst einen Gegenstand, eine Anordnung oder Situation als Kunstwerk zuzulassen. Somit kann wohl kaum von einer mysteriösen ausstehenden Kraft gesprochen werden, sondern vielmehr von einem in der Person selbst wohnenden Prozess, der sich mit den Erfahrungen derselben paart. Arps Werk kann demnach ebenso wie Duchamps *Readymades* in die Kategorie der aleatorischen Werke eingeordnet werden, da die Anordnung der Blätter wie formuliert zufällig geschah. Jedoch erfordert es nach wie vor die menschliche Komponente, um diesen Zufall und die ästhetische Signifikanz zu erkennen, die eben dem freien Willen zugeordnet werden kann. Dabei entsteht eine Wirkung, die vom Werk selbst und nicht von einem visuellen Reiz des Werkes ausgeht, es wird sozusagen der Entstehungsprozess der Arbeit, der zufällige Prozess zum Symbol.

### 3.4.2 Der Zufall in der bildenden Kunst nach 1945

Auch nach dem Zweiten Weltkrieg beschäftigten sich Künstler wie etwa der bereits vielerorts analysierte Jackson Pollock intensiv mit dem Zufall. Pollock, der mit seinen Drip-Paintings internationale Aufmerksamkeit erregte und als einer der wichtigsten Künstler des Expressionismus gilt, berührte bei seinen Ölmalereien die Oberfläche der Leinwand nie direkt mit seinem Pinsel, sondern tropfte die überschüssig aufgenommene Farbe auf die üblicherweise am Boden liegende Leinwand. Seinen Werken wird eine besondere Energie zugeschrieben, die durch seine Pinselstriche bzw. die durch seine charakteristi-



**Abbildung 3.5:** Nach dem Gesetz des Zufalls, Hans Arp, 1920 [39].

schen Bewegungen entstehenden Formen transportiert wird (vgl. Abb. 3.6). Obwohl die Bilder zunächst zufällig erscheinen, kann den Formen durchaus eine Form der Strukturierung zugeordnet werden, wie sowohl Matilde Marcolli als auch Kenny Verbeeck festgestellt haben [98, 35]. So konnte Verbeeck eine Systematik hinter Pollocks Pinselstrichen erkennen und bezeichnet diese als Drip Grammar [35, S. 57]. Marcolli hingegen setzt sich als Mathematikerin mit der fraktalen Struktur Pollocks Malereien auseinander [98, S. 36ff.] und bemerkt, dass mittels mathematischer Methoden festgestellt wurde, dass es sich bei 24 von Pollocks Werken um Kopien bzw. Fakes handelt. Anhand von multifraktaler Analyse wurde demnach festgestellt, dass die Kopien, obwohl diese, ebenso wie Pollocks Originale, fraktale Elemente beinhalten, klar als Fakes definiert werden können, weil die Fraktale zu gleichmäßig auftraten. Demnach waren die Kopien zu wenig zufällig, da diese einem einheitlichen System folgten. Die Pinselspritzer sind ihren verschiedenen Formen auch als Zeichen zu verstehen, aus denen die Bewegung bzw. die Energie hinter der Bewegung abgelesen werden kann, was dem Werk einen zusätzlichen organischen Charakter verleiht. Somit fehlte hierbei also die menschlich-zufällige Komponente, die durch die Dripping-Technik zustande kam, obwohl diese wie von Verbeeck festgestellt gleichzeitig eine Systematik bedingen. Nach Schulzes Typisierung kann die



Abbildung 3.6: Convergence, Jackson Pollock, 1952 [65].

Dripping-Technik selbst gleichzeitig sowohl als Einschränkung des Auswahlbereichs, also des Mediums und der Auftragungstechnik der Farbe auf die Leinwand, wie auch als Einschränkung des Auswahlverfahrens bezeichnet werden, da beide Komponenten durch das zufällige Auftreffen der Farbe und dem intuitiven Akt des Künstlers bedingt sind. Weiter ist im Gegensatz zu Cages Werken wiederum festzustellen, dass der nichtintentionale Akt zwar vom Künstler weg, aber nicht hin zu den Rezipient\*innen, sondern vielmehr hin zum Medium übertragen wird. Den Rezipient\*innen wird die Verantwortung allerdings nicht vollständig entzogen, da diese die sehr abstrakten Werke Pollocks interpretieren müssen.

Ebenso lässt sich in der Happening Bewegung der 1960er Jahre ein zufälliges Element beobachten. Die aktionistische Kunstform organisierte improvisierte Veranstaltungen, bei denen die Initiatoren versuchten, die teilnehmenden Personen möglichst in das nur initial geplante Ereignis mit einzubeziehen. Die Initiator\*innen stellten die Zuschauer\*innen meist mit gesellschaftlich verpönten oder kaum akzeptierten Aktionen auf die selbe Ebene wie die Künstler\*innen und suchten die offene Diskussion mit dem Publikum, das meist schockiert auf die Aktionen reagierte [104]. So planten die Künstler\*innen die Happenings nur in deren Ausgangshandlungen und der weitere Ablauf einer Veranstaltung wurde der Gruppendynamik überlassen. Die Gruppe, hierbei also als komplexes System zu verstehen, und die Dynamik der selben, können aus diesem Grund als die zufällige Komponente und das Grundkonzept der Happening-Bewegung verstanden werden. Die Künstler gaben in diesem Fall ebenfalls die Kontrolle ab und übergaben diese an das Publikum, das sich allerdings womöglich nicht immer seiner Kontrolle bewusst war. Somit schufen Nam-June Paik, Peter Weibel und Valie Export, die auch dem *Expanded Cinema* zugeordnet werden können, mit ihren Aktionen nichtintentionale Werke, die immer wieder öffentliche Diskussionen auslösten.

### Sol Lewitt

Weniger skandalös aber keinesfalls minder bedeutend können jedoch Sol LeWitts Arbeiten bezeichnet werden, der in etwa zur selben Zeit Bekanntheit erlangte. Zunächst beschäftigte sich LeWitt mit den Permutationen eines offenen Würfels, der immer wieder Grundlage seiner Arbeiten war. Erhöhte Signifikanz bezüglich des Zufalls haben

allerdings seine später erschaffenen *Wall Drawings*, die er üblicherweise nicht selbst ausgeführt hat. Vielmehr schrieb er mehr oder minder genaue Anleitungen, die meist einigen Interpretationsspielraum offen ließen. In weiterer Folge setzten seine Assistent\*innen diese Anweisungen nach deren Interpretation des Textes um. Ein Beispiel hierfür ist etwa die auch betitelnde Anleitung die wie folgt lautet (vgl. auch Abb. 3.7) [95]:

Alternate Not-Straight Lines (From the Right Side) and Broken Lines (From the Left Side) of Random Length

Entsprechend dieser sehr offen formulierten Anleitung bleiben viele Möglichkeiten diese Arbeit umzusetzen. Versucht man diese Angaben auszuführen, ergeben sich sofort mehrere Variablen, die der ausführenden Person überlassen werden und somit bei jeder Umsetzung eine neue Interpretation von LeWitts Anleitung. LeWitt verzichtet demnach auf jegliche Beschreibung des Mediums, der Form oder Größe in der das Werk umgesetzt ist. Hier kann auf jeden Fall eine Parallele zur Randomisierung von digital Inhalten gezogen werden. LeWitt formuliert dazu in seinen *Paragraphs on conceptual Art* ähnlich wie Richter zuvor, dass er zwischen visueller und konzeptueller Kunst unterscheidet [96]:

Art that is meant for the sensation of the eye primarily would be called perceptual rather than conceptual. This would include most optical, kinetic, light, and color art [...] If the artist wishes to explore his idea thoroughly, then arbitrary or chance decisions would be kept to a minimum, while caprice, taste and others whimsies would be eliminated from the making of the art.

Das bedeutet aber nicht, dass der Ideenfindungsprozess bestimmt sein muss oder kann, denn das Denken selbst scheint wie bereits dargestellt inderminiert. Und eben die Reduktion der Anweisungen lässt diesen besprochenen Spielraum der Interpretation, der den Zufall wiederum in die Werkgenese integriert. LeWitts Arbeiten beziehen sich demnach vielmehr auf den Entstehungsprozess und die Frage der Ungewissheit, die bei der ausführenden Person entsteht. Somit wird ein Teil des Entstehungsprozess auf den Rezipient\*innen übertragen und diese werden selbst zu Künstler\*innen. LeWitt folgt dabei ebenfalls bewusst dem Prinzip der nichtintentionalen Werkgenese und formt dabei scheinbar algorithmische Anweisungen, die aber zu unscharf formuliert sind, um einem Algorithmus zu entsprechen. Vielmehr beschreibt LeWitt lose Rahmenbedingungen, an denen sich ein Kunstwerk orientieren soll. Der künstlerische Akt liegt also nicht nur in der Erschaffung des Bildnisses, sondern auch in der Beschreibung dessen.

### 3.5 Zufall in der klassischen experimentellen Animation

Obwohl sich die bildende Kunst zu Beginn des 20. Jahrhunderts intensiv mit dem Zufall auseinandergesetzt hat, fand der Zufall in der Animation bis auf wenige Ausnahmen vor der breiten Verfügbarkeit des Computers kaum Beachtung. Vor allem ist festzustellen, dass sich in der Animation zunächst eher die von Stockhausen formulierte *improvisatorisch-indeterminierten, automatische* Werkgenese zeigt, also eine Entstehung aus der irrationalen, künstlerischen Inspiration heraus. Auf eine direkte thematische Auseinandersetzung mit dem Zufall wie das etwa im Dadaismus oder bei LeWitt geschah, wurde weitestgehend verzichtet.



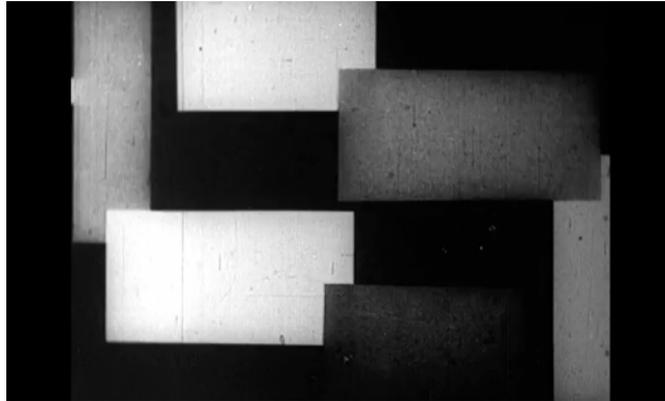
**Abbildung 3.7:** Alternate Not-Straight Lines (From the Right Side) and Broken Lines (From the Left Side) of Random Length, Sol Lewitt, 1971 [95].

### 3.5.1 Hans Richter - *Rythm 21*

Hans Richter gilt als einer der Pioniere der abstrakten und experimentellen Animation und seine *Rythm* Serie wird als eine der einflussreichsten frühen Animationen angesehen. Als Teil der Dada-Bewegung hatte er bereits früh mit zufälligen Konzepten zu tun und erwähnt dies auch in seinem Buch zu Dada [24, S. 50f.]. Er selbst setzte sich zu Beginn hauptsächlich mit der abstrakten Animation auseinander, verlor später aber schnell das Interesse am animierten Film. Vor allem sein erstes Werk, das einem breiteren Publikum bekannt wurde, *Rythm 21* [68], stellt in Bezug auf die Beschäftigung mit Intervallen und Rhythmus eine Pionierleistung des animierten Filmes dar (siehe Abb. 3.8). Lawder bemerkt außerdem, dass Hans Richter's Animation sich wie ein abstraktes Bildnis verhält [26, S. 54]:

Its forms, like those of an abstract painting, seem to have no physical extension except on the screen [...] the film is a totally self-contained kinetic composition of pure plastic forms.

Die Zufälligkeit ist speziell in Richters erster Variante *Rythm 21* erkenntlich, scheinen die animierten Rechtecke und Quadrate zunächst arbiträr zueinander zu stehen. Über die Bewegung ergibt sich in weiterer Folge ein Rhythmus, eine Präzision und Symmetrie, die jedoch jeglichen Zufall verneint. Die Positionierung der Formen zueinander scheint durchaus zufällig und die Einzelbilder selbst, können wie von O'Doherty angemerkt, als kühn bezeichnet werden [22, S. 55]. Man könnte diese eben auch für zufällig halten und erst die Gesamtkomposition über die zeitliche Abfolge hinweg, ver-



**Abbildung 3.8:** Rythm 21, Hans Richter, 1921 [68].

leiht *Rythm 21* über die Bewegung Struktur. Bei der Betrachtung der Animation muss außerdem die heute in den meisten online zu findenden Versionen des Stücks enthaltene musikalische Untermalung außer Acht gelassen werden, weil diese ursprünglich nicht vorgesehen war. Der Film wurde bei der Premiere auch entsprechend als tonlose Animation gezeigt. Um nun weiter nach Schulze zu analysieren, kann das Auswahlverfahren der Formen nach einem Briefwechsel von Alfred Barr und Hans Richter festgestellt werden [26, S. 49]:

I used the square (or rectangle) as the simplest way of dividing the square film-screen, after I had discovered that our scrolls were paintings and followed the laws of painting not of filming.

Die Wahl der Formen und deren Positionierung ist also einem begründet, logischen Auswahlprozess untergeordnet. Das Ereignis der Entdeckung selbst, also Denken, das nach Deleuze zufällig und indeterminiert passiert, kann allerdings der künstlerischen Inspiration zugeordnet werden, die Stockhausen als *improvisatorisch-indeterminierten, automatische* Werkgenese bezeichnet. Dem hinzuzufügen ist, dass die Quadrate und Rechtecke jederlei Symbolik fremd sind, es ist keine inhaltliche Verbindung zu erkennen. Vielmehr sind diese als ikonische Lichtflächen auf dunklem Hintergrund die als kinästhetisches Element fungieren zu verstehen. Richter formuliert, dass er die Zeit ebenso wie zuvor die Bildfläche zunächst unterteilte und diese in Folge dessen leichter zu kontrollieren waren. Er orchestrierte nach seiner eigenen Formulierung also die Zeit [26, S. 49]. So ist hier zwar wiederum eine Methodik zu beobachten, die unbewusste Auswahl des Rhythmus ist aber dennoch nicht abzustreiten. Demnach kann also von einem teilweise aleatorischen Werk gesprochen werden, das so zugegebenermaßen allerdings auf viele Werke umgelegt werden kann, jedoch scheint subjektiv betrachtet, etwa verglichen mit Cages oder Pollocks Schaffen, das Werk zu strukturiert bzw. zu wenig vom objektiven Zufall abhängig, um es als rein aleatorisches Werk bezeichnen zu können.

Die Zeitgenossen Richters, Viking Eggeling und Walter Ruttmann versuchten ähnlich wie Richter die neue Form der Animation auszuloten. Ruttmann spielte ebenso wie Richter mit Form und Zeit, fügte seinen Animationen aber auch eine farbliche Dimension hinzu, Eggeling konzentrierte sich hingegen auf die Darstellung der Linie. Beiden ist

jedoch keine besonders unterschiedliche Charakteristik bezüglich des Zufalls zuzuschreiben, die sich intensiv mit dem Zufall beschäftigt, sie sollen hier aber nicht unerwähnt bleiben.

### 3.5.2 Oskar Fischinger - *Wachsexperimente*

Oskar Fischinger hingegen verwendete in seinen Animationen sehrwohl gezielt aleatorische Methoden. Für seine *Wachsexperimente* [79] betitelten Kurzfilm entwickelte er eine automatisierte Wachsschneidemaschine, welche die Grundlage für diese Animation darstellt. Dabei wird ein Block Wachs in die Richtung einer rotierenden Klinge geschoben [26, S. 59], die in weiterer Folge das Wachs schichtweise abtrennt. Die so entstandene Fläche wurde abgeleuchtet als Hintergrund bzw. definierendes Element genutzt. Dadurch entstehen organische Formen, die sich Bild für Bild weiterentwickeln, wobei die Struktur der Elemente als zufällig betrachtet werden kann, da die beim Entstehungsprozess des Wachsblockes verursachten Überlagerungen des Wachses nicht direkt kontrolliert werden können. In der Animation *Wachsexperimente* finden sich eben diese Formen wieder, die in Bewegung sich verschwimmenden Muster erzeugen und dabei einen Sog verursachen, der einen Raum um die von Fischinger sorgfältig platzierten Kreise erzeugt und dem Bild somit Tiefe verleiht (siehe Abb. 3.9). Durch die farblichen Verläufe entstehen teilweise Räume, die aber wiederum keinerlei symbolischen Charakter in sich tragen. So suggeriert auch der Titel selbst, dass es sich bei der Animation um Experimente handelt. Erst die Zufälligkeit der Formen, die aber dennoch Struktur erzeugt, ermöglicht dabei die natürliche, fast flüssigkeitsähnliche Bewegung des Raumes, die bei einer manuellen Gestaltung wohl nur schwer zu erreichen gewesen wäre, wenn man beachtet, das hierzu keinerlei Computertechnik verwendet wurde bzw. zu dieser Zeit noch nicht verfügbar war. Allerdings ist die Anordnung der Formen keinesfalls als zufällig zu betrachten, denn obwohl dieser Film als *Wachsexperimente* betitelt ist und die Technik jedenfalls als experimentell gilt, wurde die Konstruktion der Bilder akribisch genau durchdacht. Erst durch diese bewusste Kombination von zufälligen Strukturen und die präzise, zeitliche und räumliche Platzierung von Formen erreichte Fischinger diese Räumlichkeit der Bilder sowie die Symbiose von unruhigen Linienformen und mit Bedacht positionierten Flächen. So können die Experimente mit dem Wachsblock als aleatorisches Spiel bezeichnet werden, da die Voraussetzungen der nichtintentionalen Werkgenese nach Schulze wieder sind. So kann der Auswahlbereich auf den Wachsblock eingeschränkt werden, das Auswahlverfahren auf die schichtweise Abtragung mittels der Maschine definiert und das Organisationsmuster als die sequenzielle Ablichtung der Schichten bezeichnet werden. Allerdings gilt auch, wie zuvor, die gezielte Platzierung von Inhalten von Fischinger selbst als Eingriff in diese nichtintentionale Werkgenese gesehen werden muss. Ebenso nimmt sich Fischinger selbst nicht vollständig aus der Gleichung, doch hatte er seinen Einfluss auf das Werk bereits reduziert. Demnach erfolgt eine teilweise Entkopplung des Künstlers von seinem Werk. Er erreicht aber wie andere zuvor eben durch die experimentelle Auseinandersetzung mit neuen Techniken und Formen eine nicht unerhebliche Randomisierung seines Werkes.

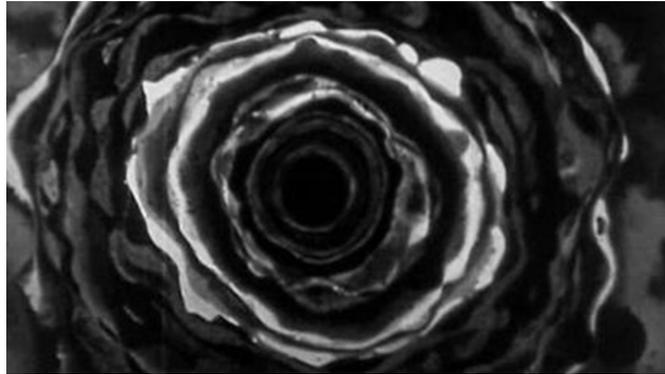


Abbildung 3.9: Wachsexperimente, Oskar Fischinger, 1921 [79].

### 3.5.3 Tony Conrad - *The Flicker*

Eine sehr analytische und durchdachte Vorgangsweise verfolgte Tony Conrad, der mit seinem Film *The Flicker* [74] kontroverse Reaktionen des Publikums auslöste. Der Titel lässt dabei bereits auf das Grundprinzip schließen, wonach durch *flickering*, also das abwechselnde Zeigen von vollkommen schwarzen bzw. weißen Einzelbildern, ein stroboskopartiger Effekt verursacht wird. Durch die Trägheit des menschlichen Auges entstehen beim Abspielen der alternierenden schwarzen und weißen Kader bei einer Frequenz zwischen 6 und 18 Bildern pro Sekunden nunmehr visuelle Effekte die sich in verschiedenen Mustern äußern. Diese Formen können als gepunktete Flächen, verschwommene Linien, oder schachbrettartige Strukturen beschrieben werden. Durch die Veränderung der Frequenzen lassen sich verändern und in manchen Fällen führt dies auch zu halluzinatorischen Bildern [26, S. 152]. Die Entstehung dieser teilweise wahrgenommenen Gesamtbilder wird dabei von der Gestalttheorie genauer untersucht, nach der die menschliche Psyche Inhalte in zufällige Anordnungen hineinprojiziert [103]. Diese Effekte werden jedoch je nach Person stärker oder schwächer bzw. in verschiedenen Formen wahrgenommen, worin also die Zufälligkeit des Systems gesehen werden kann. Da es schwierig ist, diese Effekte vorherzusagen und sich die individuelle Wahrnehmung stark unterscheidet, ist hier wiederum von einem komplexen System zu sprechen. Conrad zielt in seiner Animation also nicht auf gezielte Bewegungsabläufe, sondern versucht über die bei den Rezipient\*innen auftretende Effekte zu animieren. Diese indirekte Form der Animation, die ebenso als Entkopplung bezeichnet werden kann, entspricht in gewisser Weise also wieder einer Form der nichtintentionalen Werkgenese. Conrad zielt demnach zwar auf eine Form des Effektes ab, kann diesen aber nicht genau vorherbestimmen, somit ist Conrads experimentelle Auseinandersetzung mit dem Medium Grundlage für die Zufälligkeit seiner Arbeit. Dabei erfolgt außerdem eine iterative Arbeitsweise, bei der er zuerst, ohne die genaue Wirkung zu kennen, einen Teil animiert, diesen danach begutachtet und gegebenenfalls anpasst. Dadurch ergibt sich ebenfalls ein zufälliges Element, das durch eine prozessbedingte Ungewissheit den Zufall in das Werk integriert.



Abbildung 3.10: *Five Film Exercises*, James und John Whitney, 1943, [49].

### 3.5.4 John und James Whitney - *Five Film Exercises*

In *Five Film Exercises* [49] verwendeten die Brüder John und James Whitney eine simple Grafik um die Animation zu gestalten. Mittels der in der Grafik enthaltenen Grundformen bzw. durch Kombination entstehenden weiteren Formen wurde ein komplexes System geschaffen, mit dem die beiden Animatoren in weiterer Folge fünf Animationsfilme erstellen sollten. Mittels Überblendungen, partiellen Verdeckungen, Addition, Subtraktionen, Spiegelungen und farblichen Variationen ergab sich somit eine Vielzahl an Möglichkeiten, nachdem diese Formen auch mittels zeitlicher Intervalle weiter variiert werden konnten (siehe Abb. 3.10), wobei die Animationen jedoch wiederum als Experimente mit dem Medium, also ohne symbolische Funktion, zu verstehen sind. Der Signifikanz der Filme für die Weiterentwicklung des Mediums soll dadurch aber keinesfalls in Frage gestellt werden. Insbesondere die neue Form der Audioteknik fand große Beachtung der damaligen Filmwelt, da sie vollkommen neue, scheinbar computergenerierte Töne verwendeten, die allerdings analog erzeugt wurden. John und James Whitney konnten über eine eigens entwickelte Maschine, die selbst keine Töne von sich gab, mittels mehrerer Pendel animieren. Diese Pendel waren mit einem Keil verbunden, der wiederum den optischen Soundtrack auf dem Filmstreifen belichtete. Somit wurden über die Form und Geschwindigkeit der Schwingungen Töne erzeugt, die allerdings erst bei Abspielen des Filmes zu hören waren. Entsprechend dieser Darstellung schreibt John Whitney über den Erstellungsprozess [36, S. 171]:

We accepted, of course, the probability that formal considerations would somehow evolve as a result of an interactive play between ourselves and the character of these tools.

Damit beschreibt er also ein interaktives Entwickeln des Sounds, das zwar wieder von der gestalterischen Fähigkeit des Künstlers, aber dennoch in einem gewissen Maß vom Zufall abhängt, da sich das komplexe System der Pendel nur bedingt kontrollieren ließ. Whitney beschreibt damit auch eine frühe Form der generativen Gestaltung,

die ebenfalls eine iterative Vorgangsweise mit sich bringt. Ähnlich wie bei Conrad findet sich also eine Ungewissheit im Erstellungsprozess der Animation. James Whitney gelang mit *Lapis* [58] ein weiterer Erfolg, John hingegen wurde mit der Eröffnungssequenz des Spielfilms *Vertigo* [78] einem breiteren Publikum bekannt und wurde in weiterer Folge mit seinen analogen und später auch digitalen Computeranimationen zu einem Vorreiter der Computeranimation. Von besonderer Relevanz ist jedoch eine verloren gegangene Arbeit John Whitneys, die 1958 bei der Expo in Brüssel gezeigt wurde. Diese noch analog durchgeführte Arbeit erwähnte er in einem Interview mit Austin Lamont und beschreibt darin, dass er in Echtzeit animierte [17, S. 183], allerdings ist die Animation selbst nicht mehr auffindbar. Dem Interview zufolge verwendete Whitney ein Ölbad in einer Dunkelkammer, das er mit seinen bloßen Finger bzw. einem Stift verwischte, was dem dahinter liegenden Licht erlaubte hindurchzudringen und den Film zu belichten. Whitney bestätigte dabei, dass er den Ton bereits zur Verfügung hatte und diesen als Inspiration für die Animation nutzte. Whitney beschreibt damit eine Live-Performance, die den Künstler zu einer nichtintentionalen Werkgenese zwingt, da er die Bewegung intuitiv ausführen muss. Er beschreibt zwar, dass er oftmals Überlagerungen verwendete und zurückschaltete, Sequenzen mussten aber dennoch vollständig in einem Stück ausgeführt werden. Demnach handelt es sich Whitneys Beschreibung nach wiederum um eine teilweise nichtintentionale Werkgenese, die ebenfalls die Vorgaben nach Schulze partiell erfüllt, wobei sowohl Verfahren und Bereiche improvisatorisch gewählt werden. Die Organisation erfolgt in weiterer Folge vermutlich ebenfalls improvisatorisch, aufgrund mangelnder Information kann dies aber nicht genau nachvollzogen werden. Dennoch erfolgt keine vollständige Loslösung vom Künstler selbst, da dieser weitestgehend, wenn auch intuitiv das Werk bestimmt.

### 3.5.5 Dennis Pies - *Luma Nocturna*

Ebenfalls könnte man behaupten, dass etwa Dennis Pies in seiner abstrakten Animation *Luma Nocturna* (siehe Abb. 3.11) auf zufällige Techniken zurückgreift. Wie er selbst formulierte, verwendete er bei der Produktion seiner Animationen die straight-ahead<sup>1</sup> Vorgehensweise, die ihm ein gewisses Maß an Improvisation erlaubte. Wie oben argumentiert könnte man nun die menschliche Entscheidung als zufällig ansehen. Allerdings würde dieses Prinzip nunmehr für alle straight-ahead animierten Animationsfilme gelten. Dennis Pies Arbeit aber hebt sich insofern von anderen Arbeiten ab, als dass auch die Formen selbst als zufällig erscheinen. Die entstehenden, nebelartigen Strukturen, miteinander verschwimmenden Linien, spiegeln also auch die improvisierten Vorgänge bei der Entstehung des Filmes wider. Zusätzlich entstehen die Makrostrukturen der ineinander verschwimmenden Flüssigkeiten aus einem zufälligen komplexen System, das sich nur indirekt kontrollieren lässt. Die Bestimmung der Formen selbst die in den Film aufgenommen werden bleiben jedoch wie in den anderen Fällen wiederum den Künstler überlassen. Allerdings ist diesem Werk hinzuzufügen, dass Pies in *Luma Nocturna* eine Geschichte der Evolution erzählt und den Inhalten somit auch eine symbolische Funktion zuschreiben ist [62, siehe Beschreibung]. So können die nebel-artigen Strukturen durchaus als Organismen verstanden werden, die sich umkreisen, paaren und zu einer weiterentwickelten Form entwickeln, die am Ende stirbt. Folglich wurden also

---

<sup>1</sup>Die Animation wird Bild für Bild in chronologischer Reihenfolge erstellt.

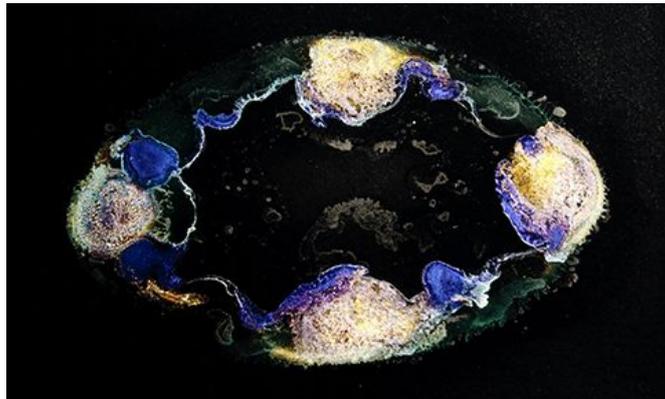


Abbildung 3.11: Luma Nocturna, Dennis Pies, 1974 [62].

zufällige Methoden verwendet um Narration und Design zu abzubilden, die den Rezipient\*innen aber Interpretationsspielraum offen lassen. Anhand der Einführung von komplexen Systemen wie Flüssigkeiten gelingt Pies also eine teilweise Entkopplung, jedoch kann wiederum argumentiert werden, dass der Künstler selbst bestimmender Faktor der Animation ist.

### 3.6 Zusammenfassung

Wie sich zeigt, kann das Prinzip der nichtintentionalen Werkgenese nur teilweise auf die analoge Animation angewendet werden. So ist anzumerken, dass sich die analoge Animation kaum mit dem Zufall selbst auseinandergesetzt hat, sondern vielmehr mit dem Medium und dessen Grenzen. Dabei kamen aber immer wieder zufällige Methoden zum Einsatz, die mehr oder minder bewusst eingesetzt wurden. So kann der Zufall als Werkzeug verstanden werden, da die Künstler zunächst mit Methoden wie der straight-ahead Animation oder dem Zerschneiden von Wachsböcken stochastische Methoden einsetzten. Dennoch darf den Künstler\*innen keinesfalls ihre kreative Leistung abgesprochen werden, vielmehr ist der Zufall als Notwendigkeit dieser Experimente zu verstehen. Demnach haben sich die Animationsfilmemacher nicht gezielt mit zufälligen Methoden beschäftigt, allerdings wurden durch die Ideen und Experimente die Grenzen der Animation immer wieder erweitert. So sollte die Bedeutung der Experimente mit dem Medium nicht unterschätzt werden, da eben diese Experimente in den Fällen von Fischinger und Conrad nicht nur zu einer teilweisen Loslösung der Künstler von ihrem Werk führen, sondern diese auch mit einbeziehen und das Medium vorantreiben. Ebenso kann aber auch eine intentionale, intuitive Art der Animation, wie etwa bei John Whitney beobachtet werden, die durch ihre Umsetzung in Echtzeit eine indeterminierte, weil intuitive Aktion des Künstlers erfordert, die sich in dieser Situation ebenso als notwendig gestaltet. Darüber hinaus wurde die Werkgenese im Vergleich zu Cages oder LeWitts Arbeiten aber kaum gezielt von den Künstler\*innen entkoppelt, was sich mit der Unterstützung von Computertechnik und der vermehrten Anwendung von prozeduraler Animation sehr schnell ändern sollte.

## Kapitel 4

# Zufall in der digitalen Computeranimation

Mitte der 1960er Jahre hielt die digitale Computertechnik auch in das Feld der Animation Einzug und stellte nach zunächst auf analogen Computer erstellten Animationen, den nächsten logischen Schritt bei der Erweiterung der Grenzen der Animation dar. Dadurch ergab sich eine Vielzahl an neuen Möglichkeiten die Animation zu gestalten, was mittlerweile mehrere Teilbereiche der Animation hervorgebracht hat. Wie zuvor in der klassischen Animation, sollten sich die Künstler\*innen zunächst mit der Technologie und dem neuartigen Medium auseinandersetzen und dort experimentelle Gestaltungen durchzuführen. Youngblood bezeichnete die Künste und die Wissenschaft in ihrer weitesten Betrachtung das Gleiche sind, und der Künstler\*innen somit als „Design Scientist“ zu verstehen ist [37, S. 70]. Diese Behauptung sollte sich insbesondere mit der Einführung der Computertechnik in die Animation bewahrheiten, da die frühen Animator\*innen, wie Ken Knowlton ihre eigenen Programmiersprachen entwickelten, um in Folge dessen animieren zu können. Um nun eine Animation zu erstellen, war zu Beginn der Computertechnik eine programmiertechnische Ausbildung unausweichlich bzw. wurde den Animator\*innen wie etwa John Whitney ein Programmierer zur Seite gestellt, wonach also Algorithmen verwendet wurden, um Animationen zu erstellen. Zunächst seien also moderne Konzepte der Computeranimation erläutert, die allesamt einen deterministischen Ablauf erfordern, durch Variation allerdings wieder nichtintentionale Elemente enthalten können.

### 4.1 Parametrische Animation

Unter einem Algorithmus versteht man eine endliche Sammlung von Anweisungen, die befolgt werden muss, um allgemein formuliert, ein Problem zu lösen [33, S. 180]. Demnach können Computerprogramme als Algorithmen verstanden werden, da diese wie bereits diskutiert einen determinierten Ablauf erfordern. Nun scheinen Algorithmen zunächst vollkommen vom Zufall auszunehmen zu sein, doch diese Algorithmen stellen in weiterer Folge mehrere Parameter zur Verfügung, die in der Animation benutzt werden können. Diese Parameter stehen somit wieder unter der Möglichkeit eines nicht-determinierten Ablaufes. So war das etwa bei den ersten Computeranimationen von Whitney der Fall, da dieser den GRAF-Algorithmus zur Animation verwendete [37, S. 217]. Demnach hatte John Whitney mit Dr. Jack Citron einen Mathematiker zur Sei-

te, der das GRAF-Programm verfasste. GRAF basiert dabei auf einer einzigen Polar-Koordinaten-Funktion, die aus etwa 60 Parametern besteht, die von Whitney konfiguriert werden konnten. Zunächst hatte Whitney die Möglichkeit mittels einer sogenannten Light Pen die Parameter zu verändern, um damit die Formen der Funktion als Vorschau anzusehen, für die finale Animation und die Interpolation der Zustände mussten jedoch Lochkarten verwendet werden. Somit wurde zwischen verschiedenen, zuvor festgelegten Zuständen einer Funktion geblendet, was nunmehr als parametrische Animation verstanden wird. Heute findet die parametrische Animation vor allem in der Generativen Gestaltung und in der Animation für Computerspiele Anwendung, bei der verschiedene vor-animierte Abläufe geblendet werden. Ebenso wird dies in der Charakteranimation für vordefinierte Abläufe wie etwa Gehen oder Laufen verwendet.

## 4.2 Prozedurale Animation

Unter prozeduraler Animation versteht man hingegen die konkrete Berechnung eines jeden Einzelbildes. Im Gegensatz zu Schlüsselbild-basierter Animation muss also jeder Kader aufgrund von mathematischen Funktionen beschrieben werden. Die prozedurale Animation unterscheidet sich von der parametrischen Funktion dahin gehend, dass hierbei nicht zwischen verschiedenen vorberechneten Zuständen geblendet wird, sondern tatsächlich jedes Einzelbild kalkuliert wird. Insbesondere durch die breite und günstige Verfügbarkeit von hoher Rechenleistung in den letzten fünf bis zehn Jahren gewinnt die prozedurale Animation stetig an Bedeutung, da diese nunmehr kostengünstig verwendet werden kann. Dadurch wurden auch weitere Bereiche der prozeduralen Methoden, wie etwa das *Procedural Modelling*, bei dem die Formen ebenfalls über Funktionsketten kalkuliert werden, erschlossen. Durch Variation, mittels sogenannter Rauschfunktionen (siehe Abschnitt 4.6.3) können diese Modelle nunmehr sehr schnell variiert und so eine Vielzahl von unterschiedlichen Objekten erzeugt werden. Vor allem im Bereich des Spielfilms und Computerspielsektors ist dies insofern von Bedeutung, als dass in der Natur kein Objekt zwei Mal existiert, also natürliche Variation, zum Beispiel über Witterungseinflüsse, entsteht. Um nun den oft geforderten Realismus bzw. die notwendige Abwechslung zu erreichen wird demnach auf prozedurale Funktionen zugegriffen, da dort Parameter einfach variiert werden können. Die häufigste Anwendung von prozeduraler Animation stellt jedoch die Simulation von natürlichen Phänomenen, wie dem Verhalten von Flüssigkeit, Feuer, Rauch oder Sand dar. Die Simulation unterscheidet, kann dabei als Teilbereich der prozeduralen Animation verstanden werden, allerdings besteht hier zusätzlich eine zeitliche Abhängigkeit. Demnach basiert ein Kader immer auf dem vorangegangenen Einzelbild, somit müssen alle Einzelbilder vor dem gesuchten Kader berechnet werden, um diesen darstellen zu können. Als große Anwendungsbereiche können hierbei auch Partikelsimulation, die Simulation von Haaren und Fell sowie die Crowd-Simulation<sup>1</sup> genannt werden. Abseits der Simulation von natürlichen Phänomenen gewinnt die prozedurale Animation auch in der Charakteranimation an Bedeutung, da in Spielfilmen oftmals zu viele Hintergrundcharaktere auftreten, um diese manuell zu animieren. Somit wird immer öfter auf eine mathematische Beschreibung von Bewe-

---

<sup>1</sup>Crowd-Simulation bezeichnet die Simulation des Verhaltens größerer Gruppen von Menschen oder Tieren.



Abbildung 4.1: Partikelsimulation aus *Obscure*, 2018.

gungsabläufen zurückgegriffen, um diese schnell auf andere Charaktere übertragen zu können. So bauen etwa große Teile des Dialogsystems in *The Witcher - The Wild Hunt* auf prozedurale Animation [67].

Ebenso wird diese in der nicht figurativen Animation benutzt, um dort vollständig auf Schlüsselbilder zu verzichten. Oftmals geschieht dies, um später einfach Änderungen vornehmen zu können, was bei schlüsselbildbasierten Animationen keineswegs ein triviales Problem darstellt. In den meisten Fällen findet die prozedurale Animation allerdings nicht in ihrer reinen Form Anwendung, sondern wird mit schlüsselbildbasierten Methoden kombiniert. Jedoch wurden auch Filme vollständig auf der Grundlage von prozeduraler Animation erstellt wie etwa in Abschnitt 4.7.1 analysiert wird. Dabei versucht Nikita Diakur sich mithilfe der prozeduralen Animation von seinem Werk zu entkoppeln, um wieder auf eine filmemacherische Ebene zurückzukehren. Eben dadurch wird der Zufall notwendigerweise die Produktion eingeführt. So kann also durchaus argumentiert werden, dass die prozedurale Animation bzw. algorithmische Verwendung des Computers als gleichrangige Form der Kunst angesehen werden muss, was vor allem zu Beginn des Computerzeitalters Gegenstand der Diskussion war, aber auch heute wird noch vielerorts diskutiert, ob die Digitale Kunst wirklich Kunst sei [88].

### 4.3 Generative Ästhetik

Die neuartige Form der Computertechnik führte in der Kunst Mitte der 1950er zu einer breiten Diskussion. So wurde jahrelang debattiert, ob der Computer ein geeignetes Werkzeug für die Kunst sei oder nicht. Aus dieser Diskussion heraus entstand unter anderem die Definition der Generativen Ästhetik von Max Bense, die vor allem für die Computeranimation, das Expanded Cinema bzw. die Expanded Animation von großer Bedeutung sein sollte. Max Bense beschreibt die generative Ästhetik demnach wie folgt [19, S. 11]:

Unter generativer Ästhetik ist die Zusammenfassung aller Operationen, Regeln und Theoreme zu verstehen, durch deren Anwendung auf eine Menge materialer Elemente, die als Zeichen fungieren können, in dieser ästhetische Zustände (Verteilungen bzw. Gestaltungen) bewusst und methodisch erzeugbar sind.

Zunächst formuliert er dies aber sehr allgemein, diese Definition ist demnach auf sämtliche regelbasierten Abläufe anzuwenden. Bense erläutert seine Definition aber auch explizit auf die maschinelle Erzeugung von Inhalten [19, S. 13].

Auch „Programme“ in bestimmten „Programmiersprachen“ zur „maschinellen“ Realisation „freier“ (stochastischer, intuitiver) oder „gebundener“ (im voraus festgelegter, deduzierter) ästhetischer Strukturen gehören zum System generativer Ästhetik und ihren Projekten, sofern sie metrische (Abstände, Wortlängen), statistische (Wortfolgen, Positionierungen) und topologische (Verbindungen, Deformationen) Bestimmungen einkalkulieren, um „ästhetische Information“ zu erzeugen.

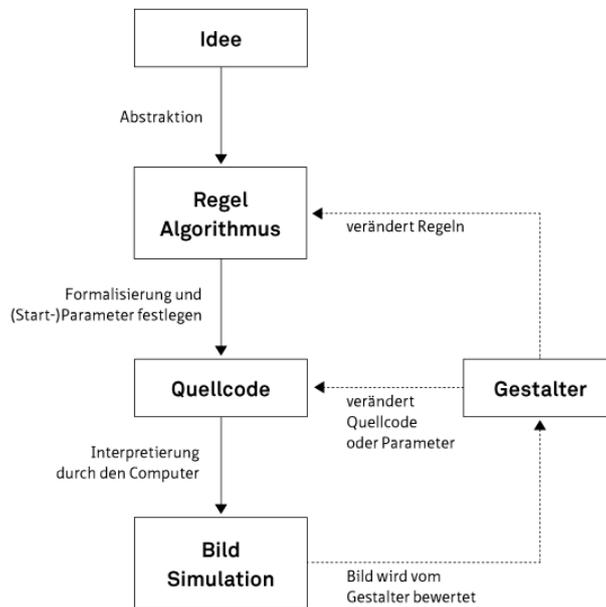
Anhand dieser Formulierungen wird also auch der algorithmischen Entwicklung von Computerprogrammen, aus denen ästhetische Informationen entstehen, künstlerischer Wert zugeschrieben, was nunmehr auch gemeinhin akzeptiert wird. Allerdings kann eine algorithmische Vorgangsweise durchaus auch ohne Computer stattfinden, solange der Erstellungsprozess des Werkes determiniert ist. Jedenfalls beschreibt Bense, dass eine algorithmische Anwendung von Funktionen durchaus kreativen und künstlerischen Wert hat.

#### 4.4 Algorithmische Eigenschaften der Animation

Nunmehr könnte man behaupten, dass auch der Film und die Animation selbst eine algorithmische Form eines Mediums darstellen. Führt man sich den Ablauf eines Filmes vor Augen, wird schnell klar, dass es sich dabei um nichts anderes handelt als einen Algorithmus, eine determinierte Anzahl von konkreten Anweisungen:

1. Lege das erste Bild ein.
2. Zeige das erste Bild.
3. Lege das nächste Bild ein.
4. Zeige das aktuelle Bild.
5. Wenn das letzte Bild erreicht ist, gehe zu Schritt 6, ansonsten zu Schritt 3.
6. Beende die Vorführung.

Demnach handelt es sich auch bei der Vorführung bzw. dem Abspielen eines Filmes selbst, um eine methodisch, algorithmischen Aktion, die nach Bense eben eine *maschinelle Realisation gebundener ästhetischer Strukturen erzeugt*. Ein linearer Film bzw. eine lineare Animation, also ein Film, der genau einen Anfang und ein Ende hat, muss jedoch als streng deterministisches Werk bezeichnet werden, da eben durch diese streng algorithmische Vorgangsweise keinen Raum für Abweichung bleibt. Künstler wie Brian Eno haben zwar immer wieder versucht diese Rahmenbedingungen aufzubrechen [75], allerdings wird hier meist einfach zwischen verschiedenen Handlungssträngen entschieden, innerhalb dieser wieder der oben genannte Mechanismus verfolgt. Diese Auswahlvorgänge können in weiterer Folge wieder stochastischen oder zufälligen Mechanismen unterliegen. Somit soll, da nun festgestellt wurde, dass der Abspielvorgang des Mediums selbst einen algorithmisch-deterministischen Charakter hat, der Entstehungsprozess nach diesen Charakteristika untersucht werden.



Copyright Hartmut Bohnacker, Julia Laub, Benedikt Groß, Claudius Lazzaroni (2009)  
 Buch „Generative Gestaltung“, www.generative-gestaltung.de

**Abbildung 4.2:** Entwurfsprozess der Generativen Gestaltung nach Bohnacker [52].

### Generative Elemente in der Animation

Betrachtet man nun das Konzept der generativen Gestaltung wie von Bohnacker formuliert, so ergeben sich mehrere Stadien (siehe Abb. 4.2) [5]. So benötigt es zunächst, wie auch von Sol LeWitt als essentiell definiert, eine Idee, die in weiterer Folge formalisiert wird. Dieser entstandene Algorithmus wird nunmehr als Quellcode formuliert, der ein Bild erzeugt. Das Bild wird in weiterer Folge von den Künstler\*innen interpretiert und der Quellcode verändert bzw. der Algorithmus entsprechend angepasst.

Speziell in der algorithmischen und prozeduralen Animation findet dieses Konzept direkte Anwendung. Erweitert man nun aber diese Formulierungen entsprechend der von Bense formulierten Definition von generativer Ästhetik kann dieses Konzept auch auf Formen der analogen bzw. schlüsselbildbasierte Animation angewendet werden. Wie oben zitiert spricht Bense also davon, dass die generative Ästhetik für „alle Operationen, Regeln und Theoreme gilt, Anwendung auf eine Menge materialer Elemente, die als Zeichen fungieren können, in dieser ästhetische Zustände (Vertellungen bzw. Gestaltungen) bewusst und methodisch erzeugbar sind“ [19, S. 11]. Demnach gilt dies auch für Ästhetiken außerhalb des Computers, da diese Maschinen später nochmal explizit erwähnt werden. Betrachtet nun die Vorgangsweise von Conrad und Whitney kann eben dieses iterative Verhalten nach Bohnacker beobachtet werden (vgl. Abschnitte 3.5.3 und 3.5.4). So haben sowohl Whitney als auch Conrad zunächst Bilder erzeugt, die gewissen

Regeln (ihres Designs) entsprachen und diese nach Begutachtung der Bilder bzw. Animationen überarbeitet. Conrad etwa konnte die Effekte erst feststellen, sobald er den Film abspielte, musste diese später also entsprechend seiner Wahrnehmung korrigieren. Demnach befindet sich Conrad als Gestalter in der Feedbackschleife und passt die Animation, nach Bohnacker als Quellcode in der Grafik ersichtlich, an. Whitney hingegen erwähnte seine iterative Vorgangweise selbst [17, S. 183], wenn er beschreibt, dass er den Filmstreifen oft zurückspulte und dann gegebenenfalls Überlagerungen hinzufügte. Diese Vorgangweise schließt auch in keinem Fall den Zufall aus, wenn man bedenkt, dass die erste Iteration sehrwohl mit arbiträren Werten oder Zuständen begonnen wird oder wie im Falle vom Whitney auch der gesamte Erstellungsvorgang durch intuitives Zeichnen auf einem Ölbad erfolgt, dass in Echtzeit aufgezeichnet wird. Demnach lässt sich auch bei der Gestaltung von Animation eine generative Ästhetik feststellen, die vor allem bei der Gestaltung der Computeranimation besondere Bedeutung hat. Wie sehr die generative Ästhetik Anwendung findet, ist jedoch von Fall zu Fall unterschiedlich, wonach also Beispiele untersucht werden sollen.

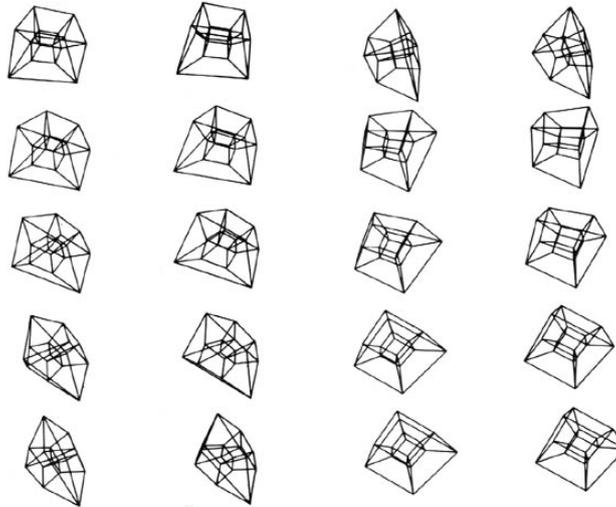
## 4.5 Frühe Computeranimation

Nachdem in den frühen 1960er Jahren von den Mitarbeiter\*innen in den Bell Laboratories und der Technischen Universität Stuttgart die ersten computergenerierten Bilder, die einen rein künstlerischen Zweck erfüllten, erzeugt wurden, ließ die computergenerierte Animation nicht all zu lange auf sich warten. Der Fokus dieser Arbeit liegt nunmehr auf der Animation, dennoch sollen die Pionierleistungen Herbert W. Frankes, Charles Csuri und Kenneth Knowltons nicht unerwähnt bleiben [89, 54, 94]. Die Animationsfilmemacher fokussierten sich, ähnlich wie die Künstler\*innen der analoge Animation in ihren frühen Jahren wiederum auf abstrakte Inhalte, wobei dies sowohl auf die neue Form des Mediums als auch auf die geringe Rechenleistung der damaligen Systeme zurückzuführen ist. So wurden für die modernsten Computersysteme gesamte Räume veranschlagt. Da viele der ersten Animationen in Firmen wie IBM oder auch den Bell Laboratories erstellt wurden und sich Quellen teilweise widersprechen, ist heute nicht mehr klar nachzuvollziehen, wer als Erstes eine Computeranimation erzeugte. A. Michael Noll gilt jedenfalls als ein Pionier der Computeranimation, die rein zu künstlerischen Zwecken erstellt wurde, und war zum damaligen Zeitpunkt bei den Bell Laboratories angestellt (siehe Abb. 4.3). Insbesondere in den ersten Jahren reduzierte sich die Darstellung der Computergrafiken auf geometrische Grundkörper und deren Drahtgitterabbildungen.

Doch auch andere Künstler, die sich zuvor mit der analogen Animation beschäftigt hatten, waren an der Verwendung der Computertechnik interessiert. So bekam John Whitney 1966 als erster Künstler die Position als Artist in Residence bei IBM, wo er seine erste vollständig am Computer umgesetzte Animation erstellen sollte.

### 4.5.1 John Whitney - *Permutations*

Nachdem Whitney in den Jahren zuvor die analoge Computertechnik bereitstellte, mit der sein Bruder James die Animation *Lapis* [58] erstellte, konnte John Whitney aufgrund seiner Residenz bei IBM nun auch mit der Digitaltechnik experimentieren. Nach



**Abbildung 4.3:** *3-Dimensional Projection of a Rotating 4-Dimensional Hypercube*, A. Michael Noll, 1962 [60].

mehreren Jahren führte dies 1968 zu Veröffentlichung des Animationsfilmes *Permutations* [61], der als erster, vollständig digitaler Animationsfilm Whitneys gilt [37, S. 215]. Whitney arbeitete dabei in Kollaboration mit Dr. Jack Citron zusammen, der bei IBM als Programmierer angestellt war und ihm das Programm GRAF zu Verfügung stellte. GRAF beschreibt dabei eine Polarkoordinatenfunktion mit etwa 60 Parametern, die von Whitney verändert werden konnten, um die grafische Repräsentation der Funktion anzupassen. Aufgrund der Eingabe von mehreren Beschreibungen in Folge wurden diese interpoliert und somit animiert. Die Animation konnte dabei aufgrund der technischen Limitierungen allerdings nur mittels Lochkarten erfolgen. Whitney hat dabei laut seinen eigenen Aussagen zunächst das Problem des Verständnisses alle Eingaben mit mathematischen Methoden zu betrachten, was ihn selbst von der künstlerischen Arbeit distanzierte [37, S. 216], mit ausreichend Übung sollte dies aber bald keine große Ursache mehr darstellen. Damit konnte Whitney die Figuren schlussendlich gezielt erzeugen, was der Präzision der Bewegungen und der Symmetrie der Spiralen und verschiedensten Linienformationen abzulesen ist. Obwohl dieser Präzision fand der Zufall dennoch seinen Weg in diese Animation. Whitney zufolge animierte er sämtliche Sequenzen, bevor er sich über die Musik für die Animation Gedanken machte [37, S. 221].

In *Permutations* the sequences and colors were all done before I selected a piece of music, yet there are all these astonishing relations with the music [...] you can often make an accident turn into a very wonderful twist to new meaning.

Somit beschreibt er also, dass der Zufall durchaus als kreatives Element verstanden werden kann, obwohl er selbst sehr definiert wirkende Werke erstellte und immer wieder auf streng determinierte Methoden, wie die mathematische Beschreibung von Funktionen, zurückgriff. Whitney kritisiert aber auch, dass der Zufall nicht des Zufalls wegen,

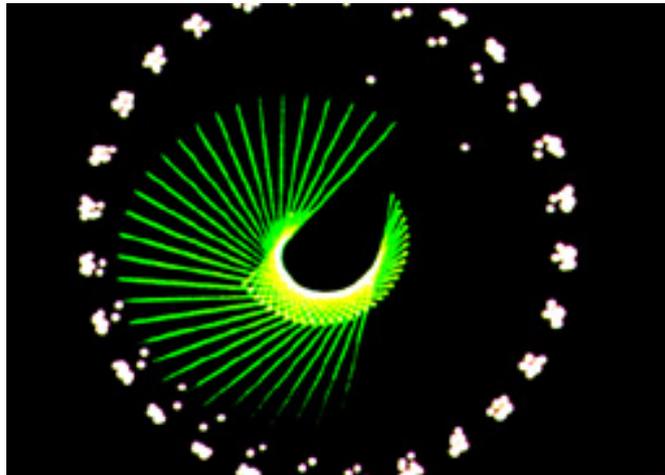


Abbildung 4.4: Permutations, John Whitney, 1968 [61].

als künstlerisches Element zu verstehen ist, indem er beschreibt, dass die Entscheidung eines Künstlers keineswegs als besonders zu bezeichnen ist, nur weil sie zufällig sei. Vielmehr fordert er indirekt, ebenso wie LeWitt, eine Auseinandersetzung mit einer Idee. Weiter formuliert er, dass nur weil etwas zufällig ist, sei dies nicht automatische Kunst, vielmehr sei es schwieriger in der Kunst ein determiniertes Werk zu erschaffen [37, S. 222].

Wendet man nun Friedrich Schulzes Prinzip des aleatorischen Spiels auf *Permutations* [61] an, kann man feststellen, dass es zwar einen klaren Auswahlbereich gibt, den der mathematischen Beschreibung der Funktion, das Auswahlverfahren aber rein auf der Intuition von Whitney basiert. Whitney wählte demnach für ihn ästhetisch wirkende Formen aus. Betrachtete man das Organisationsmuster, so ergibt sich eine spiralförmige und kreisförmige Anordnung von Lichtpunkten und Linien die an ein Mandala, erinnern. Die Formen entwickeln sich zunächst von zweidimensionalen Strukturen hin zu dreidimensional wirkenden Ringen, die sich zum Ende hin wieder zu Punkten auflösen. Somit könnte der Ablauf, da dem Mandala auch eine magisch-religiöse Bedeutung zugesprochen wird, einem Lebenszyklus zugeordnet werden. Abgesehen davon ist jedenfalls eine klare Struktur der Organisation zu erkennen, die aber keineswegs auf mathematischen Abhängigkeiten beruht, aber auch nicht vollständig zufällig zu sein scheint. Demnach ist jedenfalls eine Dramaturgie zu erkennen, die aber nicht klar einem aleatorischen Element zugeordnet werden kann. Whitney entzieht sich also kaum der Werkgenese, somit kann *Permutations* nicht als aleatorisches Werk gesehen werden, vielmehr handelt es sich wieder um ein determiniertes, experimentelles Werk, das des Experiments und der Ästhetik wegen erstellt wurde, aber mit einer dramaturgischen Kurve versehen wurde. Die bei der Vertonung entstandenen zufälligen ästhetischen Anordnungen sind aber allenfalls als aleatorische Elemente zu betrachten.

#### 4.5.2 John Stehura - *Cybernetik 5.3*

John Stehura programmierte im Gegensatz zu John Whitney seine Applikationen vollständig selbst. Um die Hybridanimation *Cybernetik 5.3* [44] zu erstellen, die sowohl aus computergenerierten Bildern als auch aus analogen Bildaufnahmen besteht, formulierte Stehura seine Anweisungen in der damals gängigen und als erste Hochsprache zu bezeichnenden Programmiersprache FORTRAN. Die Animation selbst ist, bis auf wenige Standbilder (siehe Abb. 4.5), leider nicht mehr auffindbar, allerdings sollte diese aufgrund ihrer besonderen Vorgangweise, die auch heute, vor allem in der prozeduralen Animation Anwendung findet, jedenfalls diskutiert werden. Stehura bezeichnet seine Animation als *incidental test*, als „zufälligen Test“, was angesichts der verwendeten Techniken auch nachvollziehbar ist. So verwendete Stehura semi-zufällige Methoden an, um die computergenerierten Bilder zu erzeugen. Demnach verwendete Stehura Bilder als Grundlage für seine Animationen, die in weiterer Folge durch die Anwendung von mehreren Feldern verzerrt werden. Ein Feld ist dabei als ein Punkt im Raum zu verstehen, der einen gewissen Wirkungsradius auf die umliegenden Elemente hat. Diese Felder verändern die Bilder nunmehr in Farbe, Tonalität, Größe oder verzerren diese in ihrem Wirkungsfeld. Durch die Kombination dieser verschiedensten Felder erschuf Stehura somit ein komplexes System, bei dem sich jedes Feld auf das Bild auswirkte, diese sich dadurch also akkumulierten. Diese Überlagerungen führen wie bei anderen komplexen Systemen, die bereits in Abschnitt 2.2 diskutiert wurden, zu einer nicht nachvollziehbaren Reaktion, die demnach für den Betrachter zufällig wirkt. Zusätzlich verwendete er generative Methoden, wie nach Bohnacker et al. formuliert, da er selbst beschrieb, dass er die Ergebnisse evaluierte und bei Bedarf anpasste [37, S. 242], wobei das System teilweise auch für ihn als Künstler nicht mehr nachvollziehbar war. Damit kann in jedem Fall von einer nichtintentionalen Werkzeuggenese gesprochen werden, da Stehura selbst die Kontrolle über das System verlor und sich selbst vollständig von seinem Werk entkoppelte. Die Erzeugung des Systems muss dennoch als intentional angesehen werden, da Stehura dies bewusst und kontrolliert tat, doch durch die vielfache Überlagerung von Effekten entkoppelte sich der Künstler von seinem Werk, auch wenn er ähnlich wie Whitney in seinen frühen Animationen als ein ästhetisches Korrektiv in das System eingriff.

#### 4.5.3 Ken Knowlton

Ken Knowlton gilt als eine der bedeutendsten Personen in der frühen Computeranimation. Er arbeitete wie viele andere ebenfalls für die Bell Laboratories und entwickelte dort die Programmiersprachen BEFLIX (Bell Flicks) und EXPLOR (Exploration, Logic Operators, Randomness), die ausschließlich zum Zweck der visuellen Gestaltung von Film, Bildern und Designs erfunden wurden. Knowlton arbeitete vor allem in Ende der 1960er und Anfang der 1970er Jahre mit verschiedensten Künstler\*innen zusammen und erstellte damit einige der wichtigsten Arbeiten aus dieser Zeit. Die als *Poem Fields* [64] bezeichneten Animationen von Ken Knowlton und Stan VanDerBeek stellen eine weitere Facette der damaligen Computeranimation dar. Die Animationen entstanden in den Jahren 1965 bis 1971 und wurden vollständig mit BEFLIX und EXPLOR umgesetzt. In *Poem Fields* wird eine Serie von Wörtern auf variierendem Hintergrund gezeigt, wobei sowohl Schrift als auch Hintergrund immer wieder ineinander übergehen. Begleitet

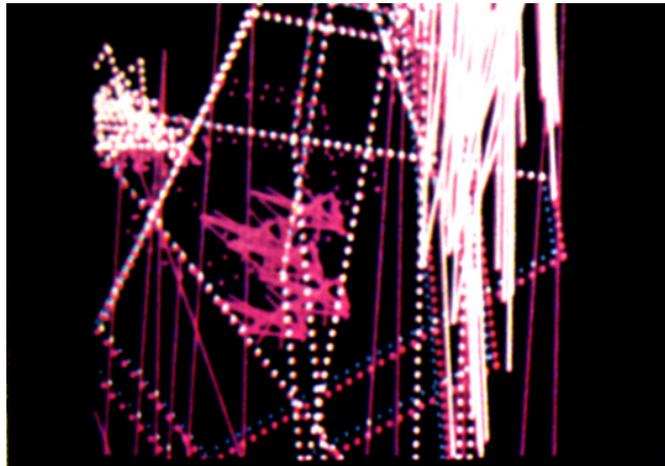


Abbildung 4.5: Cybernetik 5.3, John Stehura, 1965-69 [69].

von Jazz-Musik ergibt sich dadurch eine hypnotische Animation, der durch ihre visuelle Abstraktion und der scheinbaren Beliebigkeit von Mustern jedenfalls eine Zufälligkeit zuzuschreiben ist, obwohl sich Musik, Wort und Bild gegenseitig ergänzen. So ist den Bewegungen oft eine Tonalität zuzuordnen, da über Synchronizität eine Zugehörigkeit suggeriert wird. Doch ähnlich wie die Musik scheint auch das Bild aus dem Affekt heraus zu entstehen. Die einzelnen Wörter scheinen sich ähnlich wie bei Gedichten aufeinander zu beziehen und handeln von „Leben“ und „scheinbarem Leben“, eine konkretes Narrativ ist aber nicht zu erkennen. Den Mustern und Bildern ist also somit eine Form der Beliebigkeit, der Kombination der Wörter bzw. der Synchronizität von Ton und Bild hingegen ein Zusammenhang, der nicht näher erläutert wird zuzuschreiben. Demnach scheint es sich wiederum um eine Animation mit teilweise aleatorischen Komponenten zu handeln.

Danach veröffentlichte er 1970 gemeinsam mit Lillian Schwartz den Kurzanimationsfilm *Pixillation* [63] der sowohl aus analog aufgenommenem Videomaterial als auch digital generierten Inhalten bestand. Die digitalen und analogen Inhalte kontrastieren sich darin nicht nur durch Erstellungsmechanismen, sondern auch durch ihre Ästhetik, da die analogen Aufnahmen vor allem Bewegungen von Flüssigkeit zeigen, die digitalen Formen aber meist aus Rechtecken oder Quadraten bestehen, die abstrakten Muster bilden. Die Wahl der analogen und digitalen Formen spiegelt dabei auch die damalige Diskussion der Situation der Computerkunst wider und beschreibt die analogen und digitalen Welten die aufeinanderprallen, zeigt aber zugleich eine Symbiose von analoger und digitaler Technik. Der Anordnung der Muster ist dabei wiederum eine Form der Beliebigkeit zuzuschreiben, weil anhand der Positionierung keine übergeordneten Formen zu erkennen sind, allerdings sind diese von digitaler zu analoger Darstellung oft kohärent und übermitteln somit eine Form der Symbiose der Stile. Diese Synchronizität erfolgt wiederum ebenso über Ton und Rhythmus. Demnach ist also wiederum bei der Generierung der Muster ein nichtintentionaler Faktor zu erkennen, nachdem sowohl die Flüssigkeiten als komplexes System als auch die computergenerierten Bilder als randomisierte Elemente zu verstehen sind. Dem Gesamtbild ist aufgrund der



Abbildung 4.6: Cybernetik 5.3, John Stehura, 1965–69 [57].

Dramaturgie und Synchronizität jeden Fall eher ein intentionaler Charakter zuzuschreiben. 1972 veröffentlichten die beiden Künstler weitere Werke *Googolplex* [51], wobei die Ähnlichkeit zu *Pixillation* klar zu erkennen ist, die beiden sich also einen eigenen Stil erschaffen hatten (siehe Abb. 4.6). *Googolplex* baut dabei ähnlich wie die Werke von Tony Conrad auf die Auslösung von visuellen Reizen beim Betrachter durch Flickering auf. Dazu werden im Gegensatz zu rein weißen und schwarzen Kadern eben solche Flächen verwendet, die oftmals schnell invertiert werden. Dabei nützen die beiden Künstler die Flächen, um fiktive dreidimensionale Räume zu generieren, aber auch um zufällig wirkende, zweidimensionale Muster zu erstellen. Diese überblenden beim Abspielen des Filmes nunmehr so stark, dass völlig neue Muster wahrgenommen werden. Somit kann dies ähnlich bei Conrad als zufällig angesehen werden, dabei wurde die Technik von Conrad allerdings auf die Verwendung komplexer, digital erstellter Muster erweitert. Demnach ist *Googolplex* ähnlich wie Conrads *The Flicker* [74] als ein Werk mit nichtintentionalem Charakter zu beschreiben. Eine vollständige Entkopplung gelang Knowlton ähnlich wie anderen zuvor jedoch nicht, stellte aber auch nicht das Ziel seiner Intentionen dar. Wie also zu beobachten sind insbesondere die frühen Arbeiten erneut dem abstrakt-experimentellen Feld zuzuordnen.

## 4.6 Die Entkopplung des Künstlers

Betrachtet man nun die bisher analysierten Animationen, ist festzustellen, dass nur bedingt von einer nichtintentionalen Werkgenese zu sprechen ist, da die Animationsfilmemacherinnen stets bestimmender Faktor waren. Einzig John Stehura konnte sich als Künstler von seinen Arbeiten loslösen. Mit der fortschreitenden technologischen Entwicklung war es nunmehr aber auch möglich noch komplexere Systeme zu erschaffen, als die die Stehura zur Verfügung hatte. Diese Komplexität führte zu einer weiteren Entkopplung der Künstler\*innen von ihren Werken und in weiterer Folge zu Anima-



**Abbildung 4.7:** AARON, Harold Cohen, 1974-2016 [50].

tionen, die durch diese Systeme teilweise autonom erzeugt wurden. In Folge dessen erfolgte die Realisation von vollständig autonom ablaufenden Animationen, die sich auch selbst, und zwar teilweise unkontrollierbar, weiterentwickelten. Dadurch bestimmen die Künstler\*innen oft nur mehr die Ausgangssituation, beschreiben die Animationen vielmehr über ein formalisiertes Regelwerk. Somit erzeugen die Animator\*innen ihre Animationen nur mehr indirekt und liefern somit ähnlich wie LeWitt, nur mehr eine formale Beschreibung.

#### 4.6.1 Harold Cohen - AARON

1974 veröffentlichte Harold Cohen die erste Version von *AARON* [50], einem autonomen Zeichenroboter. Von seinem initialen Release in den 1970er Jahren weg, wurde *AARON* bis zum Tod Cohens im Jahr 2016 stetig weiterentwickelt (siehe Abb. 4.7). *AARON* besteht dabei aus einem Algorithmus, der selbstständig Formen erstellen kann und Hardwareelementen, wie einem Plotter, der die Befehle des Programmes ausführt. Dabei kann sicherlich diskutiert werden, ob *AARONs* Zeichenprozess als Animation gilt, im Sinne der erweiterten Animation, sei dies nunmehr aber angenommen, eine Diskussion dessen geht über den Horizont dieser Arbeit hinaus. Das Programm konnte zunächst nur simple Formen zeichnen, wurde über die Jahre hinweg, aber zu einem komplexen Zeichenprogramm weiterentwickelt, das nunmehr auch Objekte, wie etwa Blumentöpfe oder Tische erstellen konnte. In seinen späteren Varianten zeichnete *AARON* auch Personen.

Cohen verfolgte wollte dabei zunächst grundsätzlich feststellen, unter welchen Bedingungen Zeichen als Bild wahrgenommen werden. Dies führte zu einer jahrzehntelangen Weiterentwicklung des Programmes. *AARON* verfügt aber bis heute nicht über die Mög-

lichkeit selbstständig neue Mechanismen zu lernen, vielmehr mussten sämtliche neuen Funktionen von Cohen über Programmierung hinzugefügt werden. Cohen beschreibt *AARON* in seinen Dokumentationen immer ähnlich wie eine Person, die ein bestimmtes Verhalten aufweist, ein Kind dem er neue Dinge beibringt [82]. So konnte *AARON* zunächst nur Linien und abstrakte Formen zeichnen, Cohen musste die so entstandenen Flächen dann aber selbst händisch bemalen, da das Programm die Konzepte vom Füllen von Flächen oder Farbe nicht kannte. Doch durch die stetige Weiterentwicklung des Programmes erlangte *AARON* schlussendlich eine gewisse Selbstständigkeit. Wie Cohen beschreibt, entscheidet *AARON* nunmehr auch selbstständig, welche Formen und Figuren er wann und wie erstellt, wobei diese Entscheidungen auf mehrdimensionalen zufälligen Abläufen aufbauen [82, S. 4]. Durch eben diese zufälligen Abläufe bezieht *AARON* immer wieder neue Möglichkeiten Bilder zu zeichnen. Nach Cohens Beschreibung werden keine zwei Bilder jemals identisch sein. So setzt *AARON* sein Schaffen nun auch nach dem Tod Cohens fort, was die Entkopplung Cohens von *AARON* auf perfide Art und Weise unterstreicht. *AARON* kann somit als eine frühe Form einer künstlichen Intelligenz bezeichnet werden. Cohen selbst hatte 2009 aber noch kritisch formuliert, dass die Kreativität des Programmes nur in Kombination mit dem Künstler entstehen können [82, S. 8]:

I'll allow that AARON is creative, with respect to both color and form; [...] But that creativity, non-trivial as it may be, functions for me primarily as an existence proof that "cognitive creativity" is a property, rather, of the relationship between program and programmer; because it is only in the dialog that can develop in that relationship that the transition from human purpose to machine implementation becomes possible.

Demnach sind die Künstler\*innen aus dem Prozess nach wie vor nicht wegzudenken und die Zufälligkeit solcher Systeme in erster Linie abhängig von den Parametern, die die Künstler\*innen erlauben. *AARON* erreichte durch Cohens Schaffen dennoch eine gewisse Selbstständigkeit, da er selbst, obwohl er aus einer endlichen Anzahl von determinierten Funktionen besteht, Entscheidungen trifft, die für uns durchaus indeterminiert wirken, also nicht nachzuvollziehen sind. Betrachtet man die Vorgangsweise *AARONs* nach Schulze so ergibt sich eine klare Definition des Auswahlbereiches, nämlich der Formen die *AARON* von Cohen erlernt bekam. Das Auswahlverfahren ist ebenso durch einen deterministischen Prozess definiert, der aber wie beschrieben auf einem pseudozufälligen, mehrdimensionalen Ablauf basiert. Und schließlich findet das Organisationsmuster ebenso durch deterministische, weil algorithmische Funktionen Anwendung. Trotz der streng deterministischen Abläufe des Computerprogrammes ergeben sich auf der Ebene der Wahrnehmung dennoch zufällige Ergebnisse.

#### 4.6.2 John Horton Conway - *Game of Life*

Eine völlig neue Art der Animation entwickelte sich mit der Gestaltung von sogenannten zellulären Automaten. Zelluläre Automaten finden ihren Ursprung bereits in der Forschung von John von Neumann [33, S. 440], dem die Erfindung der heutigen Computerarchitektur zugeschrieben wird. Sie beschreiben dabei ein regelbasiertes System,

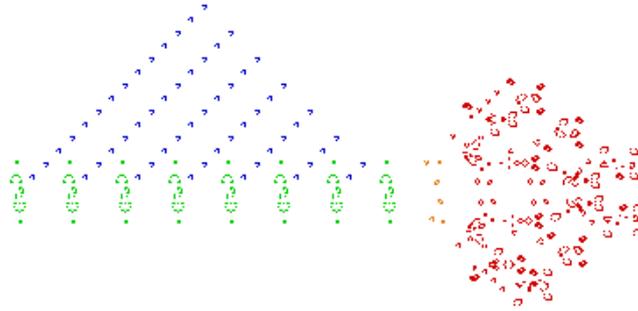


Abbildung 4.8: Conways *Game of Life* [43].

bei dem Zellen verschiedenen Zustände annehmen können. Die Veränderung es Zustandes einer Zelle basiert dabei meist auf Regeln, die sich am Zustand der Zellen in ihrer Umgebung orientieren. Dieser Prozess wird in weiterer Folge für jede Zelle wiederholt, weshalb ein angestoßenes System oft keine weitere Eingabe von außen benötigt und somit also automatisiert abläuft. Demnach kann also auch von einer Art Simulation bzw. einem prozeduralen Ablauf gesprochen werden. Als bekanntestes Beispiel der zellulären Automaten gilt das 1970 von John Horton Conway entworfene *Game of Life*. Das *Game of Life* besteht dabei aus einem zweidimensionalen Raster, bei dem jedes Feld eine Zelle darstellt. Zunächst können die Felder von den Benutzer\*innen beliebig befüllt werden, nachfolgend treten beim Anstoßen des iterativen Ablaufs folgende Regeln in Kraft [33, S. 442]:

1. Eine leere Zelle wird im nächsten Zeitschritt leben, wenn sie genau drei besetzte Nachbarzellen hat.
2. Eine lebende Zelle bleibt am Leben, wenn sie zwei oder drei lebende Nachbarzellen hat.
3. Alle Zellen, bei denen die Voraussetzungen der Regeln 1 und 2 nicht zutreffen, sind in der nächsten Generation tot.

Durch diese anfänglich sehr einfach wirkenden Regeln entsteht ein äußerst komplexes Ablaufsystem. Schon minimale Änderungen der Ausgangssituation führen dabei zu vollständig veränderten Abläufen des Systems. Der Ablauf des System kann bei manchen Konfigurationen schon nach wenigen Zyklen beendet sein, andere münden in Endloschleifen, enden also nie. Neben der Beliebtheit als Programmieraufgabe im Unterricht findet Conways *Game of Life* [43] auch grafische Anwendung, da das System definierte Charakteristika annehmen kann und dadurch Formen und sich verändernde Muster erzeugt werden können (siehe Abb. 4.8). Vielmehr gestaltete sich das Design von solchen Systemen als eine Anwendung des Trial-and-Error Mechanismus. Da das System in seinem Ablauf aber als komplexes System verstanden wird, ist die Zufälligkeit der Mechanik nicht abzustreiten. Demnach lassen sich Zustände nach mehreren Zyklen zwar berechnen, aber nicht mehr von den Anwender\*innen vorhersagen, wonach also wiederum eine Entkopplung stattfindet. Diese findet allerdings mit dem *Game of Life* nicht nur durch die Künstler\*innen, also die Programmierer\*innen statt, sondern trifft in diesem Fall auch die Rezipient\*innen, die Anfangskonfigurationen vergeben können.

Obwohl es sich hierbei um ein komplexes System handelt, das chaotische Züge aufweist, entstehen aufgrund der von Conway vergebenen Regeln teilweise wiederkehrende Formen, denen ein ikonische Zeichen zugeschrieben wurden. So werden manche Formen als Gleiter, Blinker oder Tümmler beschrieben. So ergeben sich also auch zunächst zufällig erscheinenden Formen wiederum Figuren mit Bedeutung bzw. denen eine Bedeutung zugeschrieben wird. Conways simples Regelsystem führt also zu vielen zwar deterministisch bestimmbaren Ergebnissen, die er aber so nicht hätte voraussehen können, die somit unbestimmt waren, womit also durchaus von einem aleatorischen Werk gesprochen werden kann.

#### 4.6.3 Variation durch Rauschen - Perlin Noise

Ken Perlin revolutionierte 1983 die prozedurale Texturierung von dreidimensionalen Oberflächen mit der von ihm entwickelten und nach ihm benannten *Perlin Noise*. Die Rauschfunktion basiert dabei auf pseudo-zufälligen Gradientenwerten und stellt heute eine der meist verwendeten Rauschfunktionen überhaupt dar. *Perlin Noise* überzeugt durch ihren geringen Rechenaufwand durch die Verwendung von pseudozufällig generierten Zahlen. Eine genaue Beschreibung der Implementierung findet sich etwa in [80]. Außerdem ist die Funktion bei Künstler\*innen durch ihre einfache Handhabung äußerst beliebt, da sie sich in alle Dimensionen skalieren und verschieben lässt, außerdem visuelle Eigenschaften besitzt, die sehr stark an Feuer, Rauch oder Wolken erinnern. So können mit *Perlin Noise* durch mehrfache Überlagerung sehr schnell komplexe, realistische Materialien erzeugt werden. Weitere Anwendung findet die Funktion auch im Bereich der zufälligen Verteilung von Objekten dem Erstellen von visuellen Effekten wie der Simulation von Feuer oder Rauch. Perlin erhielt als Folge seiner Entwicklung 1997 einen *Academy Award for Technical Achievement*, wodurch also seine Leistung entsprechend gewürdigt wurde. Perlin entwickelte in weiterer Folge auch die optimierte Rauschfunktion *Simplex Noise* die einige Defizite von *Perlin Noise*, wie etwa sichtbare directionale Fragmente reduziert.

Durch Perlins Erfindung und der darauffolgenden Entwicklung einer großen Anzahl verschiedener Rauschfunktionen findet sich heute in gängigen Visual Effects und 3D-Applikationen wie *SideFx Houdini* und *Autodesk Maya* mittlerweile eine Vielzahl unterschiedlicher Rauschfunktionen, die zur Realisation von prozedural generierten Effekten genutzt werden können. Darüber hinaus spezialisierten sich Programme teilweise sogar auf die Erstellung von prozedural generierten Texturen, so etwa *Substance Designer*, die den Vorteil bieten entsprechend der benötigten Auflösung skaliert werden zu können (siehe Abb. 4.10). Außerdem benötigen die Ausgangsdateien, von Programmen wie *Substance Designer* oder *SideFx Houdini* üblicherweise nur wenige Kilo- bis Megabyte an Speicher. Durch die heute hohe Verfügbarkeit von Rechenleistung können damit nahezu fotorealistische Ergebnisse erzielt werden. Somit findet der Zufall in fast allen dreidimensional genierten Animationen Anwendung, so etwa auch in den Arbeiten von Karl Sims.

#### 4.6.4 Karl Sims

Als einer der bemerkenswertesten, prozedural arbeitenden Künstler der frühen 1990er Jahre gilt Karl Sims, der 1994 mit *Evolving Virtual Creatures* [31] für internationale

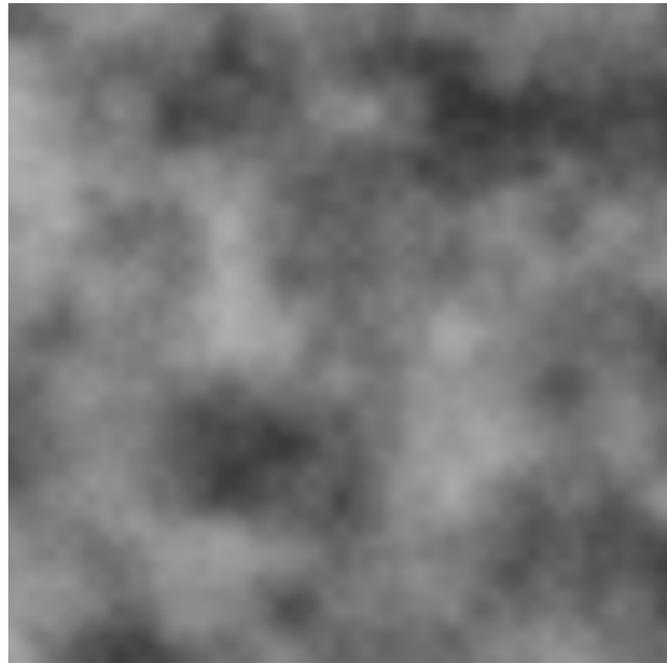


Abbildung 4.9: *Perlin Noise*, Ken Perlin [23]

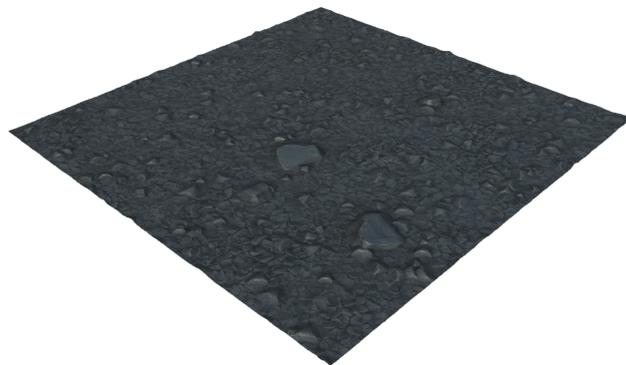


Abbildung 4.10: Prozedurale Texture aus *Obscure*.

Aufmerksamkeit sorgte. Doch auch zuvor setzte sich Sims bereits mit Wachstumsanimation und evolutionären Prinzipien auseinander und erschuf im Zuge seiner Forschung die Animation *Panspermia* [100] für die er unter anderen die Goldene Nica im Rahmen des Ars Electronica Festivals 1991 erhielt.

#### *Panspermia*

*Panspermia* bezeichnet die Theorie, dass das Leben im Universum durch Bakterien oder Sporen transportiert wird. Sims dokumentiert in *Panspermia* einen Lebenszyklus einer solchen fiktiven Spore mittels prozeduraler Animation. Dabei generiert er mit der Hil-

fe von in der Biologie angewandten Methoden zufällige Variationen und Mutationen von Pflanzen, die nunmehr anhand einer künstlich-evolutionären („Artificial Evolution“) Techniken interaktiv selektiert wurden, bis ein Set von interessanten und visuell ansprechenden Strukturen erreicht war [100]. Auch die Texturierung der Objekte erfolgte dabei vollständig prozedural, etwa über die zuvor erörterte *Perlin-Noise*. Sims unterscheidet bei der Beschreibung der Objekte zwischen Genotypen und Phenotypen. Erstere entsprechen dabei dem logischen Aufbau, also dem Regelwerk, Letztere dem tatsächlichen hierarchischen Aufbau der dreidimensionalen Objekte, also einem konkreten Objekt. Über das Regelwerk wird also das Aussehen der verschiedenen Pflanzensysteme definiert. Um nun in eine nächste Evolutionsstufe voranzuschreiten, wurde von Sims definiert, welche Pflanzen in den nächsten Zyklus kommen, somit überleben dürfen. In weiterer Folge werden die Genotypen der ausgewählten Phenotypen vom Programm weiter variiert und so neue Objekte erzeugt. Dies erfolgt so lange bis Sims mit dem Ergebnis zufrieden ist und den Vorgang abbricht. Unter Einsatz dieser Technik konnte Sims auch alleine sehr schnell eine Vielzahl von Variationen und somit einen gesamten Wald erzeugen. Sims verwendete zusätzlich Partikelsysteme und dynamische Simulation, um jegliche manuelle Animation, abgesehen von der Kameraanimation, zu vermeiden. Ebenso wurden die Oberflächenbeschreibung, wie Bump-Maps, also die Beschreibung der Höheninformation und Texturen prozedural erzeugt. Sims merkt jedoch auch in seiner Dokumentation zu der Arbeit an, dass die prozedurale Animation durch die Komplexität oft schwer zu kontrollieren ist und bzw. sich oft nur indirekt steuern lässt. Insbesondere bei Partikelsystemen ist eine gewisse Zufälligkeit von den Künstler\*innen nicht auszuschließen. In *Panspermia* macht sich diese Zufälligkeit auch bei der Generierung der verschiedenen Pflanzen bemerkbar, Sims behält aber insofern Kontrolle, als dass er die Variationen händisch auswählt. Für die Generierung der Pflanzen kann also von einer teilweise-aleatorischen Methodik gesprochen werden, da Sims die Iterationen manuell auswählen muss, sich aber der Funktionalität eines komplexen Systems bedient. Anhand dieser Kombination von aleatorischen und nichtaleatorischen Methoden erreicht Sims ein ausreichendes Maß an Kontrolle.

#### *Evolving Virtual Creatures*

Ein weitaus komplexeres System, das auf dem Prinzip von *Panspermia* aufbaut, stellte Karl Sims 1994 vor unter dem Titel *Evolving Virtual Creatures* [47] vor (siehe Abb. 4.12). Ziel des Projektes war es demnach Kreaturen zu erzeugen, die sich im dreidimensionalen physikalischen Raum fortbewegen können. Er verwendet dazu wieder die genetische Theorie aus *Panspermia* und wendete diese nunmehr auf Kreaturen anstatt unbewegliche Objekte an, wobei die einzelnen Elemente nunmehr simple Körperteile oder auch logische Zentren abbilden, die das Verhalten von Kreaturen bestimmen. Über den Einsatz von verschiedenen Sensoren und Effektoren wird der aktuelle Zustand der Kreaturen abgerufen bzw. die Aktionen ausgeführt. Zunächst wird also ebenfalls eine initiale Generation dieser Kreaturen erstellt, was per Zufallsverfahren geschah. Diese werden in weiterer Folge in die dreidimensionale Welt platziert und mit einer Aufgabe versehen. Die Aufgaben teilt Sims in die Kategorien Schwimmen, Laufen, Springen und Verfolgen ein [31, S. 3]. Über physikalische Simulation werden die Kreaturen nun versuchen diese zuvor festgelegte Aufgabe zu erfüllen. Nach jedem Zyklus, der nach einer



Abbildung 4.11: *Panspermia*, Karl Sims [100].

vorbestimmten Zeit endet, wird der Erfolg einer jeden Kreatur über einen *Fitness*-Faktor bestimmt, der nun aber vom Programm selbst festgelegt wird. Kreaturen, deren *Fitness* über einem gewissen Prozentsatz relativ zu der Gesamtbevölkerung liegt, wird nunmehr in die nächste Generation übernommen, damit die Population allerdings nicht abnimmt, werden neue Kreaturen erstellt, die ihre Eigenschaften von den erfolgreichen Figuren erhalten. Um nun auch Variation zu erreichen werden die Eigenschaften nicht direkt übernommen, sondern mehrere Figuren kombiniert und diese Wert auch variiert [31, S. 5]. Somit weisen die neuen Phenotypen, wie von Sims beschrieben, zwar Ähnlichkeit zu ihren Elternpaaren auf, variieren aber in zufälliger Art und Weise. Da die erfolgreicher Kreaturen auch mehr Abkömmlinge erzeugen, ergibt sich ein zusätzlicher *survival of the fittest*-Effekt. Dies erinnert in der grundsätzlichen Vorgangweise stark an Conways *Game of Life* [43], stellt aber eine stark erweiterte Funktionalität zur Verfügung, da es sich nunmehr um mehrdimensionale Zellen handelt, die ihre Eigenschaften vererben können. Insbesondere die Evolution der Kreaturen von einer Generation fügt den zellulären Automaten eine vollständig neue Facette hinzu, somit kann hier auch von evolutionären Automaten gesprochen werden. Doch insbesondere die Komplexität solcher Systeme reduziert die Kontrolle der Künstler\*innen maßgeblich, obwohl sich gerade Sims *Evolving Virtual Creatures* relativ gut steuern lassen. So erlaubt Sims den Zugriff auf fast alle Parameter, die zur Evolution der Figuren beitragen, obwohl er selbst auch anmerken muss, dass er das System nicht immer unter Kontrolle hat [31, S. 2]:

Note that it can be difficult to analyze exactly how a control system such as this works, and some components may not actually be used at all. Fortunately, a primary benefit of using artificial evolution is that understanding these representations is not necessary.

Wie er also formuliert, erreicht das System oft eine nicht zu durchschauende Komplexität, doch eben diese indirekte Art und Weise der Animation erlaubt erst eine solche

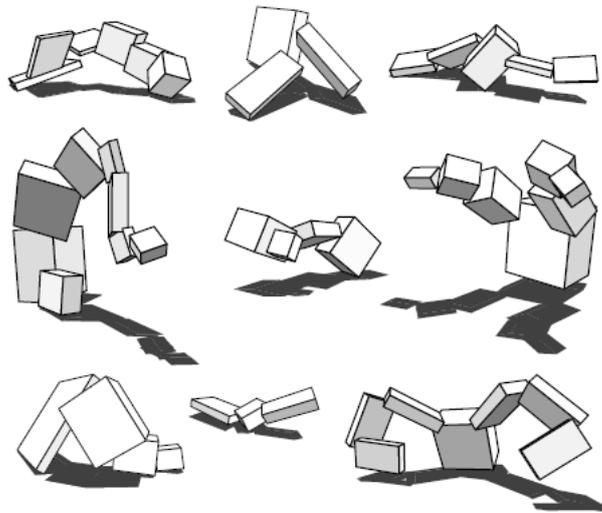


Abbildung 4.12: *Evolving Virtual Creatures*, Karl Sims [sims].

Komplexität überhaupt zu erreichen. Somit gelingt er erst durch die Anwendung des evolutionären Zufalls eine solche Variation. Demnach kann diese Komplexität also auch als Notwendigkeit für die Gestaltung von zufälligen Systemen dieser Art angesehen werden. Anhand der so erreichten Komplexität und der relativ distanzierten Beeinflussung des Systems durch den Künstler kann hierbei durchaus wieder von einem aleatorischen Werk gesprochen werden. Die Folgen dieses Systems sind nach nur wenigen Zyklen nicht mehr vorhersehbar und durch die Parametern nur indirekt beeinflussbar. Die Ungewissheit des Ablaufes beschreibt also wiederum die Zufälligkeit des Systems, obwohl Auswahlverfahren, Auswahlbereich und Organisationsmuster durch determinierte Algorithmen definiert sind.

## 4.7 Aktuelle Beispiele

Um die Arbeit abzurunden, werden im folgenden Abschnitt drei aktuelle Arbeiten diskutiert, die insbesondere den Einsatz von Zufall bedingen. Zunächst sei dazu Nikita Diakurs Animationsfilm *Ugly* der vollständig auf prozeduraler Animation basiert ausführlich diskutiert. In weiterer Folge wird ein Einblick in das Abschlussprojekt *Obscure* des Autors einen Eindruck über die nichtintentionalen Methoden des Autors beim Erstellen von Landschaften geben. Abschließend soll ein Überblick über Mario Klingemanns Arbeiten mit *Deep-Learning*-Algorithmen als Ausblick auf diese zukunftssträchtige Technologie erfolgen.

### 4.7.1 Nikita Diakur - *Ugly*

Als sicherlich bekanntester Vertreter der letzten Jahre, der mit zufälligen Elementen arbeitet, gilt der Filmmacher Nikita Diakur mit seinem Kurzfilm *Ugly* [76] oder auch seinem neuesten Werk *Fest* [48], dass auf dem selben Technik aufbaut. Er verfolgt dabei das Konzept den Film vollständig mittels prozeduraler Animation zu erstellen. Zunächst



**Abbildung 4.13:** *Ugly-Asthetics*, Nikita Diakur [45].

führt dies ähnlich wie bei anderen Künstler\*innen zu Einschränkungen im Vergleich zu klassischen Animationsmethoden, durch eine erweiterte Betrachtungsweise ergeben sich aber dennoch neue Möglichkeiten, die ohne diese prozedurale Vorgangsweise nicht zur Verfügung ständen. Diakur geht in seinem Film dabei insofern neue Wege, als dass selbst Kamerabewegungen auf physikalischen Simulationen basieren und er bewusst zufällige Ereignisse und gar dabei entstandene Zufälle in den Film integriert. Dieser unerwarteten Ereignisse, die in diesem Kontext wohl kaum als Fehler, sondern vielmehr als grundlegendes Konzept der Arbeit bezeichnet werden können, verleihen dem Film seine besondere Ästhetik. Weiter sind im letzten Drittel des Filmes deutliche Anleihen aus der Kunstform der Glitch-Art zu erkennen. Der Filmemacher verzichtet dabei auch nicht die Welt des Animators zu zeigen und die Erzählebenen aufzubrechen, dennoch bewegt sich Diakur in einer konsistenten Welt, welche die Rezipient\*innen akzeptieren.

#### Ideenfindung & *Ugly-Asthetics*

Der von Diakur gewählte Stil verzichtet dabei nicht nur in der Animation auf gängige Konzepte, sondern bricht auch in den Bereichen des Texturing und Modelling mit den üblichen Vorgangsweisen. Diakur lies sich auch bei seiner Ideenfindung vom Zufall leiten. Die Geschichte rund um die einäugige Katze basiert dabei auf einer im Internet gefundenen Geschichte. Diakur recherchierte darauf aufbauend den von ihm als *Ugly-Asthetics* bezeichneten Stil und suchte demnach gezielt nach visuellen Elementen in Architektur, Design und Film, die intentional und auch nicht-intentional mit dem Empfinden von ansprechender Ästhetik brechen (siehe. Abb. 4.13). Durch diese Einschränkungen definiert er aber wiederum seine eigene Ästhetik.

Weiter greift *Ugly* auch auf die Stilistik von Fehlern zurück, die etwa auch beim automatisierten Texturieren von 3D-Scaninformationen bei *Google Maps* oder anderen ähnlichen Services entstehen. Somit werden etwa Grafiken bewusst per Kamera-Mapping platziert, wodurch die Textur nur aus dem dafür vorgesehenen Betrachtungswinkel korrekt aussieht. Bewegt man die Kamera nun aus der vorgesehenen Perspektive heraus, ergibt sich der Eindruck von Verzerrung und einer von ihrer vorgesehenen Position abweichenden Platzierung der Textur. Zusätzlich wird auf hohe Texturauflö-

sungen, Bump-Mapping<sup>2</sup> oder das zusätzliche Auftragen von Oberflächeninformation mittels Normal-Mapping verzichtet, da diese eine Modell oft hochwertig erscheinen lassen. Außerdem wird im Modelling auf die branchenübliche Beachtung der Topologie<sup>3</sup> von 3D-Modellen vollständig verzichtet, so dass sich bei der Deformation der Objekte spitze Kanten ergeben und Artefakte entstehen. Zusätzlich wird vollständig auf Beveling, also das Abrunden von Kanten oder den Einsatz von Subdivision-Algorithmen verzichtet. *Ugly* erinnert an David O'Reilly's Arbeiten, da diese eine ähnlichen Low-Poly Stil verfolgen, Diakur fügt O'Reilly's Stil aber über den bewussten Einsatz von Texturen und dem erweiterten Brechen von ästhetischen Konzepten weitere Facetten hinzu. Über Glitches und visuelle Darstellung des Viewports der 3D-Software oder die Abbildung von Drahtgittermodellen erweitert Diakur die *Ugly-Aesthetics* um eine weitere Ebene. Wie bereits erwähnt verwendet er auch Simulationen bei denen es zu starken Deformationen der Modell kommt, wodurch diese kaum mehr erkennbar sind. Da dies aber üblicherweise nicht der gängigen Auffassung von Ästhetik entspricht, fügt Diakur diese Elemente bewusst hinzu. Durch diese Darstellungsformen entsteht auf der unmittelbaren visuellen Ebene somit der Eindruck von Beliebigkeit und Zufall. Die Betrachter\*innen sind diese Form der Darstellung üblicherweise nicht gewohnt, weshalb dadurch eine chaotisch-beliebige Symbolik entsteht. Dennoch darf nicht vergessen werden, dass sich Nikita Diakur hier dennoch einer definierten Stilistik bedient, die einem klaren Regelwerk unterliegt. Dabei können durchaus parallelen zum eingangs erwähnten Dadaismus gezogen werden, denn obwohl sich Dada die Anti-Kunst zum Ziel gesetzt hatte, wurde der Dadaismus selbst wieder zu einer Kunstform. Betrachtet man nun die *Ugly-Aesthetics* so stellt Diakur damit das Konzept von visueller Ästhetik in Frage, bedient sich aber dennoch selbst einer ästhetischen Formalisierung, und bildet somit wiederum eine Ästhetik, allerdings ohne diese negativ zu bewerten. Damit hält er der überaus auf Ästhetik bedachten Animations- und Designbranche gewissermaßen auch einen Spiegel vor.

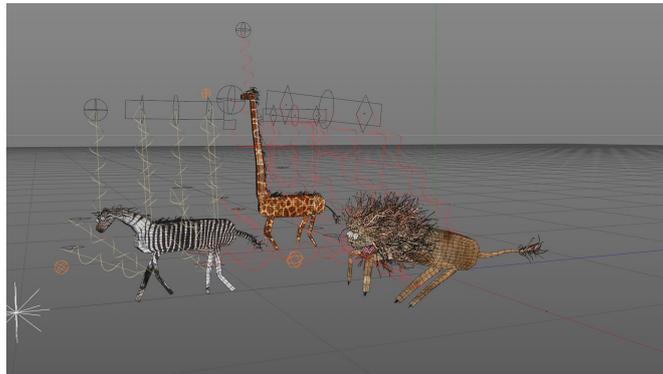
## Animation

Insbesondere die Art und Weise der Animation hebt den Film jedoch besonders von anderen Werken ab, da sämtliche Bewegungen des Filmes, auf physikalischer Simulation aufbauen. Dass bedeutet, dass sämtliche Charaktere, Kameras, Hintergrundanimationen oder auch Bewegung von Fahrzeugen simuliert wurden. Die Figuren werden dabei ähnlich wie von einem Puppenspieler eingesetzt. Die Körperteile werden über Ragdoll-Simulationen<sup>4</sup> berechnet und um zu verhindern dass diese nach unten Fallen, an dynamischen Splines aufgehängt (siehe Abb.4.14). Die daran gebundenen Controller werden nachfolgend animiert, um den Figuren eine Richtung vorzugeben. Zusätzlich wird um die Glaubwürdigkeit zu steigern oft über Rauschfunktionen Variation zu Parametern hinzugefügt. Die eigentliche Bewegung der Charaktere wird somit also nur indirekt gesteuert, da die Ragdoll-Simulation zwischengeschaltet ist (siehe Präsentation in [45]).

<sup>2</sup>Mittels Bump- und Normal-Mapping kann mit der Hilfe Texturen Höheninformation auf Oberflächen von 3D-Objekte hinzugefügt werden.

<sup>3</sup>Unter Topologie versteht man im 3D-Modelling die Beachtung des Polygonflusses, damit in der Animation etwa bei Charakteren bei der Animation keine Artefakte entstehen. Die Topologie orientiert sich dabei an vielen Stellen an der Position von Gelenken oder dem Verlauf von Muskelsträngen.

<sup>4</sup>Simulationstechnik für Bewegungsverhalten von verletzten Personen. Diese Technik wird üblicherweise in Computerspielen verwendet.



**Abbildung 4.14:** Ugly, Nikita Diakur, 2017 [76].

Damit wird also ein ähnliches Konzept wie etwa bei Karl Sims oder Ken Knowlton eingesetzt, Diakur erweitert die Konzepte der indirekten Steuerung allerdings auf sämtliche Bereich des narrativen Charakteranimationsfilmes. Diakur verwendet dazu ein komplexes System, welches die Animationen voneinander trennt, indem er eine weitere Ebene einzieht. Der Animator hat dabei aber nach wie vor die nunmehr indirekte Kontrolle über das grobe, grundsätzliche Handeln der Objekte und Figuren, entkoppelt sich aber somit partiell von der Animation. Er bezeichnet seine Herangehensweise in seinem Artist Statement mehr als eine filmmacherische, denn eine animationsbasierte [83]:

Animating like this feels closer to real-life filmmaking: Like a real actor, the computer follows the action set by the animator and produces results that are unpredictable and personal. Accordingly, the focus shifts from outcome to process. The animator is left with the challenge to find the right balance between staying in control and leaving room for randomness.

Dies ist insofern bemerkenswert, als dass diese Simulationstechnik wieder an den klassischen Film erinnert. Die Abgabe von Kontrolle und die dadurch verbundene Einführung von Zufall bringt also ähnlich wie bei der fotorealistischen Texturierung oder der Variation von Elemente zur Erhöhung der Glaubwürdigkeit eine Form der Realitätssteigerung in den Animationsprozess zurück. Somit schließt diese hochtechnisierte Art der Animation also scheinbar einen Kreis zurück zu ihren Ursprüngen.

Üblicherweise versucht der Großteil der Animator\*innen Animation und Simulation entsprechend der jeweiligen Ästhetik abzubilden und diese möglichst in diesem Rahmen zu behalten. *Ugly* bricht mit diesem Konzept allerdings dahingehend, dass der Film seine Ästhetik eben aus diesem Bruch mit dem üblichen, ästhetischen Empfinden bezieht. Vor allem aufgrund zufällig entstandenen Situationen, in der Simulation, die oft infolge von Benutzereinstellungen, aber manchmal auch aus Programmfehlern, wie Diakur beschreibt, er ist Beta-Tester der Software *Cinema4D*, entstehen, ergibt sich in *Ugly* eine neue Ästhetik. Selbst die Kamera wurde dabei simuliert, indem diese an die Charaktere gebunden wurde, die wiederum selbst über das Ragdoll-System animiert wurden. Somit wurde vollständig auf ans Splines ausgerichtete und still stehende Kameras verzichtet, da diese immer von einem Charakter der simuliert wurde, bewegt werden. Die Kamera befindet sich demnach also eine zusätzliche Ebene unter dem Charakter, also zwei

Ebenen unter der üblicherweise direkten Steuerung. Diese vielfache Kombination von sorgfältig ausgewählten Techniken, die aber Zufälligkeit vermitteln, erzeugt wiederum ein kohärentes Umfeld, das die entstandene Filmwelt konsistent erscheinen lässt. Der Verwendung von Animationstechniken außerhalb ihres dafür vorgesehenen Einsatzbereiches bringt also eine völlig neue Ästhetik zum Vorschein.

Der Zufall dient also auch hier wieder als nützliches Werkzeug zur Variation von Inhalten, Animation und Gestaltung. Zusätzlich erreicht Diakur mit dem Zufall eine filmemacherische Ebene zurück zu erlangen, obwohl er dafür viel Kontrolle aufgeben muss. Es kann zwar behauptet werden, dass die Beliebigkeit Teil des Konzepts ist, allerdings bedeutet dies nicht, dass der Zufall Grundkonzept dieses Filmes ist. Vielmehr kann der Zufall, ähnlich wie bei den bisher betrachteten Animationen als Werkzeug verstanden werden, denn über die gezielte Auswahl aus einem Set von möglichen Ergebnissen nimmt Diakur ebenfalls die Entscheidungen selbstständig vor, er entkoppelt sich aber vom direkten Eingriff in die Welt. Diakur erreicht also auf den Ebenen der visuellen Darstellung, Narration und Animation eine zufällige Vorgangsweise, um aber dennoch Information zu transportieren, die bei einer reinen Zufälligkeit nunmehr nicht vorhanden wäre, da es nicht mehr möglich wäre, diese zu entschlüsseln. Nach Schulze definiert Diakur den Auswahlbereich also auf *Ugly Aesthetics*, die mit gängigen Konzepten von visueller Ästhetik brechen. Die Auswahlverfahren hingegen basieren zunächst auf der Simulation der Charaktere, Kameras und Umgebungen, in weiterer Folge auf dem subjektiven Selektionsprozess von Diakur selbst. Das Organisationsmuster entspricht dem chronologischen Ablauf Narration, die allerdings selbst wieder durch Zufall entdeckt wurde, die Abfolge der Bilder orientiert sich aber an dieser, kann also als determiniert bezeichnet werden. Damit handelt es sich wieder um ein teilweise aleatorisches Werk, das aber auf vielen Ebenen zufällige Vorgänge integriert, allerdings fand bei Sims *Evolving Virtual Creatures* eine stärkere Entkopplung statt, wobei Diakur im Gegensatz zu den bereits diskutierten Beispielen eine Narration und nicht nur ein Narrativ transportiert. Diakur erzählt in *Ugly* eine Geschichte, die sich um eine Figur dreht und stellt somit auch eine Entwicklung des Charakters innerhalb der filmischen Welt dar. Im Gegensatz dazu reduzieren sich die bisherigen Beispiele auf die experimentelle Auseinandersetzung mit dem Medium selbst bzw. auf die formale Gestaltung mit den jeweiligen gegebenen Mitteln.

#### 4.7.2 Mario Klingemann

Mario Klingemann ist aktuell einer der aktiven Künstler, die sich mit *Deep Learning* Algorithmen beschäftigen und zur Zeit bei *Google Arts & Culture Artist in Residence* ist. Die umgangssprachlich auch als *Artificial Intelligence* bezeichneten Programmen versuchen etwa mit der Hilfe von Bilderkennungsmechanismen Muster, sogenannte Features, in Bildern oder Videoaufnahmen zu erkennen und aufgrund dieser definierte Aktionen auszuführen [105]. Die Features können dabei aus Augen, Mündern oder jegliche anderen immer wieder auftretenden Formen wie Verkehrsschilder bestehen. Klingemann nutzt diese Funktionen allerdings dazu, um mit künstlichen Intelligenzen Animationen und Bilder zu erstellen, die eigene künstlerische Merkmale aufweisen [93]. Die von ihm eingesetzten Generative Adversarial Networks (GANs), einer Kategorie von Deep-Learning Algorithmen, bestehen dabei aus zwei neuronalen Netzwerken, wobei Ersteres

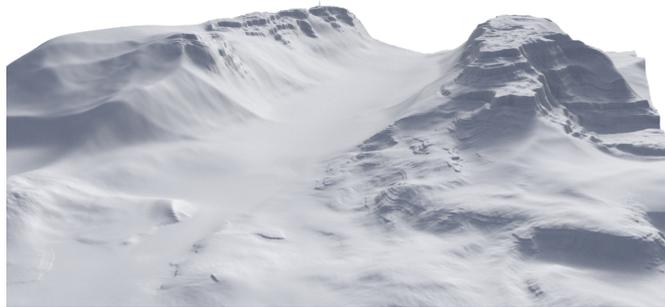


**Abbildung 4.15:** 79530 Self Portraits, Mario Klingemann, 2018 [55].

Kandidaten nach einem generativen Modell erstellt, das zweite die erstellten Kandidaten anschließend bewertet. Das zweite Netzwerk versucht dabei schlechte Ergebnisse zu vermeiden, Ersteres versucht diese schlechte Bewertung zu erreichen. Dadurch wird die Bewertungsmethode des zweiten Netzwerkes laufend verbessert [102]. Klingemann bezeichnet sein Verfahren dabei als *Cameraless Photography* bzw. Neurographie. Dabei trainiert er die von ihm verwendeten Deep-Learning Algorithmen, wie dies üblich ist, mit Tausenden von Bildern und erzeugt dadurch ein Vektorfeld, das die von Klingemann definierte Features beschreibt. Nachfolgend fordert er den Algorithmus auf selbst Bilder zu erstellen bzw. auf der Basis von bestehenden Bildern Veränderungen mit den zuvor gelernten Features durchzuführen, was zu erstaunlichen Ergebnissen führt (siehe Abb. 4.15).

Er experimentiert dabei nicht nur mit Bildern sondern setzt die *Deep-Learning*-Algorithmen auch dazu ein Animationen zu erstellen, in dem er mehrere GANs in Serie schaltet bzw. die in eine Schleife kombiniert. Dadurch entstehen sich morphende<sup>5</sup> Figuren, die aber nur indirekt steuerbar sind, da die Features ähnlich wie zuvor nur über Programmcode bzw. die dem Netzwerk zur Verfügung gestellten Bilder gesteuert werden können, somit eine gewisse Zufälligkeit nicht auszuschließen ist. Vielmehr lässt sich nur eine Charakteristik feststellen, allerdings kann die genaue Position des Auftauchens eines solchen Merkmals nicht genau vorherbestimmt werden. Zugegebenermaßen befinden sich diese Untersuchungen noch in einem sehr frühen Stadium, bei der Diskussion des Zufalls sollte die Einsatz von *Deep-Learning* aber auf jeden Fall beachtet werden. Künstliche Intelligenzen stehen heute noch am Beginn ihres Einsatzgebietes und sind vor allem durch ihren sehr hohen Rechenaufwand bisher nur von wenigen Künstler\*innen in Verwendung. Dennoch können beim Einsatz dieser Technologie Parallelen zu den 1960er Jahren gezogen werden, da sich heute vor allem wiederum große Technologieunternehmen wie IBM und auch Google mit dem Einsatz von *Deep Learning* beschäftigen und im Zuge dessen Künstler wie Klingemann über Residencies Forschungsmöglichkeiten geben. Somit kann vor allem durch das Experimentieren mit neuer Technologie und die dadurch auf zufällige Weise entstehenden Werke auch die Kunst vorangetrieben werden. Dabei bleibt abzuwarten, ob künstliche Intelligenzen in Zukunft selbst eine sinnvolle Geschichte schreiben können und die Lücke des Zufalls in der Narration, wie etwa bei Diakurs

<sup>5</sup>Morphen beschreibt das fließende ineinander übergehen von verschiedenen Formen.



**Abbildung 4.16:** Landschaft als Heightfield in *Obscure*.

*Ugly*, schließen können. Nach Schulze kann auf jeden bereits jetzt von einer nichtintentionalen Werkzeuggenese gesprochen werden, da Klingemann zwar die Features definiert, ein Endprodukt aber nicht vorhersagbar ist, da es sich bei den Vektorfeldern Felder mit mehreren zehn Dimensionen handeln kann. Der Status kann ähnlich wie bei Karl Sims *Evolving Virtual Creatures* beschrieben werden, wo die Kontrolle nur über eine indirekte Beschreibung der Eigenschaften passiert. Hierbei wird dem System allerdings noch die Funktionalität einer Selbstkorrektur hinzugefügt. Ähnlich wie bei Einführung der Computertechnik ist aber eine Diskussion der Rolle von künstlichen Intelligenzen in der Kunst zu erwarten.

#### 4.7.3 Prozesshafte nichtintentionale Werkzeuggenese in der Animation am Beispiel von *Obscure*

Zufallstechniken wurden auch bei der Produktion des Kurzfilmes *Obscure* im Zuge des Masterprojekts des Autors umgesetzt. Insbesondere bei der Gestaltung von Texturen, Landschaft und Partikelsimulation wurden dabei teilweise zufällige Techniken verwendet. Da das Projekt nur aus zwei Personen besteht und alle dreidimensionalen Inhalte vom Autor erstellt wurde, aber eine fotorealistische Umgebung das Ziel des Realitätsgrades der Gestaltung war, wurden auf prozedurale Mechanismen zurückgegriffen. Dazu wurde größtenteils das 3D-Animationsprogramm *SideFx Houdini* eingesetzt, das vollständig auf prozeduralen Mechanismen aufbaut, die Texturen wurden ausschließlich in *Allegorithmic Substance Designer* erstellt.

##### Landschaft

Mit den Terrain-Tools von *SideFx Houdini* kann durch die Überlagerung von Rauschfunktionen ein sogenanntes Heightfield erzeugt werden (siehe Abb. 4.16). Diese beschreibt die Höheninformation von Oberflächen im dreidimensionalen Raum und ist im Shading-Bereich auch als Bump-Mapping bekannt. Im Gegensatz zum Bump-Mapping wird hierbei jedoch nicht im Shading die Normal-Information zur Renderzeit angepasst, sondern die Geometrie direkt verändert (displaced). Mittels Maskierung können gewünschte Bereiche ausmaskiert werden, um spezifische Effekte erzielen, kann die Höheninformation auch von Hand eingezeichnet werden.



**Abbildung 4.17:** Landschaft mit Texturen, ohne Compositing *Obscure*.

### Texturen

Um die Landschaft nunmehr auch mit Oberflächeninformation zu versehen, muss diese texturiert werden. Die Oberflächen selbst werden dabei in *Substance Designer*, einem node-basierten Material-Authoring Programm prozedural erzeugt und beschrieben. Dabei setzen sich sämtliche Materialien ausschließlich aus prozedural generierten Rauschfunktionen oder selbst erstellten Variationen zusammen. Dabei ist es durch die hohe Rechenleistung mittlerweile möglich, fotorealistische Ergebnisse zu erzielen. Der besondere Vorteil liegt in der Skalierbarkeit der Texturen auf eine beliebige Größe, wobei meist die verfügbare Hardware die Limitierung darstellt. Mit Hilfe der Überlagerung verschiedenster Texturen, die wiederum über die Verwendung von Noise-Algorithmen erfolgt werden die einzelnen Texturen nunmehr zu einer gesamten vollwertigen Landschaft zusammengefügt. So wurden etwa die in Abbildung 4.17 sichtbaren Texturen, der dargestellte Landschaft vollständig prozedural erstellt.

### Partikel

Wie schon gezeigt handelt es sich bei Partikelsimulation ebenso um prozedurale Animation. In *Obscure* wurde zur Animation, ähnlich wie von John Stehura, Felder erzeugt. Diese wurden verwendet um die Partikel indirekt steuern zu können, wobei *SideFx Houdini* hierbei den Benutzer\*innen die Gestaltung der Felder vollkommen freilässt. Über die dort verfügbare Funktionalität der Gestaltung von dreidimensionalen Vektorfeldern, können diese gezielt gesteuert werden, wobei allerdings dennoch nur eine indirekte Steuerung möglich ist. Durch diese Freiheit und den Einsatz von pseudozufälligen Noisegeneratoren konnte ein kontrollierbares Verhalten des Partikelsystems erzeugt werden. Über den Einsatz von Kurven können die Stränge der Partikelwolke dabei gezielt kontrolliert werden ohne dabei ihren chaotischen Anschein zu verlieren. Die Oberfläche der zentralen Einheit der Partikelwolke entsteht dabei aus einer sogenannten CurlNoise-Funktion die als eine Ableitung einer Rauschfunktion verstanden werden kann.

Somit zeigt sich also, dass in *Obscure* allen Bereich der dreidimensionalen Gestaltung der Zufall Anwendung fand und maßgeblich zur Umsetzbarkeit des Projektes beigetragen hat, da ein händisches Modellieren der Landschaft oder auch ein händisches Zeichnen oder fotografisches Erstellen der Texturen eine Vielzahl an Kosten und Arbeitsstunden



**Abbildung 4.18:** Partikelsimulation aus *Obscure*, 2018.

mit sich bringen würde, in einem so stark ressourcenreduzierten Projekt also unmöglich wäre. Allerdings ist hier keineswegs von einer nichtintentionalen Werkgenese zu sprechen, da diese Methoden eingesetzt wurden, um genaue Vorstellungen umzusetzen und nur Details dem Zufall überlassen wurden. Vielmehr kann hier wiederum vom Zufall als Werkzeug gesprochen werden.

## Kapitel 5

# Fazit & Ausblick

Im Laufe dieser Arbeit wurde zunächst über die Ursprünge und Bedeutung des Zufalls aufgeklärt und über die mathematische und philosophische Betrachtung zur künstlerischen Auseinandersetzung mit dem Zufall übergeleitet. Bei der Diskussion des Zufalls in der bildenden Kunst konnte festgestellt werden, dass dieser vor allem im 20. Jahrhundert breite Verwendung fand und immer wieder von Künstler\*innen aller Bereiche aufgegriffen wurde. Dabei wurde das Konzept der nichtintentionalen Werkgenese analysiert und versucht das Prinzip im Zuge der Analyse der nicht digitalen Animation auf diese zu übertragen. Dabei musste festgestellt werden, dass das Konzept der nichtintentionale Werkgenese vor allem in der nicht digitalen Animation nur bedingt angewendet werden kann und der Zufall nur indirekt Anwendung findet, da die Erstellung der Animationen sehr eng an die Animator\*innen gebunden ist. Der Zufall fand jedoch besonders beim Experimentieren mit neuen Methoden und Technologien häufige Anwendung oder wurde von den Animator\*innen unbewusst eingesetzt. Mit der Einführung der Computertechnik löste sich das Medium stärker von den Künstler\*innen ab, da diese ihre Werke oft nur mehr indirekt steuern, oder wie in der generativen Gestaltung vielmals von Benutzereingaben abhängig sind. Durch weitere Entwicklung der Algorithmen folgte eine immer stärkere Entkopplung der Animator\*innen von ihren Werken, was schließlich zu autonomen Systemen führte, die allerdings initial von den Künstler\*innen abhängen. Hierbei kann dennoch von einer nichtintentionale Werkgenese im Sinne Schulzes gesprochen werden, wobei die Kategorisierung für jedes Werk individuell durchzuführen ist. Im Bereich des narrativen Animationsfilmes ist allerdings eine solche nichtintentionale Werkgenese bisher nur teilweise festzustellen, da vor allem die Narration eine enge Bindung der Animator\*innen an ihr Werk erfordert. Grundsätzlich wurde außerdem beobachtet, dass der Zufall alleine nicht reicht, um künstlerisch relevante Arbeiten zu erstellen und der Zufall maximal als Werkzeug oder Gegenstand des Kunstwerkes verstanden werden muss. Der Zufall kann allerdings selbst zu Thema der Animation werden und dadurch von dieser diskutiert werden. Die Künstler\*innen sind nicht aus den Arbeiten wegzudenken und führen die notwendigen Selektionen durch oder formulieren die Algorithmen entsprechend ihrer ästhetischen Vorstellungen. In der 3D-Animation wäre die Verwendung von pseudozufälligen Rauschfunktionen und Mechanismen allerdings nicht mehr wegzudenken und liefert einen besonderen Mehrwert zur künstlerischen Gestaltung in diesem Bereich. Zufällige Methoden bieten somit auch die Möglichkeit eines effektiveren Arbeitsprozesses und somit viele Schritte zu automatisieren, wie das etwa

bei Karl Sims der Fall war. Abschließend bleibt also die Wichtigkeit und Unersetzbarkeit des Zufalls in der Animation zu unterstreichen und abzuwarten, ob künstliche Intelligenzen in Zukunft dazu beitragen können, vollständig nichtintentionale Werke als Animationen zu erstellen.

# Quellenverzeichnis

## Literatur

- [1] Aristoteles. *Aristoteles: Physik*. Leipzig: Johann Ambrosius Barth, 1829 (siehe S. 7).
- [2] Friedrich Balke. „Den Zufall denken. Das Problem der Aleatorik in der zeitgenössischen französischen Philosophie“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 4, S. 48–76 (siehe S. 17, 26).
- [3] Samuel Beckett. *Lessness*. London: Calder und Boyars, Okt. 1970 (siehe S. 23).
- [4] Deborah J. Bennett. *Randomness*. Cambridge: Harvard University Press, 1998 (siehe S. 14, 18).
- [5] Hartmut Bohnacker. *Generative Gestaltung: Entwerfen. Programmieren. Visualisieren*. Mainz: Schmidt Hermann Verlag, 1999 (siehe S. 41).
- [6] RAND Corporation. *A Million Random Digits with 100,000 Normal Deviates*. Santa Monica: RAND Corporation, 1955 (siehe S. 13).
- [7] Wolfgang Coy. „Berechenbares Chaos“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 3, S. 34–47 (siehe S. 5, 9).
- [8] Leonardo DaVinci. *Traktat von der Malerei*. Jena: Eugen Diederichs, 1909 (siehe S. 1, 19).
- [9] Bernhard J. Dotzler. „Die Swift-Maschine. Zur Poesie der Kombinatorik im 17. und 18. Jahrhundert“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 12, S. 244–262 (siehe S. 23).
- [10] Philip Galanter. *What is generative art? Complexity theory as a context for art theory*. Techn. Ber. New York: Interactive Telecommunications Program, New York University, 2003. URL: [http://www.philipgalanter.com/downloads/ga2003\\_paper.pdf](http://www.philipgalanter.com/downloads/ga2003_paper.pdf) (siehe S. 8, 10, 13).
- [11] Peter Gendolla. „Erbeben und Feuer. Der Zufall in Novellen von Goethe, Kleist, Frank und Camus“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 10, S. 196–217 (siehe S. 23).

- [12] Peter Gendolla und Kamphusmann Thomas. *Die Künste des Zufalls*. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016 (siehe S. 5).
- [13] Klaus Grupen. „Die Natur des Zufalls“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 2, S. 15–33 (siehe S. 7).
- [14] James Joyce. *Finnigans Wake*. London: Faber & Faber, 1939 (siehe S. 22).
- [15] Immanuel Kant. *Kritik der reinen Vernunft*. 11. Aufl. Leipzig: Felix Meiner Verlag, 1919 (siehe S. 4, 16).
- [16] Andrei Khrennikov. *Randomness: quantum versus classical*. Techn. Ber. 1512.08852v1. Växjö, SE-351 95, Schweden: Linnaeus University, International Center for Mathematical Modelling in Physics und Cognitive Sciences, Dez. 2015. URL: <https://arxiv.org/pdf/1512.08852.pdf> (siehe S. 5–8, 13).
- [17] Austin Lamont. „Moving Pictures and Electronic Music“. In: *Experimental Animation - An Illustrated Anthology*. Hrsg. von Starr Cecile Russet Robert. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1976. Kap. 7, S. 180–187 (siehe S. 35, 42).
- [18] Rudolf Löbl. *Demokrit. Texte zu seiner Philosophie*. Band 4. Würzburg: Verlag Königshausen und Neumann, 1989 (siehe S. 4).
- [19] Bense Max und Nees Georg. *rot 19. Computer-Grafik*. Stuttgart: Walther, 1965 (siehe S. 39–41).
- [20] Marietta di Monaco. *Ich kam - ich geh: Reisebilder - Erinnerungen - Porträts*. Edition Monacensia. München: Allitera-Verlag, 2002 (siehe S. 25).
- [21] John von Neumann. „First Draft of a Report on the EDVAC“. *IEEE Annals of the History of Computing* 15.4 (1993), S. 27–43 (siehe S. 9).
- [22] Brian O’Doherty. „Richter’s Rhythm 21“. In: *Experimental Animation - An Illustrated Anthology*. Hrsg. von Starr Cecile Russet Robert. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1976. Kap. 2, S. 54–56 (siehe S. 30).
- [23] Ken Perlin. „An Image Synthesizer“. In: *Proceedings of the 12th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. SIGGRAPH ’85. New York: ACM, Juli 1985, S. 287–296 (siehe S. 1, 52).
- [24] Hans Richter. *Dada Art and Anti-Art*. London: Thames und Hudson Ltd, 1997 (siehe S. 25, 26, 30).
- [25] Raphael Rosenberg. „Der Fleck zwischen Komposition und Zufall“. In: *Augenkitzel - barocke Meisterwerke und die Kunst des Informel*. Hrsg. von Luckow Dirk. Kiel: Kunsthalle zu Kiel, 2004, S. 41–45 (siehe S. 20).
- [26] Robert Russet und Cecile Starr. *Experimental Animation - An Illustrated Anthology*. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1976 (siehe S. 30–33).
- [27] Marc Saporta. *Composition No. 1: A Novel*. Paris: Éditions du Seuil, 1962 (siehe S. 23).
- [28] Arthur Schopenhauer. *Die Welt als Wille und Vorstellung*. 3. Aufl. München: Georg Müller, 1819 (siehe S. 4, 5).

- [29] Arthur Schopenhauer. *Parerga und Paralipomena. 1. Band.* 2. Aufl. Berlin: Dr. Julius Frauenstädt, 1862 (siehe S. 16).
- [30] Holger Schulze. „Das Modell der nichtintentionalen Werkgenese“. In: *Die Künste des Zufalls*. Hrsg. von Kamphusmann T. Gendolla P. 2. Aufl. Frankfurt am Main: Suhrkamp Verlag, 2016. Kap. 6, S. 94–121 (siehe S. 20, 22).
- [31] Karl Sims. „Evolving Virtual Creatures“. In: *Proceedings of the 21st Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*. SIGGRAPH '94. New York: ACM, 1994, S. 15–22 (siehe S. 1, 51, 53, 54).
- [32] Jonathan Swift. *Gullivers Reisen*. London: Benjamin Motte, 1726 (siehe S. 23).
- [33] Georg Trogemann und Jochen Viehoff. *CodeArt Eine elementare Einführung in die Programmierung als künstlerische Praktik*. Wien: SpringerWienNewYork, 2005 (siehe S. 9, 10, 13, 37, 49, 50).
- [34] Slavi P. Tschauscheff. „Das Kausalproblem bei Kant und Schopenhauer“. Diss. Bern: Hohe philosophische Fakultät der Universität Bern, Mai 1906 (siehe S. 5).
- [35] Kenny Verbeeck. „Randomness as a Generative Principle in Art and Architecture“. Magisterarb. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. Dept. of Architecture, 2004 (siehe S. 27).
- [36] John Whitney. „Moving Pictures and Electronic Music“. In: *Experimental Animation - An Illustrated Anthology*. Hrsg. von Starr Cecile Russet Robert. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1976. Kap. 7, S. 171–174 (siehe S. 34).
- [37] Gene Youngblood. *Expanded Cinema*. New York: Dutton, 1970 (siehe S. 17, 26, 37, 43–45).
- [38] Anton Zeilinger. „Der Zufall als Notwendigkeit für eine offene Welt“. In: *Der Zufall als Notwendigkeit*. Hrsg. von Mittelstraß Jürgen Leder Helmut Lichtenberger Elisabeth. Wien: Picus Verlag, 2007. Kap. 2, S. 19–24 (siehe S. 9).

## Audiovisuelle Medien

- [39] Hans Arp. *Nach dem Gesetz des Zufalls*. 1920. URL: [http://www.physiologus.de/d/dada\\_abc.htm](http://www.physiologus.de/d/dada_abc.htm) (siehe S. 27).
- [40] John Cage. *4' 33"*. 1952. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=JTEFKFiXSx4> (siehe S. 21).
- [41] John Cage. *Music of Changes*. 1951. URL: [https://www.youtube.com/watch?v=B\\_8-B2rNw7s](https://www.youtube.com/watch?v=B_8-B2rNw7s) (siehe S. 19, 21).
- [42] John Cage. *Roaratorio*. 1979. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bdHe4c10smY> (siehe S. 21).
- [43] John Horton Conway. *Game of Life*. 1970. URL: [https://en.wikipedia.org/wiki/Conway%27s\\_Game\\_of\\_Life](https://en.wikipedia.org/wiki/Conway%27s_Game_of_Life) (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 50, 54).
- [44] *Cybernetik 5.3*. Film. Drehbuch/Regie: John Stehura. 1964-69 (siehe S. 45).
- [45] Nikita Diakur. *Ugly - Expanded Animation Symposium*. 2017. URL: <https://vimeo.com/250279132> (siehe S. 56, 57).

- [46] Marcel Duchamp. *Bicycle Wheel*. 1951. URL: [https://www.moma.org/learn/moma\\_learning/marcel-duchamp-bicycle-wheel-new-york-1951-third-version-after-lost-original-of-1913](https://www.moma.org/learn/moma_learning/marcel-duchamp-bicycle-wheel-new-york-1951-third-version-after-lost-original-of-1913) (siehe S. 25).
- [47] *Evolving Virtual Creatures*. Film. Drehbuch/Regie: Sims Karl. 1994 (siehe S. 53).
- [48] *Fest*. Film. Drehbuch/Regie: Diakur Nikita. 2018 (siehe S. 55).
- [49] *Five Film Exercises*. Film. Drehbuch/Regie: Whitney John, Whitney James. 1943 (siehe S. 34).
- [50] Chris Garcia. *Harold Cohen and AARON—A 40-Year Collaboration*. Aug. 2016. URL: <http://www.computerhistory.org/atcm/harold-cohen-and-aaron-a-40-year-collaboration/> (siehe S. 48).
- [51] *Googolplex*. Film. Drehbuch/Regie: Kowlton Kenneth, Schwartz Lillian. 1972 (siehe S. 47).
- [52] Bohnacker Hartmut. *Entwurfsprozess der Generativen Gestaltung*. 1999. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Generative\\_Gestaltung#/media/File:GG\\_Entwurfsprozess.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Generative_Gestaltung#/media/File:GG_Entwurfsprozess.png) (siehe S. 41).
- [53] Martha Holmes. *Artist Jackson Pollock dribbling sand on painting while working in his studio*. URL: <https://www.wikiart.org/en/jackson-pollock> (siehe S. 2).
- [54] *Hummingbird*. Film. Drehbuch/Regie: Csuri Charles. 1967 (siehe S. 42).
- [55] Mario Klingemann. *79530 Self Portraits*. 2018. URL: <https://ars.electronica.art/error/de/selfportraits/> (siehe S. 60).
- [56] Konfuzius. *I Ging*. 2018. URL: [https://vignette.wikia.nocookie.net/dcheroesrpg/images/9/91/Hexagrams\\_i-ching.jpg/revision/latest?cb=20130301202339](https://vignette.wikia.nocookie.net/dcheroesrpg/images/9/91/Hexagrams_i-ching.jpg/revision/latest?cb=20130301202339) (siehe S. 19).
- [57] Kenneth Kowlton und Lillian Schwartz. *Googolplex*. 1972. URL: [http://www2.tate.org.uk/intermediaart/computer\\_art.shtm](http://www2.tate.org.uk/intermediaart/computer_art.shtm) (siehe S. 47).
- [58] *Lapis*. Film. Drehbuch/Regie: Whitney James. 1968 (siehe S. 35, 42).
- [59] Kevin Mark-Bonein. *Composition Thumbnails*. Juli 2018. URL: <https://www.artstation.com/artwork/6YgKn> (siehe S. 20).
- [60] Michael A. Noll. *3-Dimensional Projection of a Rotating 4-Dimensional Hypercube*. 1962. URL: [https://web.archive.org/web/20110831102731im\\_/http://translab.burundi.sk/code/vzx/1962.MichaelNoll.3DimensionalProjectionOfARotating4DimensionalHypercube.jpg](https://web.archive.org/web/20110831102731im_/http://translab.burundi.sk/code/vzx/1962.MichaelNoll.3DimensionalProjectionOfARotating4DimensionalHypercube.jpg) (siehe S. 43).
- [61] *Permutations*. Film. Drehbuch/Regie: Whitney John. 1968 (siehe S. 43, 44).
- [62] Dennis Pies. *Luma Nocturna*. 1974. URL: <http://www.thevisualist.org/2017/08/sky-david-lightworks/> (siehe S. 35, 36).
- [63] *Pixillation*. Film. Drehbuch/Regie: Kowlton Kenneth, Schwartz Lillian. 1970 (siehe S. 46).
- [64] *Poem Fields Nr. 2*. Film. Drehbuch/Regie: Kowlton Kenneth, VanderBeek Stan. 1965 (siehe S. 45).

- [65] Jackson Pollock. *Convergence*. 1952. URL: [https://www.jackson-pollock.org/convergence.jsp#prettyPhoto\[image1\]/0/](https://www.jackson-pollock.org/convergence.jsp#prettyPhoto[image1]/0/) (siehe S. 28).
- [66] Random.org. *Random Bitmap Generator*. Zufallsgenerator der zufällige Bilder erzeugt. Sep. 2018. URL: <https://www.random.org/bitmaps/> (siehe S. 12).
- [67] CD Project RED. *Behind the Scenes of the Cinematic Dialogues in The Witcher 3: Wild Hunt*. 2016. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=chf3REzAjgI> (siehe S. 39).
- [68] *Rythmus 21*. Film. Drehbuch/Regie: Richter Hans. 1921 (siehe S. 30, 31).
- [69] John Stehura. *Cybernetik 5.3,9*. 1964-69. URL: [https://web.archive.org/web/20110723170703im\\_/http://translab.burundi.sk/code/vzx/1965-9.JohnStehura.Cybernetik5.3.3.jpg](https://web.archive.org/web/20110723170703im_/http://translab.burundi.sk/code/vzx/1965-9.JohnStehura.Cybernetik5.3.3.jpg) (siehe S. 46).
- [70] Karlheinz Stockhausen. *Klavierstück XI*. 1954. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Stockhausen-klavierst%C3%BCck-XI-Score-Scaled.jpg> (siehe S. 21).
- [71] Karlheinz Stockhausen. *Klavierstück XI*. 1956. URL: <https://www.universaledition.com/de/komponisten-und-werke/karlheinz-stockhausen-698/werke/klavierstueck-11-3084> (siehe S. 21).
- [72] NASA - WMAP Science Team. *Temperaturschwankungen in der Hintergrundstrahlung*. aufgenommen durch die Raumsonde WMAP. 2010. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung#/media/File:llc\\_9yr\\_moll4096.png](https://de.wikipedia.org/wiki/Hintergrundstrahlung#/media/File:llc_9yr_moll4096.png) (siehe S. 12).
- [73] BBC Television. *The Late Show, Late Night Line-up, Marcel Duchamp*. Juni 1968. URL: <https://archive.org/details/DuchampInterviewBBC1968> (siehe S. 24, 25).
- [74] *The Flicker*. Film. Drehbuch/Regie: Conrad Tony. 1966 (siehe S. 33, 47).
- [75] *The Ship*. Film. Drehbuch/Regie: Eno Brian. 2016 (siehe S. 40).
- [76] *Ugly*. Film. Drehbuch/Regie: Nikita Diakur. Aug. 2018 (siehe S. 3, 55, 58).
- [77] Paul Venn. *Random Walk*. erstmals veröffentlicht in *The Logic of Chance* in 1888. 1888. URL: <https://www.theguardian.com/science/alexs-adventures-in-numberland/gallery/2014/mar/14/pi-day-pi-transformed-into-incredible-art-in-pictures> (siehe S. 14).
- [78] *Vertigo*. Film. Regie: Alfred Hitchcock, Drehbuch: Alec Coppel & Samuel A. Taylor, mit James Stewart, Kim Novak Barbara Bel Geddes. 1958 (siehe S. 35).
- [79] *Wax Experiments*. Film. Drehbuch/Regie: Fischinger Oskar. 1921 (siehe S. 32, 33).

## Online-Quellen

- [80] Wilhelm Burger. *Gradientenbasierte Rauschfunktionen und Perlin Noise*. 2008. URL: <http://staff.fh-hagenberg.at/burger/publications/reports/2008GradientNoise/Burger-GradientNoiseGerman-2008.pdf> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 51).

- [81] Jonathan Coe. *Composition No 1 by Marc Saporta - review*. Okt. 2011. URL: <https://www.theguardian.com/books/2011/oct/28/composition-no-1-saporta-review> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 23).
- [82] Harold Cohen. *The Art of Self-Assembly: the Self-Assembly of Art*. 2009. URL: <http://www.aaronshome.com/aaron/publications/dagpaper.odt> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 49).
- [83] Nikita Diakur. *Ugly Info*. 2017. URL: [http://press.ugly-film.com/ugly\\_info.pdf](http://press.ugly-film.com/ugly_info.pdf) (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 58).
- [84] Reinhard Doehl. *Exkurs über Aleatorik*. URL: <http://www.stuttgarter-schule.de/aleatori.htm> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 20).
- [85] Fauth Dorothee. *Kunstlexikon Readymade*. Okt. 2003. URL: <http://www.hatjecantz.de/readymade-5052-0.html> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 24).
- [86] Elisabeth Drew und Mads Haahr. *Lessness: Randomness, Consciousness and Meaning*. Aug. 2002. URL: <https://www.random.org/lessness/paper/> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 23).
- [87] Antony Eagle. *Chance vs. Randomness*. Feb. 2018. URL: <https://plato.stanford.edu/entries/chance-randomness/#RandGambSystMiseAcco> (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 6, 7).
- [88] Sean Frank und Margot Bowman. *Can digital art be called art?* Feb. 2015. URL: <https://www.britishcouncil.org/voices-magazine/can-digital-art-be-called-art> (besucht am 17.09.2018) (siehe S. 39).
- [89] Herbert W. Franke. *Gesamtwerk*. 2014. URL: <http://www.herbert-w-franke.de/WsFr5Korr.htm> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 42).
- [90] Mads Haar. *Pseudo-Random Number Generators (PNRG)*. Jan. 2018. URL: <https://www.random.org/randomness/> (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 13).
- [91] Tjark Ihmels und Julia Riedel. *Die Methodik der generativen Kunst*. Okt. 2002. URL: [http://medienkunstnetz.de/themen/generative\\_tools/generative\\_art/1/](http://medienkunstnetz.de/themen/generative_tools/generative_art/1/) (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 20).
- [92] *Kausalität*. Mai 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Kausalit%C3%A4t> (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 6).
- [93] Mario Klingemann. *Mario Klingemann - Portfolio*. 2018. URL: <http://quasimondo.com/> (besucht am 17.09.2018) (siehe S. 59).
- [94] Kenneth Knowlton und Leon Harmon. *Nude*. 1967. URL: <http://www.medienkunstnetz.de/works/nude/> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 42).
- [95] Sol LeWitt. *Alternate Not-Straight Lines (From the Right Side) and Broken Lines (From the Left Side) of Random Length*. 1972. URL: <https://www.wikiart.org/en/sol-lewitt/alternate-not-straight-lines-from-the-right-side-and-broken-lines-from-the-left-side-of-random-1972> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 29, 30).
- [96] Sol LeWitt. *Paragraphs on Conceptual Art*. 1967. URL: <http://designobjects.mit.edu/wp-content/uploads/2017/08/Paragraphs-on-Conceptual-Art-Sol-Lewitt-1967.pdf> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 29).

- [97] Klaus Mainzer. *Was sind komplexe Systeme? Komplexitätsforschung als integrative Wissenschaft*. Okt. 2014. URL: [http://www.integrative-wissenschaft.de/Archiv/dokumente/Mainzer-14\\_10\\_04.pdf](http://www.integrative-wissenschaft.de/Archiv/dokumente/Mainzer-14_10_04.pdf) (siehe S. 8).
- [98] Matilde Marcolli. *Structures of Randomness*. 2002. URL: <http://www.its.caltech.edu/~matilde/StructuresRandomnessChapter.pdf> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 27).
- [99] Alice Schmatzberger. *FOUNTAIN - Institutioneller Kontext zur Ausstellung 1917 - Mikrohistorie. Reflexionen über die Sichtbarkeit*. 2006. URL: <http://www.science-art.at/uploads/media/duchamp.pdf> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 25).
- [100] Karl Sims. *Panspermia*. 1990. URL: <http://www.karlsims.com/panspermia.html> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 52–54).
- [101] Wikipedia. *Aleatorik*. März 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Aleatorik> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 21).
- [102] Wikipedia. *Generative Adversarial Networks*. Mai 2018. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Generative\\_Adversarial\\_Networks](https://de.wikipedia.org/wiki/Generative_Adversarial_Networks) (besucht am 17.09.2018) (siehe S. 60).
- [103] Wikipedia. *Gestalttheorie*. Apr. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Gestalttheorie> (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 33).
- [104] Wikipedia. *Kunst und Revolution*. 1968. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Kunst\\_und\\_Revolution](https://de.wikipedia.org/wiki/Kunst_und_Revolution) (besucht am 16.09.2018) (siehe S. 28).
- [105] Wikipedia. *Künstliche Intelligenz*. Sep. 2018. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche\\_Intelligenz](https://de.wikipedia.org/wiki/K%C3%BCnstliche_Intelligenz) (besucht am 17.09.2018) (siehe S. 59).
- [106] Wikipedia. *Radioaktivität*. Aug. 2018. URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Radioaktivit%C3%A4t> (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 5).
- [107] Wikipedia. *Rauschen (Physik)*. Jan. 2018. URL: [https://de.wikipedia.org/wiki/Rauschen\\_\(Physik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Rauschen_(Physik)) (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 12).
- [108] Bar-Yam Yaneer. *Significant Points in the Study of Complex Systems*. Sep. 2018. URL: <http://necsi.edu/projects/yaneer/points.html> (besucht am 15.09.2018) (siehe S. 8).