Gestaltungsprinzipien der prozeduralen Synthese

Bachelorthesis zur Erlangung des akademischen
Grades eines Bachelor of Arts (B.A.)

19.06.2015

hKDM

Hochschule für Kunst, Design
und Populäre Musik

University of Arts and Applied
Sciences

Student
Julian Bauer

Matrikelnummer
101100382

Studiengang
Integrierte Gestaltung

Fachbereich
New Media Design

Erstprüfer
Prof. Steffen Rümpler

Zweitprüfer
Prof. Oliver Weede

Danksagung

Ein großer Dank geht an Lukas Songajlo, der für die programmiertechnische Umsetzung des praktischen Teils der Bachelorthesis zuständig gewesen ist.

Abstract

Diese Arbeit befasst sich mit der Handhabung der prozeduralen Synthese (prozedurale Generierung) aus der Perspektive des Designers. Es wird untersucht, warum prozedural generierte Inhalte mit manuell gefertigte Inhalten abgestimmt sein sollten, welche Aufgaben der Computer dem Menschen dabei abnimmt und welche Gestaltungsprinzipien schlussendlich bei diesem Verfahren einzuhalten sind. Die Erkenntnisse erschließen sich aus Recherche und eigenen Erfahrungen, die bei der Entwicklung eines Prototypen gesammelt wurden. Die erarbeiteten Gestaltungsprinzipien werden anschließend auf die Spielwelt des Prototypen angewendet und in Form von Abbildungen demonstriert.

This thesis deals with procedural generation seen from a designer's perspective.
The examination tries to seek an answer as to why procedural generated content needs to be in accordance with manually generated ones, to what extent tasks are being taken over by computers and eventually, what kind of design principles have to be taken into consideration. Argumentation and conclusion are based on research as well as on experiences that emerged from the development of a prototype. Subsequently, these design principles will be adapted to the game world of this prototype as well as visually demonstrated as illustrations.

Schlagworte

Gestaltungsprinzipien, Prozeduralität, Authentizität, Perlin Noise, Fraktale, Computer Spiele, Mensch und Maschine in der Rolle des Gestalters

Inhaltsverzeichnis

Danksagung II
Abstract III
Schlagworte III
Inhaltsverzeichnis IV
1. Einführung 5
1.1 Problemstellung 5
1.2 Zielsetzung 5
2. Die Prozedurale Synthese 6
2.1 Definition 6
2.2 Prozedurale Methoden 7
2.2.1 Fraktale 7
2.2.2 Perlin Noise & Der Zufall im Kontext einer authentischen Welt 9
2.2.3 Beispiele der prozedurale Synthese in Computerspielen 11
2.3 Fazit 12
3. Gegenüberstellung der vom Computer und vom Menschen erzeugten Ergebnisse der grafischen Gestaltung 13
3.1 Vorteile und Nachteile 13
3.2 Die Maschine als Gestalter 15
3.3 Fazit 16
4. Aufstellung der Gestaltungsprinzipien 17
4.1 Authentizität 17
4.1.1 Prozedurale Variation 20
4.1.2 Vermittlung von visueller Authentizität 20
4.2 Beeinflussung der Spielbarkeit durch generierte Inhalte 21
4.3 Fazit 21
5. Anwendung der Gestaltungsprinzipien 22
5.1 Designer-Informatiker Kommunikation 22
5.2 Umgang mit grafischen Komponenten 22
5.3 Gestaltungsregeln und Abbildungen einer generierten Beispielwelt 24
5.4 Endgültiges Fazit und Ausblick 32
Literaturverzeichnis XXXIII
Abbildungsverzeichnis XXXV
Eidesstattliche Erklärung XXXVI

1. Einführung

1.1 Problemstellung

Aufgrund der Tatsache, dass aktuelle Computerspiele einen großen Umfang und einen hohen Detailgrad erreicht haben, bei denen alle visuellen Elemente schier unmöglich manuell zu produzieren und zu platzieren sind, kommt die prozedurale Synthese anstelle der manuellen Erzeugung von Inhalten zum Einsatz. Manche Entwickler greifen hierbei auf eine herkömmliche Methode zurück, um virtuelle Welten zu erstellen. Diese ist meist sehr zeitaufwändig, da alle Details manuell erstellt werden müssen und ist besonders dann problematisch, wenn (für aktuelle Verhältnisse) überdurchschnittlich große und detaillierte Welten erschaffen werden sollen. Wenn Entwicklerteams nicht über genügend Ressourcen verfügen, sind sie auf eine effiziente und nachhaltige Lösung angewiesen. Diese Lösung bedarf eines effizienten Verfahrens, welches sich in der prozeduralen Synthese wiederfindet. Dieses Verfahren wird erfolgreich von vielen Entwicklerstudios in Verbindung mit randomisierten[1] Algorithmen verwendet. (Beispiele für eine erfolgreiche Verwendung werden in Kapitel 2.2.3 beschrieben). Die prozedurale Synthese wird dennoch von jenen kritisiert (nähere Untersuchung dazu in Kapitel 3.1), die einen Kontrollverlust über ihre eigenen Ergebnisse fürchten. Die Herausforderung der Entwickler besteht deshalb darin, über eine artifizielle Methode, eine authentische Welt zu erschaffen.

1.2 Zielsetzung

Diese Arbeit konzentriert sich darauf, dem Gestalter/Designer zu helfen, wie er mit der prozeduralen Synthese umzugehen hat bzw. welche Richtlinien einzuhalten sind. Das Ziel ist die Entwicklung von Gestaltungsprinzipien, die anschließend auf der Basis einer prozedural generierten Echtzeitumgebung in einer virtuellen Welt angewendet werden. Es wird angenommen, dass diese Gestaltungsprinzipien für jede beliebig generierte virtuelle Welt gelten können, damit diese ein authentisches und kohärentes Erscheinungsbild annehmen kann. Im praktischen Teil dieser Arbeit werden diese Prinzipien auf die Umgebung eines eigens entwickelten 2D-Spiels angewendet.

---

1 „Randomisierung“ Bedeutung
„(aus einer gegebenen Gesamtheit von Elementen) eine vom Zufall (z. B. durch Los) bestimmte Auswahl treffen“
URL: http://www.duden.de/
Stand: April 2015

2. Die Prozedurale Synthese

2.1 Definition

Bei der prozeduralen Synthese geht es im Wesentlichen darum, mit deterministischen Algorithmen[2] durchdachte Inhalte für eine virtuelle Welt[3] in Echtzeit zu generieren, ohne dass es eines manuellen Eingreifens bedarf.
Unter der Synthese versteht man die Komposition und Verbindung von zwei oder mehreren Elementen, welche darauffolgend etwas Neues hervorbringen.

„Prozeduralität" stammt vom Begriff „Prozedur" ab und bedeutet im Allgemeinen *„verfahrensmäßig; den äußeren Ablauf einer Sache betreffend"*[4].
Die Zusammensetzung beider Begriffe bedeutet im Falle der prozeduralen Generierung, dass (visuelle) Dinge mittels mathematischer Methoden synthetisiert werden. Die hierbei angewandte Mathematik ist ein Regelwerk, das die Erzeugnisse der Generierung nach Vorgaben modelliert.
„One of the most important features of procedural techniques is abstraction. In a procedural approach, rather than explicity specifying and storing all the complex details of a scene or sequence, we abstract them into a function or an algorithm (i.e., a procedure) and evaluate that procedure when and where needed." [5]
Die prozedurale Synthese kann zufällig gesteuerte Inhalte während der Laufzeit des Programmes in Echtzeit erzeugen, wohingegen bei konventionellen Verfahren die Programminhalte schon vorhanden sind und vom Entwickler fest angelegt wurden, d.h., dass die Inhalte schon einen festen Platz in nichtflüchtigen Speichersystemen belegen. Randomisierte Algorithmen sind ein Teilbereich dieses Verfahrens, sind aber

---

2 Deterministischer Algorithmus (Informatik): Diese Algorithmen folgen einem festgelegten und endlichen Ablauf, bei dem ausnahmslos reproduzierbare und vorhersehbare Ergebnisse ausgegeben werden.

3 Virtuelle Welt (Computerspiel): Eine Virtuelle Welt eines Spiels ist eine vom Computer generierte Umgebung, die über mindestens zwei Dimensionen verfügt und eine Spielfigur steuern kann.

4 „prozedural" Bedeutung
URL: http://www.duden.de/rechtschreibung/prozedural
Stand: April 2015

5 David S. Ebert, *Texturing & Modeling: A Procedural Approach*, Introduction
URL: https://books.google.de/books?id=77KjBQAAQBAJ
Stand: Mai 2015

nicht ausschlaggebend um die Inhalte ausschließlich prozedural zu erzeugen. Auf die Randomisierung und ihr Zusammenhang mit der prozeduralen Synthese wird in dieser Arbeit später näher eingegangen.

2.2 Prozedurale Methoden

Prozeduralität wird in vielen Gebieten der Computergrafik eingesetzt. Um von ihrer Funktion eine bessere Vorstellung zu bekommen, werden in den folgenden Unterkapiteln einige Beispiele vorgestellt.

2.2.1 Fraktale

Fraktale sind ein optimales Beispiel, um das Konzept der prozeduralen Generierung zu verdeutlichen. Sie sind künstliche oder natürlich auftretende Muster, welche sich in jeder Skalierungsgröße selbst ähneln oder sogar exakt wiederfinden.
Als Designer oder Künstler stellt man sich die Frage: Wie vollführt die Maschine eine künstlerische Arbeit, bei der relativ viel Inhalt in verhältnismäßig kurzer Zeit produziert werden kann? Mithilfe von Rekursion[6] in der Informatik können potentiell unendlich viele Stufen in der Skalierung mit nur einer vergleichsweise einfachen Formel generiert werden. Sie ist verantwortlich für die beeindruckende Menge an Details, die in Fraktalen zu sehen ist.

„Wolken sind keine Kugeln, Berge keine Kegel, Küstenlinien keine Kreise. Die Rinde ist nicht glatt – und auch der Blitz bahnt sich seinen Weg nicht gerade...
Die Existenz solcher Formen fordert uns zum Studium dessen heraus, was Euklid als formlos beiseite läßt, führt uns zur Morphologie des Amorphen. Bisher sind die Mathematiker jedoch dieser Herausforderung ausgewichen. Durch die Entwicklung von Theorien, die keine Beziehung mehr zu sichtbaren Dingen aufweisen, haben sie sich von der Natur entfernt.
Als Antwort darauf werden wir eine neue Geometrie der Natur entwickeln und ihren Nutzen auf verschiedenen Gebieten nachweisen. Diese neue Geometrie beschreibt viele der unregelmäßigen und zersplitterten Formen um uns herum - und zwar mit einer Familie von Figuren, die wir Fraktale nennen werden.“ [7]

---

6 Rekursion (Informatik): Die Rekursion beschreibt in der Informatik einen Selbstaufruf einer Funktion. Dabei beschreibt die Rekursionstiefe, wie oft dieser Vorgang stattfand. Bei fehlender Abbruchbedingung kann sich dieser Vorgang in einer Endlosschleife fortsetzen.

7 Benoît Mandelbrot 1975 - *Die fraktale Geometrie der Natur*
URL: http://www.mathe-online.at/materialien/matroid/files/fraktale/fraktale.html
Stand: Mai 2015

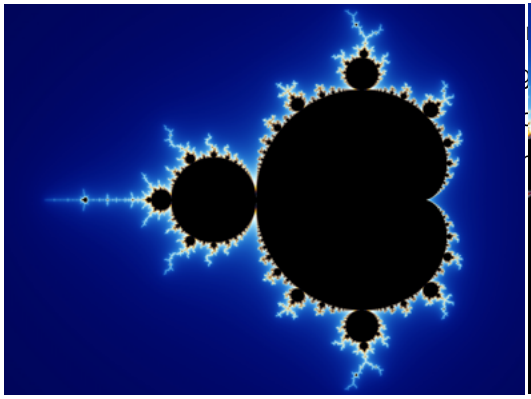


Abb.1: Die Mandelbrot-Menge mit stufenlos eingefärbten Außenraum.

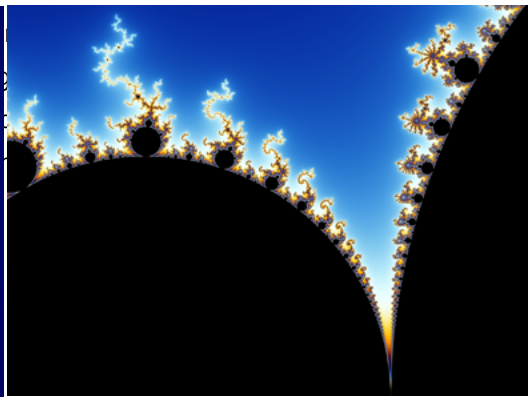


Abb.2: Spalte zwischen „Kopf“ und „Körper“, auch „Tal der Seepferdchen“ genannt.

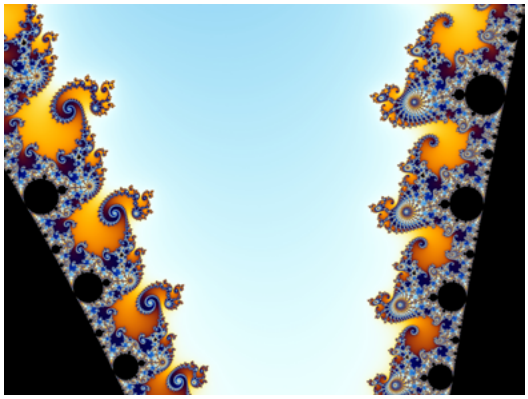


Abb. 3: Links Doppelspiralen, rechts „Seepferdchen“.

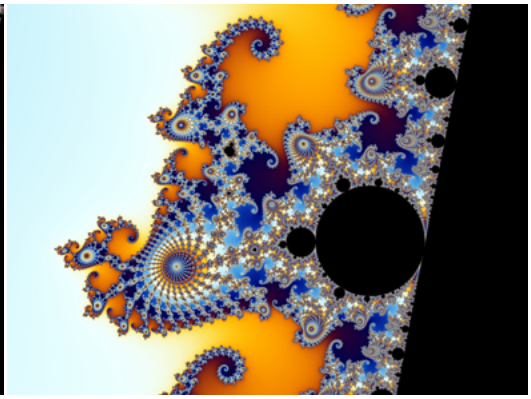


Abb. 4: „Seepferdchen“. Der „Körper“ wird von 25 „Speichen“ gebildet.

Abb. 1-4[8]

Die Abbildungen und Skalierungsgrößen der Mandelbrot-Menge zeigen die Fülle der Details. Benoît Mandelbrots Aussage bestätigt sich, sobald ein Blick in die Natur geworfen wird. Es ist teilweise mit dem bloßen Auge zu erkennen, dass viele Dinge aus fraktalen Mustern bestehen. Von Sternhaufen in Galaxien, Gebirgsketten, über bestimmte Pflanzenarten und Wellen in einem Gewässer, bis zu mikroskopischen Strukturen einer Schneeflocke lassen sich in nahezu jeder Skalierungsstufe fraktale Erscheinungen wiederfinden.

8 **Abb. 1-4** Mandelbrot-Menge

URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Mandelbrot-Menge#Rezeption_in_der_.C3.96ffentlichkeit

Stand Mai 2015

2.2.2 Perlin Noise & Der Zufall im Kontext einer authentischen Welt

Im Gegensatz zum deterministischen Ansatz ist auch ein nicht-deterministischer Ansatz denkbar, bei dem ein gesteuerter Zufall eine Auswahl trifft. Oft werden zufällige Zahlenwerte in Programmen verwendet um etwas Unvorhersehbares zu erschaffen. Allerdings überzeugen diese Ergebnisse nicht, wenn es um die Erzeugung von natürlichen Dingen geht, da ein natürliches Aussehen einer Landschaft oder die Konstellation von Dingen innerhalb einer natürlichen Landschaft *(*und das ist wichtig) nicht ausschließlich auf zufälliger Anordnung basiert. Der Zufall spielt dennoch eine wichtige Rolle, da sonst alle generierten Dinge ein artifizielles Verhalten aufweisen würden. Deshalb werden zufällige Werte immer bestimmten Rahmenbedingungen zugewiesen, die sich aus vorhandenen Dingen der Welt erschließen lassen.

Die gradientbasierte[9] Rauschfunktion wurde 1982 von Ken Perlin entwickelt. Dieser erhielt für seine Leistung einen „Academy Award for Technical Achievement".

„Ein wichtiger Schritt zur Verwirklichung macht Ken Perlin mit der Veröffentlichung von "Perlin Noise" auf der SIGGRAPH 1985. ¨ Hierbei handelt es sich um die Umsetzung der Idee, eine Funktion zu entwerfen, mit deren Hilfe sich zufällig wirkende Muster in einem beliebig dimensionalen Raum modellieren lassen, die dennoch eine (optische) Regelmäßigkeit aufweisen."[10]

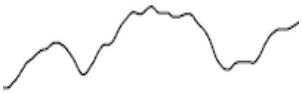
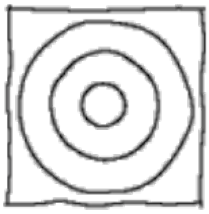
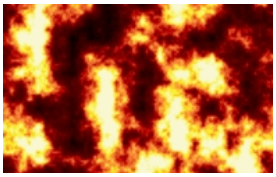
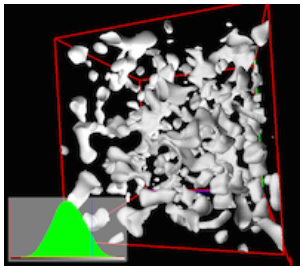
Die Perlin Noise Funktion imitiert dieses Verhalten der natürlichen Fraktale. Sie ist ebenfalls ein Beispiel, welche in der prozeduralen Synthese oft zum Einsatz kommt um Partikel, Objekte oder Texturen von Wasser, Wolken und Terrain Variationen zu synthetisieren. Sie wird ebenso auf manuell gefertigte Dinge angewendet um ihr natürliches Erscheinungsbild weiter zu unterstreichen.

---

9 Gradient (Grafik): *„Ein Gradient ist ein Farbverlauf. Entlang einer Linie ändert sich die Farbe eines Objektes von einer (Start-)Farbe zu einer (Ziel-)Farbe. Der Farbverlauf kann auch radial verlaufen, es können mehrere Farbübergänge stattfinden und die Farbverläufe können auch nichtlinear sein."*
URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Gradient_(Grafik)
Stand: April 2015

10 Sebastian Knorr, *Perlin Noise, Wavelet Noise and Curl-Noise for Procedural Fluid Flow*
URL: http://medien.informatik.uni-ulm.de/files/graphics/seminar_cg_ws0708/ausarbeitung/Knorr_CurlNoise.pdf
Stand: Juni 2015

Die folgenden Schaubilder und Beschreibungstexte veranschaulichen Beispiele der Perlin Noise in ihren Einsatzgebieten von 3 Dimensionen.[11]

Noise Dimension	Raw Noise	Use Case
1		
2		
3		

Noise Dimension 1

„Using noise as an offset to create handwritten lines."

Noise Dimension 2

„By applying a simple gradient, a procedural fire texture can be created."

Noise Dimension 3

„Perhaps the quintessential use of Perlin noise today, terrain can be created with caves and caverns using a modified Perlin Noise implementation."

11 *Understanding Perlin Noise*
URL: http://flafla2.github.io/2014/08/09/perlinnoise.html
Stand: Mai 2015

2.2.3 Beispiele der prozedurale Synthese in Computerspielen

„Elite“ (1984, Entwickler: Ian Bell und David Braben) war eines der ersten Spiele, die von der prozeduralen Synthese Gebrauch machten, um ein gigantisches Universum zu generieren, welches unmöglich manuell hätte erstellt werden können. (Abb. 5-6[12])

Abb. 5

Abb. 6

„The Elder Scrolls: Oblivion“ (2006, Bethesda Softworks) bedient sich der hybriden prozeduralen Synthese. Die Eigenschaften und die Platzierung der Vegetation werden durch die Synthese gesteuert. Die Texturen der Pflanzen und Bäume werden allerdings von 2D und 3D Künstlern von Hand hergestellt.(Abb. 7-8[13])

Abb. 7

Abb. 8

12 Abb. 5-6, Elite
URL: http://www.trustedreviews.com/opinions/the-10-most-important-games-ever_Page-4
Stand: Juni 2015

13 Abb. 7-8, The Elder Scrolls IV: Oblivion
URL: http://www.worldofelderscrolls.de/?go=screenshots&catid=1
Stand: Juni 2015

„No Man's Sky" (2015, Hello Games) verwendet ausschließlich die prozedurale Synthese, nicht nur um Landschaften, sondern auch um Lebewesen oder Bauwerke zu generieren. Diese werden ebenfalls nicht ausschließlich aus mathematischen Formeln hergestellt, sondern entstehen aus einer Ansammlung von vielen, manuell gefertigten, flexiblen Modulen. Diese Module können z.B. eine große Menge einzigartiger Objekten sein, welche sich sinnvoll und dynamisch zusammensetzen lassen. Alles basiert auf diesen angelegten Modul-Bibliotheken, welche sich an die Regeln der prozeduralen Generierung anpassen. Die festgelegten Regeln können derart komplex werden, dass selbst die Entwickler nicht überall vorhersehen können, ob die Generierung an allen Orten reibungslos verlaufen wird. (Abb. 9-10[14])

Abb. 9

Abb. 10

2.3 Fazit

In den vorherigen Kapiteln wurde ein grundlegendes Verständnis über die prozedurale Synthese erarbeitet. Fraktale und Perlin Noise sind nicht nur Musterbeispiele dafür, wie viel Inhalt mit vergleichsweise wenig Aufwand produziert werden kann, sondern können auch ein wirkungsvolles Paradigma sein, um Objekte und Texturen ein natürliches Aussehen zu verleihen oder sogar komplett zu synthetisieren.
Schlussendlich geht es darum, die Prinzipien dieser Methoden auf die Bedürfnisse der Entwicklung anzupassen, damit sie für die Generierung von Umgebungen und Objekte genutzt werden können, um eine natürliche virtuelle Welt glaubhaft zu illusionieren. Ob das allein mit der automatischen Erzeugung funktioniert, soll im nächsten Kapitel genauer untersucht werden.

14 Abb. 9-10, No Man's Sky
URL: http://www.no-mans-sky.com/news/page/3/
Stand: Juni 2015

3. Gegenüberstellung der vom Computer und vom Menschen erzeugten Ergebnisse der grafischen Gestaltung

In den folgenden Kapiteln sollen die Vor- und Nachteile der vom Computer, prozeduralen bzw. automatischen Erzeugung von Inhalten mit der vom Menschen, manuellen Methode der Erzeugung von Inhalten konkurrieren. Ebenso wird ein Blick auf die Maschine in der Rolle eines Gestalters geworfen und daraufhin in Frage gestellt.

3.1 Vorteile und Nachteile

Beide Erzeugungsarten weisen Stärken und Schwächen auf, die in diesem Kapitel näher erläutert werden. Es wird untersucht, welche der beiden Methoden in welchen Einsatzgebieten ihre Stärken am besten integrieren können.

„Randomness can never lead to good art [...] procedural generation leads to inferior visuals [...] Artists obsess over the details, seeing objects get randomly scattered on a terrain hurts us deep in our hearts [...] there is a lack of control."[15]

Die automatische Generierung von Inhalten wird von jenen kritisiert, die einen Kontrollverlust über ihre Arbeit fürchten. Dabei basiert diese Befürchtung auf der mangelnden Erfahrung im Umgang mit dieser Methode und ist deshalb kein überzeugendes Argument die automatische Erzeugung vor der manuellen Erzeugung vorzuziehen. Diejenigen, die mit der Materie vertraut sind, verfügen durchaus über die Fähigkeit ihre Inhalte zu kontrollieren.

Die deterministische (manuelle) Erzeugung kommt meist dann zum Einsatz, wenn es darum geht einzigartige Dinge und Kompositionen zu erschaffen. Sie unterscheidet sich insofern von der automatischen Erzeugung, dass der Gestalter sich um jeden Bestandteil seiner Arbeit kümmern muss. Das gibt ihm die Möglichkeit die Individualität seiner Arbeit zu

15 Art Direction Bootcamp: *How I Learned to Love Procedural Art*
URL: http://www.gdcvault.com/play/1021805/Art-Direction-Bootcamp-How-I
Stand: Mai 2015

sichern, während bei der prozeduralen Generierung schnell ein optisch repetitiver Eindruck entstehen kann. Wenn es wiederum dazu kommt sich ähnelnde Inhaltstypen zeitlich und ressourcenschonend zu erstellen, ist die automatische Erzeugung der manuellen Erzeugung überlegen. Dies ist eine der Hauptschwächen der manuellen Erzeugung, welche am häufigsten mit der automatischen Methode umgangen wird, da es wirtschaftlich unrentabel im Verhältnis der Menge des erstellten Inhaltes ist.
„Procedural models also offer flexibility. The Designer of the procedures can capture the essence of the object, phenomenon, or motion without beeing constrained by the complex laws of physics." [16]
Die automatische Erzeugung ist schnell, effizient und in Echtzeitumgebungen performant. Solange dieses Verfahren modular programmiert wurde, lassen sich mit der automatischen Erzeugung flexibel große Änderungen vornehmen. Diese Art der Platzierung von Elementen schafft mögliche Kompositionen, die ein Designer nie bewusst erarbeitet hätte, wenn er diese manuell erzeugen wollte. Es sollte bedacht werden, dass dieser Fall hauptsächlich dann eintritt, wenn es sich um den Vergleich von natürlichen und organischen Dingen handelt.

Der Gestaltungsprozess ist ästhetischen Leitlinien unterworfen, die zum Ziel haben, die Gestaltungsprodukte neben ihrer Funktionalität mit ästhetischen Qualitäten auszustatten. Bei dem manuellen Gestaltungsprozess strebt der Gestalter dazu, Dinge passend und geschmackvoll aussehen zu lassen. Dieser Prozess der Ästhetisierung kann dabei manieristische[17] Eigenarten annehmen und die Funktionalität eines Gestaltungsprodukts überdecken und/oder behindern. Diese Überästhetisierung kann unfreiwillig zu einer (offensichtlich) aufgesetzten Inszenierung ausarten.

Ein Computerprogramm, dessen Ziel die Erstellung von Gestaltungsprodukten ist (in diesem Fall die Erstellung einer Spielwelt), setzt bei seiner Arbeit vom Menschen konzipierte Befehlssätze um. Das Ergebnis dieses Prozesses ist bei hoher Komplexität der Befehlssätze (Algorithmen) nur noch bedingt absehbar und erzeugt daher unerwartete Resultate, die bei der Arbeit eines menschlichen Gestalters in dieser Form nicht entstehen würden. In welcher Form die Gestaltungsprodukte von Computerprogrammen durch menschliche Anwender rezipiert werden, lässt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur spekulieren.

---

16 David S. Ebert, *Texturing & Modeling: A Procedural Approach*, Introduction
URL: https://books.google.de/books?id=77KjBQAAQBAJ
Stand: Mai 2015

17 Manierismus: *„Neben der kunstgeschichtlichen Bedeutung wird der Begriff auch universell benutzt und bezeichnet dann eine Handlung, Haltung oder Sprechweise, die als gekünstelt („manieriert"), pathetisch oder schwülstig empfunden werden kann."*
URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Manierismus Stand: Mai 2015

Mögliche Resultate könnten jedoch eine erhöhte Authentizitätswahrnehmung oder auch ein Befremden sein. Befremdliche Ergebnisse können unlogische Resultate sein, die einen unfreiwilligen Stilbruch aus einer bisher gewohnten Szenerie bewirken (wie z.B. der Wachstum eines dichten Waldes auf kahlem Steinboden). Sobald Fälle auftreten, bei denen das Ergebnis auf den Rezipienten befremdlich wirkt und dies nicht im Sinne der Entwickler ist, sollten die aktuellen Rahmenbedingungen korrigiert werden.

Die Schwächen der automatischen Erzeugung fallen besonders dann auf, wenn ihre Generierungsmuster durchschaut werden (Auf diesen Punkt wird in Kapitel 4.2 näher eingegangen). In vielen Fällen ist es eine Frage der Zeit bis der Spieler das Generierungskonzept durchschaut. Je nachdem wie gut die prozedurale Synthese angewendet worden ist bzw. wie viel Variationen die Welt bietet, lassen sich diese Generierungsmuster entsprechend verbergen.

3.2 Die Maschine als Gestalter

In diesem Kapitel wird hinterfragt, inwiefern der Mensch noch an der Gestaltung der automatischen Erzeugung beteiligt ist und welche Aufgaben die Maschine dem Menschen dabei abnimmt.

Der Mensch soll zielgerichtet mit der Maschine zusammenwirken, damit bestimmte Arbeitsergebnisse von dem Gesamtsystem Mensch-Maschine bestmöglich erreicht werden."[18]
Inwiefern teilen sich dabei die Leistungen bei der automatischen Erzeugung auf den Menschen und auf die Maschine auf? Während bei der manuellen Erzeugung die Maschine als Werkzeug zur Erstellung von Inhalten verwendet wird, das parallel zum Produzenten geschaltet ist/gleichzeitig mit dem Produzenten wirkt („Produzent und Maschine - Artefakt - Rezipient"), unternimmt die Maschine bei der automatischen Erzeugung einen eigenständigen Schritt („Produzent - Maschine - Artefakt - Rezipient") und übernimmt im selben Moment die aktive Rolle des Gestalters für das konkrete Endresultat. Der Produzent (der Entwickler) hat die Aufgabe diesen eigenständigen Zwischenschritt zu kontrollieren, indem er für die Maschine Möglichkeiten und Grenzen ausarbeitet. Diese Vorgaben werden von der Maschine übernommen und entwickelt daraufhin das Artefakt (das Resultat) welches dem Rezipienten (dem Spieler) übergeben wird.

---

18 Gunnar Johannsen, *Mensch-Maschine-Systeme*
URL: https://books.google.de/books?id=fQHOBgAAQBAJ&printsec
Stand: Mai 2015

Nach der Ausgabe des Ergebnisses tätigt der Produzent die Aufgabe als Beobachter und urteilt über ihre Resultate.

„Im Jahr 1974 programmierte Harold Cohen die erste Programmversion von »AARON«: AARON ist eine Art Algorithmus für die Zeichenbewegung der menschlichen Hand für einen autonomen Computer als Zeichenmaschine."[19]
„Mit der Einführung neuer Technologien zur Simulation des Schaffensprozesses werden die Einwände gegen das Originalitätsdenken noch expliziter. Hierfür steht das KI-Programm »Aaron« als paradigmatisches Beispiel. Der englische Künstler Harold Cohen hat ein praktisches Argument geliefert, das eine andere Problematik im Zusammenhang mit Autorenschaft und Authentizität aufzeigt. Cohen hat das Kunstexpertensystem »Aaron« entwickelt, das darauf spezialisiert ist, Arbeiten mit einem ›eigenen‹ Stil hervorzubringen."[20]

Die künstlichen Intelligenz ist mittlerweile so weit fortgeschritten, dass Computer dazu fähig sind eigene Kunstwerke zu erschaffen. Sie sind in der Lage zu malen und Musik zu komponieren.
Dies waren früher bedeutende Unterscheidungsmerkmale zwischen Mensch und Maschine. Kritiker sehen in solchen Maschinen keinen Künstler, sondern selbst ein Kunstwerk, welches indirekt generative Kunst erschafft und ihr Ursprung schlussendlich zu einem menschlichen Urheber zurückführt.
Kann also ein Programm, das von der prozeduralen Synthese Gebrauch macht, als ein Kunstwerk betrachtet werden? Und kann es irgendwann durch den persistenten Fortschritt in der künstlichen Intelligenz einmal dazu führen, dass ein Computer selbst imstande sein wird, die Qualitäten seiner eigenen Werke zu erkennen oder sogar eine eigene Meinung über diese zu vertreten?

3.3 Fazit

Die prozedurale Synthese kommt zum Einsatz, wenn es sich zeitlich und finanziell nicht rentiert, Inhalte manuell zu erzeugen. Die automatische Generierung, die Inhalte aus dem

---

19 Harold Cohen
URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Harold_Cohen
Stand: Mai 2015

20 Ästhetik des Digitalen, *Ästhetische Paradigmen*, Seite 10
URL: http://www.medienkunstnetz.de/themen/aesthetik_des_digitalen/aesthetische_paradigmen/10/
Stand: Mai 2015

Nichts erzeugt, tritt in Einsatzgebieten wie der digitalen Fraktalkunst, der Textursynthese, Partikelsysteme oder in der Generierung von dreidimensionalen Landschaftsmodellen auf. Die Stärken beruhen auf dem flexiblen und performanten Umgang des generierten Inhaltes. Mit der Erzeugung von einzigartigen Objekten und die Möglichkeit diese individuell zu positionieren, definiert die manuelle Erzeugung ihre größten Vorteile. Je nachdem welche Bedingungen in der Entwicklung herrschen, bzw. welche der beiden Methoden die Bedürfnisse in der Entwicklung abdeckt, ist die automatische oder die manuelle Methode sinnvoller. Da die meisten Computerspiele zum größten Teil aus manuell erzeugte Elementen bestehen, ist es anzunehmen, dass es von Vorteil ist, wenn sich beide Methoden entgegenkommen. Auf viele der genannten Vorteile wie die Kombination aus Individualität und die Flexibilität sind schwer zu verzichten. Prozedural generierte Inhalte sollten daher auf manuell gefertigte abgestimmt sein.

4. Aufstellung der Gestaltungsprinzipien

4.1 Authentizität

Es ist schwierig für „Authentizität" Gestaltungsprinzipien für jede beliebige Spielumgebung zu formulieren, da es zu viele unterschiedliche Darstellungsformen gibt, als dass man für diese verallgemeinernde Prinzipien aufstellen könnte. Deshalb konzentriert sich der folgende Text ausschließlich auf den Zusammenhang von Authentizität und der prozeduralen Synthese bzw. auf welche Dinge zu achten sind, wenn eine generierte digitale Welt, unabhängig ihrer Stilrichtung, weiterhin authentisch bleiben soll.
„Im allgemeinen Sprachgebrauch wird unter „Authentizität" ein positives, aufgeladenes Konzept verstanden mit der semantischen Bedeutung von „Echtheit", "Natürlichkeit", „Originalität", „Individualität", „Ursprünglichkeit", „Wahrhaftigkeit" und „Glaubwürdigkeit". Dies ist nur ein Auszug möglicher Bedeutungen, die einen generellen Bezugsrahmen vorgeben." [21]

21 Burman, Schallehn, *Die Bedeutung der Marken-Authentizität für die Markenprofilierung*
URL: http://www.lim.uni-bremen.de/files/burmann/publikationen/LiM-AP-31-Marken-Authentizitaet.pdf
Stand: Mai 2015

Eine generierte Welt ist in dem Fall dann authentisch, wenn ihre Schauplätze so generiert wurden, dass sie die genannten Eigenschaften aufweisen kann. Damit sich die generierte Welt diese Eigenarten aneignen kann, muss die Authentizität in das Design der Welt integriert werden.

„Authentic design is about representing function in its most optimal form, about having a conviction in elegance through efficiency. Authentic design is about dropping the crutches of external ornament and finding beauty in pure content."[22]
Authentizität tritt laut Dmitry Fadeyev dann auf, wenn die Daseinsform von Dingen so dargeboten werden wie sie wirklich sind, ohne sie durch ornamentale Beschaffenheiten zu übertünchen. Es wird dabei angenommen, dass dies nicht auf ornamentale Merkmale zutrifft, die ein sinnvoller oder erwartender Bestandteil von bestimmten Dingen sind (wie z.B. die Darstellung von verzierter Architektur einer Kultur).
Es ist ebenso möglich, dass eine komplett synthetisierte Welt eine gewisse Authentizität vermitteln kann. Diese wird jedoch in der Auswahl ihrer Stilrichtungen eingeschränkt sein.
Da der Großteil aktueller Spiele vorwiegend manuell erzeugte Inhalte verwendet und um die Vorteile der manuellen und automatischen Erzeugung zu vereinen, wird sich im folgenden Text ausschließlich auf die Verbindung beider Erzeugungsmethoden fokussiert.

„Clearly, the difference in quality between hand-designed and procedurally generated content in the game world should not be too noticeable. In comparison to manually designed content, current procedural content can look dulland repetitive." [23]
Der Spieler kennt in einer virtuellen Welt (anders als die Entwickler) nicht das Gesamtbild bzw. den kompletten visuellen Umfang der Spielwelt, sondern immer nur Kompositionen vieler verschiedener Module, aus denen die Welt generiert wird. Sie beeindrucken den Spieler von der Vielzahl an möglichen Variationen, die aus seiner Perspektive alle individuell wirken, von der Anwendung aber aus einer Ansammlung von bereits vorhandenen, manuell erzeugten Objekten maschinell platziert werden. Diese Platzierung folgt einem von den Entwicklern festgelegtem Muster, welches vom Spieler nicht erkannt werden sollte. Sobald diese Generierungsmuster vom Spieler durchschaut werden, verliert die Welt ihre authentische Wirkung. Durch die hybride prozedurale Synthese (manuell erzeugter Inhalt in Kombination

---

22 Dmitry Fadeyev, *Authentic Design*
URL: http://www.smashingmagazine.com/2013/07/16/authentic-design/
Stand: Juni 2015

23 Tim Tutenel, Rafael Bidarra, Ruben M. Smelik, Klaas Jan de Kraker,
Rule-based layout solving and its application to procedural interior generation
URL: http://visualisation.tudelft.nl/Publications-new/2009/TSBD09a/TBSD09aRB.pdf
Stand: April 2015

mit automatisch generierten Inhalten) gelingt es der virtuellen Welt aus der Perspektive des Spielers, wie aus dem Dokument *Rule-based layout solving and its application to procedural interior generation* zitiert, kein monotones und repetitives Aussehen anzunehmen, sondern authentisch, also natürlich und glaubwürdig zu wirken.
Damit die prozedurale Synthese eine Welt mit kohärenten Visualisierungen wiedergibt um eine überzeugendes und immersives Erlebnis zu garantieren, muss mit folgenden Punkten entsprechend umgegangen werden:

1. **Kontraste**
2. **Detaildichte**
3. **Materialien**
4. **Größenverhältnisse**

1. Kontraste sind der Grund weshalb wir Dinge visuell wahrnehmen können. Durch Beleuchtung bestimmen wir die Kompositionen der Kontraste innerhalb einer Szene und können damit gezielt eine bestimmte Stimmung im Betrachter auslösen. Sobald zufällige Kontrastwerte durch Algorithmen hervorgerufen werden, muss sichergestellt werden, dass durch die vom Entwickler bestimmten Rahmenbedingungen, der Spieler alle notwendigen Dinge optisch erfassen kann.

2. Aus Performancegründen ist es ratsam, die Detaildichte einer Spielwelt auf den Standpunkt und der Perspektive des Spielers anzupassen. Stellen an denen wenige oder keine Details für den Spieler sichtbar sind, können auf eine bestimmte Menge oder vollständig auf generierte Details verzichten. Des Weiteren ist mit der Detaildichte bewusst so umzugehen, dass sie die Welt nicht mit Details überfüllt und dadurch ihre Ausdrucksform schlimmstenfalls abwertet, sondern durch eine ausgeglichene Verteilung verstärkt.

3. Materialien bzw. die Beschaffenheit von Elementen geben dem Spieler eine Orientierung in welcher Art von Welt er sich befindet, indem sie Objekten ihre visuelle Charakteristik verleiht. Prozedural generierte Materialien sind dort zu positionieren, die bestenfalls eine nachvollziehbare Platzierung aufweisen, bzw. die logischen Erwartungen des Betrachters erfüllen (z.B. tritt der Aggregatzustand von Wasser auf einem sonnen-nahen Planeten automatisch in gasförmiger Form auf oder Materialien bekommen nach einem Regen eine glänzende Oberfläche).

4. Größenverhältnisse bestimmen die Maßstäbe von Objekten innerhalb einer Welt. Sobald unterschiedliche Größenverhältnisse erzeugt werden (z.B. unterschiedlich große Personen) ist darauf zu achten, dass sich die maximalen und minimalen Werte der Größen von Objekten in einem Rahmen befinden, der für den Spieler begreifliche Resultate zur Folge hat und nicht durch groteske Ergebnisse das Erscheinungsbild unterbricht.

Aus diesen Prinzipien lassen sich Regeln ableiten, die einen authentischen Gesamteindruck schaffen. Je durchdachter diese Regeln von den Entwicklern formuliert werden, desto überzeugender können die generierten Elemente werden. Beispiele von solchen Regeln werden in Kapitel 5.3 beschrieben. Wie stark der Entwickler die manuelle oder automatische Erzeugung in die prozedurale Synthese einbringt, hängt von den Bedürfnissen der Entwicklung des Spiels ab.

4.1.1 Prozedurale Variation

Durch Rahmenbedingungen werden in der prozeduralen Synthese Elemente kategorisiert und bestimmten Positionen/Orten in der Welt zugewiesen.
Beispiele für solche Regeln wären, dass abfallende Hänge eines Berges ab einem bestimmten Neigungswinkel des Terrains anstelle einer Grastextur, eine Steintextur zugewiesen bekommen oder, dass um große Objekte automatisch weitere kleinere und geeignete Objekte generiert werden. Diese Methode Dinge in der Welt zu platzieren ist nicht nur zeitsparend, sondern sie übernimmt die Aufgabe, die Welt automatisch mit weiteren Elementen zu ergänzen. Welche Wichtigkeit der Zufall dabei in solch einer authentischen Welt spielt, ist in Kapitel 2.2.2 nachzulesen.

4.1.2 Vermittlung von visueller Authentizität

Wenn aus den Gestaltungsprinzipien Gestaltungsregeln in Zusammenarbeit mit anderen Entwicklern erarbeitet werden, kann es vorkommen, dass jene keine Vorstellung davon hat, was ein authentisches Erscheinungsbild ausmacht.
Zum einem ist es möglich durch Pre-Visuals die Vorstellung einer authentischen Welt zu vermitteln. Eine weitere und präzisere Methode ist es durch Dekompositionen von Dingen ihre verschiedenen Bedeutungsmerkmale aufzuzeigen und zu erfassen, damit ihre Komplexität verstanden werden kann. Ein Beispiel für eine Dekomposition wäre das Verhalten und Aussehen von Dingen zu studieren, um bewusst die relevanten Elemente zu erkennen, die für ihre Authentizität bedeutend sind. Die Erkenntnisse können nicht nur auf die eigene Arbeit angewendet werden, sondern sollten verständlich kommuniziert werden.

4.2 Beeinflussung der Spielbarkeit durch generierte Inhalte

Das Leveldesign geht unter anderem der Aufgabe nach, dem Spieler durch Anhaltspunkte und Aufbau von Elementen innerhalb der Spielwelt einen einwandfreien Spielfluss zu garantieren. Sobald unvorhersehbare Spielumgebungen generiert werden, ist sicherzustellen, dass die Konstellation aller Elemente in jeder Situation einen gewissen Grad der Spielbarkeit aufweisen kann.
Es können Fälle auftreten, bei denen generierte Inhalte den Spielfluss stören. Ein extremer Fall für einen niedrigen Grad der Spielbarkeit, wäre eine Welt mit einer generierten Terrain Formation, auf der sich eine Spielfigur nicht fortbewegen kann. Deshalb ist darauf zu achten, dass auf (zufällig) generierte Welten Rahmenbedingungen angewendet werden, die dem Spieler dieselben Erfahrungen in der Spielbarkeit gewährleistet, als wenn die Welt manuell erzeugt worden wäre.

4.3 Fazit

Alles läuft auf die entwickelten Rahmenbedingungen der Entwickler hinaus, die in Algorithmen übersetzt und implementiert werden. Sie sind für dafür verantwortlich, dass die generierte Welt sich zum einem nicht in ein unkontrolliertes Chaos stürzt und zum anderen abwechslungsreich bleibt.

5. Anwendung der Gestaltungsprinzipien

5.1 Designer-Informatiker Kommunikation

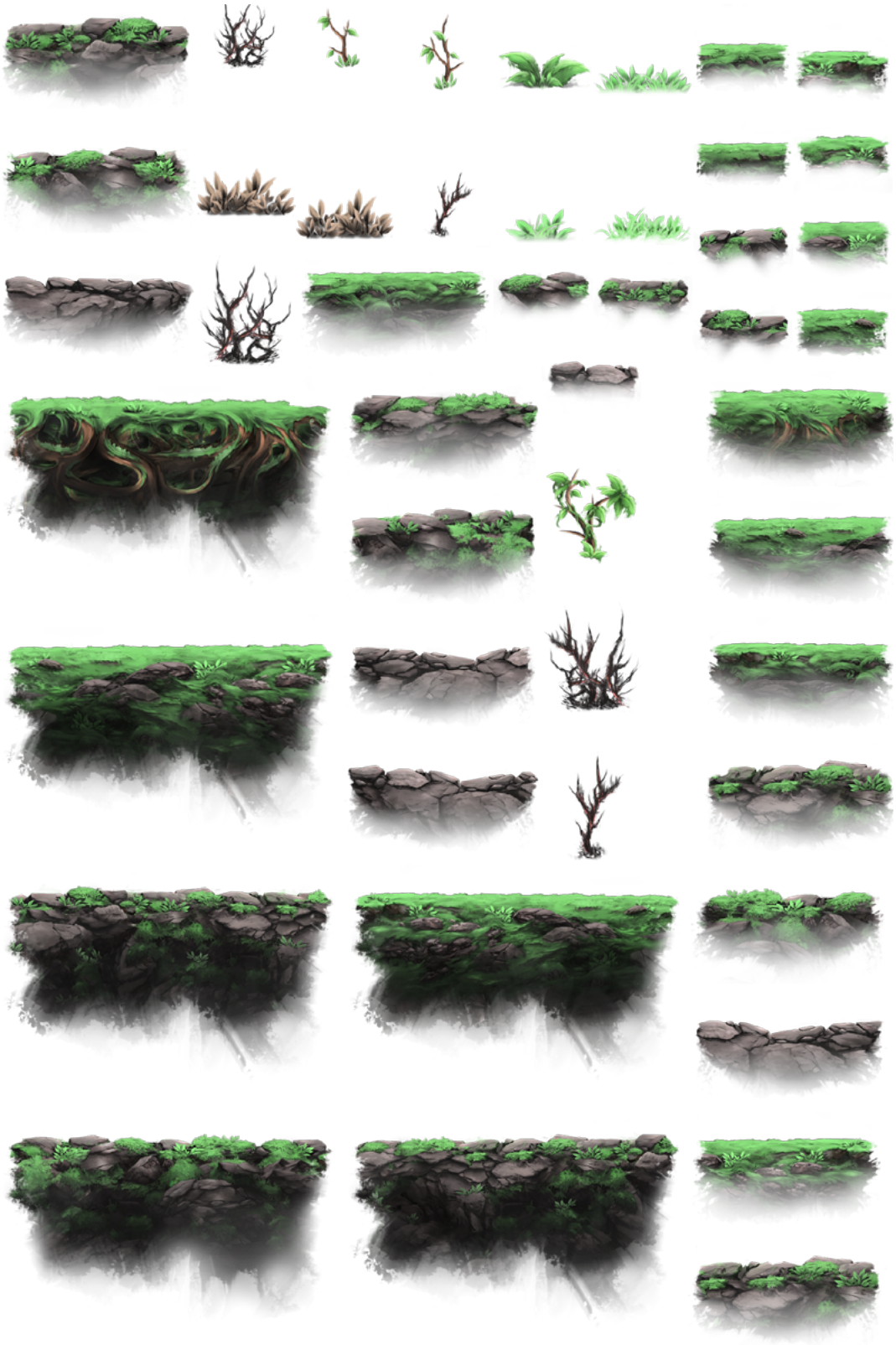
Die Beispiele, auf die im Kapitel 5.3 näher eingegangen werden, wurden zusammen mit einem Informatiker erarbeitet. Dieses Kapitel geht auf die wichtigsten Brennpunkte in der Kommunikation zwischen dem Designer und Informatiker ein.

Wenn ein Designer oder Künstler mit Hilfe eines Informatikers eine prozedural generierte Welt aufbauen möchte, ist es von Vorteil wenn nicht nur der Informatiker über den Prozess der prozeduralen Synthese bescheid weiß. Es ist für beide von Vorteil wenn der Gestalter ebenfalls die Grundlagen der prozeduralen Synthese versteht. Es ist ratsam die Welt sukzessiv aufzubauen, indem sie zuerst allgemein und schemenhaft und anschließend immer konkreter und detaillierter dargestellt wird. Während dieser Fortschritte wird vom Gestalter regelmäßig überprüft, ob die Welt ihr kohärentes Gestaltungsbild annimmt. Der Designer entwickelt Gestaltungsregeln aus den Gestaltungsprinzipien und formuliert sie dem Informatiker in einer Form, die er unkompliziert implementieren kann.

5.2 Umgang mit grafischen Komponenten

Das visuelle Framework der prozeduralen Synthese beinhaltet eine Ansammlung von manuell erzeugten Objekten. Aus dieser Ansammlung werden automatisch die benötigte Kopien angefertigt, die anschließend in der Spielwelt platziert werden. Anders als bei der manuellen Platzierung von Elementen, ist bei der prozeduralen Synthese darauf zu achten, dass alle Elemente modular und visuell kohärent angefertigt werden, damit jedes Element in allen seinen Platzierungsfällen ein einheitliches Gesamtbild wiedergibt. Ihre Flexibilität hängt von der Schärfe der aufgestellten Regeln und der Arbeit des Gestalters ab. Alle erstellten Objekte des Gestalters werden kategorisiert, sodass bei der Implementierung und Korrekturen die Übersicht für die Entwickler bewahrt werden kann und die Anwendung erkennt, welche Komponente auf welche Position zu platzieren ist. Dabei ist ratsam ein durchdachtes Bennenungssystem der einzelnen Komponenten auszuarbeiten.

Zu sehen ist ein Ausschnitt einer Textursammlung (ugs. Sprite Sheet), ein Bestandteil einer eigens erstellten Textur Bibliothek welche in der hybriden prozeduralen Synthese verwendet wird.



5.3 Gestaltungsregeln und Abbildungen einer generierten Beispielwelt

Im weiteren Verlauf werden Gestaltungsregeln aus den erarbeiteten Gestaltungsprinzipien abgeleitet und anschließend in eine eigens entwickelte Java Applikation integriert.

Zufallszahlen sind ein wichtiger Bestandteil der Generierung und Platzierung aller Elemente der Spielwelt. Durch eine Zufallsfunktion werden Zahlen, die zwischen einem minimalen und maximalen Wert liegen, zufällig erzeugt. Eine so gewonnene Zahl steht stellvertretend für eine Eigenschaft der Inseln, wie Beispielweise Größe und Abstand zu anderen Inseln. Durch diese Rahmenbedingungen ist eine natürliche, aber auch gleichzeitig vielfältige Form der Inseln gewährleistet.

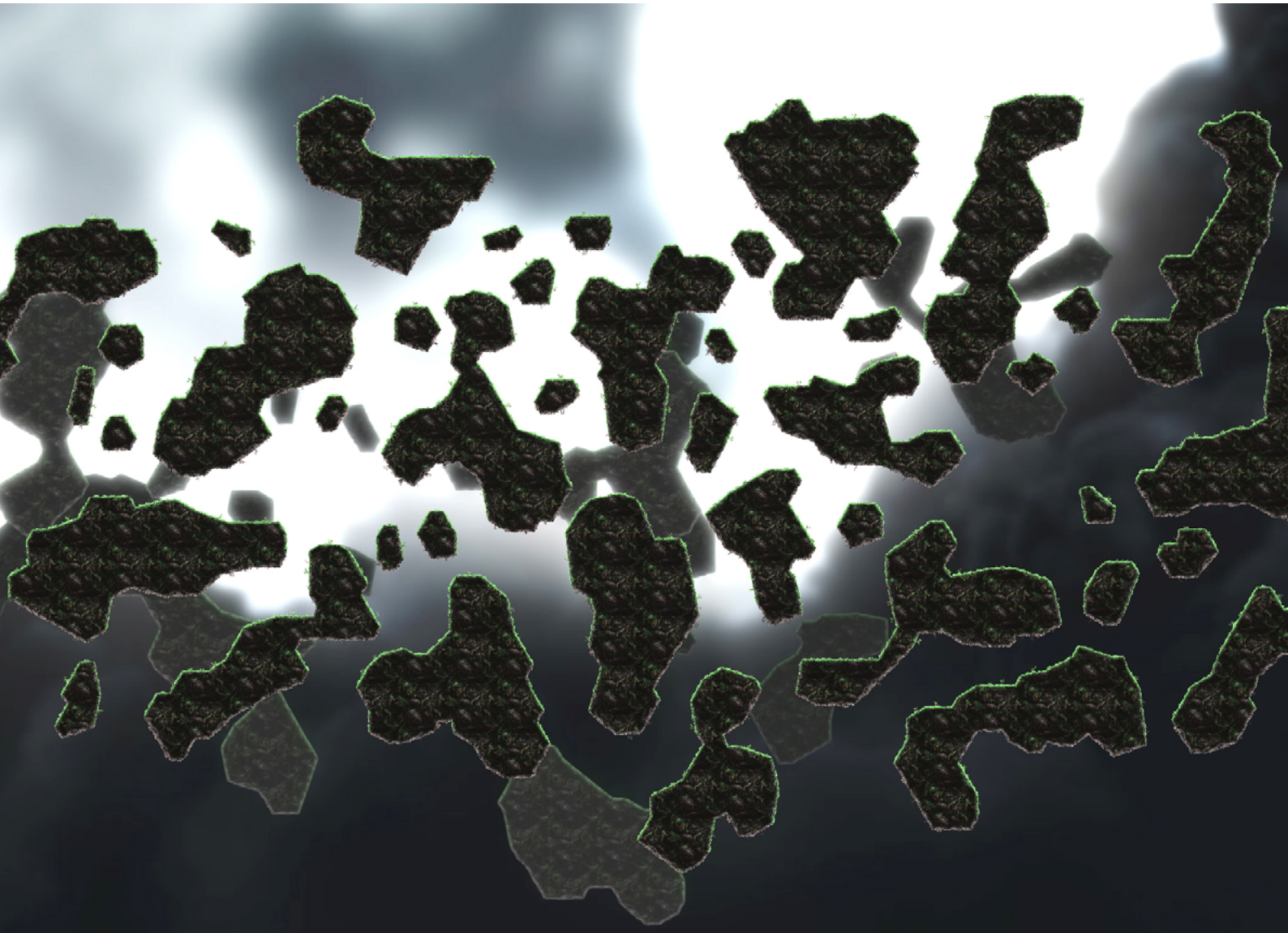
Größenverhältnisse
Die Spielumgebung besteht aus einzelnen, synthetisierten Inseln.
Um chaotische Formen zu vermeiden, sind Regeln für ein natürliches Aussehen in Algorithmen übersetzt worden, die für ihre endgültige Form verantwortlich sind. Unter anderem beinhalten die Regeln Größenkategorien mit einer minimalen und maximalen Größe, einem minimalen und maximalen Winkel der Strecken des Inselumrisses.
Die Anordnung der Inseln in der Spielumgebung erfolgt durch eine einfache Regel mit einem Mindest- und Maximalabstand, der zwischen den Inseln einzuhalten ist.
Alle Texturen werden vor der Implementierung in eine angebrachte Größe skaliert und anschließend exportiert, damit im Nachhinein nur noch feine Änderungen in der Skalierung vorgenommen werden müssen.

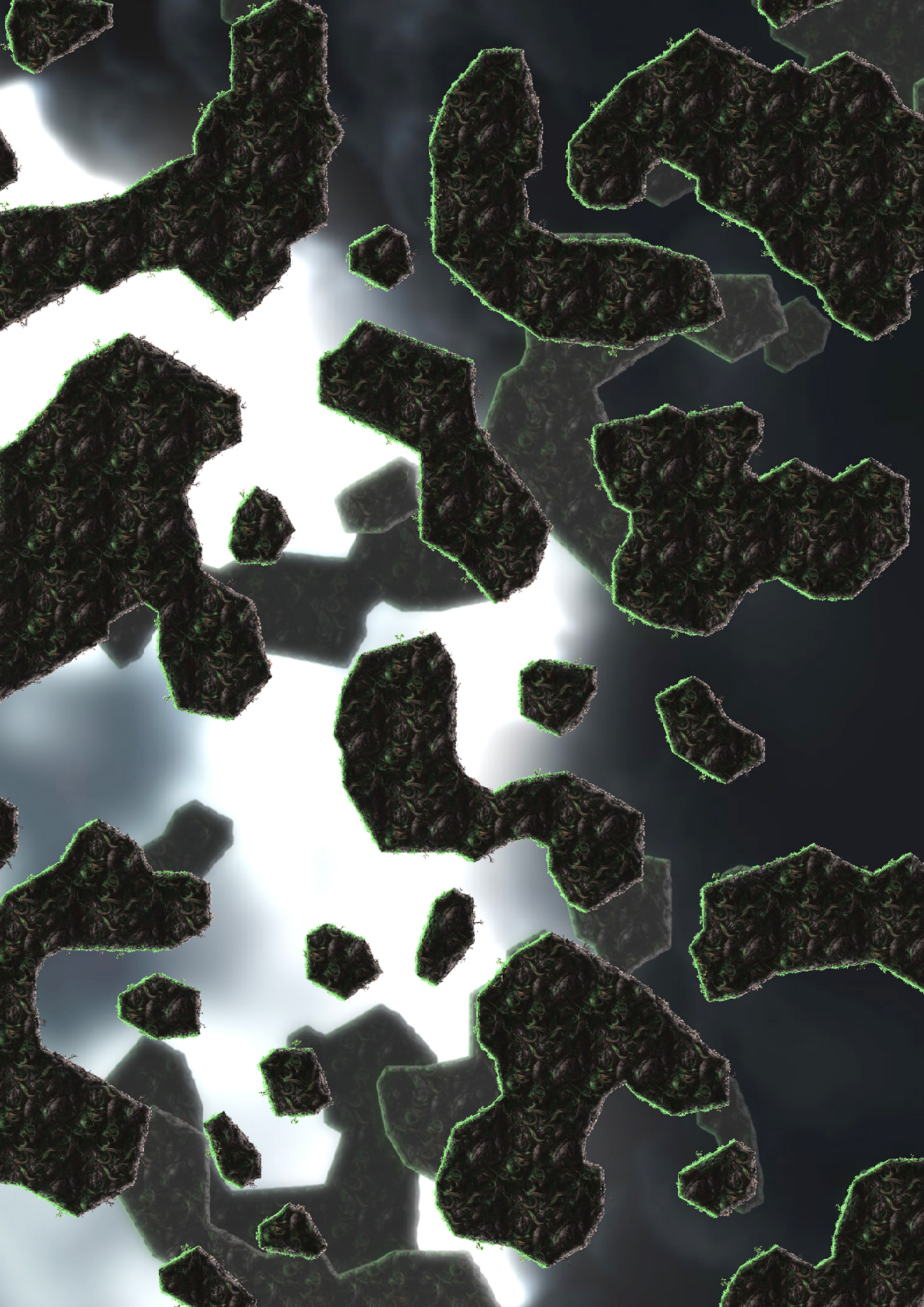
Detaildichte und Materialien
Um allen Kanten einer Insel sinnvolle Texturen zuzuweisen, müssen zunächst die Winkel der Kanten von der Applikation erkannt werden. Nach Erkennung bestimmt der Winkel einer Kante, ob diese begehbar, nicht begehbar oder rutschig ist. Abhängig dieser drei Kategorien werden bestimmte Texturen den Kanten aus der Textur Sammlung zugewiesen.
Beispielsweise werden begehbare Kanten Gras Texturen zugewiesen, nicht begehbare Kanten bekommen eine Stein Textur. Des Weiteren bestimmt der Winkel welche Vegetationstexturen auf einer Kante platziert werden. Dabei wird beachtet, dass um große Pflanzen automatisch weitere kleine Pflanzen platziert werden.

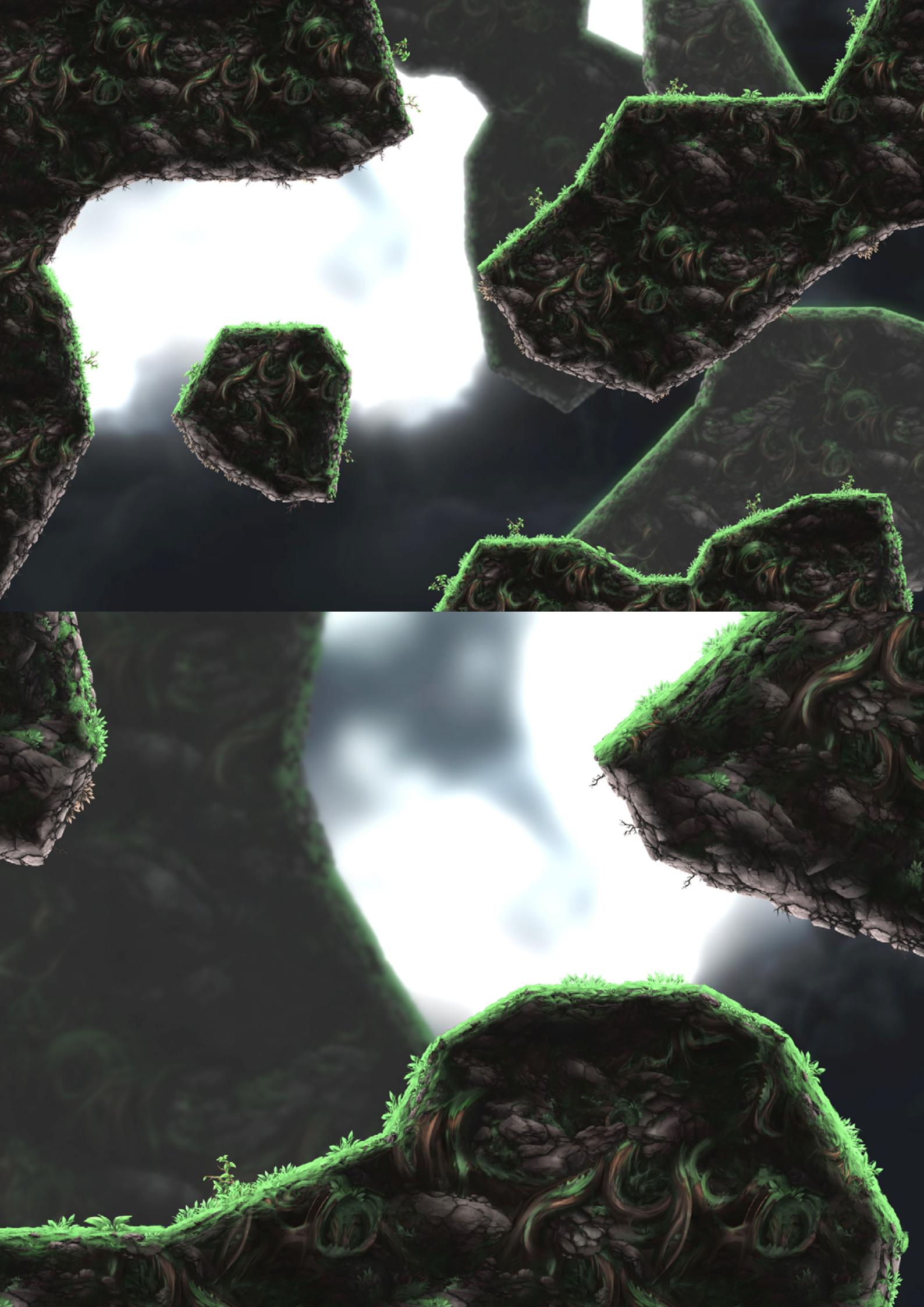
Kontraste und Farben

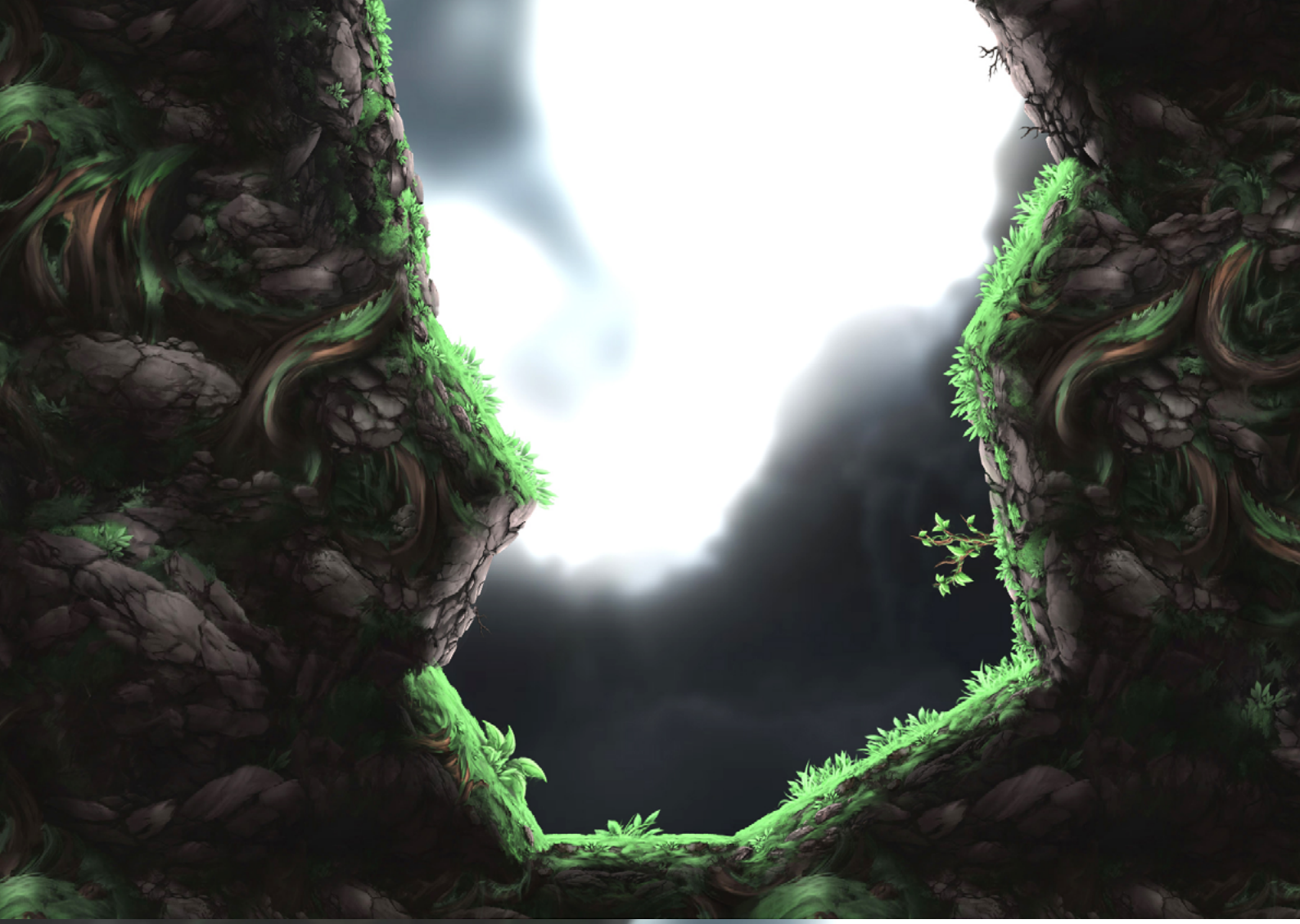
Die Inseln der parallaxen Hintergründe werden auf dieselbe Weise generiert. Zusätzlich werden sie mit Postprocessing Effekten überarbeitet, sodass der Kontrast und die Farbsättigung verringert werden. Das erhöht den Kontrast des Vordergrunds im Verhältnis zum Hintergrund und lässt den Spieler die Geschehnisse im Vordergrund besser erfassen. Die Nachbearbeitung durch Algorithmen erlaubt es, neben der flexiblen Änderung von bestimmten Werten, keine zusätzlichen Inhalte manuell erzeugen zu müssen.

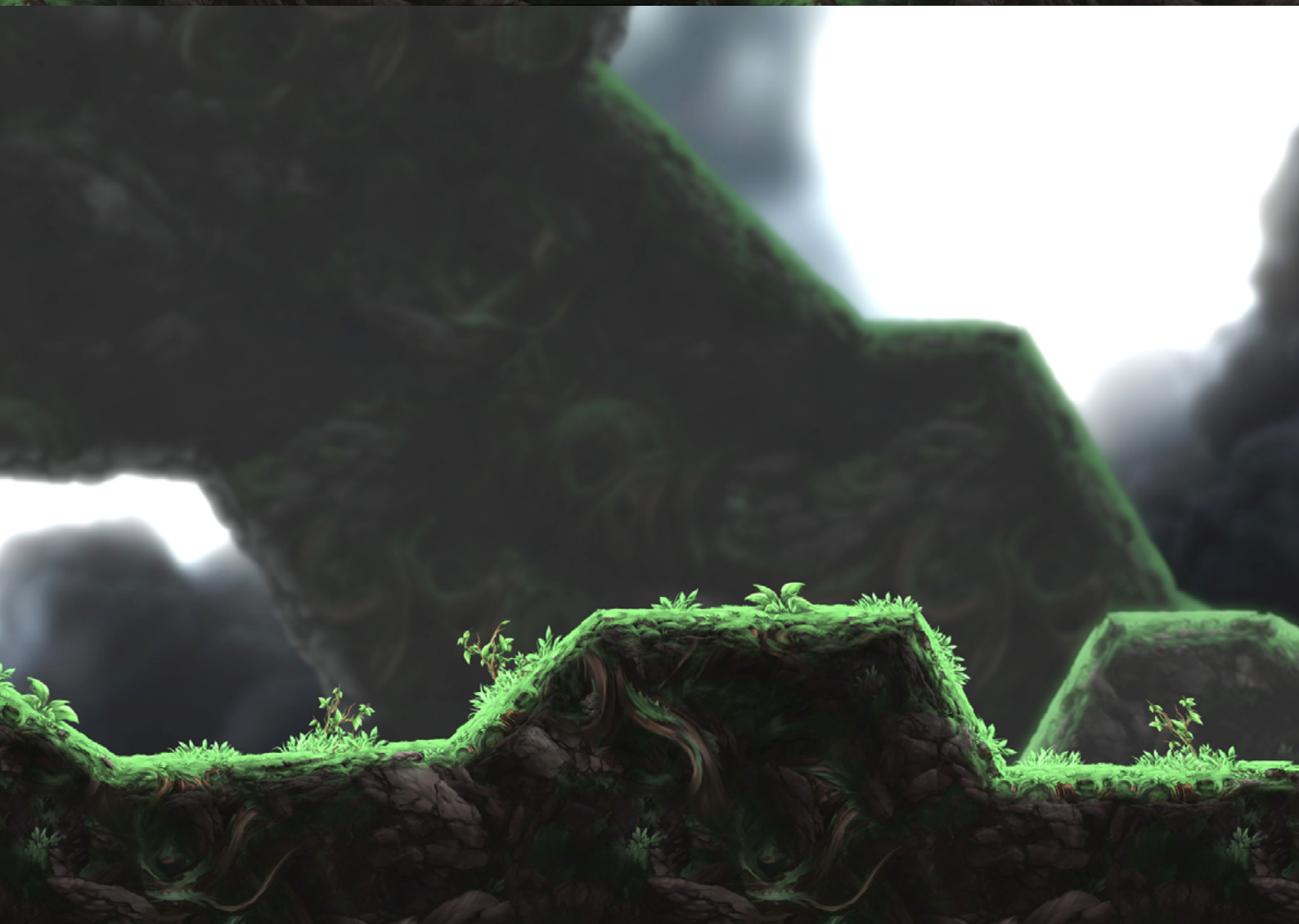
Den Entwicklern wird die Aufgabe abgenommen, für die Zukunft neue Spielumgebungen zu erstellen, da die prozedurale Synthese für jede generierte Umgebung eine einzigartige Komposition anfertigt.
Die folgenden Abbildungen entstammen einer Java Applikation, die mittels libGDX implementiert wurde und zeigen eine Spielumgebung eines zweidimensionalen Mehrspieler-Spiels in einer frühen Phase. Die Beispielbilder zeigen zuerst eine Gesamtübersicht und anschließend eine detaillierte Ansicht von unterschiedlichen Variationen der generierten Welt.

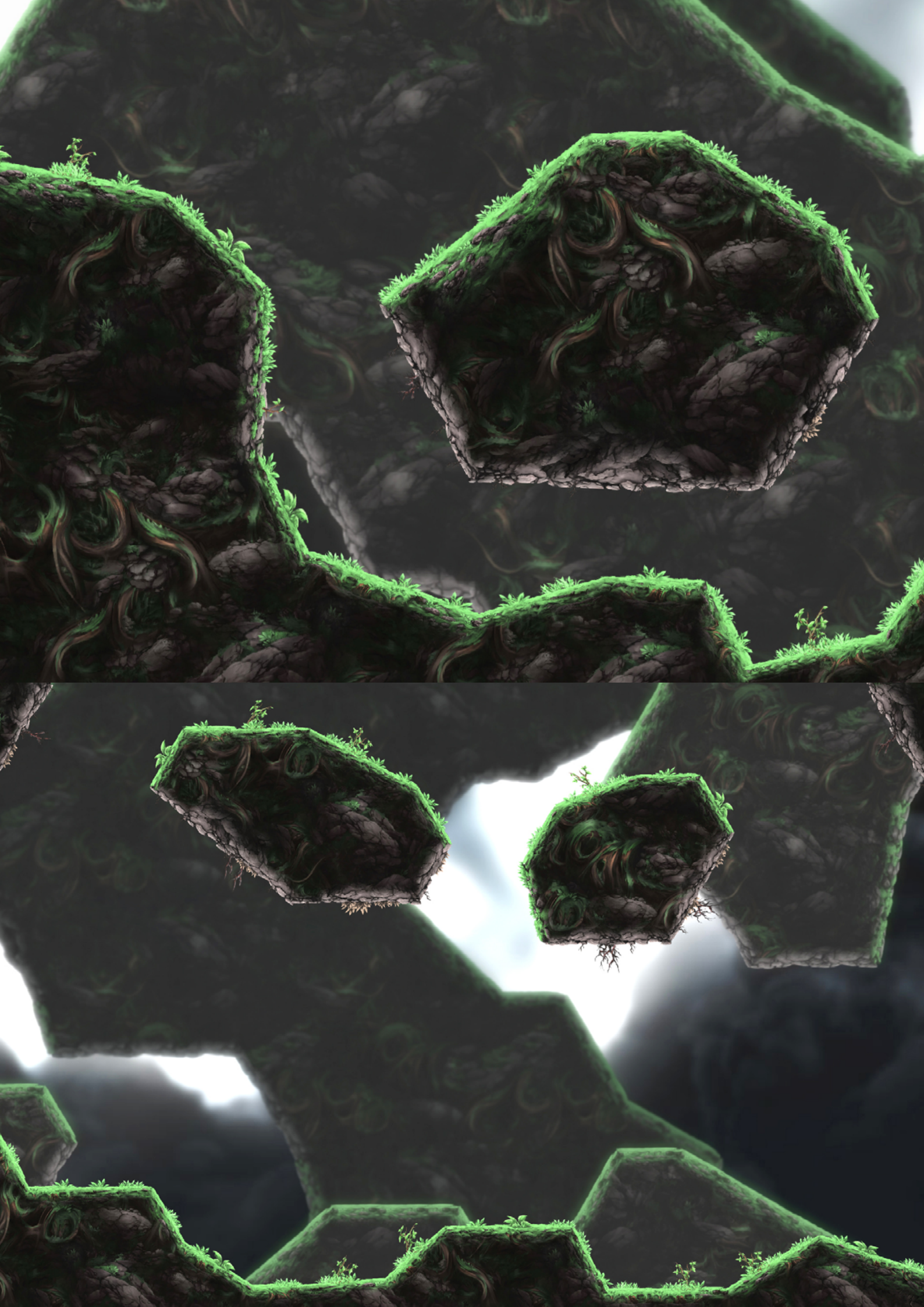


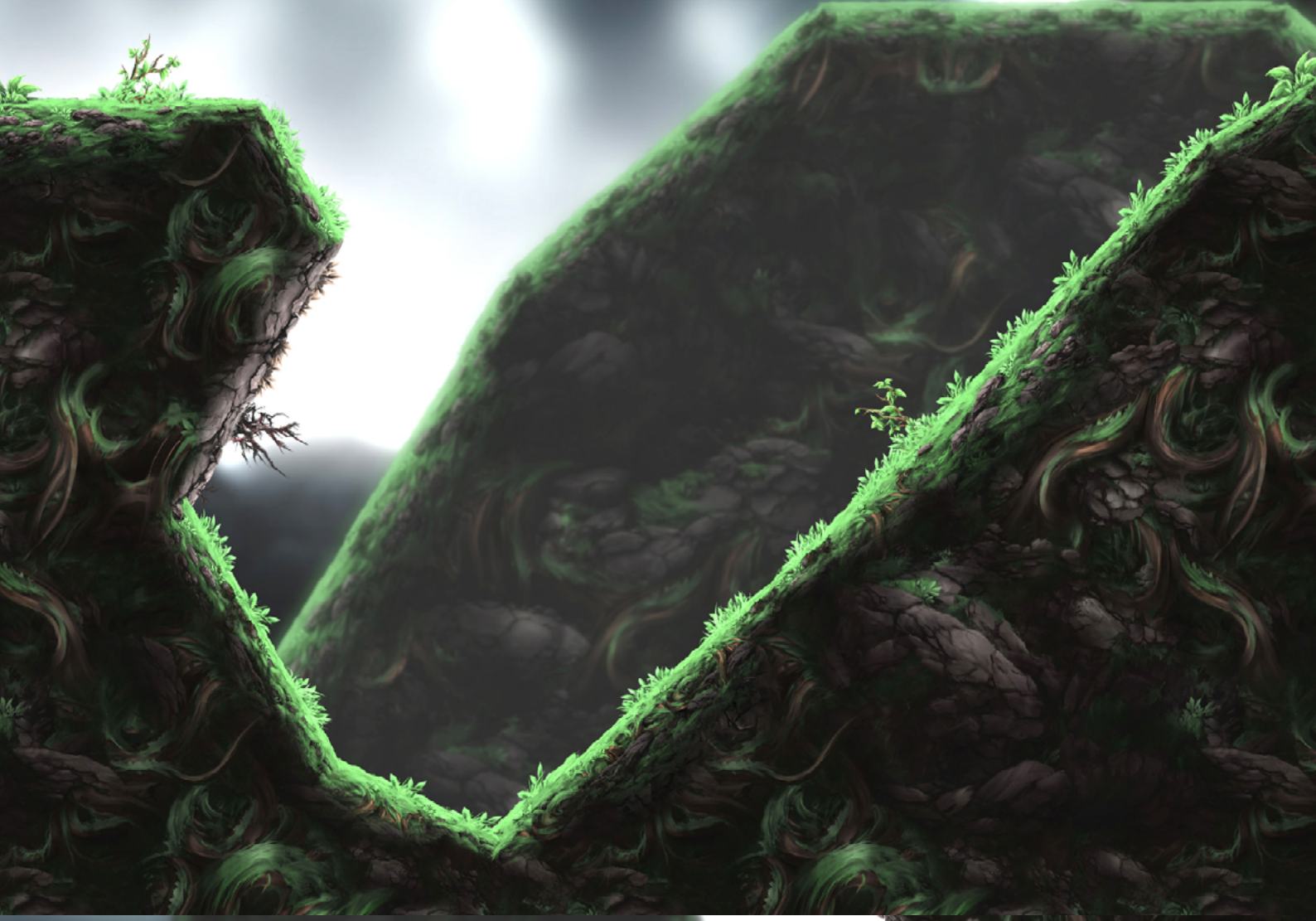


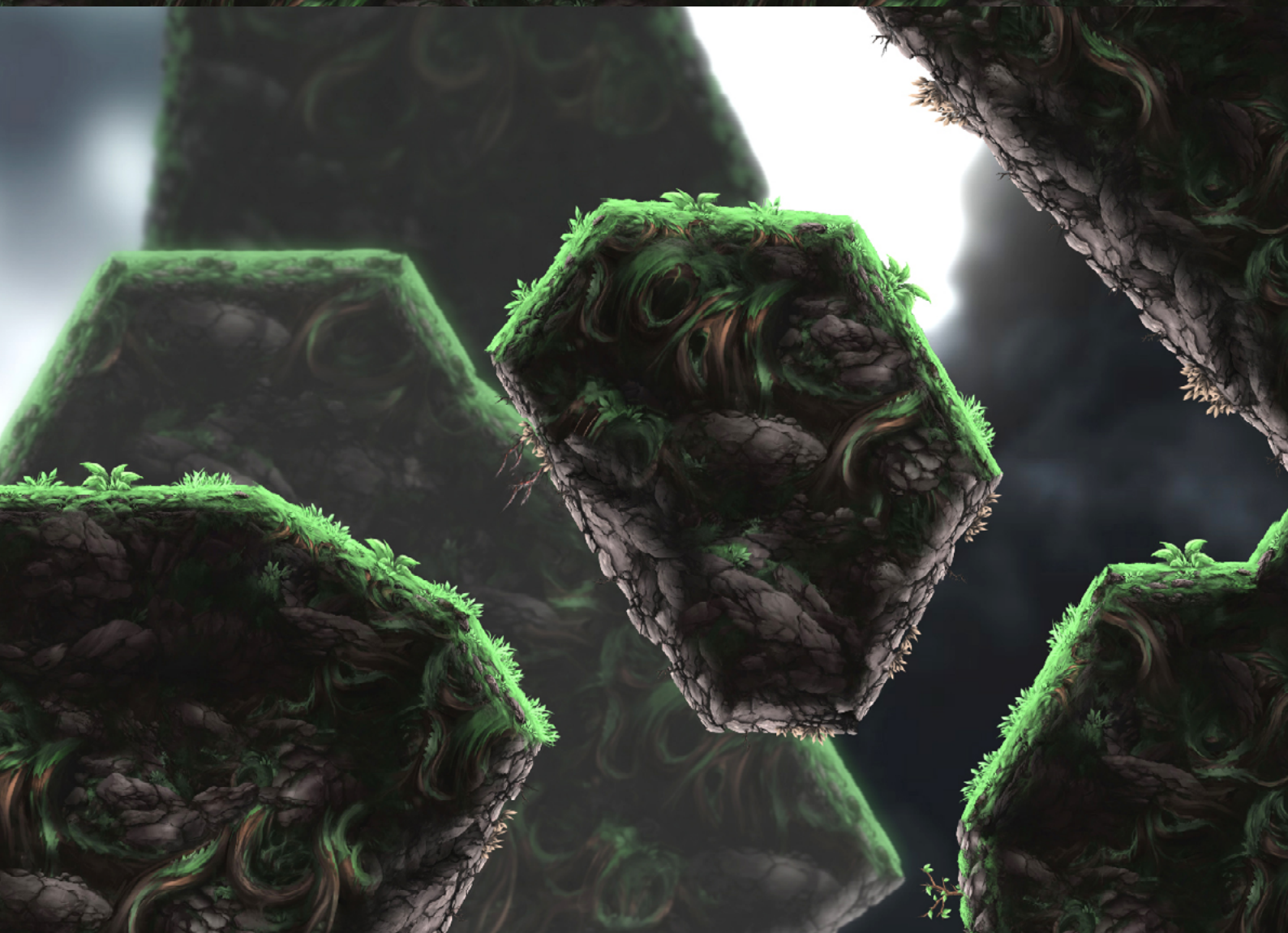












5.4 Endgültiges Fazit und Ausblick

Die Gestaltungsprinzipien wurden so allgemein wie möglich beschrieben, damit diese auf nahezu jede Situation einer prozedural generierten Welt anwendbar sind. Die Beispiele im vorherigen Kapitel zeigen, dass die Prinzipien auf eine generierte Welt, mit vergleichsweise geringem Umfang für aktuelle Verhältnisse, einwandfrei anwendbar sind.
Um über eine artifizielle Methode, eine authentische Welt zu erschaffen werden die Gestaltungsprinzipien auf zwei grundlegende Punkte generalisiert:

Visuelle Authentizität
Beeinflussung der Spielbarkeit durch generierte Inhalte

Diese zwei Prinzipien gelten nicht nur für prozedural generierte Inhalte, sondern lassen sich auch auf manuell erzeugte Inhalte anwenden. Sie unterscheiden sich lediglich darin, dass die prozedurale Generierung über Rahmenbedingungen verfügt, die für Möglichkeiten und Grenzen in der automatisierten Gestaltung einer generierten Welt verantwortlich sind. Durch mehrfache Korrekturen und das kontinuierliche Testen von nahezu allen Fällen der Generierung wird viel Zeit in Anspruch genommen. Möglicherweise gibt es Grenzen für den Komplexitätsgrad einer generierten Welt, bei denen die Entwickler irgendwann nicht mehr über eine überschaubare Kontrolle verfügen.

Nach der Aufstellung der Gestaltungsprinzipien sind ausstehende Fragen entstanden, die in weiteren Projekten behandelt werden könnten: Ist Authentizität und ihre erforderlichen Attribute das einzig wichtige Alleinstellungsmerkmal für ein kohärentes Erscheinungsbild? Gibt es Ausnahmen von virtuellen Welten, die nicht authentisch sind, aber dennoch überzeugend wirken? Welchen Authentizitätsgrad muss eine virtuelle Welt erreichen um überzeugend zu wriken? Welche Spielgenres und Kategorien des Level Design profitieren nicht von der prozeduralen Synthese?
Um die Prinzipien ausführlich zu testen, bedarf es mehrerer unterschiedlicher Testumgebungen mit unterschiedlichen Komplexitätsgraden, um sicher zu gehen ob sich aus diesen Prinzipien einwandfrei Regeln für jede beliebig generierte Welt entwickeln und anwenden lassen können.

Das Verfahren ist beinahe so alt wie die Geschichte der Computerspiele selbst und erweist sich immer noch als nützliche Methode zur Erzeugung von Inhalten. Im Laufe der Jahre wurde ihr Potential beträchtlich genutzt und erweitert und es ist anzunehmen, dass diese Verfahrensweise weiterhin bevorzugt verwendet wird, sobald möglichst viel Inhalt, zeit -und ressourcenschonend produziert werden soll.

Literaturverzeichnis

Fußnote	Name / URL / Stand	Seite
[1]	**„Randomisierung" Bedeutung** URL: http://www.duden.de/ Stand: April 2015	5
[4]	**„prozedural" Bedeutung** URL: http://www.duden.de/rechtschreibung/prozedural Stand: April 2015	6
[5]	**David S. Ebert, *Texturing & Modeling: A Procedural Approach*, Introduction** URL: https://books.google.de/books?id=77KjBQAAQBAJ Stand: Mai 2015	6
[7]	**Benoît Mandelbrot 1975, *Die fraktale Geometrie der Natur*** URL: http://www.mathe-online.at/materialien/matroid/files/fraktale/fraktale.html Stand: Mai 2015	7
[9]	**Gradient (Grafik)** URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Gradient_(Grafik) Stand: April 2015	9
[10]	**Sebastian Knorr, Perlin Noise, *Wavelet Noise and Curl-Noise for Procedural Fluid Flow*** URL: http://medien.informatik.uni-ulm.de/files/graphics/seminar_cg_ws0708/ausarbeitung/Knorr_CurlNoise.pdf Stand: Juni 2015	9
[11]	**Understanding Perlin Noise** URL: http://flafla2.github.io/2014/08/09/perlinnoise.html Stand: Mai 2015	10
[15]	**Art Direction Bootcamp: *How I Learned to Love Procedural Art*** URL: http://www.gdcvault.com/play/1021805/Art-Direction-Bootcamp-How-I Stand: Mai 2015	13
[16]	**David S. Ebert, Texturing & Modeling: *A Procedural Approach,* Introduction** URL: https://books.google.de/books?id=77KjBQAAQBAJ Stand: Mai 2015	14

Fußnote	Name / URL / Stand	Seite
[17]	**Manierismus** URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Manierismus Stand: Mai 2015	14
[18]	**Gunnar Johannsen, *Mensch-Maschine-Systeme*** URL: https://books.google.de/books?id=fQHOBgAAQBAJ&printsec Stand: Mai 2015	15
[19]	**Harold Cohen** URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Harold_Cohen Stand: Mai 2015	15
[20]	**Ästhetik des Digitalen, *Ästhetische Paradigmen*, Seite 10** URL: http://www.medienkunstnetz.de/themen/aesthetik_des_digitalen/aesthetische_paradigmen/10/ Stand: Mai 2015	15
[21]	**Burman, Schallehn** ***Die Bedeutung der Marken-Authentizität für die Markenprofilierung*** URL: http://www.lim.uni-bremen.de/files/burmann/publikationen/LiM-AP-31-Marken-Authentizitaet.pdf Stand: Mai 2015	17
[22]	**Dmitry Fadeyev, *Authentic Design*** URL: http://www.smashingmagazine.com/2013/07/16/authentic-design/ Stand: Juni 2015	18
[23]	**Tim Tutenel, Rafael Bidarra, Ruben M. Smelik, Klaas Jan de Kraker,** ***Rule-based layout solving and its application to procedural interior generation*** URL: http://visualisation.tudelft.nl/Publications-new/2009/TSBD09a/TBSD09aRB.pdf Stand: April 2015	18

Abbildungsverzeichnis

Fußnote	Name / URL / Stand	Seite
[8]	**Abb. 1-4, Mandelbrot-Menge** URL: http://de.wikipedia.org/wiki/Mandelbrot-Menge#Rezeption_in_der_.C3.96ffentlichkeit Stand Mai 2015	8
[12]	Abb. 5-6, **Elite** URL: http://www.trustedreviews.com/opinions/the-10-most-important-games-ever_Page-4 Stand: Juni 2015	11
[13]	Abb. 7-8, **The Elder Scrolls IV: Oblivion** URL: http://www.worldofelderscrolls.de/?go=screenshots&catid=1 Stand: Juni 2015	11
[15]	Abb. 9-10, **No Man's Sky** URL: http://www.no-mans-sky.com/news/page/3/ Stand: Juni 2015	12
-	**Alle Abbildungen in Kapitel 5.3 entstammen einer eigens entwickelten Java Applikation.**	23-29

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die Bachelorarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken als solche kenntlich gemacht habe. Die Arbeit habe ich bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt. Sie wurde bisher nicht veröffentlicht.

Datum	**Unterschrift**
19.06.2015	_____