
BunnySuite - Ein Framework für 2D-Grafik-Performance-Tests

Ausarbeitung zum Serious Games Praktikum

Maximilian Li, Victor Ferdinand Schümmer, Patrick Pauli



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Fachbereich Elektrotechnik
und Informationstechnik
Fachbereich Informatik (Zweitmitglied)

Fachgebiet Multimedia Kommunikation
Prof. Dr.-Ing. Ralf Steinmetz

Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit versichern wir, die vorliegende Ausarbeitung zum Serious Games Praktikum ohne Hilfe Dritter und nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus den Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht worden. Diese Arbeit hat in dieser oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen. Die schriftliche Fassung stimmt mit der elektronischen Fassung überein.

Darmstadt, den 13. September 2016 Maximilian Li, Victor Ferdinand Schümmer, Patrick Pauli

Contents

1	Einleitung	2
2	Zeitplan und Aufgabenverteilung	3
3	Grundlagen	4
3.1	2D-Frameworks	4
3.1.1	Praktische Auswirkungen	5
3.2	Benchmarking	6
4	Konzept und Design	8
4.1	Allgemeines	8
4.2	Identifizierte Bottlenecks	8
5	Umsetzung und Tests	9
5.1	Entwicklungsablauf	9
5.2	Ablauf der Tests	9
5.3	Beschreibung der Tests	10
5.4	Implementierungsdetails bei den einzelnen Frameworks	11
5.4.1	SDL	11
5.4.2	XNA/Monogame	11
5.4.3	LibGDX	11
5.5	User Interface	11
5.5.1	GUI	11
5.5.2	Tests direkt starten	12
6	Ergebnisse der Messungen	13
7	Zusammenfassung und Ausblick	14
	Bibliography	14

Abstract

TODO

1 Einleitung

Moderne Computerspiele setzen meistens auf eine graphische Darstellung ihrer Spielwelt. Dabei geht vor allem in den letzten Jahren der Trend verstärkt in die Richtung fotorealistischen 3D-Renderings und weg von der simpleren 2D Darstellung. Dabei ist schnelles 2D-Rendering immer noch eine nichttriviale Aufgabe für GPUs. Für viele Anwendungen sind die verfügbaren Bibliotheken im Allgemeinen immer noch viel zu langsam. Um das zu verbessern, haben wir mit *BunnySuite* ein Framework entwickelt, mit dem gängige 2D-Grafik-Bibliotheken einem automatisierten Stresstest ausgesetzt werden können.

Mit dem *BunnyMark*¹ gab es bereits eine Metrik zum Vergleich von Bibliotheken. Jedoch wurde hier nur die Anzahl der gerenderten Objekte (in diesem Fall Häschen, deshalb der Name) gemessen, bei denen noch 60 fps erreicht werden. Diese Zahl war nur schwer zu interpretieren und musste für ein ausführlicheres Ranking durch aussagekräftigere Metriken, bspw. *Renderzeit pro Frame bei X Objekten* ersetzt werden. Auch findet diese Messung bei BunnyMark zu Demozwecken nur interaktiv statt: Häschen werden per Mausklick zur Szene hinzugefügt. Im von uns entwickelten BunnySuite-Framework können solche Messungen automatisiert erfolgen. Die Tests für mehrere Frameworks werden automatisch nacheinander gestartet und das Ergebnis wird in einem Diagramm zusammengefasst. Das Framework ist leicht erweiterbar, so dass man es mit wenig Aufwand an neue Bibliotheken anpassen kann.

Das vollautomatisierte Test-Framework soll Entscheidern der Spieleentwicklung die Möglichkeit eines Rankings bieten, um die richtige Bibliothek für ihre Anforderungen zu finden. Des Weiteren sollen Entwickler von Bibliotheken das Framework nutzen können, um ihre eigene Engine zu testen und zu optimieren. Die Leistungen der Bibliotheken können so transparent verglichen werden, was den Wettbewerb zwischen den Bibliotheken stimulieren und Anreize setzen soll, stärker an der Performanz zu arbeiten.

¹ <https://github.com/openfl/openfl-samples/tree/master/demos/BunnyMark>

2 Zeitplan und Aufgabenverteilung

Das Team hat sich darauf geeinigt, dass jeder Entwickler sich auf eine Bibliothek konzentriert. In regelmäßigen Meetings werden Konzepte diskutiert und Designentscheidungen getroffen. Auf diese Weise soll in allem Frameworks eine vergleichbare Implementierung erreicht werden.

Arbeitspakete	1 PT = 8h	Wer?		
	Summe (Personentage)	Viktor	Max	Patrick
1 Management und Koordination	6	2	2	2
1.1 Controlling	3	1	1	1
1.2 Koordination	3	1	1	1
2 Recherche	22	7	7	8
2.1 Grafik-Libraries einarbeiten	4	1	1	2
2.2 Einarbeitung in Bibliotheken	3	1	1	1
2.3 Recherche nach Bottlenecks	15	5	5	5
3 Konzept	18	6	6	6
3.1 Design des Frameworks	4	1	1	2
3.2 Design der Tests	14	5	5	4
4 Implementierung	20	7	7	6
4.1 Implementierung des Frameworks	4	1	1	2
4.2 Implementierung der Tests	16	6	6	4
4.2.1 Tests für LibGDX	4	4	0	0
4.2.2 Tests für SDL	4	0	0	4
4.2.3 Tests für kha	4	2	2	0
4.2.4 Tests für XNA Monogame	4	0	0	0
5 UI	2	1	1	0
6 Ausarbeitung	8	2	2	3
Gesamtaufwand	75	25	25	25

3 Grundlagen

3.1 2D-Frameworks

Game-Frameworks sollen die Entwickler beim Implementieren der Game-Loop unterstützen. Diese Game-Loop besteht hauptsächlich aus 2 Phasen:

Update() Der interne Zustand der Spielwelt und ihrer Objekte wird aktualisiert, beispielsweise die Position der Spielfigur gemäß der Benutzereingaben angepasst oder das nächste Frame in einer Animation wird ausgewählt oder die Punktzahl erhöht. Zeitgleich finden hier auch komplexere Berechnungen statt, wie die Kollisionsbestimmung, die wieder zu neuen Berechnungen führen kann (Positionen werden angepasst, damit Objekte sich nicht überlagern; "Gesundheitswerte" werden bei Treffern verringert).

Draw() Die im vorherigen Schritt berechnete Spielwelt wird auf dem Bildschirm dargestellt. Dazu gehören die korrekte Position aller Objekte, die Texturierung und Beleuchtung dieser Objekte, und gegebenenfalls Transformationen (Skalierung, Rotation). Auch muss bei Überlagerung von Objekten auf die korrekte Darstellung geachtet werden. Dies gilt auch für verdeckte Rückseiten von Objekten. Anschließend wird noch die Benutzeroberfläche über den Bildschirminhalt gelegt.

Die Game-Frameworks unterstützen die Entwickler, indem sie verschiedene Funktionalitäten bereits für die jeweilige Zielplattform optimiert zur Verfügung stellen. Dazu gehören:

- Einfacher Zugriff auf Eingabegeräte. Das können einfach Maus und Tastatur sein, aber auch platform spezifische Gamepads oder auch Touch- und Gestensteuerung, vor allem für VR.
- optimierte Klassen für Assets. Dazu gehören Audiodateien, die gestreamt werden, oder auch Texturen, die möglichst effizient für den Grafikspeicher komprimiert werden.
- optimierte Renderfunktionen, die direkt Grafikschnittstellen wie OpenGL, Direct3D oder Vulkan ansprechen. Diese können auch bereits Transformationen wie Drehungen oder Einfärbungen anbieten. Diese können direkt 3D-Meshes, Bilder/Texturen, Text oder auch Primitive wie Dreiecke oder Rechtecke darstellen.

Diese Bibliotheken helfen den Entwicklern, eine effiziente Implementierung zu erreichen, ohne sehr hardwarenahe Optimierungen selber programmieren zu müssen. Somit soll sehr einfach der "Goldstandard" von 60 Frames per Second in der Darstellungen erreicht werden, bei dem für jede Iteration der Gameloop eine Rechenzeit von knapp 16,67 ms zur Verfügung steht. Dies beinhaltet das Einlesen von Assets wie Texturen vom Speichersystem der jeweiligen Plattform, was bereits für Verzögerungen sorgen kann.

Der wahrscheinlich größte Unterschied zu 3D-Frameworks besteht in der Komplexität der Grafikberechnung. So muss das 2D-Framework keine Informationen über Oberflächen der Objekte, z.B. Oberflächenorientierung zu Lichtquellen über NormalMaps oder Materialeigenschaften für das *Physically Based Rendering (PBR)*, außer der konkreten Farbe, kennen.

Auch können diese Objekte bereits ihrer Darstellung entsprechend als Sprite vorliegen, die gegebenenfalls noch mit Transformationen wie Skalierung an die jeweilige Situation angepasst, direkt dargestellt werden können. Somit muss kein komplexes dreidimensionales Objekt auf einmal im Speicher gehalten werden, bei dem man sowieso nur die der Kamera zugewandten Seite sieht, sondern nur ein Spritesheet mit den 4 möglichen Orientierungen des Objekts. Ebenso entfällt bei der Darstellung eine komplexe Berechnung der Überlagerung oder verdeckter Rückseiten der Objekte. Es wird nur die momentane Orientierung der Objekte dargestellt. Die Verdeckung von Objekten kann durch layerbasiertes Rendering gelöst werden:

1. Hintergrund rendern
2. Nicht Spieler Objekte rendern
3. Spieler Objekt rendern
4. Benutzeroberfläche rendern

Diese Besonderheiten vereinfachen die Berechnung im 2D-Darstellungsfall. Dadurch ist dieser Fall aber nicht so gut optimiert, wie die 3D-Anwendung, und es werden regelmäßig Grenzen ausgereizt.

3.1.1 Praktische Auswirkungen

Diese Problematik hat konkrete Auswirkungen auf den Ablauf von Videospielen. Hier das Beispiel des Speedrunnings:

Beim Speedrunning versucht der Spieler, so schnell wie möglich die Zielbedingung zu erfüllen. Das sind, je nach Spiel und Kategorie, das einsammeln aller Collectibles im Spiel, das Besiegen des Endgegners oder aber "nur" das Erreichen der Credits nach dem Spiel. Aus mehreren Gründen sind diese Spieler an einer guten Performanz des Spieles interessiert:

- Die Rekorde im selben Run (selbes Spiel, selbe Kategorie) sind oft nur Sekundenbruchteile schneller als die zweitschnellsten Ergebnisse.
- Zum Erreichen des Zieles dürfen, abhängig von der Kategorie, auch Spielfehler ausgenutzt werden, oder sogar durch Speicher manipulation und gezielten Over/Underflows das Spiel umgeschrieben werden. Hierfür sind oft pixelgenaue Positionierung in der Spielwelt und auf den Frame perfekte Benutzereingaben notwendig, um diese "Glitches" gezielt ausführen zu können.

Jeglicher Performance-Einbruch des Spieles erschwert die Jagd auf den nächsten Weltrekord. Die einfachste Lösung dieses Problems ist es, das Spiel auf immer stärkeren Rechnern zu starten. Das ist auch einer der Gründe, weshalb Spieler ohne Speedrunning Hintergrund sich nicht solche Gedanken machen müssen. Fehlende Optimierung des Spiels wird durch mehr Rechenleistung ausgeglichen. Dies ist aber nicht immer möglich, vor allem bei Spielen, die nur auf

Konsolen laufen. Hier muss der Speedrunner die fehlende Optimierung selber ausgleichen. Zum Beispiel:

- Betrachten des leeren Himmels: Es werden keine Objekte auf dem Bildschirm dargestellt - *Daggerfall, PC Speedrun*
- Das gezielte zerstören von bestimmten Gegnern: Es werden weniger Objekte auf dem Bildschirm dargestellt - *Mega Man 3, NES*

Dies sind auch erste Ansätze für die Sektion Identifizierte Bottlenecks.

3.2 Benchmarking

Um eine möglichst einfache Bedienung zu gewährleisten, soll der Benchmark vollautomatisiert erfolgen. Wichtigste Eigenschaft des Benchmarks ist die Vergleichbarkeit der Ergebnisse. Dazu wurde die Renderzeit pro Frame bei X Objekten als Kennzahl eingeführt. Wie bei allen empirischen Untersuchungen muss diese den folgenden drei Kriterien genügen¹:

Validität Dass sich die Kennzahl mit empirischen Messergebnissen deckt, ist garantiert, da sie empirisch zustande kommt. Es wurde die in Entwicklerkreisen übliche Größe *Renderzeit pro Frame in Sekunden* gewählt. Die Inverse dieser Größe, *Frames per Second*, ist zwar bei Nutzern und Marketing sehr beliebt, aber für vor allem bei technischen Entwicklern, unsere Zielgruppe, nicht beliebt. Ein arbiträres Punktesystem würde die Messwerte nur unnötig verschleiern und den Eigenschaften eines guten Benchmarks widersprechen.

Objektivität ist durch die Wohldefiniertheit der einzelnen Testverfahren gegeben (siehe 5.3). Damit soll die Implementierung in den einzelnen Frameworks möglichst gleich sein. Somit sollen die verschiedenen Messwerte auf dem selben Computer nur auf die Effizienz der verwendeten Bibliothek zurückzuführen sein, und nicht auf die Implementierung der Tests durch den verantwortlichen Entwickler.

Der Bunnymark soll speziell die Grafikleistung der verschiedenen Frameworks bewerten. Daher muss gewährleistet sein, dass das Testergebnis nicht maßgeblich von Berechnungen auf der CPU beeinflusst wird. Das Messergebnis darf daher beim Ausführen der Tests ohne Draw()-Call, somit nur auf der Update()-Phase der Gameloop beruhend, keinen schlechteren Messwert als 16,67ms bzw. 60 Frames per Second erreichen (für die Spezifikationen des Testsystems siehe 3.1. Plattformübergreifend können (und werden) die Ergebnisse abweichen, da die Performanz sehr stark abhängig von der jeweiligen Hardware ist.

Zusätzlich liegen die Benchmark-Implementierungen kompiliert als binäre Executable-Datei vor. Einige Gameframeworks bieten als Zielplattform auch HTML5 an. Hier wäre jedoch nochmal der zusätzliche Umweg über den Browser nötig. Somit würde die Effizienz des Browsers maßgeblich die Messergebnisse beeinflussen.

Reliabilität Als Maßnahme für hohe Reliabilität werden alle Messungen jeweils zehn mal durchgeführt und anschließend der Durchschnitt gebildet. Durch diese Berechnung von Durchschnittswerten für die einzelnen Testszenen dauert der gesamte Test zwar länger,

¹ Quelle: <http://www.uni-leipzig.de/~emkf/Referate/G%C3%BCtekriterien%20PPT.pdf>

Modellname	Dell XPS L322X
CPU	Intel Core i5-3317U @ 4 x 1.7 GHz
GPU	Intel HD Graphics 4000
RAM	4096 MB

Table 3.1: Spezifikationen des Minimaltestsystems

aber es werden punktuelle Performance-Änderungen durch Hintergrundprozesse negiert.

Die standardmäßige Rendereauflösung beträgt in allen Implementierungen 800 x 600 px, kann aber per Parameter angepasst werden

4 Konzept und Design

4.1 Allgemeines

Bei der Konzeption einer Benchmark gibt es grundsätzlich zwei verschiedene Herangehensweisen: Zum einen kann man eine repräsentative, in der Regel sehr komplexe Test-Szene rendern lassen, in der alle möglichen Schwierigkeiten und Bottlenecks vorkommen, die gemeinhin bei der Grafikprogrammierung auftauchen, und damit die GPU an die Grenze der Belastbarkeit zu bringen. Das ist der übliche Ansatz bei im Internet frei verfügbaren Benchmarks¹, die dazu dienen, die Fähigkeiten der eigenen Grafikkarte, also Hardware, zu testen. Zum anderen kann man viele einzelne, feingranulare Tests definieren, die auf einzelne Bottlenecks abzielen. Für das BunnySuite-Framework haben wir diese Herangehensweise gewählt, da das Framework explizit für den Vergleich von Grafik-Libraries konzipiert ist. Der Vorteil von feingranularen Tests ist, dass die Ergebnisse für die Entwickler sehr viel aussagekräftiger sind, weil sie ihnen präzise Hinweise geben, an welchen Stellen das eigene Framework hinter die anderen abfällt und wo eine Optimierung am meisten bringen würde. Außerdem vereinfacht dieser Ansatz die Entwicklung und Implementierung der Tests enorm. Ein Nachteil ist, dass die Tests teilweise artifizielle Anforderungen stellen, die in echten 2D-Spielen nicht vorkommen. Dieser Nachteil wird aber dadurch ausgeglichen, dass man die Tests – soweit sinnvoll – frei kombinieren kann. Außerdem ist die spätere Erweiterung des Frameworks um komplexere Tests durchaus möglich.

4.2 Identifizierte Bottlenecks

Da jede 2D-Grafik-Bibliothek ihre eigenen Stärken und Schwächen aufweist und für unterschiedliche Zwecke optimiert ist, ist es wichtig, differenzierte Tests durchzuführen, um gezielt mögliche Schwachstellen zu identifizieren, ohne dabei die Stärken zu ignorieren. Zu diesem Zweck wurden verschiedene "Bottlenecks" identifiziert, also häufige Schwachstellen, für die gezielt Tests entwickelt wurden. Diese sind unter anderem:

- Animieren der Objekte
- Objekte mit veränderlichen Texturen
- Vielzahl an gleichzeitig dargestellten Objekten mit unterschiedlichen Texturen
- Skalierung der Objekte
- Rotation der Objekte
- Objekte mit (halb-)transparenten Texturen

¹ Ein Beispiel: <https://unigine.com/products/benchmarks/heaven/>

5 Umsetzung und Tests

5.1 Entwicklungsablauf

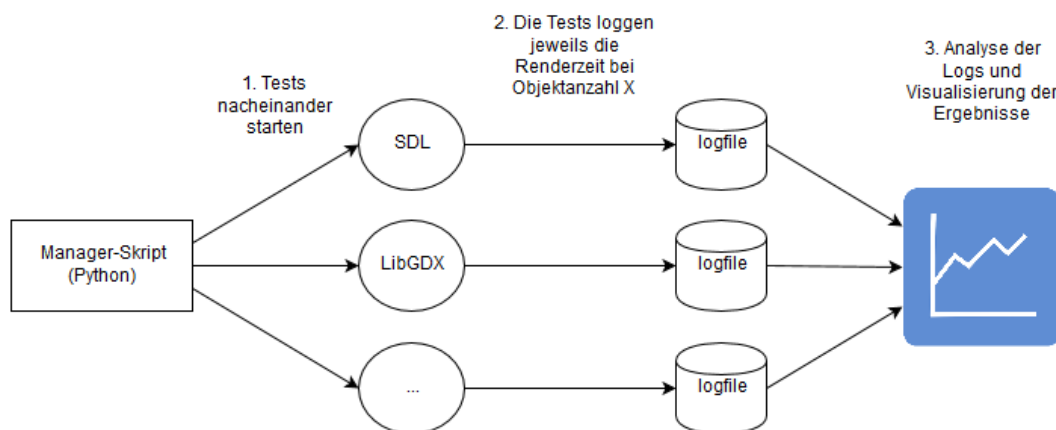
1. 2 Große Tests 2. Anwendersicht 3. Modulare Tests

5.2 Ablauf der Tests

Der Ablauf eines Tests im *BunnySuite*-Frameworks ist in Abbildung 5.1 schematisch dargestellt. Das Framework besteht im Wesentlichen aus zwei Teilen:

1. Das **Manager-Skript** ist dafür zuständig, den spezifizierten Test für alle Frameworks nacheinander zu starten, anschließend die Logs zu analysieren und die Ergebnisse in einem Diagramm zu visualisieren.
2. Es gibt eine **ausführbare EXE-Datei** für jedes Framework. Diese Datei wird vom Manager-Skript gestartet und bekommt die Parameter für die Messung als Argumente über die Command-Line übergeben. Das Programm führt die spezifizierten Tests durch und loggt die Renderzeit pro Frame bei X Objekten.

Figure 5.1: Ablauf eines Tests



Der auszuführende Test wird durch folgende Parameter spezifiziert:

test_name Der Name eines Tests. Die Tests werden in 5.3 aufgelistet.

min_val Startwert für die Anzahl X der zu zeichnenden Objekte

max_val Endwert für X

step Schrittweite, um die X nach jeder Messung erhöht wird

xRes Fensterbreite

yRes Fensterhöhe

5.3 Beschreibung der Tests

animation n Objekte werden in die linke obere Ecke gezeichnet und mit zufälliger Geschwindigkeit in X und Y Richtung initialisiert. Mit jedem Frame wird die Position jedes Objektes mit seiner Geschwindigkeit neu berechnet. Die Y Geschwindigkeit wird zusätzlich durch "Schwerkraft" in jedem Frame beeinflusst. Wenn die Ränder des Frames erreicht werden, wird die Richtung umgekehrt. Dies führt zum Eindruck einer Hüpf-Animation für die Objekte.

alpha Zusätzlich zu den vorhandenen Texturen wird die Textur "wabbit_ghost" hinzugefügt. Diese Textur zeichnet sich durch ihre Halbtransparenz aus.

circles Anstelle von texturierten Bunnies, wird das Primitiv "Kreis" mit Radius 13px gezeichnet.

hdtexture Zusätzlich zu den vorhandenen Texturen wird die Textur wabbit_hd zum Texturenpool hinzugefügt. Diese Textur ist sehr hoch aufgelöst. Die Bunnies werden daher am Anfang auf die Höhe von 37px runterskaliert.

lines Anstelle von texturierten Bunnies, wird das Primitiv "Linie" mit den Punkten (0,0) und (26,37) gezeichnet.

multitexture Zusätzlich zu den vorhandenen Texturen werden die Texturen wabbit_1 und wabbit_2 zum Texturenpool hinzugefügt.

no_output Es findet keine Ausgabe an den Bildschirm statt. Sämtliche Zustandsberechnungen aus der Update-Phase werden entsprechend der restlichen Testparameter normal ausgeführt.

random Die Bunnies werden am Anfang an eine zufällige Stelle gesetzt.

rectangle Anstelle von texturierten Bunnies, wird das Primitiv "Rechteck" mit den Punkten (0,0) und (26,37) gezeichnet.

pulsation Mit jedem Frame wird die Skalierung um ein "Wachstum" verändert (initial 0.1). Immer wenn die Skalierung ≥ 5 oder ≤ 0.2 ist, wird das Wachstum mit -1 multipliziert. Somit scheinen die Objekte zwischen den beiden Grössenextremen hin und her zu pulsieren.

scaled Die Bunnies werden am Anfang mit einem zufälligen Faktor zwischen 0.2 und 5.0 skaliert (x- und y-Achse unabhängig).

teleport Die Bunnies werden in jedem Frame an neue zufällige Stellen gezeichnet.

texts Anstelle von texturierten Bunnies, wird der Text "Hello World!" gerendert.

texturechange Mit jedem neuem Frame bekommt jeder Bunny eine neue zufällige Textur aus dem Texturenpool zugewiesen.

thin Zusätzlich zu den vorhandenen Texturen wird die Textur `wabbit_y` hinzugefügt, die nicht einer Rechteck-Annäherung entspricht und damit viel Voll-Transparenz aufweist.

triangle Anstelle von texturierten Bunnies, wird das Primitiv "Dreieck" mit den Punkten (0,37), (26,37), und (13,0) gezeichnet.

5.4 Implementierungsdetails bei den einzelnen Frameworks

5.4.1 SDL

SDL (Single DirectMedia Layer) ist eine multi-plattform Bibliothek, die low-level Zugriff auf die Hardware (Audio, Grafik, Eingabegeräte) über OpenGL und Direct3D anbietet. SDL ist in C geschrieben und von Haus aus mit C++ kompatibel. Es stehen aber auch Portierungen für C# oder Python zur Verfügung. Für das BunnySuite-Projekt wurde SDL mit C++ verwendet. Beispiele für Spiele, die SDL einsetzen sind *Angry Birds*, *Dont't Starve* oder aber auf der Open Source Seite *The Battle for Wesnoth*. Die offiziell unterstützten Plattformen sind Android, Linux, Mac OS und Microsoft Windows.

5.4.2 XNA/Monogame

XNA (XNA's Not Acronymed) ist ein von Microsoft entwickeltes Set von Tools zur Game Entwicklung. XNA basiert auf dem .NET Framework und läuft nativ auf Windows, Windows Phone und Xbox360. Es war gedacht als einfache Alternative zu DirectX. XNA wird von Microsoft selber nicht mehr weiterentwickelt. Es existiert aber eine OpenSource Portierung namens Monogame, welche weiterhin aktiv gepflegt wird. Monogame läuft auch auf den Plattformen iOS, Mac OS, Android, Linux, Playstation 4 und PSVita. Beispiele für Spiele, die auf Monogame basieren sind *Fez* oder *Transistor*.

5.4.3 LibGDX

LibGDX ist ein auf Java basierendes open-source Framework. Es wurde entwickelt, da der Hauptentwickler beim programmieren von Android-Spielen schnell auf dem Desktop geschriebene Code-Änderungen testen wollte. Einer der Vorteile von LibGDX ist die Abstraktion der Unterschiede von Desktop-Plattformen wie Linux/Windows und Mobile-Plattformen wie Android/iOS. Beispiele für Spiele, die LibGDX einsetzen sind *Animal Memory for children* oder *Kid on Crack*.

5.5 User Interface

5.5.1 GUI

5.5.2 Tests direkt starten

Tests können auch ohne GUI direkt gestartet werden. Dazu muss man die zu testenden Frameworks und die gewünschten Werte für die Parameter in die Datei *run_test.py* hineinschreiben. Anschließend startet man dieses Skript. Der restliche Ablauf (Durchführung der Tests und Ausgabe des Diagramms) ist genauso wie bei der GUI.

6 Ergebnisse der Messungen

In diesem Kapitel stellen wir ein paar interessante Ergebnisse von Messungen vor, die wir mit den Frameworks durchgeführt haben.

Dazu referenzieren wir folgende 3 Computersysteme:

...

	Minimalsystem	Mediumsystem	Maximalsystem
Modellname	Dell XPS L322X	Acer Aspire E1-531	CPU
CPU	Intel Core i5-3317U @ 4 x 1.7 GHz	Intel Pentium 2020M (2,4 GHz)	Intel Xeon E3-1225 v2 (3,3 GHz)
GPU	Intel HD Graphics 4000	Intel HD Graphics	NVidia GeForce 710
RAM	4096 MB	4096 MB	16384 MB

Table 6.1: Spezifikationen des Minimaltestsystems

7 Zusammenfassung und Ausblick

TODO noch viel mehr schreiben

Als Future Work kann die BunnySuite noch um weitere Frameworks erweitert werden. Insbesondere Frameworks für 2D-Grafik im Browser sollten auch im Browser ausgeführt werden. Hierbei existiert das Problem, dass man aus einem Browser heraus keine Logfiles anlegen kann, da ein Zugriff auf das lokale Dateisystem aus Sicherheitsgründen nicht möglich ist. Das könnte mit einem Tool wie Selenium gelöst werden.