



HOCHSCHULE KONSTANZ TECHNIK, WIRTSCHAFT UND GESTALTUNG  
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

# Erstellung von Java-Programm-Traces für Programmieranfänger

Simon Müller

Konstanz, 17.08.2016

# BACHELORARBEIT

# BACHELORARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades

**Bachelor of Science (B. Sc.)**

an der

**Hochschule Konstanz**

Technik, Wirtschaft und Gestaltung

**Fakultät Informatik**

Studiengang Angewandte Informatik

Thema: **Erstellung von Java-Programm-Traces  
für Programmieranfänger**

Bachelorkandidat: Simon Müller, Neue Straße 4/1, 73732 Esslingen

1. Prüfer: Prof. Dr. Heiko Drachenfels  
2. Prüfer: Prof. Dr. Oliver Bittel

Ausgabedatum: 17.05.2016  
Abgabedatum: 17.08.2016

# Zusammenfassung (Abstract)

Thema: Erstellung von Java-Programm-Traces für Programmieranfänger

Bachelorkandidat: Simon Müller

Firma: HTWG

Betreuer: Prof. Dr. Heiko Drachenfels  
Prof. Dr. Oliver Bittel

Abgabedatum: 17.08.2016

Schlagworte: Java, ASM, JDI, Tracing, Debugging, Bytecode, Commandline tool

Ziel dieser Bachelorarbeit war die Erstellung eines Kommandozeilen-basierten tools zum suchen von Fehlerquellen in einfachen Java-Programmen für Programmieranfänger. Hierzu wurde zunächst evaluiert welche Technologien hierfür vorhanden sind und welche von diesen am besten geeignet ist. Teil dieser Auswertung war auch die Definierung und Abgrenzung der Aufgaben für welche es eingesetzt werden sollte, um deren Machbarkeit ab zu schätzen. Auch die detaillierte definierung der Ein- und Ausgabe waren Teil der Arbeit. Bei der Umsetzung wurde besonders auf Intuitive benutzbarkeit und Erweiterbarkeit geachtet, um den einstieg für Programmieranfänger so einfach wie möglich zu gestalten.

# Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich *Simon Müller*, geboren am *04.05.1993* in *Esslingen*, dass ich

- (1) meine Bachelorarbeit mit dem Titel

**Erstellung von Java-Programm-Traces für Programmieranfänger**

bei der HTWG unter Anleitung von Prof. Dr. Heiko Drachenfels selbständig und ohne fremde Hilfe angefertigt und keine anderen als die angeführten Hilfen benutzt habe;

- (2) die Übernahme wörtlicher Zitate, von Tabellen, Zeichnungen, Bildern und Programmen aus der Literatur oder anderen Quellen (Internet) sowie die Verwendung der Gedanken anderer Autoren an den entsprechenden Stellen innerhalb der Arbeit gekennzeichnet habe.

Ich bin mir bewusst, dass eine falsche Erklärung rechtliche Folgen haben wird.

Konstanz, 17.08.2016

---

(Unterschrift)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Ehrenwörtliche Erklärung</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>IV</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung . . . . .	2
<b>2 Analyse</b>	<b>3</b>
2.1 Tracing . . . . .	3
2.2 Ähnliche Anwendungen . . . . .	3
2.3 Anforderungen . . . . .	4
2.4 Idee . . . . .	5
2.5 Szenario . . . . .	5
<b>3 Technische Grundlagen</b>	<b>7</b>
3.1 Java Bytecode . . . . .	7
3.2 ASM und Javassist . . . . .	8
3.3 JDI . . . . .	10
<b>4 Umsetzung</b>	<b>11</b>
4.1 Konsolen Interface . . . . .	11
4.1.1 Parameter basiert . . . . .	11
4.1.2 Zusätzliche Bedienkonzepte . . . . .	12
4.1.3 Interaktiver Modus . . . . .	13
4.2 Individueller Class-Loader . . . . .	14
4.3 Transformer . . . . .	16
4.3.1 Event Struktur . . . . .	18
4.3.2 Erstellte Implementierungen . . . . .	19
4.4 Lizenzierung . . . . .	20
<b>5 Fazit</b>	<b>23</b>
5.1 Erweiterungsmöglichkeiten . . . . .	23
5.2 Weitere Anwendungsbereiche . . . . .	25
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>26</b>
<b>Listings</b>	<b>27</b>

<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>28</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>29</b>



# Abkürzungsverzeichnis

**API** Programmierschnittstelle, engl. Application Programming Interface

**BSD** Berkeley Software Distribution

**DDD** Data Display Debugger

**EUPL** European Public License

**GPL** GNU General Public License

**IDE** Integrierte Entwicklungsumgebung, engl. Integrated Development Enviroment

**JDI** Java Debug Interface

**JDK** Java Development Kit

**JDPA** Java Platform Debugger Architecture

**JRE** Java Runtime Enviroment

**JVM** Java Virtual Machine

**LGPL** GNU Lesser General Public License

**PHP** PHP: Hypertext Preprocessor

**VM** Virtuelle Maschine

# 1 Einleitung

Für fundiertes Verständnis von Java und um ein Grundlagen-orientiertes lernen zu ermöglichen hilft es anfänglich nur mit einem normalen Texteditor Code zu schreiben und diesen dann selbst mittels Konsole zu kompilieren. Mit diesem Ansatz dauert es möglicherweise etwas länger bis erster ausführbarer Code entsteht, jedoch ist der Lernerfolg größer da alle Schritte dorthin selbst Ausgeführt wurden und damit transparent sind.

Da gerade Anfängern es schwer fällt die Ursache von auftretenden Problemen bei der Ausführung zu finden, welche nicht bereits vom Compiler erkannt werden können, kann dies jedoch schnell mühsam werden. Selbst simple Probleme, wie eine falsch definierte Bedingung in einer Schleife oder Verzweigung, stellen hier ein ernstes Hindernis dar.

Hierbei soll „Klara“ zum Einsatz kommen. Es hilft dabei, den Ablauf des Programms zu verstehen, ohne den Code dafür ändern zu müssen oder eine schwergewichtige Integrierte Entwicklungsumgebung, engl. Integrated Development Environment (IDE) zu verwenden.

In dieser Thesis wird dazu zuerst einmal auf die Problemstellung eingegangen. Hierbei wird beleuchtet, warum die Entwicklung nötig war und welche Rolle das Programm einnehmen soll. Im zweiten Kapitel beschäftigt sich diese Arbeit mit der Analyse von Umgebung und Anforderungen. Hier wird auch darauf eingegangen was man genau unter tracing versteht und welche Einsatz-Szenarien möglich sind. Im darauffolgenden Abschnitt werden die 3 wichtigen technischen Grundlagen genauer dargelegt: Bytecode, ASM und Java Debug Interface (JDI). Da somit die Rahmenbedingungen der Arbeit klar sein sollten, wird in Kapitel 4 die Umsetzung genau erklärt.

Die wichtigen Aspekte hierbei sind:

- Das Konsolen-Interface, über das der Nutzer die Anwendung bedient
- Der individuelle `ClassLoader`, welcher eine Manipulation des Ausgeführten Codes ermöglicht
- Der Transformer, welcher modulare Änderungen ausführen kann

- Die Lizenzierung, um Konform zu der Lizenz des verwendeten Framework zu bleiben

Schlussendlich wird in einem Fazit das Ergebnis der Arbeit reflektiert, ein Ausblick auf mögliche weitere Zukünftige Funktionen gegeben und es werden andere potenzielle Anwendungsbereiche für die verwendete Technologie dargelegt.

## 1.1 Problemstellung

Im Java Umfeld gibt es eine Reihe von Tools zum debuggen von Anwendungen, jedoch sind diese alles große und meist komplexe Programme. Zudem sind diese auch häufig Teil einer IDE und nicht ohne diese einsetzbar. In anderen Programmiersprachen, wie beispielsweise C, gibt es hierzu auch große und mächtige Hilfsmittel auf der Kommandozeile. Das wahrscheinlich bekanntestes ist der Data Display Debugger (DDD). Bei moderneren Programmiersprachen ist dies jedoch zunehmen verloren gegangen, da heute nahezu jeder mit einer IDE arbeitet, welche in der Regel einen grafischen Debugger mit sich bringt.

Viele Anfänger benutzen deshalb von Anfang an eine IDE, um bei Problemen auf den Debugger der Umgebung zurückgreifen zu können, jedoch ist dies nicht Ziel führend. Zum einen sind die integrierten Debugger meist sehr komplex, was Anfängern auch das finden einfacher Fehler schwer macht. Zum anderen kommt die Umgebung mit zahlreichen anderen Features, welche viele Schritte kombinieren und Anfängern nicht ersichtlich machen, was genau passiert.

## 2 Analyse

Diese Kapitel beschäftigt sich mit der Analyse, was genau Tracing ist und welche Anwendungen es bereits in diesem Gebiet gibt. Außerdem werden Anforderungen dargelegt und durch Ideen und Szenarien weiter erläutert.

### 2.1 Tracing

Tracing beschreibt eine spezielle Form des loggings, bei der Daten gesammelt werden um den Ablauf eines Programms rekonstruieren zu können. Dies ermöglicht, im Fehlerfall, Entwicklern nachvollziehen zu können, wo und wieso welches Problem aufgetreten ist. Die erzeugten Daten beim tracing werden als Programmtrace, oder kurz Trace bezeichnet, was sich ins deutsche als „Spur“ übersetzen lässt. Tracing stellt die umfassendste Art des Loggings dar, da bis ins kleinste Detail die Ausführung protokolliert wird. Aus diesem Grund ist sie im produktiven Betrieb auch ungeeignet, da Massen an Daten erzeugt werden.

Ein Vorteil im Vergleich zu herkömmlichen debugging bei der die Ausführung angehalten wird, ist das der Einfluss auf Thread-Synchronisierung minimal gehalten wird. Die Ausgaben haben nur einen geringen Einfluss auf einzelne Ausführungszeiten. Der Nachteil ist wiederum, das Programme meist erst analysiert werden, wenn deren Ausführung bereits beendet. Somit sind Reaktionen auf den spezifische Zustände schwerer realisierbar.

Diese Technik ist auch einsetzbar um Programmieranfängern den Ablauf ihrer Programme zu vermitteln. Besonders wenn der textuelle Trace von grafischen Anwendungen visualisiert wird. Diese können damit ohne viel Aufwand oder Kenntnis der Werkzeuge selbständig Programmfehler nachvollziehen und nach Lösungen suchen.

### 2.2 Ähnliche Anwendungen

Zu Anwendungen die solche Visualisierung bereits umgesetzt haben zählen „Jeliot 3“ für Java und „Python Tutor“ für Python, Java, C und C++.

Jeliot ist ein Software mit der lokal Programme analysiert werden können. Jedoch hat das Projekt seit 2007 keine Updates erhalten und ist deshalb mit Java 1.4 entwickelt worden. Moderne Programmierkonstrukte die erst mit späteren Versionen eingeführt wurden, werden deshalb nicht unterstützt. Da das Programm zuerst ohne Interaktionsmöglichkeit ausgeführt wird sind keine Eingaben möglich. Der gesamte Code muss in einem File sein um ausgeführt zu werden. Sind alle diese Randbedingungen erfüllt, kann damit die Ausführung schrittweise untersucht werden. Dabei werden Konstanten, der Aktuelle Stack-Trace sowie Details aller Variablen und Methoden-Aufrufe visualisiert. Jeliot legt hier besonders Wert auf die Darstellung von Vererbungsstrukturen.

Bild  
Jeliot  
(<http://cs.joer>)

Python Tutor ist ein Online-Tool welches Programme in verschiedenen Sprachen visualisieren kann. Bei Java gibt es dabei ähnliche Einschränkungen wie bei Jeliot:

- Die Ausführung kann nur mit Java Version 1.8 erfolgen
- Es ist nicht möglich Parameter an das Programm zu übergeben oder interaktive Eingaben zu machen
- Der Code muss in einem einzelnen Textfeld eingegeben werden
- Die maximale Ausführungszeit ist auf 10 Sekunden limitiert
- Es können nur die auf dem Server verfügbaren Bibliotheken verwendet werden

Auch hier erfolgt die Anzeige in einem übersichtlichen Format, mit Visualisierung von Zeigern und den Methoden auf dem Stack. Wichtig zu beachten ist jedoch, dass die Ausführung sehr langsam erfolgt. Selbst einfache Programme benötigen meist über eine Sekunde zum ausführen.

Bild Py-  
thon Tu-  
tor

## 2.3 Anforderungen

Ziel dieser Arbeit ist jedoch nicht eine visuelle Darstellung, sondern lediglich die Möglichkeit einer textuellen Ausgabe für simple Programme, wie sie ein Program-

mieranfänger entwickelt. Die wichtigsten Anforderungen sind wie folgend definieren:

- Erstellungen eines textuellen, menschlich lesbaren Programmtrace
- Keine Änderungen am Quelltext notwendig
- Kommandozeilen basiertes Interface
- Intuitive Benutzbarkeit
- Auswahlmöglichkeit von verschiedenen Optionen zur Erstellung des Trace
- Leichtgewichtig - kein Installation notwendig
- Erweiterbares Design, in das weitere Funktionen integriert werden können

Alle diese Anforderungen zielen auf ein simples Werkzeug für Anfänger ab, welches einfach zu benutzen ist, gleichzeitig aber Potenzial für komplexere Erweiterungen bietet.

## 2.4 Idee

## 2.5 Szenario

Für einen möglicher Anwendungsfall nehmen wir das Programm in Listing 2.1 an. Wie einfach zu erkennen ist, wurde bei der Bedingung ein falscher Vergleichsoperator verwendet, weshalb „7“ anstelle von „10“ ausgegeben wird.

Listing 2.1: Anfänger Programm mit Problem in Schleife

```
public class Example {  
    public static void main(String[] args) {  
        int r = 7;  
        for (int i = 0; i > 3; i++)  
            r++;  
        System.out.println(r);  
    }  
}
```

Hier sollte ein einfacher Aufruf an Klara genügen, um angezeigt bekommen zu können das nur die Zeilen 3, 4 und 6 ausgeführt werden. Dies sollte als Information genügen um das Problem zu lokalisieren.

Ein anderes Beispiel ist in Listing 2.2 zu sehen. Hier wird eine Variable zugewiesen und dann geprüft. Jedoch erfolgt dies nicht identisch, als würde die gesamte Rechnung in einem Schritt ausgeführt, weshalb das Ergebnis 50 und nicht 22 ist.

Listing 2.2: Anfänger Programm mit Problem bei Variable

```
public class Example {  
    public static void main(String[] args) {  
        int r = 5;  
        r *= 3 + 7;  
        if (r == 22)  
            System.out.println("Erfolg");  
        else  
            System.out.println("Fehler");  
    }  
}
```

Hier sollte von Klara ausgegeben werden, das der Variable `r` zuerst „5“ und dann „50“ zugewiesen wird. Somit sollte für einen Entwickler nachvollziehbar sein, dass direkt eine Multiplikation mit 10 stattfindet und somit ein unterschied zu `r = r * 3 + 7` besteht.

# 3 Technische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die 3 wichtigen technischen Grundlagen für diese Arbeit beschrieben: Javas Bytecode, das ASM-Framework und das JDI. Bytecode ist der „übersetzte“ Java-Code, ASM bietet die Möglichkeit diesen zu analysieren und manipulieren. Mit JDI lässt sich eine Java Virtual Machine (JVM) erstellen von der Laufzeitinformationen ausgelesen werden können. Sowohl ASM als auch JDI bieten somit die Möglichkeit den Ablauf eines Programms zu Analysieren.

## 3.1 Java Bytecode

Java Bytecode ist sogenannter „intermediate Code“, ein Maschinencode ähnliche Form, welche jedoch nicht direkt auf einem Prozessor ausgeführt werden kann. Eine andere Programmiersprache die diese Technik verwendet ist C#.

Der Vorteil von diesem Format ist, das es sich dabei bereits um eine kompaktere Form des ursprünglichen Codes handelt, welche trotzdem Plattform unabhängig ist. Somit lässt sich der selbe Code auf jedem beliebigen Betriebssystem und unabhängig der Prozessorarchitektur ausführen, solange diese die passende Ausführungseinheit besitzt. Bei Java ist dies die JVM, welche Bytecode ausführen kann, bei C# ist es die .NET-Laufzeitumgebung.

Auch mehrere anderer Sprachen, wie PHP: Hypertext Preprocessor (PHP) und Python, verwenden Bytecode, obwohl sie offensichtlich direkt interpretierten Code auszuführen scheinen. Jedoch bietet Python beispielsweise die Möglichkeit auch den Bytecode in eine „pyc“-Datei zu speichern.

Da Bytecode eine sehr exakte Repräsentation des originalen Codes darstellt, lässt sich dieser auch wieder daraus gewinnen. Mit verschiedenen existierenden Werkzeugen ist es so möglich, den Code eines Java oder C# Programms zu erzeugen, obwohl nur der Bytecode zur Verfügung gestellt wurde.

Dies bietet jedoch auch den Vorteil, das Bytecode sehr einfach manipuliert werden kann, nachdem er erzeugt wurde. Dies ermöglicht Änderungen, welche erst zur Laufzeit sichtbar werden, ohne den originalen Code zu kennen oder zu verändern.



Auch dafür existieren Hilfsmittel, mit denen solche Manipulationen vereinfacht werden. In Java sind hierbei die beiden größten Frameworks ASM und Javassist.

## 3.2 ASM und Javassist

ASM und Javassist bieten beide Möglichkeiten um Bytecode zu analysieren und Manipulieren. Der wichtigste Unterschied hierbei ist jedoch die Abstraktionsebene: ASM bietet eine Assembler ähnliche direkte Darstellung, Javassist eine am original Code angenäherte Form. Da natürlich beide Vorteile und Nachteile bieten geht dieser Abschnitt genauer darauf ein und begründet die Entscheidung welche Technik für dieses Projekt besser geeignet ist.

### ASM

Der Name ASM ist keine Abkürzung im eigentlichen Sinn, sondern kommt vom dem Befehl „asm“ mit welchem sich in C direkt Assembler-Befehle ausführen lassen. Dieser Befehl wiederum ist eine Abkürzung für „Assembler“. Die erste Version wurde 2002 von Eric Bruneton veröffentlicht und seitdem weiterentwickelt, mit der zum Zeitpunkt dieser Arbeit neusten Version veröffentlicht im März 2016.

Wie der Namensursprung vermuten lässt ist das Framework für Manipulation auf Bytecode-Ebene ausgelegt, welche in einer Assambler ähnlichen Form erfolgen. Zusätzlich dazu bietet es auch die Möglichkeit den existierenden Code zu analysieren und so dynamisch existierende Klassen zu verändern. Für die Analyse und Manipulation gibt es hier 2 verschiedene Möglichkeiten: Eine einfach Event-Chain Struktur, welche hohe Performance bietet, aber deren Ablauf unveränderlich ist und eine Baum-Struktur, die langsamer ist, aber eine ungeordnete Modifikation erlaubt. Je nach Einsatzzweck ist es auch möglich beide Techniken zu kombinieren, da sich eine Baum-Transformation in eine Event-Chain integrieren lässt. So sind komplexe Analysen und Transformationen möglich, sowohl statisch als auch dynamisch.

Der Nachteil dieses Frameworks ist der erhöhte Aufwand sich mit der Bytecode-Notation vertraut zu machen, welche hier die einzige Form ist neuen Code ein zu fügen. Es ist nicht nötig jedes Detail selbst als Bytecode schreiben zu können, jedoch sollte ein gutes Verständnis der Abläufe vorhanden sein. Wenn komplexerer Code erzeugt werden soll, so kann dieser in Java geschrieben, kompiliert und dann

mit ASM analysiert werden, um den dafür benötigten Bytecode zu generieren. Auch die äußerst ausführliche Dokumentation erleichtert den Einstieg gewaltig, da sie alle nötigen Details beschreibt.

## **Javasisst**

Der Name Javasisst steht für „Java Programming Assistant“. Das Framework existiert seit 1999 und wird in Japan von Shigeru Chiba entwickelt. Der Fokus liegt bei einer Manipulation auf Sourcecode ebene, obwohl es auch Werkzeuge zu Bearbeitung auf Bytecode-Ebene liefert.

Der Vorteil hierbei liegt eindeutig bei der einfachen Benutzung, da Java-Code eingefügt werden kann und der Entwickler sich nicht im Detail mit Bytecode beschäftigen muss. Dies erlaubt einen schnellen Einstieg und die Möglichkeit auch komplexen Code ohne großen Aufwand ein zu fügen.

Der Nachteil ist jedoch ähnlich offensichtlich: Dadurch dass der Fokus der Entwicklung nicht auf dem Bytecode lag, sind die Möglichkeiten vorhandenen Code zu analysieren sehr beschränkt. Es kommt durchaus mit Möglichkeiten dazu, jedoch nur in einer abstrakten Form, ohne Möglichkeit detaillierter zu Scannen. Hier sind hauptsächlich aussagen über den Speicher möglich, sowie über wenige grundsätzliche Kontrollflüsse. Dies hat natürlich nur bei dynamischen Transformationen Einfluss, statische sind hierbei nicht beeinträchtigt.

## **Entscheidung**

Da die ausgeführten Manipulationen sehr generisch und dynamisch sind, sollte das Framework auch dafür ausgelegt sein. Hierbei ist die niedrige Ebene auf der ASM arbeitet von Vorteil, da Änderungen einfach auf Grundlage von Aktionen kleinster Granularität ausgeführt werden können. Die Abstraktion von Javassist bietet hier viel weniger Möglichkeiten. Lediglich für die grob definierten Strukturen könnten Änderungen gemacht werden.

Die initiale Hürde von ASM kann dabei nicht umgangen werden, jedoch scheint ein Verständnis des Bytecodes unerlässlich um diesen zielführend Analysieren zu können, selbst wenn Änderungen mit normalem Java-Code eingefügt werden können. Aus diesem Grund lässt sich dies nicht vermeiden. Bei ASM macht die Dokumentation den Einstieg sowohl in Bytecode als auch das Framework jedoch so einfach wie möglich.

Aus diesen Gründen ist ASM die beste Alternative für eine Modifizierung des Bytecodes zur Ausführung. Zusätzlich bietet es auch ein großes Potenzial für Erweiterungen, da sowohl jegliche Art von Struktur erkannt als auch hinzugefügt oder verändert werden kann.

### 3.3 JDI

JDI steht für das „Java Debug Interface“. Dies ist eine Programmierschnittstelle, engl. Application Programming Interface (API) von Oracle, mit deren Hilfe eine JVM angehalten werden kann und Laufzeitinformationen ausgelesen. Dies funktioniert sowohl für lokale als auch für entfernte virtuelle Maschinen. JDI stellt dabei die höchste Ebene der Java Platform Debugger Architecture (JDPA) dar, welche seit der Version 1.3 von Java verfügbar ist.

Dies kann dazu genutzt werden, ein Java-Programm in einer spezifisch eingestellten JVM zu starten, welche bei einer eingestellten Liste von Befehlstypen die Ausführung unterbricht und die Kontrolle an eine andere Anwendung übergibt, welche alle Laufzeitinformationen der erstellten JVM auslesen kann. Indem nach jedem ausgeführtem Befehl unterbrochen wird, lässt sich somit ein Trace des gesamten Programmablaufs erstellen. Der wichtige Vorteil ist hierbei, dass keine Manipulation des ausgeführten Codes notwendig ist.

Der Nachteil wiederum ist, dass dies nicht auf der „normalen“ JVM der Java Runtime Environment (JRE) möglich ist, sondern lediglich auf der des Java Development Kit (JDK). Da auf nahezu jedem System Java-Programme nur mit der JRE ausgeführt werden, würde die Benutzung eine besondere Konfiguration voraussetzen. Zudem hat JDI nahezu keine Informationen über das zu untersuchende Programm, bevor dieses nicht ausgeführt wurde.

Für diese Anwendung war die benötigte spezielle Konfiguration auf dem Zielsystem jedoch ein KO-Kriterium, auch wenn einfache Tests mit JDI vielversprechende Ergebnisse geliefert haben.

# 4 Umsetzung

In diesem Kapitel wird detailliert die Umsetzung der in Kapitel 2.3 dargelegten Anforderungen an die Software beschrieben. Hierbei werden auch verschiedene andere mögliche Umsetzungen vorgestellt und erklärt warum diese nicht zum Einsatz gekommen sind.

Wichtig ist hierbei auch der letzte Punkt der Lizenzierung, da diese konform zu der Lizenz des verwendeten Frameworks „ASM“ sein musste.

## 4.1 Konsolen Interface

Bei der Realisierung des Konsolen Interface war besonders die intuitive Benutzbarkeit und Übersichtlichkeit wichtig. Sowohl bei der Wahl der Parameter für die Ausführung, als auch bei der erzeugten Ausgabe.

### 4.1.1 Parameter basiert

Das intuitivste Bedienkonzept für eine Konsolen-Anwendung ist der Aufruf mit Parametern. Durch diese werden alle Optionen gesetzt und das Programm benötigt keine Interaktion während der Ausführung. Der Nachteil ist allerdings ganz offensichtlich: Der Nutzer muss zum starten des Programms zuerst die Liste der verfügbaren Parameter und deren Bedeutung kennen. Zudem können Aufrufe sehr schnell sehr lang werden, was die Übersichtlichkeit einschränkt.

Trotz dieser Nachteile ist die Möglichkeit eines parametrisierten Aufrufs unverzichtbar für eine Programm mit ausschließlich textueller Oberfläche. Für die Implementierung existieren in Java einige Bibliotheken und Frameworks, wie beispielsweise:

- Commons CLI
- Java Gems
- JArgs

- GetOpt
- Args4J
- JCommando

Allerdings haben alle den Nachteil, das sie nur „übliche“ Formate unterstützen. Für besondere Parameterformate muss eine eigene verarbeiten erfolgen, welche auch zusätzlich den Vorteil bietet, dass somit keine weiteren Abhängigkeiten der Software geschaffen werden.

Die eigene Implementierung dieser Parameterverarbeitung erfolgt Schleifen-basiert. Über einen if-else-Baum wird jeder einzelne Parameter verarbeitet. Da sich die Verarbeitung im Variablenkontext der Schleife befindet, kann diese die Parameterliste durchsuchen und, wenn benötigt, beliebig viele weitere Parameter, die als Argumente dienen, verwenden. Auch die Abbruchbedingung für das verarbeiten von Parametern kann frei gewählt werden. So könnte Beispielsweise eine End-Option eingeführt werden, welche das verarbeiten der Parameter beendet und die verbleibenden an das Haupt-Programm weiter leitet. In der Gewählten Implementierung bricht die Verarbeitung ab sobald ein Parameter gefunden wird der nicht mit einem '-' beginnt. Dieser wird als Identifikator für das zu ladende Hauptprogramm interpretiert. Sollten weitere Parameter vorhanden sein werden diese als **args** weitergegeben. Somit ist eine klare Trennung der zu verarbeitenden und der weiter zu gebenden Parametern vorhanden.

Für die gesamte Implementierung gilt das bei invaliden Parameter-Kombinationen oder fehlenden Parametern eine entsprechende Fehlermeldung ausgegeben wird, gefolgt von der Hilfe wie in Listing 4.1 dargestellt und das Programm dann mit einem Fehlercode abbricht. Alle Fehlercodes sind als Konstanten deklariert um eine Nachvollziehbarkeit von Code zu Ursache zu erzeugen.

Listing 4.1: Hilfe Ausgabe mit Parametererklärung

```
java -jar Klara.jar -i
```

## 4.1.2 Zusätzliche Bedienkonzepte

Weitere mögliche Bedienkonzepte sind ein navigierbares Menü und ein interaktiver Modus.

Bei dem navigierbaren Menü könnte man dann mit Hilfe der einzelnen Optionen eine Konfiguration erstellen, diese potenziell abspeichern und damit starten. Dieses Konzept ist besonders für komplexe Einstellungen geeignet, da es die Möglichkeit bietet, in einer übersichtlichen Form eine Reihe von Optionen zu wählen. Dies kommt jedoch mit dem Nachteil, dass selbst einfache Konfigurationen vergleichsweise lange zum erstellen benötigen. Zudem ist ein Menü in der Implementierung aufwändig.

Ein interaktiver Modus hingegen ist die Einsteiger freundlichste Methode. Hierbei wird durch eine Reihe von Fragen der User nach den gewünschten Einstellungen gefragt, in einer geordneten Reihenfolge und mit der Möglichkeit für ausführlichere Erklärungen der Option. Auch hier ist ein klarer Nachteil, dass einfache Konfigurationen, im Vergleich zu einem Parametrisierten-Start, länger zum starten benötigen. Der große Vorteil ist jedoch, dass auch unerfahrene Nutzer direkt die Software benutzen können. Die definierte Reihenfolge und das prüfen von Eingaben sorgen dafür, dass Konfigurationen immer valide sind.

Aufgrund der Zielgruppe der Anwendung, Programmierneulingen mit einfachen Programmen, ist eine einfache Benutzung wichtiger als die Möglichkeit komplexe Konfigurationen zu erstellen. Das dafür passendere Konzept ist der interaktive Modus.

### **4.1.3 Interaktiver Modus**

Bei der Umsetzung des interaktiven Modus müssen eine Vielzahl von Fragen mit validierten Antworten an den User gestellt werden. Damit eine invalide Antwort nicht zum Abbruch des Programmes führt, müssen alle Fragen wiederholt werden können, bis eine gültige Antwort gegeben wird. Dies lässt sich am einfachsten über eine Reihe von Schleifen realisieren, welche jeweils lediglich die Frage ausgeben und auf Antwort warten, bis diese gültig ist. Um eine bessere Lesbarkeit zu erreichen, werden einfach Ja/Nein-Fragen mithilfe einer Hilfsmethode durchgeführt, welche die Validierung übernimmt und die Antwort direkt als boolean liefert. Somit muss nur die Validierung von Fragen mit spezifischen Antwortmöglichkeiten, wie einer Auswahl oder einem definierten Format, in der Methode durchgeführt werden.

Diese Implementierung ist äußerst rudimentär und kann mit steigender Komplexität und Anzahl an Parametern schnell unübersichtlich werden, jedoch für den

aktuellen Umfang noch ausreichend. Bei zukünftigen Erweiterungen sollte aber eine Abstraktion der Optionen in Betracht gezogen werden, welche dann von jedem Interface zur Darstellung genutzt wird. Dies würde Definition und Verarbeitung sauber trennen und Fehlerquellen minimieren.

## 4.2 Individueller Class-Loader

Um Bytecode manipulieren zu können, muss die jeweilige Klasse über einen selbst erstellten Class-Loader geladen werden. Dieser hat die Möglichkeit nach dem Laden der Binärdaten von der Festplatte und vor dem zurückgeben an die Virtuelle Maschine (VM) diese zu verändern. Somit sind jegliche Änderungen am Code, die nur die geladene Klasse betreffen, einfach zu realisieren.

Zum erstellen eines eigenen Class-Loaders muss die Java-Klasse `ClassLoader` des `java.lang` Pakets erweitert werden. Je nach Aufgabe der eigenen Implementierung können nun verschiedene Methoden überschrieben werden. Beispielsweise könnte man hier ein eigenes Caching implementieren, wozu lediglich die `loadClass` Methode überschrieben werden muss. Eine andere Anwendung wäre das laden von Klassen aus anderen Quellen, wie beispielsweise von einer Netzwerkressource. Bei der vorhandenen Implementierung musste sowohl `loadClass` als auch `findClass` überschrieben werden.

Um dynamisch konfigurierbar zu sein, benötigt der erstellte Class-Loader eine Reihe von Parametern:

Listing 4.2: Parameter des individuellen Class-Loader

```
public static enum FilterType {  
    BLACKLIST,  
    WHITELIST,  
    ALL,  
    NOTHING  
}  
  
public TransformingClassLoader(  
    boolean cache ,  
    FilterType filterType ,
```

```

Map<Pattern , LineSpecification> filter ,
List<Class<? extends TransformationEventListener>>
    transformers ,
LineSpecification defaultLineSpec)

```

Die als **transformers** übergebene Liste an Klassen, sind die für jeden Ladevorgang erstellten Event-Listener, welche die eigentliche Transformation durchführen. **filterType**, **filter** und **defaultLineSpec** spezifizieren, welche Klassen modifiziert werden sollen und welcher Zeilen-Bereich. Wird bei einem Filter keine Zeilen-Spezifikation mit gegeben sondern **null**, so wird der übergebene Standardwert verwendet.

Die Methode **loadClass** ist dafür zuständig zu evaluieren, ob die angefragte Klasse modifiziert werden soll. Wenn bereits eine gecachte Version der Klasse vorliegen, so kann diese direkt zurück gegeben werden. Ist dies nicht der Fall, muss geprüft werden, ob die Klasse überhaupt modifiziert werden soll. Dies wird über eine Hilfsmethode geprüft, welche basierend auf dem gewählten Filtertyp und Filter in Kombination mit dem Namen der zu ladenden Klasse auswertet, ob diese Klasse zu manipuliert ist. Zu modifizierende Klassen werden mit Hilfe der **findClass**-Methode geladen, alle anderen mit Hilfe der Standard-Implementierung.

Die andere überschriebene Methode, **findClass**, wiederum ist für das finden, laden und modifizieren der Binärdaten verantwortlich. Dazu wird zunächst der Name der Klasse zu einem relativen Dateipfad gewandelt. Dies geschieht durch das Ersetzen der Punkte, welche Pakete trennen, mit den Datei-Trennzeichen des jeweiligen Systems. Zusätzlich wird die typische Dateiendung „.class“ angehängt. Sollte die Methode **getResourceAsStream** des normalen Class-Loaders diesen finden, so werden damit die Daten geladen. Ist dies nicht möglich, so wird der Pfad als **FileInputStream** geöffnet. Hier würde sich auch einfach das Programm erweitern lassen, um eine Reihe verschiedener Pfade zu durchsuchen, oder in einem definierten (Unter)-Ordner nach Klassen zu suchen.

Mit den fertig geladenen, unveränderten Klasse muss nun die ASM Event-Kette aufgebaut werden. Dies erfolgt in der umgekehrten Reihenfolge wie die Events weiter gegeben werden. Zuerst muss der **ClassWriter**, welche aus den Events wieder ein Byte-Array erzeugen kann, erstellt werden. Dann wird der Transformer (siehe 4.3) hinzugefügt, welcher seine Events an den Writer weiter geben wird. Außerdem werden sämtliche Event-Listener für ihn erstellt und die passende



Line-Specification weiter gegeben. Schlussendlich wird, mithilfe der Bytes der unveränderten Klasse, ein `ClassReader` erstellt, welcher diese einliest und als Folge von Events an den Transformer weiter gibt.

Zu dieser 3-Knoten Struktur lässt sich auch ein weiterer, 4. Knoten zwischen Transformer und Writer einbauen, welche die erzeugten Bytecode-Befehle ausgibt. Dies ist hauptsächlich bei der Entwicklung neuer Transformation-Event-Listenern und der Weiterentwicklung des Transformers hilfreich, wenn der erzeugte Code von der JVM nicht ausführbar ist oder funktional nicht das erwünschte Ergebnis liefert. Durch die Position in der Event-Chain kann dieser den erzeugten Code ausgeben bevor er ausgeführt wird und es zu Problemen kommen könnte.

Alternativ zu dem Erstellen eines eigenen Class-Loaders welcher veränderten Bytecode lädt, lässt sich in Java auch ein sogenannter „Agent“ registrieren. Dieser muss beim Aufruf der JVM mit dem Parameter „-javaagent“ spezifiziert werden. Ein solcher Agent wird dann nach dem Laden einer Klasse aufgerufen und hat die Möglichkeit die geladenen Bytes nach Belieben zu verändern. Somit ist die Manipulation sauber getrennt vom Laden der Klassen und eine bessere Kompatibilität mit anderen Programmen gewährleistet. Der große Nachteil ist hier jedoch, dass die Übergabe von Parametern an den Agent sehr umständlich ist. Es kann lediglich ein einzelner String übergeben werden, der dann vom Agenten getrennt und verarbeitet werden muss. [Duncan, 2014] Ein Beispielhafter Aufruf mit einem Agenten ist in Listing 4.3 dargestellt.

Listing 4.3: Beispiel Aufruf mit einem Agent

```
java -javaagent:/tracer/klara.jar=param1;param2;param3 Foo.Bar
```

Die Parameterübergabe würde sich mit Hilfe eines Batch/Shell-Skripts in einem „gewohnten“ Format realisieren lassen, jedoch sind die Vorteile eher gering und es ist weniger gut erweiterbar. Aufgrund dieser Punkte fiel die Entscheidung zugunsten des Class-Loaders.

## 4.3 Transformer

Der Transformer stellt das Herzstück der Anwendung dar. Er führt alle Änderungen am Bytecode aus die erwünscht sind. Dies passiert über eine Event Struktur,

um eine modulare Erweiterbarkeit zu erreichen und beim Aufruf eine Auswahl treffen zu können, welche Features aktiv sein sollen.

Eine andere Möglichkeit wäre, die Module direkt in die Event-Chain zu integrieren. Dies hat jedoch den großen Nachteil, dass einzelne Module keinerlei Information über die Aktivität anderer Module erhalten können. Ein weiterer Nachteil ist, dass dabei viel duplizierter Code entstehen würde, Aktionen wie das durchlaufen der Instruction-Nodes in einer Schleife müssten von jedem Modul neu realisiert werden. Auch andere Funktionalitäten, wie das Verwalten einer Übersicht der im momentanen Kontext verfügbaren Variablen, wäre eine Aufgabe, die jedes Modul erneut implementieren müsste.

Vorteil einer Integration der Module direkt in die Event-Chain wäre eine einfachere Struktur und weniger Hilfsklassen. Die zusätzlich geschaffene Abstraktion durch den Transformer wäre damit überflüssig und mit ihr alle dafür benötigten Komponenten. Dies würde den Code übersichtlicher und schneller verständlich machen, da man nur die Event-Struktur von ASM verstehen müsste, nicht eine weitere Projekt-spezifische.

Jedoch können die Vorteile der Verwendung lediglich einer Struktur, bei weitem nicht die Nachteile dieser ausgleichen, weshalb der Transformer implementiert wurde.

Er hält alle Informationen über den momentanen Punkt der Transformation auf, die andere Klassen zugreifen können. Zu den Daten, die er verwaltet, gehören:

- Name der Klasse
- Name der Methode
- Zeile im Original-Code
- Eine Liste der momentan verfügbaren Variablen
- Eine Liste der Variablen, welche noch in der aktuellen Methode deklariert werden

Zusätzlich bietet er eine Methode zum Einfügen von Text-Ausgaben. Diese benötigt lediglich den Anweisungs-Knoten, nach dem die Ausgabe erfolgen soll, und eine Anweisungs-Liste, die einen geöffneten String-Builder Text hinzufügt. Ausgaben

beginnen immer mit einer Angabe der momentanen Position im Code, um eine hohe Nachvollziehbarkeit des Ablaufs zu erreichen.

Alle anderen öffentlichen Methoden des Transformers dienen zur Konfiguration oder sind Teil der `ClassNode`-Klasse, welche für Elemente der ASM Event-Chain benötigt werden. Die beiden privaten Methoden sind Hilfsmethoden von `visitEnd`.

### 4.3.1 Event Struktur

Die Entscheidung für eine Event basierte Struktur mit beliebig vielen Zuhörern basiert darauf, das eine Entwicklung weiterer Module möglich sein soll. Dies hat zudem den Vorteil, das die Auswahl welche Module bei einer Ausführung aktiviert sein sollen, ganz einfach mit einer Liste an Zuhörern gesteuert wird.

Für diese Struktur stehen 2 verschiedene Modelle zur Auswahl: Ein großes Interface mit einer Methode für jedes Event, ähnlich der ASM Event-Chain, oder ein Interface mit lediglich einer Methode, welches unterschiedliche Implementierungen eines Event-Interface empfängt. Die zweite Variante ist bei Java-Swing verbreitet, beispielsweise als `ActionEventListener`.

Beide Varianten haben Vor- und Nachteile. Ein großes Interface hat eine klar definierte Struktur mit einer Reihe von Parametern pro Methode die völlig individuell für jedes Event gewählt werden können. Dies birgt jedoch gleichzeitig den Nachteil, das Klassen, die nicht auf alle Events reagieren wollen, trotzdem leere Methoden für diese implementieren müssen. Auch ist die Struktur sehr statisch und ungeeignet für Veränderung, da bei einer Änderung des Interface auch immer alle Implementierungen aktualisiert werden müssen. Eine Möglichkeit leere Methoden zu vermeiden und Erweiterungen einfacher zu machen sind Adapter. Dies sind Klassen, welche alle Methoden leer implementieren. Der Nachteil dabei liegt jedoch darin, das Listener diese erweitern müssen und nicht nur implementieren, was die Einsatzmöglichkeiten einschränkt. Ganz im Gegenteil dazu ist einer der größten Vorteile eines Interface mit nur einer Methode, dass Erweiterungen keinen Einfluss auf vorhandene Implementierungen haben. Neu erstellte Event-Klassen werden nicht verarbeitet von bestehenden Event-Listnern, wodurch ihr Verhalten sich nicht ändert, solange diese richtig implementiert sind. Dies zeigt auch, dass lediglich jene Events verarbeitet werden müssen, welche auch benötigt werden. Der Nachteil hierbei liegt jedoch darin, dass jede Methode des großen Interface hier

eine eigene Event-Klasse ist. Wenn eine Listener auf alle Events reagieren muss, benötigt er dafür eine große Verzweigung, die auf sämtliche relevanten Event-Typen prüft. Dies führt zu einer erhöhten Code-Komplexität und langsameren Ausführung. Eine Optimierung ist hierbei möglich indem die Events eine Methode bieten um diese zu identifizieren.

Aufgrund der auf Erweiterung ausgelegten Architektur und der Annahme, dass die meisten Implementierungen nur auf einen kleinen Teil der Ereignisse reagieren müssen, wurde ein kleines Interface mit verschiedenen Event-Klassen realisiert.

Das Interface für die Events **TransformationEvent** definiert zwei Methoden: Eine zum identifizieren um welches Event es sich handelt und eine weitere, welche den abstrakten Knoten liefert auf den das Ereignis bezogen ist. Dadurch kann bei Listenern häufig auf ein Type-Cast verzichtet werden, da diese beiden Informationen für die meisten Anwendungsfälle genügen.

### 4.3.2 Erstellte Implementierungen

Es wurden zwei Implementierungen des **TransformationEventListener** gemacht. Die erste, **VariableChangePrinter**, zum ausgeben jeder Änderungen von Klassen-Variablen, Parametern oder lokalen Variablen. Die zweite, **LineTracer**, um eine Ausgabe in jeder Zeile zu garantieren, damit der Ablauf ersichtlich ist. Beide sind in ihrer Struktur simpel gehalten. Sie können nur mit einem existierenden Transformer erstellt werden, da sie eine feste bidirektionale Bindung mit diesen initialisieren welche unveränderlich ist.

#### **Variable Change Printer**

Für die Ausgabe aller Änderungen an Variablen sind 4 Events relevant: **Var-Instruction**, **linc-Instruction**, **Scope-Reached** und **Class-Variable-Changed**. Die Verarbeitung aller dieser Ereignisse läuft ähnlich ab: Zuerst wird die veränderte Variable aus dem Event-Objekt extrahiert, dann eine Ausgabe des Wertes generiert und diese schlussendlich an den Transformer gegeben um dies nach der Zuweisung ein zu fügen.

Die Generierung der Ausgabe ist dabei eine größere Hilfsmethode. Mit Hilfe einer selbst erstellten Abstraktion der Variablen lassen sich alle Arten gleich verarbeiten.

Je nach Typ der Variable werden leicht unterschiedliche Formatierungen gewählt und deren Ausgabe als Bytecode generiert.

### **Line Tracer**

Da der Line Tracer nur eine Ausgabe in einer Zeile machen soll, wenn kein anderer Listener bereits eine Ausgabe hinzugefügt hat, muss dieser nicht nur das Erreichen neuer Zeilen, sondern auch auf das hinzufügen von Ausgaben reagieren. Die hierzu relevanten Events sind: Line-Start, Line-End und Print-Added.

Die Funktionalität ist wiederum sehr einfach: Mit Hilfe einer Variable wird gespeichert ob in der aktuellen Zeile noch eine Ausgabe gemacht werden muss. Wird das Zeilenende erreicht und dies ist noch nötig, wird am Beginn der Zeile eine leere Ausgabe hinzugefügt. Da Ausgaben immer die Position anzeigen enthält diese Automatisch alle nötigen Informationen.

## **4.4 Lizenzierung**

Bei der Wahl der Lizenz für die neu entwickelte Software war es wichtig, dass diese Kompatibel zu den Lizenzen der Abhängigkeiten ist. Da keine externen Bibliotheken verwendet wurden und nur ein Framework benutzt wird musste hier nicht viel beachtet werden.

Das benutzte Framework, ASM, steht unter einer nicht benannten Lizenz, die der BSD-Lizenz sehr ähnlich ist. Der relevante Teil von dieser, welcher sich auf Verwendung und Redistribution bezieht ist folgender:

*Redistribution and use in source and binary forms, with or without modification, are permitted provided that the following conditions are met:*

- 1. Redistributions of source code must retain the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer.*
- 2. Redistributions in binary form must reproduce the above copyright notice, this list of conditions and the following disclaimer in the documentation and/or other materials provided with the distribution.*

3. *Neither the name of the copyright holders nor the names of its contributors may be used to endorse or promote products derived from this software without specific prior written permission.*

[ASM, 2016]

Somit sind die einzigen Einschränkungen, dass die Lizenz des Frameworks unverändert bleiben muss und mit angehängt, wenn sie gemeinsam ausgeliefert wird.

Da das Ziel der Arbeit ein Lehrmittel war, welches nicht für kommerzielle Anwendung ausgelegt ist und auch kein Unternehmen hinter der Entwicklung steht, ist eine Open-Source Lizenz für frei Nutzung hier geeignet. Hierfür gibt es eine große Auswahl. Zu den verbreitetsten Lizenzen zählen:

- GNU General Public License (GPL)
- GNU Lesser General Public License (LGPL)
- Apache-Lizenz
- Berkeley Software Distribution (BSD)-Lizenz
- European Public License (EURL)

Alle diese Lizenzen sind sich relativ ähnlich, haben aber im Detail Unterschiede. Bei der GPL muss jede Software die unter GPL lizenzierte Teile enthält, unabhängig ob in Originalfassung oder modifiziert, auch unter der GPL lizenziert werden, dies nennt sich „Copyleft“. [Wikipedia, 2016d] Die LGPL ist hier weniger strikt, lediglich die LGPL-Teile der Software müssen öffentlich gemacht werden und von Nutzern ersetzbar oder änderbar sein. [Wikipedia, 2016e] Die Apache-Lizenz ist der LGPL sehr ähnlich, jedoch lassen sich hier eigene weitere Urheberrechtsvermerke hinzufügen. [Wikipedia, 2016a] Auch die BSD-Lizenz ist dieser sehr ähnlich, hat jedoch, in ihrer Originalform, eine Werbeklausel, welche in allen Werbematerialien enthalten sein muss. [Wikipedia, 2016b] Die EURL schlussendlich bietet den großen Vorteil, das sie in allen 22 Amtssprachen der europäischen Union verfügbar ist und Berücksichtigung des europäischen Rechts erstellt wurde. Sie ist kompatibel mit der GPL. [Wikipedia, 2016c]

Die BSD-Lizenz scheidet aufgrund ihrer Werbeklausel aus. LGPL und Apache-Lizenz sind besser für Bibliotheken und Frameworks geeignet die in anderen Pro-

jekten eingebunden werden. Somit bleiben GPL und EUPL als passendste Lizenzen. Im Vergleich hier liefert die Mehrsprachigkeit der EUPL sowie die spezifische Berücksichtigung europäischen Rechts eine klarere Entscheidung.

Als Lizenz wurde somit die EUPL verwendet, auf Grund des passenden starken Copylefts und der internationalen Gültigkeit.

# 5 Fazit

Im Rahmen der Bachelorarbeit wurden die geforderten Funktionen erfolgreich umgesetzt. Das entstandene Programm bietet grundlegende Möglichkeiten zur Fehlersuche in Java-Programmen mit einer Kommandozeilen Oberfläche. Diese ist sehr simpel gestaltet um auch für Programmieranfänger intuitiv bedienbar zu sein.

Der höchste Aufwand der Arbeit lag bei der Entscheidung für eine Technologie, mit welcher die Aufgabe umgesetzt werden konnten. Hierbei musste ich mich in einige verschiedener Technologien einarbeiten und jeweils kleine Programme schreiben, um deren Nutzbarkeit zu evaluieren. Aufgrund der Komplexität von den meisten Frameworks gestaltete sich dies als sehr zeitintensive Aufgabe, weil bei Problemen immer darauf geachtet werden musste, ob die Ursache bei Implementierung oder Technologie liegt. Dies hat jedoch auch einige interessante Einblicke gegeben, da alle getesteten Frameworks durchaus sinnvolle Einsatzgebiete haben.

Bei der Umsetzung lagen die Schwierigkeiten beim finden eines Formats in der Optionen weitergegeben werden, sowie der Struktur um Transformatoren modular ohne Code duplikation implementieren zu können. Für die Optionen wäre bei Erweiterungen eine Vereinfachung mit Hilfe von kapselnden Klassen vorstellbar, welche Beispielsweise alle Filteroptionen kombiniert. Bei den Transformatoren habe ich viel Aufwand darauf verschwendet, eine Möglichkeit zu finden diese in die bestehende Architektur von ASM zu integrieren. Viel des dafür geschriebenen Codes zeigte sich später als nutzlos, nachdem die Struktur umgebaut wurde.

Im allgemeinen war das Thema eine persönliche Bereicherung, da es viele neue Einblicke in die Programmiersprache gegeben hat. Zwar war mir die Existenz des Bytecodes bewusst, die spezifische Umwandlung von Java-Code zu Bytecode-Befehlen und die Möglichkeit diesen direkt zur Laufzeit zu manipulieren waren jedoch gänzlich neu. Mit aktiv weiterentwickelten Projekten wie ASM sehe ich Potenzial für viele verschiedene Anwendungen in diesem Umfeld.

## 5.1 Erweiterungsmöglichkeiten

Mit der grundlegenden Funktionalität gegeben, sehe ich Potenzial für verschiedene Erweiterungen. Wie in Kapitel 4.1 bereits beschrieben, wäre eine Menü-Oberfläche



für komplexere Konfigurationen denkbar. Somit könnte der Anwender in beliebiger Reihenfolge die Optionen wählen, bis ihm die Konfiguration gefällt. Die Menüpunkte selbst könnten dann Werte ähnlich erfragen wie es beim interaktiven Modus implementiert ist. Mit der Möglichkeit aufwendige Konfigurationen in einem Menü zu erstellen, sollte auch ein Option zum Speichern dieser Konfiguration implementiert werden. Ein besonders einfaches Format hierfür, wäre die Parameterliste wie sie auch direkt übergeben werden kann. Wenn diese zu groß wird, oder weitere Optionen hinzu kommen, die nur über das Menü verfügbar sind, sollte eine XML oder JSON-Struktur verwendet werden. Da das Menü eine 3. Oberfläche darstellen würde, welche die gleichen Optionen bieten soll, wäre eine Abstraktion der Parameter sinnvoll. So könnten alle Informationen zu einer Option in einem Format gebündelt werden, das alle Oberflächen benutzen können. Somit sollten alle Informationen, von dem Argumentname als Übergabeparameter bis hin zu Wert-Validierung, enthalten sein. Dies würde sicher stellen, das die gleiche Funktionalität über alle Oberflächen erreichbar ist und Code-Duplikation vermeiden.

Eine zusätzliche denkbare Option ist ein gröberes Branching zu untersuchen, als alternative zu Ausgabe jeder Zeile. Ausgegeben würde in diesem Fall beispielsweise nur, das eine Schleife 17 Durchläufe hatte, oder ein Switch-case zu Fall 3 gesprungen ist. Dies würde bei größeren Abläufen die Übersichtlichkeit erhöhen, besonders wenn lange laufenden Schleifen vorhanden sind.

Weitere kleinere mögliche Verbesserungen sind ein Ant-Plugin und Support für das debuggen von jar-Archiven. Ein Ant-Plugin könnte als Integration in eine beliebige Entwicklungsumgebung genutzt werden. Jar-Archive können momentan noch nicht untersucht werden, lediglich .class-Dateien.

Check  
jar sup-  
port

Des weiteren habe ich Ideen für 5 große Erweiterungen:

Unsichtbare Überprüfungen, welche in einer Konfiguration definiert werden. Diese funktionieren ähnlich wie eine „assert“-Anweisung, sind aber nicht Teil des Codes. Dies ist Syntaktisch besser, da sie lediglich Tests darstellen und nicht zum Programm gehören. Somit bleibt der Code übersichtlicher und die Ausführung wird nur dann verlangsamt wenn die Überprüfungen auch ausgeführt werden sollen.

Automatisches erkennen der relevanten Klassen. Wenn eine Klasse `some.package.Foo` untersucht werden soll, gilt selbiges wahrscheinlich für andere Klassen im Paket

`some.package`. Hier könnte eine Reihe von logischen Abhängigkeiten gebildet werden, um das manuelle setzen von Filtern nahezu überflüssig zu machen.

Ähnlich dazu, könnten verwendete Typen modifiziert werden, um Änderungen an den gekapselten Variablen zu erkennen. Hierbei könnte auch eine Prüfung des Stacktrace eingebaut werden, welche nur in bestimmten Fällen Ausgaben erzeugt. Damit wäre auch erkennbar, wenn ein gespeicherter Punkt nicht ersetzt wird, sondern lediglich die Koordinaten sich ändern.

Erzeugen eines maschinell lesbaren Trace, anstelle eines menschlich lesbaren. Dieser könnte viel performanter erzeugt werden als es beispielsweise bei Python Tutor der Fall ist, da keine Pausierung der VM stattfindet. Ein anderes Programm könnte diesen dann in einem für Entwickler geeigneten Format visualisieren.

Logging mit bekannten Frameworks wie Log4j erzeugen und die Ergebnisse speichern. Solche veränderten Klassen könnten auf Server zum Einsatz kommen, um bei Problemen Logging mittels des Frameworks zu aktivieren ohne etwas am Code oder Server-Setup ändern zu müssen. Da Server auf Grund der Anforderungen an Antwortzeiten und häufigen Komplexität der Umgebung nicht einfach zu debuggen sind, wäre dies eine schnellere alternative.

## 5.2 Weitere Anwendungsbereiche

Zusätzlich zu möglichen Erweiterungen der bestehenden Anwendung sehe ich auch Potenzial für andere Anwendungsgebiete der Technologie. Bei allen ausgeführten Änderungen am Bytecode wurde bisher kein Konstrukt erzeugt, was nicht auch durch Änderung des Sourcecodes möglich gewesen wäre. Hier bieten sich jedoch neue Möglichkeiten.

Obfuscation beschreibt das verändern des Codes in solcher weiße, das der originale Code nur noch sehr schwer oder in keiner weiße wiederherstellbar ist. Dies kommt besonders bei kommerzieller Software zum Einsatz, wenn das Kompilat der Sprache Rückschlüsse auf den Code geben kann. Dies ist unter anderem bei allen Sprachen die Bytecode verwenden der Fall. Hier könnte mit ASM das übersetzte Programm stark umgebaut werden ohne die eigentliche Funktionalität zu ändern. Mit Hilfe von Sprüngen quer durch den Code und dem potenziellen kleinen Veränderungen der Aufruf-Struktur sollten herkömmliche Decompiler nicht mehr

in der Lage sein sinnvollen Code daraus zu erzeugen. Allerdings muss dabei stark darauf geachtet werden die Funktionalität wirklich nicht ein zu schränken und der Speicher verbraucht sowie die Laufzeit ändern sich wahrscheinlich.

Eine der Veränderungen die hierbei durchgeführt werden können, aber die Laufzeit potenziell verbessern, sind „Makros“. Dies könnte als Annotation an statischen Methoden realisiert werden. Aufrufe dieser werden durch den Inhalt der Methode ersetzt, um den Kontextwechsel zu vermeiden und Potenziell das Laden der Utility-Klasse gänzlich unnötig zu machen.

Genau gegensätzlich dazu, könnten unsichtbarer Code erstellt werden. Dies wären Klassen mit leeren Methoden, deren Code beim laden generiert wird. In der Verwendung wäre ein Unterschied nicht erkennbar, jedoch bietet es eine denkbare alternative zu klassischen Code-Generatoren.

Alle diese Mittel, welche schwer Nachvollziehbaren Code erzeugen, können auch bei der Erstellung von Aufgaben für Wettbewerbe verwendet werden. Hier könnte eine Reversing-Aufgabe, welche sonst meist nur aus Maschinencode besteht, in Form von komplexem Bytecode erfolgen, welcher weiteren Code generiert der das eigentliche Programm darstellt. So könnte eine große Verschachtlung erstellt werden, welche einer Herausforderung zum entschlüsseln darstellt.

# Abbildungsverzeichnis

# Listings

2.1	Anfänger Programm mit Problem in Schleife . . . . .	5
2.2	Anfänger Programm mit Problem bei Variable . . . . .	6
4.1	Hilfe Ausgabe mit Parametererklärung . . . . .	12
4.2	Parameter des individuellen Class-Loader . . . . .	14
4.3	Beispiel Aufruf mit einem Agent . . . . .	16

# Tabellenverzeichnis

# Literaturverzeichnis

- [ASM, 2016] ASM (2016). Asm license. <http://asm.ow2.org/license.html>. Letzter Zugriff am 11 August, 2016.
- [Duncan, 2014] Duncan (2014). How do i pass arguments to a java instrumentation agent? <http://stackoverflow.com/questions/23287228/how-do-i-pass-arguments-to-a-java-instrumentation-agent>. Letzter Zugriff am 16 August, 2016.
- [Guo, 2016] Guo, P. (2016). Python tutor. <http://pythontutor.com/>. Letzter Zugriff am 21 August, 2016.
- [Oracle, 2016] Oracle (2016). Java™ debug interface. <https://docs.oracle.com/javase/8/docs/jdk/api/jpda/jdi/>. Letzter Zugriff am 21 August, 2016.
- [Puls, 2014] Puls, A. (2014). Diving into bytecode manipulation: Creating an audit log with asm and javassist. <https://blog.newrelic.com/2014/09/29/diving-bytecode-manipulation-creating-audit-log-asm-javassist/>. Letzter Zugriff am 16 August, 2016.
- [Sutinen, 2007] Sutinen, E. (2007). Jeliot 3. <http://cs.joensuu.fi/jeliot/description.php>. Letzter Zugriff am 21 August, 2016.
- [Ullenboom, 2010] Ullenboom, C. (2010). *Java ist auch eine Insel*. Galileo Press GmbH, 8 edition.
- [Wikipedia, 2015] Wikipedia (2015). Bytecode. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bytecode>. Letzter Zugriff am 21 August, 2016.
- [Wikipedia, 2016a] Wikipedia (2016a). Apache-lizenz. <https://de.wikipedia.org/wiki/Apache-Lizenz>. Letzter Zugriff am 12 August, 2016.
- [Wikipedia, 2016b] Wikipedia (2016b). Bsd-lizenz. <https://de.wikipedia.org/wiki/BSD-Lizenz>. Letzter Zugriff am 12 August, 2016.

[Wikipedia, 2016c] Wikipedia (2016c). European union public licence. <https://de.wikipedia.org/wiki/European>Letzter Zugriff am 12 August, 2016.

[Wikipedia, 2016d] Wikipedia (2016d). Gnu general public license. <https://de.wikipedia.org/wiki/GNU>Letzter Zugriff am 12 August, 2016.

[Wikipedia, 2016e] Wikipedia (2016e). Gnu lesser general public license. <https://de.wikipedia.org/wiki/GNU>Letzter Zugriff am 12 August, 2016.

[Wikipedia, 2016f] Wikipedia (2016f). Tracing (software). <https://en.wikipedia.org/wiki/Tracing>Letzter Zugriff am 12 August, 2016.