

# Bachelorthesis

## Konzeption und Entwicklung eines Auswertungstools für die Log Files des JRockit Garbage Collectors

von

Raffael Schmid

Schule: Hochschule für Technik, Zürich  
Betreuer: Mathias Bachmann  
Experte: Marco Schaad  
Zeitraum: 22. Juni 2011 - 22. Dezember 2011

# Zusammenfassung

# Inhaltsverzeichnis

<b>I</b>	<b>Projektbeschreibung</b>	<b>6</b>
<b>1</b>	<b>Aufgabenstellung</b>	<b>7</b>
1.1	Ausgangslage . . . . .	7
1.2	Ziele der Arbeit . . . . .	7
1.3	Aufgabenstellung . . . . .	7
1.4	Erwartete Resultate . . . . .	8
1.5	Geplante Termine . . . . .	8
<b>II</b>	<b>Umsetzung</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Analyse der Aufgabenstellung</b>	<b>10</b>
2.1	Übersicht . . . . .	10
2.1.1	Erarbeitung der Grundlagen Bereich der Garbage Collection	10
2.1.2	Stärken- / Schwächen-Analyse der bestehenden Rich Client Frameworks . . . . .	11
2.1.3	Durchführung einer Anforderungsanalyse für den Software-Prototypen . . . . .	11
2.1.4	Auswahl der zu verwendenden Frameworks . . . . .	11
2.1.5	Konzeption und Implementation . . . . .	11
2.1.6	Bewertung . . . . .	11
<b>3</b>	<b>Grundlagen Garbage Collection</b>	<b>12</b>
3.1	Funktionsweise . . . . .	12
3.1.1	Reference counting[2, S. 77] . . . . .	13
3.1.2	Tracing techniques[2, S. 77] . . . . .	13
3.2	Ziele der Garbage Collection[6, S. 4] . . . . .	13
3.3	Eingliederung von Garbage Collection Algorithmen[6, S. 5] . . . .	14
3.3.1	Serielle versus Parallele Collection . . . . .	14
3.3.2	Konkurrierend versus Stop-the-World . . . . .	14
3.3.3	Kompaktierend, Kopierend . . . . .	14
3.4	Grundlegende Algorithmen . . . . .	14
3.4.1	Mark & Sweep Algorithmus[5] . . . . .	14
3.4.2	Mark & Copy Algorithmus[5] . . . . .	15

3.4.3	Mark & Compact Algorithmus[4]	15
3.4.4	Tri-Coloring Mark and Sweep	15
3.5	Generational Garbage Collection	16
<b>4</b>	<b>Garbage Collection in der Oracle JRockit Virtual Machine</b>	<b>18</b>
4.1	Grundlage	18
4.1.1	Old Collection	18
4.1.2	Intergenerationale Referenzen	19
4.2	Übersicht der Garbage Collection Algorithmen auf der JRockit Virtual Machine	20
4.3	Garbage Collection Log Dateien	22
4.3.1	Aktivierung Log Ausgaben	22
4.3.2	Log Module	25
<b>5</b>	<b>Anforderungsanalyse</b>	<b>26</b>
5.1	Einleitung	26
5.1.1	Zweck	26
5.1.2	Systemumfang	26
5.1.3	Stakeholder	28
5.1.4	Glossar	29
5.1.5	Referenzen	29
5.1.6	Übersicht	29
5.2	Allgemeine Übersicht	29
5.2.1	Architekturbeschreibung	29
5.2.2	Nutzer und Zielgruppen	29
5.2.3	Randbedingungen	30
5.2.4	Annahmen	30
5.3	Use Cases	30
5.3.1	Systemfunktionalität	30
5.3.2	Use Cases Entwickler	31
5.3.3	Use Cases Entwickler	39
5.4	Funktionale Anforderungen	40
5.5	Qualitätsanforderungen	43
5.5.1	Software	43
5.5.2	Basisframework	44
<b>6</b>	<b>Auswahl Frameworks und Komponenten</b>	<b>45</b>
6.1	Rich Client Frameworks	45
6.1.1	Übersicht	45
6.1.2	Auswertung Rich Client Frameworks	46
6.1.3	Entscheid	47
<b>7</b>	<b>Konzept</b>	<b>48</b>
7.1	Allgemeines	48
7.1.1	Zweck	48
7.1.2	Ausgangslage	48

7.2	Umgebung . . . . .	48
7.2.1	Lizenzierung . . . . .	48
7.2.2	Build-Automation . . . . .	49
7.2.3	Continuous Integration . . . . .	49
7.2.4	Versionskontrolle . . . . .	50
7.2.5	Issue Tracker . . . . .	50
7.2.6	Installation der Software . . . . .	50
7.3	Übersicht . . . . .	51
7.3.1	Architektur . . . . .	51
7.3.2	Projektstruktur . . . . .	51
7.3.3	Internationalisierung (I18n) . . . . .	53
7.3.4	Hilfesystem . . . . .	53
7.3.5	Testing . . . . .	53
7.4	Basissoftware (Core) . . . . .	54
7.4.1	Ablauf Garbage Collection Analyse . . . . .	54
7.4.2	Profilverwaltung . . . . .	55
7.5	JRockit Erweiterung (JRockit Extension) . . . . .	56
7.5.1	Parsen JRockit Garbage Collection Log Datei . . . . .	56
7.5.2	JRockit Garbage Collection . . . . .	57
7.5.3	Zusammenfassung der Daten . . . . .	60
7.5.4	Charts . . . . .	61
<b>8</b>	<b>Implementation</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Review</b>	<b>63</b>
	<b>Glossar</b>	<b>64</b>
	<b>Abkürzungen</b>	<b>66</b>
	<b>Listings</b>	<b>68</b>
	<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>69</b>
	<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>70</b>
<b>III</b>	<b>Anhang</b>	<b>71</b>

# Einleitung

TODO

Teil I

Projektbeschreibung

# Kapitel 1

## Aufgabenstellung

### 1.1 Ausgangslage

Für die Ermittlung von Java Performance-Problemen braucht es Wissen über die Funktionsweise der Java Virtual Machine (JVM), deren Ressourcenverwaltung (Speicher, I/O, CPU) und das Betriebssystem. Die Verwendung von Tools zur automatisierten Auswertung der Daten kann in den meisten Fällen sehr hilfreich sein. Die Auswertung von Garbage Collection Metriken kann im laufenden Betrieb durch Profiling (online) gemacht werden, sie ist aber bei allen JVMs auch via Log-Datei (offline) möglich. Die unterschiedlichen Charakteristiken der Garbage Collectors bedingen auch unterschiedliche Auswertungs- und Einstellungsparameter. JRockit ist die Virtual Machine des Weblogic Application Servers und basiert entsprechend auch auf anderen Garbage Collector Algorithmen als die der Sun VM. Aktuell gibt es noch kein Tool, welches die Daten der Logs sammelt und grafisch darstellt.

### 1.2 Ziele der Arbeit

Ziel der Bachelorthesis ist die Konzeption und Entwicklung eines Prototypen für die Analyse von Garbage Collection Log Dateien der JRockit Virtual Machine. Die Software wird mittels einer Java Rich Client Technologie implementiert. Zur Konzeption werden die theoretischen Grundlagen der Garbage Collection im Allgemeinen und der JRockit Virtual Machine spezifisch erarbeitet und zusammengestellt.

### 1.3 Aufgabenstellung

Im Rahmen der Bachelorthesis werden vom Studenten folgende Aufgaben durchgeführt:



1. Studie der Theoretischen Grundlage im Bereich der Garbage Collection (generell und spezifisch JRockit Virtual Machine)
2. Stärken- / Schwächen-Analyse der bestehende Rich Client Frameworks (Eclipse RCP Version 3/4, Netbeans)
3. Durchführung einer Anforderungsanalyse für einen Software-Prototyp.
4. Auswahl der zu verwendenden Frameworks
5. Konzeption und Spezifikation des Software-Prototypen (auf Basis des ausgewählten Rich Client Frameworks), der die ermittelten Anforderungen erfüllt.
6. Implementation der Software
7. Bewertung der Software auf Basis der Anforderungen

## 1.4 Erwartete Resultate

Die erwarteten Resultate dieser Bachelorthesis sind:

1. Detaillierte Beschreibung der Garbage Collection Algorithmen der Java Virtual Machine im Generellen und spezifisch der JRockit Virtual Machine.
2. Analyse über Stärken und Schwächen der bestehenden (state of the art) Java Rich Client Technologien
3. Anforderungsanalyse des Software Prototyps
4. Dokumentierte Auswahlkriterien und Entscheidungsgrundlagen
5. Konzept und Spezifikation der Software
6. Lauffähige, installierbare Software und Source-Code
7. Dokumentierte Bewertung der Implementation

## 1.5 Geplante Termine

Kick-Off:	Juni 2011
Design Review:	August 2011
Abschluss-Präsentation:	Ende November 2011

# Teil II

## Umsetzung

# Kapitel 2

## Analyse der Aufgabenstellung

### 2.1 Übersicht

Wie in der Aufgabenstellung definiert, ist das Ziel dieser Arbeit die Konzeption und Implementation einer Analysesoftware für die Garbage Collection Log Dateien der JRockit Virtual Machine. Grundlegendes Ziel einer solchen Software ist es, die anfallende grosse Menge an Daten übersichtlich darzustellen und verschiedene Sichten auf diese Daten zu ermöglichen. Um die Anforderungen an diese Software zu ermitteln, ist ein die Studie der Grundlagen der Garbage Collection und im spezifischen die der JRockit Virtual Machine notwendig. Anschliessend wird eine Stärken-/Schwächen-Analyse der bestehenden Richt-Client Frameworks gemacht, aufgrund welcher nach der Aufnahme der Anforderungen der Entscheid für das zu verwendende Framework getroffen werden kann. Im Anschluss an diese Tätigkeiten folgt die Konzeption und Implementation der Software. Die genauere Untersuchung der einzelnen Teilaufgaben wird in den folgenden Abschnitten gemacht:

#### 2.1.1 Erarbeitung der Grundlagen Bereich der Garbage Collection

Die Erarbeitung der Grundlagen dient als Basis in zwei Bereichen:

- **Anforderungsanalyse:** Aus Sicht des Analysten respektive dem Benutzer dieser Software ist es essentiell, dass er die richtigen Daten der Garbage Collection, die richtige Sicht auf diese Daten und die richtigen Filter-Funktionen vorfindet. Voraussetzung für diese Anforderungen sind die Kenntnisse der verschiedenen Garbage Collection Algorithmen im Generellen und spezifisch die der JRockit Virtual Machine.
- **Konzept:** Die Konzeption des Domänen-Modells und des Einlese-Prozesses

der Log Dateien bedingt eine genaue Kenntnis der verschiedenen Strategien und Formaten der Ausgaben.

### 2.1.2 Stärken- / Schwächen-Analyse der bestehenden Rich Client Frameworks

Aus unterschiedlichen Gründen ist es sinnvoll, die Applikation als einen Rich Client zu implementieren. Als Basis kommen entweder die Netbeans- oder die Eclipse-Plattform in Frage. Die Stärken- und Schwächen-Analyse soll den Entscheid für die eine dieser Plattform begründen.

### 2.1.3 Durchführung einer Anforderungsanalyse für den Software-Prototypen

Die Anforderungen werden zusammen mit einem Performance-Analysten ermittelt und nach [8, 4.3.2 Angepasste Standardinhalte] dokumentiert. Laut dem IEEE<sup>1</sup> und [8, 4.5 Qualitätskriterien für das Anforderungsdokument] müssen Anforderungen folgende Kriterien erfüllen:

- Eindeutigkeit und Konsistenz
- Klare Struktur
- Modifizierbarkeit und Erweiterbarkeit
- Vollständigkeit
- Verfolgbarkeit

### 2.1.4 Auswahl der zu verwendenden Frameworks

Basierend auf der Stärken-/Schwächen-Analyse wird ein Entscheid für das jeweilige Framework gewählt. Nebst der Auswahl der Rich Client Plattform muss auch ein Entscheid hinsichtlich Charting-Bibliothek gefällt werden.

### 2.1.5 Konzeption und Implementation

Basierend auf den Anforderungen wird das Konzept erstellt und anschliessend die Software implementiert.

### 2.1.6 Bewertung

Die Bewertung der Software wird auf Basis der Anforderungen gemacht.

---

<sup>1</sup>Institute of Electrical and Electronic Engineers

## Kapitel 3

# Grundlagen Garbage Collection

Schon seit den ersten Programmiersprachen ist das Aufräumen von verwendeten Ressourcen / Speicher ein wichtiges Thema. Im Unterschied zu den ersten Sprachen, bei denen das Memory Management in der Verantwortung des Entwicklers war (explizit), findet allerdings das Recycling von Memory bei Sprachen der dritter Generation automatisch statt und macht Operatoren wie “free” unwichtig. Bei Formen dieser automatischen Speicherverwaltung spricht man von Garbage Collection<sup>1</sup>. In den meisten neueren Laufzeitumgebungen spricht man zusätzlich von adaptivem Memory Management was bedeutet, dass Feedback der Laufzeitumgebung zur Anpassung der Garbage Collection Strategie verwendet wird. Probleme die nur beim expliziten Memory Management auftreten sind Dangling References/Pointers<sup>2</sup> und Space Leaks<sup>3</sup>. Trotzdem sind Memory Leaks auch bei automatischer Speicherverwaltung noch möglich, nämlich dann wenn Memory noch referenziert wird, auch wenn es schon nicht mehr gebraucht wird. Der folgende Abschnitt beschreibt die Grundlagen der Java Garbage Collection und geht im zweiten Teil auf die spezifischen Eigenheiten der JRockit Virtual Machine ein.

### 3.1 Funktionsweise

Alle Techniken der Garbage Collection zielen darauf ab, die “lebenden” von den “toten” Objekten im Speicher zu unterscheiden. Sprich, es müssen die Objekte gefunden werden, welche innerhalb der Software oder des Systems nicht mehr referenziert werden. Die aktuellen Strategien lassen sich laut[2, S. 77] in zwei

---

<sup>1</sup>vom englischen Wort “garbage collector” für Müll-, Abfallsammler

<sup>2</sup>Man spricht von Dangling Pointers oder Dangling References, wenn ein Pointer auf ein Objekt im Memory freigegeben wurde, obwohl es noch gebraucht wird.

<sup>3</sup>Man spricht von Space Leaks, wenn Memory alloziert und nicht mehr freigegeben wurde, obwohl es nicht mehr gebraucht wird.[6]

unterschiedliche Familien aufteilen: “Reference Counting” und “Tracing techniques”.

### 3.1.1 Reference counting[2, S. 77]

Beim Reference counting behält die Laufzeitumgebung jederzeit den Überblick, wie viele Referenzen auf jedes Objekt zeigen. Sobald die Anzahl dieser Referenzen auf 0 gesunken ist, wird das Objekt für die Garbage Collection freigegeben. Trotzdem der Algorithmus relativ effizient ist, wird er aufgrund der folgenden Nachteile nicht mehr verwendet:

- Sofern zwei Objekte einander referenzieren (zyklische Referenz), wird die Anzahl Referenzen nie 0.
- Es ist relativ aufwendig, die Anzahl Referenzen immer auf dem aktuellsten Stand zu halten, insbesondere in nebenläufigen Systemen.

### 3.1.2 Tracing techniques[2, S. 77]

Bei den Tracing Techniken werden von vor jeder Garbage Collection die Objekte gesucht, auf welche aktuell noch eine Referenz zeigt. Die anderen werden zur Garbage Collection freigegeben. Diese Art von Garbage Collection Algorithmen verwenden ein Set von Objekten, bestehend aus den Stacks und Registern der aktuellen Threads und globalen Daten wie “static final” variablen, als Startpunkt für die zu markierenden Objektgraphen.

## 3.2 Ziele der Garbage Collection[6, S. 4]

Garbage Collectors unterliegen grundsätzlich folgenden zwei Bedingungen:

- **Sicherheit:** Garbage Collectors dürfen nur Speicher/Objekte freigeben, der effektiv nicht mehr gebraucht wird,
- **Umfassend:** Garbage Collectors müssen Speicher/Objekte die nicht mehr gebraucht werden nach wenigen Garbage Collection Zyklen freigeben haben.

Wünschenswert für Garbage Collection Algorithmen sind folgende Punkte:

- **Effizienz:** Die Anwendung soll vom laufenden Garbage Collector möglichst wenig mitkriegen: keine langen Pausen<sup>4</sup>, möglichst wenig verwendete Ressourcen<sup>5</sup>
- **Fragmentierung:** Zwecks schneller Allokation von Speicher sollte der Speicher möglichst wenig

---

<sup>4</sup>man spricht von Stop-the-World wenn zwecks Garbage Collection die Anwendung gestoppt wird und ihr damit keine Ressourcen zur Verfügung stehen

<sup>5</sup>Ressourcen der CPU sollen der Anwendung zur Verfügung gestellt werden und nicht für Garbage Collection verwendet werden.

### 3.3 Eingliederung von Garbage Collection Algorithmen[6, S. 5]

Bei der Selektion von Garbage Collection Algorithmen gibt es verschiedene entscheidende Kriterien:

#### 3.3.1 Serielle versus Parallele Collection

Eine Multi-Core Maschine ist eine mit mindestens 2 Prozessorkernen. Sofern ein paralleler Algorithmus verwendet wird, besteht auf diesen auch die Möglichkeit, auch die Garbage Collection zu parallelisieren. Meistens bringt dies zwar einen kleinen Overhead mit sich, wirkt sich aber trotzdem in einer Verkürzung der Garbage Collection Zeit aus.

#### 3.3.2 Konkurrierend versus Stop-the-World

Wenn aufgrund der Garbage Collection der Heap der Laufzeitumgebung blockiert (freeze) werden muss, führt das implizit zum Stopp (Stop-the-World) der Anwendung.

#### 3.3.3 Kompaktierend, Kopierend

Fragmentierung ist ein eigentlich nicht wünschenswertes Resultat der Garbage Collection. Sie tritt dann auf, wenn Algorithmen verwendet werden die den Heap im Anschluss an die Speicherfreigabe weder kompaktieren noch die lebenden Objekte in einen anderen Bereich aneinanderliegend kopieren.

## 3.4 Grundlegende Algorithmen

Der Prozess der Garbage Collection beginnt bei allen Algorithmen mit der Marking-Phase. Für jedes Objekt des Root Sets<sup>6</sup> werden rekursiv die transitiv abhängigen Objekte auf dem Heap bestimmt. Das hat zum Ziel, dass man aufgrund des Resultats die nicht mehr referenzierten (löschbaren) Objekte herausfinden kann.

#### 3.4.1 Mark & Sweep Algorithmus[5]

Beim Mark & Sweep Algorithmus wird nach der oben beschriebenen Mark-Phase der Speicher der nicht mehr referenzierten Objekte freigegeben. In den meisten Implementationen bedeutet dies das Einfügen dieses Objekts in eine sogenannte Free-List.

---

<sup>6</sup>Objekte im Heap die aus den Call-Stacks der aktuellen Threads referenziert werden, globale ("static final" definierte) Variablen mit Referenzen auf den Heap)

### Nachteil dieses Algorithmus

Der zwar simple Mark & Sweep Algorithmus hat den Nachteil, dass eine Freigabe dieser Speicherlöcher zu einer Fragmentierung des Speichers führt. Ein fragmentierter Speicher ist deshalb nicht wünschenswert, weil es für den Allokator immer schwieriger wird, die Speicherlöcher zu füllen. In einem solchen Fall kann es bis zu einer `OutOfMemoryException` führen, wenn zwar insgesamt genügend Memory frei ist, allerdings nicht genügend am Stück.

### 3.4.2 Mark & Copy Algorithmus[5]

Ein alternativer Algorithmus bei dem der Heap nach der Garbage Collection nicht fragmentiert ist, ist der Mark & Copy Algorithmus. Bei diesem wird der Heap in einen “from space” und einen “to space” unterteilt. Objekte die noch immer am Leben sind, werden im Anschluss an die Markierung vom “from space” in den “to space” kopiert. Die Allokation von Speicher ist im Anschluss mit grosser Effizienz möglich, weil der Heap nach der Garbage Collection nicht fragmentiert ist.

### 3.4.3 Mark & Compact Algorithmus[4]

In gewissen Situationen respektive für die unterschiedliche Lebensdauer der Objekte (siehe Generational Garbage Collection) macht es Sinn, unterschiedliche Algorithmen einzusetzen: Mark & Compact ist ein Algorithmus, bei welchem nach der Markierungs-Phase und der Elimination der “toten” Objekte eine Kompaktierung des Speichers stattfindet. Das hat ebenfalls den Vorteil, dass im Gegensatz zu Mark & Copy nicht der doppelte Speicher benötigt wird, ist allerdings relativ Ressourcen-intensiv.

### 3.4.4 Tri-Coloring Mark and Sweep

Eine Variante des Mark & Sweep Algorithmus die sich besser parallelisieren lässt ist der Tri-Coloring Mark & Sweep Algorithmus. [2, S. 79]. Im Gegensatz zur normalen Version des Mark & Sweep Algorithmus wird anstelle eines Mark-Flags ein ternärer Wert genommen der den Wert “weiss”, “grau” und “schwarz” annehmen kann. Der Status der Objekte wird in drei Sets nachgeführt. Das Ziel des Algorithmus ist es, alle weissen Objekte zu finden. Schwarze Objekte sind die, die garantiert keine weisse Objekte referenzieren und die Grauen sind die, bei denen noch nicht bekannt ist, was sie referenzieren. Der Algorithmus funktioniert folgendermassen:

1. Als erstes haben alle Objekte das Flag weiss.
2. Die Objekte des Root-Sets werden grau markiert.
3. Solange es graue Objekte hat, werden rekursiv die Nachfolger dieser Objekte grau markiert.



4. Sobald alle Nachfolger des Objekts grau markiert sind, wird das aktuelle Objekt auf den Status schwarz geändert.

Das Prinzip des Tri-Coloring Mark & Sweep Algorithmus ist folgende Invariante: **Kein schwarzes Objekt zeigt jemals direkt auf ein Weisses.** Sobald es keine grauen Objekte mehr gibt - sprich das Set der grauen Objekte leer ist, können die weissen Objekte gelöscht werden.

### 3.5 Generational Garbage Collection

In der Regel gibt es innerhalb einer Anwendung unterschiedliche Altersgruppen von Objekten und wir können die Objekte in Short Living, Medium Living und Long Living Objekte kategorisieren. Es gibt viele Objekte die nicht lange leben, zum Beispiel Objekte welche die Lebensdauer einer Methode haben, und wenige Objekte die lange Leben, wie zum Beispiel Daten in einem Applikations-Level Cache. Aus diesem Grund ist es oft sinnvoll, die Garbage Collection an die entsprechende Lebensdauer der Objekte anzupassen.

Je nach Implementation wird der Heap in unterschiedliche Speicherbereiche aufgeteilt. Bei der Oracle HotSpot Virtual Machine sieht dies folgendermassen aus[3]:

- **Young Collection:** Die Young Collection ist nochmals unterteilt in Eden Space (Bereich für neue Objekte) und zwei Survivor Spaces ("from-space als aktiver Bereich, "to-space als der Bereich in den die Objekte nach einer Collection kopiert werden)
- **Old Collection:** In der Old Collection befinden sich die Objekte, die eine gewisse Anzahl an Young-Generation Collections (Minor Collections) überlebt haben und dann in den Bereich der alten Objekte befördert (Promotion) wurden.
- **PermGen:** Der PermGen Bereich ist keine Generation, sondern ein Non-Heap-Bereich, und wird von der VM für eigene Zwecke verwendet. Dieser Bereich ist eine Eigenheit der Oracle HotSpot Virtual Machine. Hier werden beispielsweise Class-Objekte inklusive Bytecode für alle geladenen Klassen und JIT-Informationen<sup>7</sup>. gespeichert.

Die JRockit Virtual Machine unterteilt die Bereiche folgendermassen:

- **Nursery**<sup>8</sup>: Die Nursery entspricht der Young Collection der HotSpot Virtual Machine und ist der Bereich der jungen Objekte. Bei JRockit ist es möglich, eine zusätzliche Keep-Area innerhalb der Nursery zu haben. Diese Keep-Area ist der Platz der Objekte mittlerer Lebensdauer. Ein Objekt wird also zuerst von der Nursery in die Keep-Area promoted - was

<sup>7</sup>Die Just-in-Time (Kompilierung) führt zu einer Veränderung respektive Optimierung des Bytecodes.

<sup>8</sup>Nursery bedeutet im übertragenen Sinn Kindergarten

den Vorteil hat, dass es wenn nicht mehr referenziert immer noch einer Young Collection unterliegt - erst dann gelangt es nach einer nochmaligen Young-Garbage-Collection in die Old Collection.

- **Old Generation:** Die Old Generation beinhaltet wie bei der HotSpot Virtual Machine die Objekte mit langer Lebensdauer.

Für weitere Details zu den JRockit Garbage Collection Eigenheiten siehe Kapitel Garbage Collection in der Oracle JRockit Virtual Machine.

## Kapitel 4

# Garbage Collection in der Oracle JRockit Virtual Machine

### 4.1 Grundlage

Die Grundlage der JRockit Garbage Collection bildet der Tri-Coloring Mark & Sweep Algorithmus (siehe Abschnitt Tri-Coloring Mark and Sweep). Er wurde hinsichtlich besserer Parallelisierbarkeit und der optimalen Verwendung der Anzahl Threads optimiert. Die Garbage Collection der JRockit VM kann mit oder ohne Generationen arbeiten - so gibt es die beiden Algorithmen “Concurrent Mark & Sweep” und “Parallel Mark & Sweep” in beiden Ausführungen Generational und Single:

- Generational Concurrent Mark & Sweep
- Single Concurrent Mark & Sweep
- Generational Parallel Mark & Sweep
- Single Parallel Mark & Sweep

#### 4.1.1 Old Collection

Im Unterschied zum normalen Tri-Coloring Algorithmus verwendet der Algorithmus der JRockit, egal ob parallel oder concurrent, zwei Sets für die Markierung der Objekte. In einem werden die grauen und schwarzen Objekte gespeichert, im anderen die weissen. Die Trennung zwischen Grau und Schwarz wird gemacht indem die grauen Objekte in Thread-Local Queues jedes Garbage Collection Threads gespeichert werden.

Die Verwendung von Thread-lokalem Speicher hat hinsichtlich den folgenden Punkten einen Vorteil:[2, S. 79]:

- Thread-lokaler Speicher führt zu einer besseren Parallelisierbarkeit.
- Thread-lokaler Speicher kann prefetched werden, was die Geschwindigkeit des Algorithmus als Ganzes erhöht.

Bei der Verwendung der Concurrent Algorithmen - bei welcher die Garbage Collection neben der Anwendung statt findet - werden logischerweise auch nebenbei von der Applikation neue Objekte erzeugt. Diese neuen Objekte werden in einem sogenannten Live-Set getrackt.

#### 4.1.2 Intergenerationale Referenzen

Die Idee der Generational Garbage Collection ist, dass zumindest während einer Young Collection nur ein Teilbereich des Heaps aufgeräumt wird. Während der Mark-Phase einer Young Collection werden also Referenzen in die Old Collection nicht verfolgt. Problematisch bei diesem Vorgehen ist, dass es eventuell Referenzen aus der Old Generation in die Young Generation gibt, aufgrund welcher man die Objekte im Young Space nicht löschen darf. Dieses Szenario kann auf zwei unterschiedliche Wege passieren:

- **Ein Objekt wird durch eine Promotion von der Young Generation in die Old Generation verschoben.** Diesen Vorgang merkt sich der Garbage Collector in einem **Remembered Set**.
- **Es findet eine Zuweisung der Referenz durch die Applikation statt.** Diese Problematik wird durch Write Barriers und der Aufteilung des Heaps in sogenannte Cards<sup>1</sup> Bei der Änderung einer Variablen respektive einer Referenz die dann vom Tenured Space auf den Young Space zeigen soll, wird auf der Card in welchem diese Änderung statt findet das "Dirty Bit" gesetzt. Objekte innerhalb von dirty Cards werden nach der Markierungsphase nochmals überprüft.

#### Concurrent Mark & Sweep

Beim Concurrent Mark & Sweep handelt es sich eigentlich um einen Mostly Concurrent Mark & Sweep Algorithmus. Das heisst er findet nicht in allen Phasen konkurrierend zur Applikation statt. Die Markierung dieses Algorithmus ist in vier Phasen aufgeteilt:

- **Initial Marking (Nicht konkurrierend):** Hier wird das Root Set zusammengestellt.
- **Concurrent Marking (konkurrierend):** Mehrere Threads gehen nun diesen Referenzen nach und markieren Sie als lebende Objekte.
- **Preclean (konkurrierend):** Änderungen im Heap während den vorherigen Schritten werden nachgeführt, markiert.

---

<sup>1</sup>Eine Card ist typischerweise ein ungefähr 512 Byte grosser Bereich auf dem Heap.

- **Final Marking (Nicht konkurrierend):** Änderungen im Heap während der Precleaning Phase werden nachgeführt, markiert.

Die Sweep Phase findet ebenfalls konkurrierend zur Applikation statt. Im Gegensatz zur HotSpot VM findet es in zwei separaten Schritten statt. Als erstes wird die erste Hälfte des Heaps von toten Objekten befreit. Während dieser Phase können Threads Speicher in der zweiten Hälfte des Heaps allozieren. Nach einer kurzen Synchronisationspause findet das Sweeping auf dem zweiten Teil des Heaps statt, wieder gefolgt von einer Synchronisationspause.

### Parallel Mark & Sweep

Beim parallelen Mark & Sweep findet die Garbage Collection parallel mit allen verfügbaren Prozessoren statt. Dazu werden aber alle Threads der Applikation während dieser Zeit gestoppt.

### Kompaktierung

Aufgrund der im Speicher stattfindenden Fragmentierung wird bei jeder Old Collection eine Kompaktierung des Speichers durchgeführt. Zu Beginn der Sweep-Phase oder während werden dazu Objekte auf dem Heap umher kopiert, so dass danach wieder grössere Speicherbereiche zur Allokation frei stehen.

## 4.2 Übersicht der Garbage Collection Algorithmen auf der JRockit Virtual Machine

Die Entscheidung der Garbage Collection Strategie hängt von den Anforderungen der Applikation ab. Auf der JRockit VM gibt es drei verschiedene Modi:

- **Durchsatz (throughput):** Optimiert die Garbage Collection hinsichtlich möglichst grossem Durchsatz. Hier handelt es sich um Applikationen wie Batch-Systeme, etc. Um auf der Virtual Machine dieses Ziel zu erreichen, werden Parallele Algorithmen verwendet. Parallele Algorithmen laufen nicht-konkurrierend mit dem System in mehreren parallelen Threads. Das führt zwar zu kurzen Pausenzeiten für die Applikation, allerdings steht in der restlichen Zeit sehr viel Prozessor-Zeit zur Verfügung.
- **Pausenzeit (pause time):** Die Optimierung der Pausenzeit führt dazu, dass der Benutzer der Virtual Maschine keine langen Pausenzeiten bemerkt. Das ist insbesondere für Client-Server Applikationen notwendig. Wenn die JRockit Laufzeitumgebung auf möglichst kurze Pausenzeiten eingestellt ist, wird ein konkurrierender Garbage Collection Algorithmus verwendet, bei welchem es nur sehr wenige Stop-the-World Phasen gibt.
- **Determinismus (deterministic):** Optimiert den Garbage Collector auf sehr kurze und deterministische Garbage Collection Pausen.

Alias	Aktivierung	Beschreibung	Pause	Durchs.	Heap	Mark	Sweep
singlecon, singleconcon		Garbage Collection findet konkurrierend statt. Der Heap besteht nur aus einer Generation.	++	–	single	konk.	konk
gencon, genconcon	-Xgc:gencon -Xgc:genconcon	Neue Objekte kommen in die Nursery. Ist diese voll, werden die Le-benden in die Old Generation ver-schoben. Die Old Collection findet konkurrierend statt.	++	–	gen	konk.	konk.
singlepar, singleparpar		Wenn der Heap voll ist, wird bei ge-stoppter Applikation eine Garbage Collection des gesamten Heaps ge-macht.	–	++	single	parallel	parallel
genpar, genparpar	-Xgc:genpar	Objekte werden in der Nursery an-gelegt. Ist diese voll, wird bei ge-stoppter Applikation parallel eine Young Collection durchgeführt. Bei vollem Heap gibts eine volle Garbage Collection.	–	++	gen	parallel	parallel
genconpar	-Xgc:genconpar		+	+	gen	konk.	parallel
genparcon	-Xgc:genparcon		+	+	gen	parallel	konk.
singleconpar	-Xgc:singleconpar		+	+	single	konk.	parallel
singleparcon	-Xgc:singleparcon		+	+	single	parallel	konk.

Tabelle 4.1: Übersicht der Garbage Collection Algorithmen

Alias	Aktivierung	Beschreibung	Einstellungsmöglichkeiten
throughput	-Xgc:throughput	Der Garbage Collector wird auf maximalen Durchsatz der Applikation eingestellt. Er arbeitet so effektiv wie möglich und erhält entsprechend viele Java-Threads, was zu kurzen Pausen der Applikation führen kann.	
pausetime	-Xgc:pausetime	Der Garbage Collector wird auf möglichst kurze Pausen eingestellt. Das bedeutet, dass ein konkurrierender Algorithmus verwendet wird der insgesamt etwas mehr CPU Ressourcen benötigt.	-XpauseTarget=value (default 200msec)
deterministic	-Xgc:deterministic	Der Garbage Collector wird auf eine möglichst kurze und deterministische Pausenzeit eingestellt.	-XpauseTarget=value (default 30msec)

Tabelle 4.2: Übersicht der Garbage Collection Modi

### 4.3 Garbage Collection Log Dateien

Die Auswertung der Garbage Collection findet auf Basis der Garbage Collection Log Dateien statt. Das Format dieser Log Dateien hängt mitunter auch von den aktivierten Log-Modulen der JRockit Virtual Machine ab. Der Aufbau der Log Dateien und die in der Analyse verwendeten Daten werden in diesem Abschnitt genauer beleuchtet.

#### 4.3.1 Aktivierung Log Ausgaben

Defaultmässig macht die JRockit keine Angaben darüber, wie sie die Garbage Collection durchführt. Um an diese Informationen zu gelangen, muss das entsprechende Log-Module beim Start der Applikation aktiviert werden. Die Ausgaben werden dann auf die Standard Ausgabe geschrieben - können aber optional mit dem Argument `-Xverbose:logdatei.log` in eine Datei umgeleitet werden. Das Format für die Kommandozeile sieht folgendermassen aus:

```
1 -Xverbose:<modul>[=log_level]
```

Listing 4.1: Format Aktivierung Log Modul

Um das Memory Log Modul (gibt Informationen über die Garbage Collection aus) zu aktivieren:

```
1 -Xverbose:memory
```

Listing 4.2: Garbage Collection Log (Info)

Die Umleitung der Ausgaben in eine separate Log-Datei kann mit dem Flag `-Xverboselog;` `Datei-Namen`, eingestellt werden:

```
1 -Xverbose:memory -Xverboselog:gc.log
```

Listing 4.3: Garbage Collection Log (Info) - Umleitung in gc.log

Zusätzlich können mit der Angabe des Log-Levels die Ausgaben verfeinert werden:

```
1 -Xverbose:memory=debug -Xverboselog:gc.log
```

Listing 4.4: Garbage Collection Log (Debug) - Umleitung in gc.log



Die ersten paar Zeilen der Ausgaben des Memory Moduls im Log Level “info” ohne explizite Angabe der Garbage Collection Strategie<sup>2</sup> sehen folgendermassen aus:

```

1 [INFO ][memory ] GC mode: Garbage collection optimized for throughput, strategy: Generational Parallel Mark
  & Sweep.
2 [INFO ][memory ] Heap size: 65536KB, maximal heap size: 1048576KB, nursery size: 32768KB.
3 [INFO ][memory ] <start>-<end>: <type> <before>KB-><after>KB (<heap>KB), <time> ms, sum of pauses <pause>
  ms.
4 [INFO ][memory ] <start> - start time of collection (seconds since jvm start).
5 [INFO ][memory ] <type> - OC (old collection) or YC (young collection).
6 [INFO ][memory ] <end> - end time of collection (seconds since jvm start).
7 [INFO ][memory ] <before> - memory used by objects before collection (KB).
8 [INFO ][memory ] <after> - memory used by objects after collection (KB).
9 [INFO ][memory ] <heap> - size of heap after collection (KB).
10 [INFO ][memory ] <time> - total time of collection (milliseconds).
11 [INFO ][memory ] <pause> - total sum of pauses during collection (milliseconds).
12 [INFO ][memory ] Run with -Xverbose:gcpause to see individual phases.
13 [INFO ][memory ] [OC#1] 0.843-0.845: OC 428KB->78423KB (117108KB), 0.003 s, sum of pauses 1.614 ms, longest
  pause 1.614 ms.
14 [INFO ][memory ] [OC#2] 1.393-1.442: OC 78449KB->156488KB (233624KB), 0.049 s, sum of pauses 47.104 ms,
  longest pause 47.104 ms.
15 [INFO ][memory ] [YC#1] 1.494-1.496: YC 156524KB->156628KB (233624KB), 0.002 s, sum of pauses 1.670 ms,
  longest pause 1.670 ms.
16 [INFO ][memory ] [YC#2] 1.496-1.496: YC 156652KB->156755KB (233624KB), 0.001 s, sum of pauses 0.605 ms,
  longest pause 0.605 ms.
17 [INFO ][memory ] [YC#3] 1.497-1.497: YC 156780KB->156884KB (233624KB), 0.001 s, sum of pauses 0.602 ms,
  longest pause 0.602 ms.
18 [INFO ][memory ] [YC#4] 1.497-1.498: YC 156908KB->157011KB (233624KB), 0.001 s, sum of pauses 0.592 ms,
  longest pause 0.592 ms.

```

Listing 4.5: Garbage Collection Log (Debug) - Umleitung in gc.log

<sup>2</sup>JRockit Virtual Machine verwendet damit die Default-Einstellung: Optimierung auf maximalen Durchsatz

### 4.3.2 Log Module

Die folgende Tabelle beschreibt die für die Auswertung der Garbage Collection relevanten Module alphabetisch sortiert.

Modul	Beschreibung	Relevanz
alloc	Informationen betreffend Speicher Allokation und “Out-of-Memory”	niedrig
compaction	zeigt abhängig vom Garbage Collection Algorithmus Informationen zur Kompaktierung	niedrig
gcheuristic	zeigt Informationen und Entscheidungen zur Garbage Collection Heuristik	mittel
gcpause	zeigt aktuell welche Pausen durch die Garbage Collection entstanden sind und wie lange sie gedauert haben.	mittel
gcreport	zeigt verschiedene Auswertungen (Anzahl Collections, Anzahl promotete Objekte, maximal promotete Objekte per Zyklus, totale Zeit, Durchschnittszeit, Maximale Zeit) der Garbage Collection zum aktuellen Lauf	niedrig
memory	zeigt Informationen zum Memory Management System wie Start-, Endzeitpunkt der Collection, Speicher bevor, nach Collection, Grösse des Heaps, etc.	<b>hoch</b>
memdbg	zeit Informationen die für das Debugging von Themen im Bereich des Arbeitsspeichers relevant sein können	<b>hoch</b>
systemgc	zeigt Garbage Collections die durch System.gc() gestartet wurden.	niedrig

Tabelle 4.3: Beschreibung der verschiedenen relevanten Log Modulen

Die folgenden Log Level können aktiviert werden: quiet, error, warn, info, debug, trace. Für mehr Informationen siehe [7].

# Kapitel 5

## Anforderungsanalyse

### 5.1 Einleitung

#### 5.1.1 Zweck

Die Anforderungsanalyse dient als Basis für die folgenden Abschnitte:

- **Architektur und Konzept:** Die dokumentierten Anforderungen dienen als Grundlage für die Architektur des Systems und das Konzept.
- **Implementation:** Die Implementation der Anwendung richtet sich nach den ermittelten Anforderungen.
- **Verifikation:** Der implementierte Software-Prototyp wird anhand der in diesem Abschnitt ermittelten Anforderungen bewertet.

#### 5.1.2 Systemumfang

Der folgende Abschnitt beschreibt die wesentlichen Teile innerhalb des Systems und des Systemkontexts.

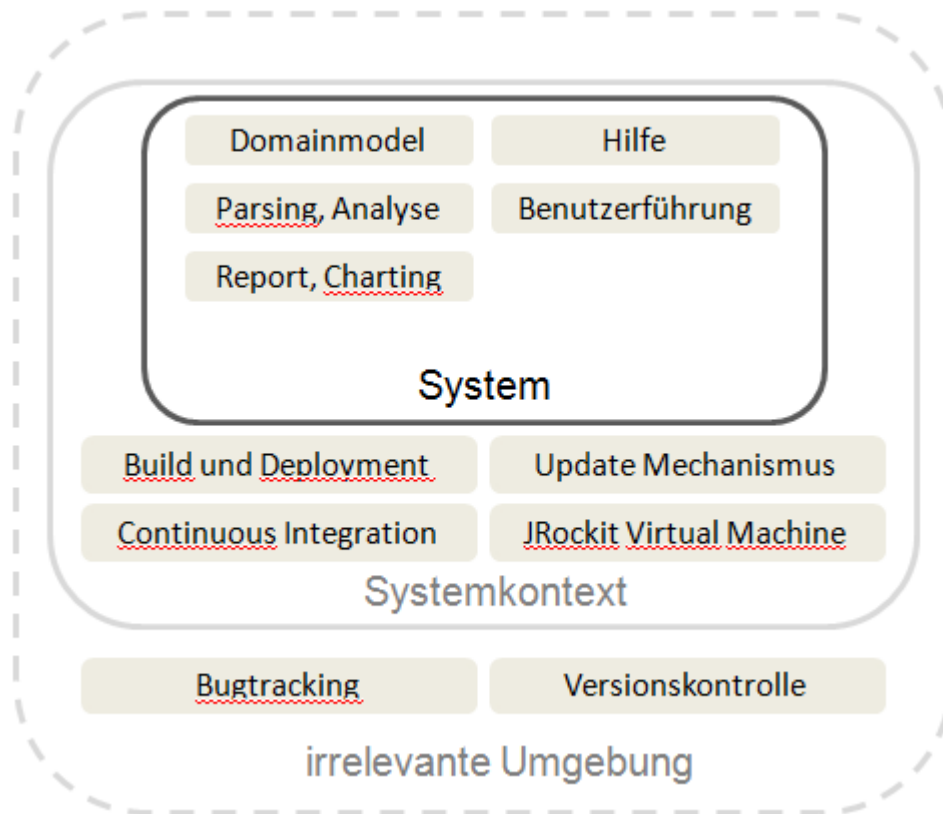


Abbildung 5.1: System und Systemkontext

### System

Das System besteht aus den Teilen Datenmodell, Domäne, Log Parsing, Garbage Collection Analyse, Report, Charting, Hilfesystem<sup>1</sup>, Benutzerführung.

### Systemkontext

Zum Systemkontext gehören folgende nicht veränderbare Komponenten:

- **Build und Deployment, Continuous Integration:** Der Build der Software für neue Updates oder Releases wird zentral auf einem Server durchgeführt. Der Source-Code wird aus der Versionskontrolle ausgecheckt, die binären Pakete werden gebildet, es wird ein für den jeweiligen Update-Mechanismus notwendiges Packet erstellt und auf den Update-Server gestellt.

<sup>1</sup>Dem Benutzer wird sowohl eine generelle wie auch eine kontextbezogene Hilfe angeboten.

- **Update Mechanismus:** Die Software wird in der Version 1.0 released. Anschliessend können Updates (Minor-, Major-Versionen) direkt - ohne den manuellen Download der Software - durchgeführt werden.
- **JRockit Virtual Machine:** Die Schnittstelle zur JRockit Virtual Machine findet über deren Log-Dateien statt. Die genauere Beschreibung befindet sich unter Garbage Collection Log Dateien.

### Irrelevante Umgebung

- **Bugtracking:** Sobald die Software stabil läuft und an Tester herausgegeben wird, wird für die Verwaltung der Fehler (Bugs) ein Bugtracker verwendet.
- **Versionskontrolle:** Der Source-Code der Applikation wird in einer Source-Code-Verwaltung abgelegt. Diese dient als Backup und zur Versionierung der einzelnen Artefakte. Die beiden Werkzeuge (Bugtracker, Versionskontrolle) arbeiten normalerweise eng zusammen, so dass Bug Fixes mit der eingetragenen Version in Verbindung bleiben.

### 5.1.3 Stakeholder

Für die Anforderungsanalyse sind nur die mit Asteriks gekennzeichneten Stakeholder-Rollen relevant. Die anderen Rollen können erst dann berücksichtigt werden, wenn die Software eine weitere Verbreitung wahrnehmen kann. Verschiedene Rollen können auch von einer Person wahrgenommen werden.

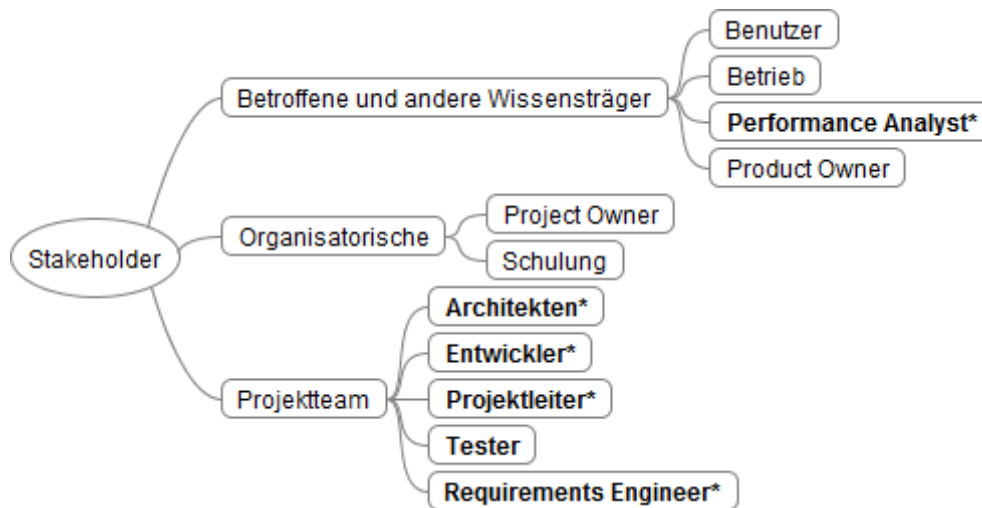


Abbildung 5.2: Übersicht der Stakeholder

#### 5.1.4 Glossar

Das Glossar befindet sich auf Seite 64.

#### 5.1.5 Referenzen

Die Referenzen innerhalb des Abschnitts Anforderungsanalyse befinden sich im Abschnitt Literaturverzeichnis.

#### 5.1.6 Übersicht

Die Anforderungsanalyse ist folgendermassen aufgebaut: Beginnen tut sie mit der Allgemeinen Übersicht. Hier sind Architektur, Nutzer- und Zielgruppen, Randbedingungen und Annahmen dokumentiert. Danach sind die Use Cases der Software beschrieben. Aus diesen leiten sich dann die funktionalen Anforderungen und schliesslich die Qualitätsanforderungen ab.

### 5.2 Allgemeine Übersicht

#### 5.2.1 Architekturbeschreibung

Die Software wird als Plugin programmiert. Der Entwickler kann sich die Software als Erweiterung in seiner Entwicklungsumgebung installieren. Sobald die Software installiert ist, wird für die Arbeit keine Verbindung ins Internet mehr benötigt. Die Applikation ist auf allen gängigen Betriebssystemen (Linux, Mac OSX, Windows) lauffähig.

#### 5.2.2 Nutzer und Zielgruppen

##### Performance Engineers

Normalerweise Software Entwickler die viel Erfahrung, Wissen, Fähigkeiten haben und über die entsprechenden Werkzeuge verfügen, um die Ursachen für Performance-Probleme zu finden. Dabei handelt es sich nicht nur um Wissen im Bereich der Softwareentwicklung, sondern auch im Bereich des Servers (Speicher Management, etc.), und des Betriebssystems (I/O<sup>2</sup>, etc.). Durch ihr breites Wissen sind sie mit der Unterstützung von Charts, Statistiken und Reports oft sehr schnell in der Lage, Ursache eines Performance Engpasses zu finden.

##### Java Entwickler

Im Gegensatz zu Performance Engineers beschäftigen sich Java Entwickler vor allem mit der Entwicklung von Anwendungen und verfügen nicht direkt über Knowhow im Bereich der Performance Analyse. Als gut ausgebildete Ingenieure sind sie aber mit Hilfe von Werkzeugen und Dokumentation in der Lage, Performance Problemen innert nützlicher First auf den Grund zu gehen.

---

<sup>2</sup>IO steht für Input/Output und betrifft Netzwerk wie auch Harddisk

### 5.2.3 Randbedingungen

Das Log-Format der JRockit Virtual Machine hat sich im Bereich des Memory Managements von der Version R27 auf die Version R28 geändert. Die Kompatibilität mit Versionen älter als R28 wird vorerst nicht gegeben sein.

### 5.2.4 Annahmen

## 5.3 Use Cases

### 5.3.1 Systemfunktionalität

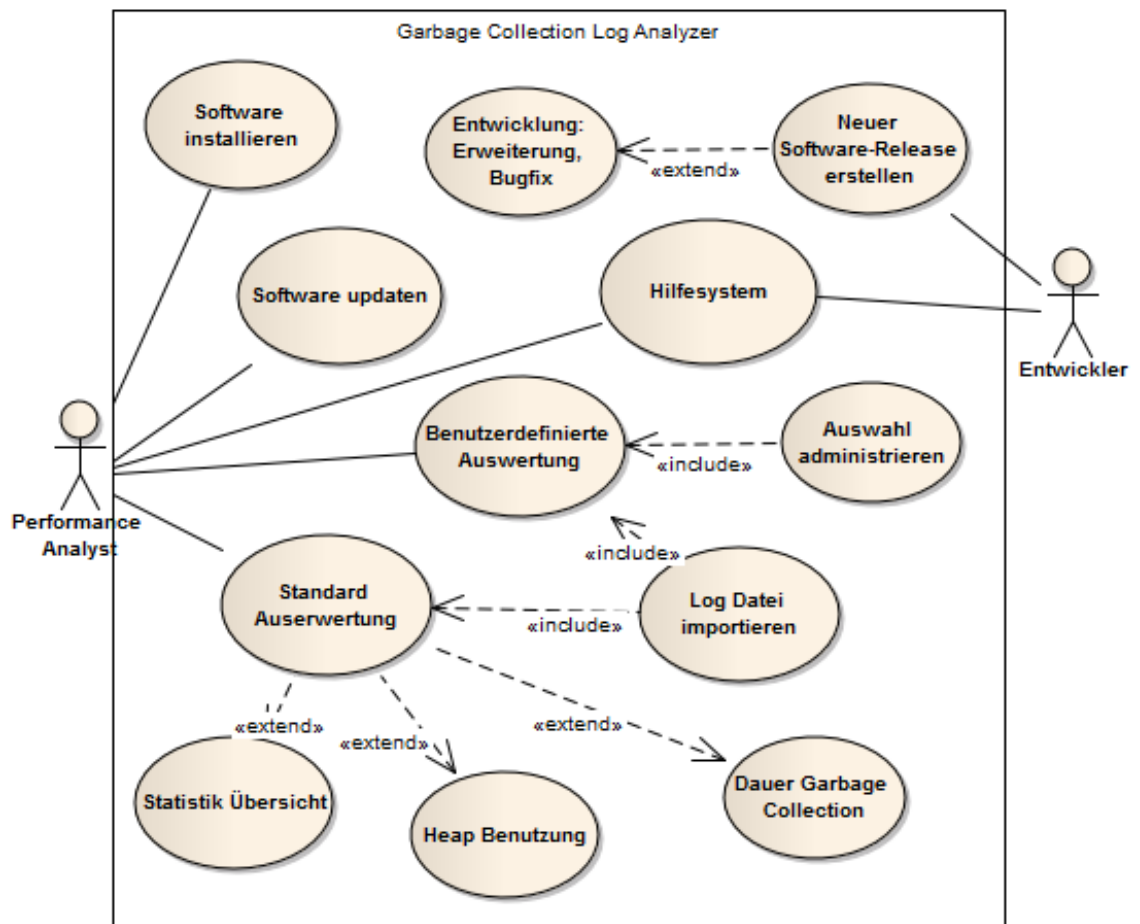


Abbildung 5.3: Systemfunktionalität als Use-Case-Diagramm

Die ersten beiden Teile dieses Abschnitts definieren die Use Cases des Systems nach Rolle sortiert. Als Basis dient die Schablone zur Use-Case-Spezifikation in [8, S. 78-79].

### 5.3.2 Use Cases Entwickler

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-X01
Name	Offline Betriebsmodus
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: mittel
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Die Software kann auch im Offline-Betriebsmodus verwendet werden. Der Computer des Anwenders befindet sich dabei nicht am Internet.
Auslösendes Ereignis	-
Akteure	Anwender <sup>3</sup> , Update-Server
Vorbedingung	Richtige Entwicklungsumgebung ist bereits installiert. Anwender ist noch nicht im Besitz des Plugins.
Nachbedingung	Anwender hat Plugin fertig installiert.
Ergebnis	Entwicklungsumgebung ist bereit für Garbage Collection Auswertungen der JRockit Garbage Collection Log Dateien.
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anwender Startet Entwicklungsumgebung</li> <li>2. Anwender gibt Update-Seite an</li> <li>3. Anwender selektiert zu installierendes Packet</li> <li>4. Plugin wird installiert</li> </ol>
Alternativszenarien	Anwender installiert Plugin aus lokalem Dateisystem
Ausnahmeszenarien	-
Qualitäten	-

Tabelle 5.1: Use-Case: Offline Betriebsmodus

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-X02
Name	Software installieren

<sup>3</sup>Anwender kann sowohl Performance Engineer oder Java Entwickler sein



Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: mittel
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Der Benutzer kann das Plugin <sup>4</sup> in seiner Entwicklungsumgebung via Eingabe einer Update-Seite installieren.
Auslösendes Ereignis	Anwender möchte die Auswertung einer Garbage Collection Log Datei machen.
Akteure	Anwender
Vorbedingung	Richtige Entwicklungsumgebung ist bereits installiert. Anwender ist noch nicht im Besitz des Plugins.
Nachbedingung	Anwender hat Plugin fertig installiert.
Ergebnis	Entwicklungsumgebung ist bereit für Garbage Collection Auswertungen der JRockit Garbage Collection Log Dateien.
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anwender Startet Entwicklungsumgebung</li> <li>2. Anwender gibt Update-Seite an</li> <li>3. Anwender selektiert zu installierendes Packet</li> <li>4. Plugin wird installiert</li> </ol>
Alternativszenarien	Anwender installiert Plugin aus lokalem Dateisystem
Ausnahmeszenarien	-
Qualitäten	-

Tabelle 5.2: Use-Case: Software installieren

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-X03
Name	Software updaten
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: mittel
Kritikalität	Mittel
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Der Benutzer kann das Plugin updaten.

<sup>4</sup>mit Plugin ist die Garbage Collection Analysesoftware gemeint

Auslösendes Ereignis	Anwender hat das Plugin bereits zu einem früheren Zeitpunkt installiert. Sofern ein neues Update dieses Plugins vorhanden ist, möchte er dieses installieren.
Akteure	Anwender, Update-Server
Vorbedingung	Richtige Entwicklungsumgebung und Garbage Collection Log Analysis Plugin ist bereits in einer früheren Version installiert.
Nachbedingung	Plugin ist auf dem neusten Stand.
Ergebnis	Entwicklungsumgebung und Plugin sind auf dem neusten Stand für Garbage Collection Auswertungen.
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anwender Startet Entwicklungsumgebung</li> <li>2. Anwender sucht nach neuen Updates</li> <li>3. Anwendung findet neue Updates</li> <li>4. Anwender selektiert Pakete die er updaten möchte</li> <li>5. Plugin wird aktualisiert</li> </ol>
Alternativszenarien	Anwender updated Plugin aus lokalem Dateisystem
Ausnahmeszenarien	-
Qualitäten	-

Tabelle 5.3: Use-Case: Software updaten

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-X04
Name	Hilfesystem
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: niedrig Technologisches Risiko: mittel
Kritikalität	Mittel
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Dem Benutzer steht eine indexbasierte <sup>5</sup> und eine kontextsensitive <sup>6</sup> Hilfe zur Verfügung.
Auslösendes Ereignis	Anwender hat Plugin installiert, weiss nicht wie eine Analyse gestartet werden kann.
Akteure	Anwender

<sup>5</sup>Generelle Hilfe mit Informationen zur Garbage Collection, Vorgehensweise bei Performance Problemen, alternative Werkzeuge, etc.

<sup>6</sup>Hilfe zur aktuellen View oder Aktion des Benutzers

Vorbedingung	Richtige Entwicklungsumgebung und Garbage Collection Log Analysis Plugin ist bereits in einer früheren Version installiert.
Nachbedingung	-
Ergebnis	Anwender kennt Software
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Indexbasierte Hilfe:</b> Der Benutzer kennt sich im Thema Garbage Collection und auf der Analyse-Software noch nicht aus. Er holt sich Hilfe über die indexbasierte Hilfe.</li> <li>2. <b>Kontextsensitive Hilfe:</b> Der Benutzer befindet sich in einem Fenster oder möchte eine Aktion ausführen (Context), das Hilfesystem zeigt ihm dazu die notwendigen Informationen.</li> </ol>
Alternativszenarien	-
Ausnahmeszenarien	-
Qualitäten	QRQ-S-03 (Internationalisierung)

Tabelle 5.4: Use-Case: Hilfesystem

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A01
Name	Garbage Collection Log Datei importieren
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: gross
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Der Benutzer kann eine sich auf seinem Rechner befindende Garbage Collection Log Datei importieren.
Auslösendes Ereignis	Anwender möchte Auswertung starten.
Akteure	Anwender, Log Datei Prozessor
Vorbedingung	Log Datei befindet sich auf dem Rechner und ist in einem der unterstützten Formate. Garbage Collection Log Analysis Plugin ist vollständig installiert. Entwicklungsumgebung ist gestartet.
Nachbedingung	
Ergebnis	Die Log Datei befindet sich im Memory und steht für die Auswertung (Charts, Reports) dem Benutzer zur Verfügung.

Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Anwender öffnet Import-Dialog</li> <li>2. Anwender navigiert zur Datei</li> <li>3. Anwender startet Import-Prozess</li> </ol>
Alternativszenarien	-
Ausnahmeszenarien	-
Qualitäten	Performance (QRQ-F-04), Korrektheit (QRQ-F-05)

Tabelle 5.5: Use-Case: Garbage Collection Log Datei importieren

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A02
Name	Garbage Collection Log Auswertung (Standard Profil)
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: gross
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Für eine schnelle Übersicht steht ein Standard-Report zur Verfügung. Dieser soll eine kurze Übersicht über die Garbage Collection geben und beinhaltet zwei Charts (Heap Benutzung, Dauer Garbage Collection).
Auslösendes Ereignis	Die Applikation hat die Datei fertig importiert, der Benutzer öffnet eine Datei die bereits importiert wurde.
Akteure	Anwender, Log Datei Analyzer, Report Engine
Vorbedingung	Die Log Datei wurde ohne Fehler eingelesen und befindet sich nun im Arbeitsspeicher.
Nachbedingung	-
Ergebnis	Dem Benutzer wird ein Analyse-Screen angezeigt.
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Applikation hat die Log-Datei fertig importiert oder Benutzer öffnet Datei, die sich bereits im Arbeitsspeicher befindet.</li> <li>2. Dem Benutzer wird ein Screen mit verschiedenen Tabs angezeigt. Auf jedem Tab wird dem Benutzer eine unterschiedliche Sicht auf die Daten gezeigt.</li> </ol>
Alternativszenarien	-
Ausnahmeszenarien	-

Qualitäten	Korrektheit (QRQ-F-05)
Erweiterungen	UC-A02.1, UC-A02.2, UC-A02.3, UC-A02.4

Tabelle 5.6: Use-Case: Garbage Collection Log Datei analysieren

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A02.1
Name	Anzeige Statistik Übersicht
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: gross
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	<p>Der Analyse-Screen wurde geöffnet, dem Benutzer zeigen sich unterschiedliche Tabs. Auf dem ersten befinden sich verschiedene statistische Auswertungen der Log Datei:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Übersicht und Grösse der verschiedenen Bereiche auf dem Heap: Initiale Grösse, endgültige Grösse</li> <li>• Aktivitäten des Garbage Collectors: Anzahl Young Collections, Anzahl Old Collections</li> <li>• Anzahl Garbage Collector Events (Bsp: Change Garbage Collector Strategy, etc.)</li> <li>• Garbage Collection Zeiten (Total, Durchschnittliche, Zeit in Old Generation Garbage Collection, Prozentuale Zeit in Old Generation Garbage Collection)</li> </ul>
Qualitäten	Korrektheit (QRQ-F-05)

Tabelle 5.7: Use-Case: Anzeige Statistik Übersicht

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A02.2
Name	Anzeige Heap Benutzung
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: gross
Kritikalität	gross
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid

Kurzbeschreibung	Die Heap Usage (Heap Benutzung) zeigt dem Benutzer anhand einer Grafik, zu welchem Zeitpunkt wieviel Speicher des Heaps verwendet wurde. Zusätzlich werden die Zeitpunkte inklusive entsprechendem Typ (Old- / Young-Collection) der Garbage Collection angezeigt.
Qualitäten	Korrektheit (QRQ-F-05)

Tabelle 5.8: Use-Case: Anzeige Heap Benutzung

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A02.3
Name	Anzeige Dauer Garbage Collection
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: mittel Technologisches Risiko: mittel
Kritikalität	Mittel
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Für jede Garbage Collection ist innerhalb der Log Datei einen Eintrag mit den Informationen, wie viel Speicher von toten Objekten befreit wurde und wie lange die Collection gedauert hat. In diesem Report geht es um die Darstellung dieser Daten.
Qualitäten	Korrektheit (QRQ-F-05)

Tabelle 5.9: Use-Case: Anzeige Dauer Garbage Collection

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A03
Name	Benutzerdefiniert Auswertung (Profil)
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: niedrig Technologisches Risiko: niedrig
Kritikalität	Niedrig
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Der Benutzer kann ein eigenes Analysefenster mit verschiedenen Charts anlegen. Die Charts bestehen wiederum aus verschiedenen Serien <sup>7</sup> .
Qualitäten	Korrektheit (QRQ-F-05)
Erweiterungen	UC-A03.1, UC-A03.2, UC-A03.3

Tabelle 5.10: Use-Case: Garbage Collection Log benutzerdefinierte Auswertung

<sup>7</sup>Eine Serie definiert welche Daten auf der X- respektive Y-Achse angezeigt werden sollen.

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A03.1
Name	Profil speichern
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: niedrig Technologisches Risiko: niedrig
Kritikalität	Niedrig
Quelle	Adrian Hummel (Performance Engineer)
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Profile können gespeichert werden und bleiben über einzelne Sitzungen bestehen, ausser der Benutzer löscht es explizit.
Qualitäten	-

Tabelle 5.11: Use-Case: Profil speichern, löschen

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A03.2
Name	Auswertungs-Profil exportieren
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: niedrig Technologisches Risiko: niedrig
Kritikalität	Niedrig
Quelle	Adrian Hummel (Performance Engineer)
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Die vom Anwender definierten Profile können in eine Datei exportiert werden.
Qualitäten	-

Tabelle 5.12: Use-Case: Profil exportieren

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-A03.3
Name	Auswertungs-Profil importieren
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: niedrig Technologisches Risiko: niedrig
Kritikalität	Niedrig
Quelle	Adrian Hummel (Performance Engineer)
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Exportierte Profile können via ein Kanal ausgetauscht und in der anderen Entwicklungsumgebung importiert werden.

Qualitäten	-
------------	---

Tabelle 5.13: Use-Case: Profile importieren

### 5.3.3 Use Cases Entwickler

Abschnitt	Inhalt / Erläuterung
Bezeichner	UC-E01
Name	Neuer Software-Release erstellen
Autoren	Raffael Schmid
Priorität	Wichtigkeit für Systemerfolg: gross Technologisches Risiko: gering
Kritikalität	Mittel
Quelle	Raffael Schmid
Verantwortlicher	Raffael Schmid
Kurzbeschreibung	Der Entwickler kann neue Releases des Plugins erstellen und diese via Update-Seite verfügbar machen.
Auslösendes Ereignis	Entwickler hat einen neuen Bug gefixt oder ein Feature implementiert.
Akteure	Entwickler
Vorbedingung	Entwicklung wurde abgeschlossen, Tests sind durchgelaufen.
Nachbedingung	-
Ergebnis	Neues Update ist via Update-Seite verfügbar und kann vom Anwender darüber installiert werden.
Hauptszenario	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Entwickler entwickelt Feature oder macht Bug-Fix und checkt die Änderungen im Source-Code Repository ein.</li> <li>2. Das Continuous Integration System registriert die Änderung und erstellt und deployt einen neuen Build.</li> </ol>
Alternativszenarien	-
Ausnahmeszenarien	Im Fehlerfall wird der Entwickler benachrichtigt, das neue Softwarepaket wird nicht via Update-Seite bereitgestellt.
Qualitäten	-

Tabelle 5.14: Use-Case: Neuer Software-Release erstellen



5.4 Funktionale Anforderungen

Aus den im Abschnitt Use Cases definierten Anforderungen ergibt sich die abschliessende Liste der funktionalen Anforderungen:

Identifik.	Vers.	Titel	Beschreibung	Use Case	Abnahmekriter.	Prio.
FRQ-X01	1.0	Offline Betriebsmodus	Der Anwender soll die Software auch im Offline-Modus <sup>8</sup> benutzen können.	UC-X01	-	gross
FRQ-X02	1.0	Installation als Erweiterung	Software muss als Erweiterung in der Entwicklungsumgebung <sup>9</sup> installiert werden können.	UC-X02	Entwickler mit durchschnittlichen Kenntnissen benötigen für die Installation in eine bestehende Entwicklungsumgebung dauert weniger als 5 Minuten.	gross
FRQ-X03	1.0	Updaten	Die Software kann mit geringem Aufwand aktualisiert werden.	UC-X03	Entwickler mit durchschnittlichen Kenntnissen für den Update weniger als 3 Minuten.	mittel
FRQ-X04	1.0	Hilfesystem	Dem Benutzer werden eine indexbasierte und eine kontextsensitiv Hilfe zur Verfügung gestellt.	UC-X04	Die Hilfe ist in Deutsch und Englisch verfügbar.	klein

<sup>8</sup>Auf einem Computer der sich nicht am Netz befindet.

<sup>9</sup>Die Wahl der Entwicklungsumgebung respektive des Frameworks befindet sich im Abschnitt Auswahl Frameworks und Komponenten.

FRQ-A01	1.0	Garbage Collection Log Datei importieren	Garbage Collection Log Dateien der JRockit Virtual Machine R28 können importiert werden und stehen zur Analyse bereit.	UC-A01	Der Importprozess bei einer Datei mit 100000 Zeilen dauert weniger als 10 Sekunden. Die Genauigkeit der berechneten und angezeigten Werte ist mindestens ein Zehntel (0.1).	gross
FRQ-A02	1.0	Garbage Collection Log Datei analysieren	Analysiert wird auf Basis der importierten Daten. Die Software ermöglicht das Öffnen im Standard-Report (Standard-Profil) oder benutzerdefinierten (Benutzerdefiniertes Profil)	UC-A02	Das Öffnen des Analysefensters für eine Datei mit 100000 Zeilen dauert nach dem Einleseprozess weniger als 5 Sekunden.	gross
FRQ-A02.1	1.0	Anzeige Übersicht Garbage Collection	Der erste Tab des Analysefensters zeigt die aggregierten Daten der Garbage Collection.	UC-A02.1	Die Genauigkeit der berechneten und angezeigten Werte ist mindestens ein Zehntel (0.1).	gross
FRQ-A02.2	1.0	Anzeige Heap Benutzung	Der zweite Tab des Analysefensters zeigt den Speicherbedarf über die Zeit.	UC-A02.2	Die Genauigkeit der berechneten und angezeigten Werte ist mindestens ein Zehntel (0.1).	gross
FRQ-A02.3	1.0	Anzeige Dauer Garbage Collection	Der dritte Tab des Analysefensters zeigt die Dauer der einzelnen Garbage Collections über die Zeit.	UC-A02.3	Die Genauigkeit der berechneten und angezeigten Werte ist mindestens ein Zehntel (0.1).	mittel

FRQ-A03	1.0	Benutzerdefinierte Auswertung (Profil)	Benutzer kann eigenes Analysefenster (Profil) mit unterschiedlichen Charts definieren.	UC-A03	Die Genauigkeit der berechneten und angezeigten Werte ist mindestens ein Zehntel (0.1).	klein
FRQ-A03.1	1.0	Profil speichern	Definiertes Profil wird automatisch gespeichert und bleibt über die Dauer der Sitzung bestehen.	UC-A03.1	-	klein
FRQ-A03.2	1.0	Profil exportieren	Profil kann in Textdatei exportiert werden.	UC-A03.2	-	klein
FRQ-A03.3	1.0	Profil importieren	Profil kann aus Textdatei importiert werden.	UC-A03.3	-	klein
FRQ-E01	1.0	Neuer Software-Release erstellen	Der Benutzer kann die Software mit Patches oder zusätzlichen Features jederzeit neu deployen. Der Anwender erhält die neue Software via den Update-Mechanismus.	UC-E01	-	klein

Tabelle 5.15: Funktionale Anforderungen

5.5 Qualitätsanforderungen

5.5.1 Software

Identifik.	Vers.	Titel	Beschreibung	Abnahmekriter.	Prio.
QRQ-S-01	1.0	Erweiterbarkeit	Nebst der Analyse von Garbage Collection Logs der JRockit Virtual Machine sollen später auch andere Formate unterstützt sein.	Erweiterung um ein weiteres Log-Format soll den Aufwand von 5 PT <sup>10</sup> nicht überschreiten.	mittel
QRQ-S-02	1.0	Testabdeckung	Um den langfristigen Erfolg dieser Software zu gewährleisten muss eine entsprechende Testabdeckung vorhanden sein - dies um insbesondere die Regression zu vermeiden.	Angestrebte Test-Coverage: 80%	klein
QRQ-S-03	1.0	Internationalisierung	Die Sprachelemente der Software (Labels, Titel, Texte) werden als Ressourcen definiert, was die spätere Erweiterung ermöglicht.	-	klein
QRQ-F-04	1.0	Performance (Antwortzeiten)	Auch grosse Datenmengen (Log Dateien) müssen schnell eingelesen werden.	Der Import einer Log-Datei von 100000 Zeilen dauert kürzer als 10 Sekunden.	mittel
QRQ -F-05	1.0	Korrektheit (angezeigten Werte)	Die berechneten und angezeigten Werte sind exakt.	berechnete und angezeigte Werte haben eine Genauigkeit auf mindestens einem Zehntel (0.1).	gross

Tabelle 5.16: Qualitätsanforderungen Software

<sup>10</sup>Personentage

## 5.5.2 Basisframework

Identifik.	Vers.	Titel	Beschreibung	Abnahmekriter.	Prio.
QRQ-F-01	1.0	Verbreitung	Die Software wird als Erweiterung für eine Entwicklungsumgebung bereitgestellt. Auch weil die Entwickler-Community auf diesen Plattformen am grössten ist, spielt die Verbreitung des verwendeten Frameworks eine grosse Rolle.	-	gross
QRQ-F-02	1.0	Plattform-unabhängig	Die Software soll auf den gängigsten Betriebssystemen Windows und Apple OSX laufen.	Das Framework läuft auf den Plattformen Windows und Mac OSX.	gross
QRQ-F-03	1.0	Lokalisation	Framework muss Unterstützung für Lokalisation bereitstellen.	Das Framework bietet Unterstützung für die Mehrsprachigkeit.	klein
QRQ-F-04	1.0	Modularisierung	Das Framework muss Unterstützung für Modularisierung bieten, damit die Software in unterschiedliche Komponenten aufgeteilt werden kann (siehe Erweiterbarkeit QRQ-S-01).	Framework bietet Unterstützung für Modularisierung.	mittel

Tabelle 5.17: Qualitätsanforderungen Basisframework

## Kapitel 6

# Auswahl Frameworks und Komponenten

### 6.1 Rich Client Frameworks

Grundsätzlich käme für die Entwicklung der Analyse-Software auch die Java GUI-Bibliothek Swing in Frage. Viele Anforderungen die im Zusammenhang mit Desktop-Applikationen entstehen (Deployment, Installation, Update, Modularisierung, Internationalisierung, etc.), müssen dann allerdings von neuem entwickelt werden. Es macht deshalb Sinn bei der Evaluation der Bibliothek nur Rich Client Frameworks zu berücksichtigen. Von denen kommen aufgrund der funktionalen Anforderung FRQ-X01 (Offline Betriebsmodus) und FRQ-X02 (Installation als Erweiterung) Eclipse RCP und Netbeans RCP in Frage. Während Eclipse RCP insbesondere als Entwicklungsumgebung ein weit verbreitetes Framework ist und die Entwicklung aktuell in zwei verschiedenen Versionen (3.x / 4.x) vorangetrieben wird, findet man Netbeans und deren Rich Client Plattform eher seltener. In der Folge werden die einzelnen Frameworks kurz beschrieben und dann anhand der Anforderungen verglichen.

#### 6.1.1 Übersicht

##### Eclipse RCP

Bis zur Version 2.1 war Eclipse bekannt als eine Open Source Entwicklungsumgebung für Programmierer. Der Vorgänger hiess Visual Age vor Java und wurde von IBM entwickelt.

Auf die Version 3.0 wurde die Architektur von Eclipse relativ stark umgestellt und modularisiert. Nun handelt es sich um einen relativ kleinen Kern der Applikation, der die eigentliche Funktionalität der Applikation als Plugins lädt. Diese Funktionalität basiert auf Eclipse Equinox, einer Implementation der OSGi Spezifikation. Die grafischen Benutzeroberflächen sind in SWT implementiert. Eclipse ist für 14 verschiedene Systeme und Architekturen bereitgestellt

und gilt somit als plattformunabhängig [11].

Die Plattform kann nun auch als Framework zur Entwicklung von Desktop Applikationen oder Plugins für die Entwicklungsumgebung entwickeln verwendet werden. Bei eigenen Desktop-Anwendungen spricht man auch von Eclipse-RCP Anwendungen.

### Netbeans RCP

Wie bei Eclipse RCP handelt es sich bei Netbeans RCP ebenfalls um ein Framework zur Entwicklung von Desktop Anwendungen. Dem Entwickler wird ein API für typische Anforderungen in diesem Bereich zur Verfügung gestellt. Der Kern der Netbeans Plattform besteht ebenfalls aus einem Modul-Loader und im Bereich der grafischen Benutzeroberfläche wird Swing verwendet.

## 6.1.2 Auswertung Rich Client Frameworks

Dieser Abschnitt illustriert die Bewertung und Gewichtung und wertet anschliessend die drei zur Auswahl stehenden Rich Client Plattformen tabellarisch aus.

### Bewertung

Für die Bewertung werden die Punktezahlen folgendermassen vergeben:

Bewertung	sehr schlecht	schlecht	mittel	gross	sehr gross
Punktzahl	1	2	3	4	5

Tabelle 6.1: Schema Vergabe der Punkte

### Gewichtung

Der Wert der Gewichtung wird folgendermassen in eine Zahl umgewandelt:

Priorität	sehr klein	klein	mittel	gross	sehr gross
Gewicht	1	2	3	4	5

Tabelle 6.2: Schema Gewichtung der Prioritäten

Die erste und zweite Spalte zeigen die Anforderungen aus Abschnitt Basisframework mit der jeweiligen Gewichtung. Die weiteren Spalten zeigen die erreichte Punktzahl zusammen mit dem aus Punktzahl und Gewicht errechnete Produkt.

Anforderung	Nummer	Gewicht.	Eclipse 3.x	Eclipse 4.x	Netbeans 3.x
Verbreitung	(QRQ-F-01)	4	5 (20)	1 (4)	2 (8)
Unterstützung Plattformunabhängigkeit	(QRQ-F-02)	4	5 (20)	5 (20)	5 (20)

<b>Unterstützung Lokalisation Support</b>	(QRQ-F-03)	2	5 (10)	5 (10)	5 (10)
<b>Unterstützung Modularisierung</b>	(QRQ-F-04)	3	5 (15)	5 (15)	5 (15)
<b>Total</b>	-	-	<b>65</b>	49	53

Tabelle 6.3: Auswertung Rich Client Frameworks

### 6.1.3 Entscheid

Ausschlaggebend für die Wahl der Rich Client Plattform ist die Verbreitung. Trotzdem dass die Technologie und die Architektur der drei Frameworks teilweise grosse Unterschiede aufweisen, unterscheiden sie sich im Funktionsumfang nur unwesentlich.



# Kapitel 7

## Konzept

### 7.1 Allgemeines

#### 7.1.1 Zweck

#### 7.1.2 Ausgangslage

Der Abschnitt hier basiert auf dem vorangehenden Entscheid bei der Auswahl des Rich Client Frameworks. Aus den im Abschnitt Entscheid beschriebenen Gründen wird zur Implementation des Garbage Collection Log Analyzers die Eclipse Rich Client Plattform in der Version 3.x<sup>1</sup> genommen. Die in der Anforderungsanalyse allgemein definierten Anforderungen werden nun spezifisch auf diese Plattform konzipiert, für die einzelnen Thematiken werden nun auch die Begrifflichkeiten innerhalb Eclipse verwendet.

### 7.2 Umgebung

#### 7.2.1 Lizenzierung

Die Software wird lizenziert unter der Eclipse Public License<sup>2</sup> in der Version 1.0. Dies ist eine freie Software-Lizenz und gewährt das Recht zur freien Nutzung, Weiterverbreitung und Veränderung der Software. Die Benutzung einer Open-Source Lizenz hat insbesondere folgende Vorteile:

- An der Entwicklung von Open-Source Software können sich eine beliebige Anzahl an Entwicklern beteiligen. Der Entwicklungsaufwand kann skaliert werden.
- Jedermann kann Erweiterungen entwickeln oder Fehler beheben.

---

<sup>1</sup>die aktuelle Version ist 3.7 (stand: 31.8.2011)

<sup>2</sup><http://www.eclipse.org/legal/epl-v10.html>

Bei der Wahl der Lizenz muss gleichzeitig in Betracht gezogen werden, dass die Lizenzen der verwendeten Bibliotheken ebenfalls eingehalten werden. Übersicht der verwendeten Bibliotheken:

Tabelle 7.1: Verwendete Bibliotheken und deren Lizenzen

Bibliothek	Beschreibung	Lizenz
Eclipse Framework	Framework zur Erstellung von Desktop-Anwendungen.	Eclipse Public License
JFreeChart	Wird für im Bereich des Reportings verwendet um Graphiken und Charts anzuzeigen.	Lesser General Public License <sup>3</sup>

### 7.2.2 Build-Automation

Die Automatisierung des Software-Builds ist hinsichtlich der Integration in ein Continuous Integration System Voraussetzung. Es hat zusätzlich aber andere Vorteile:

- Tasks wie das Kompilieren, die Paketierung und das Deployment der Software müssen nicht mehr manuell gemacht werden.
- Zur Verhinderung von Regression und entsprechend zur Gewährleistung der Qualität können vor jedem Release automatisch die Tests durchgeführt werden.

Als Werkzeug zum automatisierten Build der Software wird Maven Tycho<sup>4</sup> verwendet. Um Tycho führt mittlerweile kein Weg drum herum, es hat im Vergleich zum PDE Build einige Vorteile:

- Maven Builds lassen sich ohne grossen Aufwand in Continuous Integration Systeme integrieren.
- Maven hat eine gute Integration in alle gängigen Entwicklungsumgebungen<sup>5</sup> und ist sehr verbreitet

### 7.2.3 Continuous Integration

Als Continuous Integration Server wird Jenkins<sup>6</sup> verwendet. Jenkins bringt nebst seiner Benutzerfreundlichkeit als Build Server einige zum Projekt nötigen Voraussetzungen mit:

<sup>3</sup><http://www.gnu.org/licenses/lgpl.html>

<sup>4</sup>Im Bereich der Eclipse Rich Client Entwicklung kann entweder PDE Build, ein auf Apache Ant basiertes Build-System für Eclipse RCP Applikationen[9] oder die Maven-Integration Tycho (<http://tycho.sonatype.org>) verwendet werden.

<sup>5</sup>Projekt-Dateien müssen nicht mehr in die Versionskontrolle eingecheckt werden.

<sup>6</sup><http://jenkins-ci.org> - Jenkins ist der ehemalige Hudson CI Server, welcher nach dem Kauf von Sun durch Oracle als Branch entstanden ist.

- Jenkins ist für alle denkbaren Betriebssysteme vorhanden.
- Jenkins ist kompatibel mit allen gängigen Systemen zur Versionskontrolle: Git, Subversion, CVS, etc.
- Maven-Projekte lassen sich ohne grossen Aufwand als Build-Projekte konfigurieren.

#### 7.2.4 Versionskontrolle

Zur Versionskontrolle kommen mehrere Werkzeuge in Frage. Git<sup>7</sup> ist ein verteiltes Sourcecode Management System und ist konzeptionell und hinsichtlich Benutzerfreundlichkeit besser als Subversion und CVS<sup>8</sup>. Auf der Plattform Github<sup>9</sup> kann man öffentliche Projekte gratis “hosten”.

#### 7.2.5 Issue Tracker

Als Issue Tracker wird Jira verwendet. Es handelt sich dabei um eine kostenpflichtige aber relativ günstige Software für das Issue-Tracking.

#### 7.2.6 Installation der Software

Zur Installation der Software benötigt man die Eclipse-Entwicklungsumgebung in der Version 3.7. Darin integriert befindet sich ein Update-Manager, der Software-Komponenten von Lokal oder dem Netzwerk installieren kann. Auch Updates werden über diesen Mechanismus installiert. Die Analyse-Software wird via eine Update-Seite bereitgestellt. Der Software-Build durch das Continuous Integration System publiziert die Artefakte (Features, Plugins) auf einen via Internet zugänglichen Rechner, von welchem der Update-Manager die Software herunterlädt um anschliessend zu importieren. Update-Seiten im Eclipse-Umfeld bestehen aus Features (Eclipse Feature-Projekt). Features bestehen aus unterschiedlichen Plugins (Eclipse Plugin-Projekt). Eclipse<sup>10</sup> ist in der Lage, Plugins zur Laufzeit zu installieren, starten, deinstallieren.

Die Update-Seite für diese Software wird folgendermassen aufgebaut:

- Garbage Collection Log Analysis (Kategorie)
  - Core (Feature)
  - JRockit Extension (Feature)

Nachträglich kann somit auch für ein anderes Log-Format eine Extension geschrieben werden.

---

<sup>7</sup><http://git-scm.com>

<sup>8</sup>Git kann offline verwendet werden, das Verschieben von Verzeichnissen führt nicht zu Problemen, etc.

<sup>9</sup><http://github.com>

<sup>10</sup>in der Basis ist es Equinox, die Implementation des OSGi Standards



und einem von JFace und SWT<sup>11</sup> unabhängigen Teil (“loganalysis.core”). Öffnet der Benutzer eine Garbage Collection Log Datei, wird diese durch das Core Feature eingelesen und an alle verfügbaren Extensions weitergeleitet. Die erste Extension welche den Inhalt der Datei versteht, öffnet seine dafür vorgesehenen Reports und Charts. Jede Extension hat ein basierend auf dem Log-Format eigenes Domänen-Modell.

### Weitere Projekte

Einige Plugins wurden im vorherigen Abschnitt nicht erwähnt:

- Test-Projekte<sup>12</sup>.
  - core.test
  - core.ui.test
  - jrockit.test
  - jrockit.ui.test
- Features<sup>13</sup>
  - loganalysis.feature
  - loganalysis.jrockit.feature
- Thirdparty Bibliotheken<sup>14</sup>
  - loganalysis.jfreechart.libs (JFreeChart Library)
- Targetplattform<sup>15</sup>
  - loganalysis.targetplatform (beinhaltet die Target-Plattform)
- Update-Seite<sup>16</sup>
  - loganalysis.updatesite (definiert und generiert die Update-Seite)

---

<sup>11</sup>JFace und SWT wird in Eclipse als Library für den Presentation Layer verwendet

<sup>12</sup>Der Test-Code befindet sich in eigenen Projekten. Siehe Abschnitt 7.3.5 Testing

<sup>13</sup>Feature-Projekte definieren im Eclipse-Umfeld ein in sich lauffähiges Software-Paket. Via einen Xml-Deskriptor werden die abhängigen Plugin-Projekte definiert und in das Feature gepackt.

<sup>14</sup>Thirdparty Bibliotheken werden ebenfalls in ein Plugin gepackt, da innerhalb der Eclipse-Runntime nur Plugins installiert werden können. Die “Plugin-Hülle” definiert die exportierten und importierten Pakete und die Abhängigkeiten.

<sup>15</sup>Die Targetplattform ist eine Konfiguration welche definiert, gegen welche Plattform die Anwendung entwickelt wird.

<sup>16</sup>Die Konfiguration innerhalb eines Projekts zur Erstellung einer Update-Seite definiert die auf der Seite publizierten Features.

### 7.3.3 Internationalisierung (I18n)

Basierend auf dem Lokalisierungssystem der Java Virtual Machine kann man in Eclipse alle Spracheressourcen in Properties-Dateien auslagern (Eclipse bietet dafür sogar einen Wizard). Normalerweise liefert man die Default-Sprache innerhalb des Projektes für welches die Ressource-Bundles definiert wurden, erweiterte Sprachpakete werden dann als Fragmente ausgeliefert. Den Sprachwechsel der Eclipse Entwicklungsumgebung muss man allerdings in der Eclipse-Konfigurationsdatei eclipse.ini vollziehen - dieser benötigt auch immer einen Neustart der Entwicklungsumgebung.

### 7.3.4 Hilfesystem

Das Hilfesystem der Eclipse Entwicklungsumgebung ist als Client-Server-Lösung implementiert. Beim Start der Entwicklungsumgebung wird zusätzlich ein Jetty-Server gestartet, der die Hilfeseiten und Dienste wie die Suche und Indizierung bereitstellt. Die Hilfeseiten werden in zwei unterschiedliche Arten unterteilt:

- **Indexbasierte Hilfen:** Für die generellen Informationen und Hilfen werden verschiedene Hilfeseiten basierend auf einem Index bereitgestellt. Die Inhalte sind nicht an ein Fenster oder eine Aktion des Benutzers gebunden.
- **Kontextsensitive Hilfen:** Tipps die im Zusammenhang mit einer Aktion oder eines Fensters eines Benutzers stehen werden mit den Kontextsensitiven Hilfen implementiert. Bei diesen Hilfen besteht eine Verbindung zwischen Fenstern, Aktionen auf der einen Seite und den Hilfeseiten auf der Anderen.

### 7.3.5 Testing

In Nicht-Plugin-Projekten legt man den Test-Code in einem zusätzlichen Quelltext-Ordner an (Beispielsweise src/main/java und src/main/test). Damit ist der Zugriff auf package-private<sup>17</sup> Felder und Methoden ebenfalls möglich, zusätzlich bleibt der Test-Code von der Implementation getrennt. Dieses vorgehen wird auch vom Build-Werkzeug Maven Tycho unterstützt. Wenn man das entsprechende Test-Plugin als Eclipse-Test-Plugin konfiguriert<sup>18</sup>, können die Tests auch während dem Build automatisiert durchgeführt werden.

Bei Eclipse-Plugin-Projekten erstellt man für den Test-Code ein separates Projekt. In das zu verteilende Softwarepaket (Feature) werden nur die Nicht-Test-Plugins getan. Der Zugriff vom Test-Projekt auf die Implementationen ist per se nicht möglich<sup>19</sup>, zu diesem Zweck wird das Test-Projekt als Fragment definiert.

---

<sup>17</sup>Felder und Methoden ohne Deklaration der Sichtbarkeit (private, protected, public) sind in Java implizit package-private - sie sind also für alle Subklassen und innerhalb des selben Ordners (Package) sichtbar.

<sup>18</sup>Dies kann innerhalb der Maven-Konfigurationsdatei pom.xml mit dem Element packaging gemacht werden.

<sup>19</sup>Jedes Plugin muss definieren, welche Packages für die anderen Plugins sichtbar sind.

## 7.4 Basissoftware (Core)

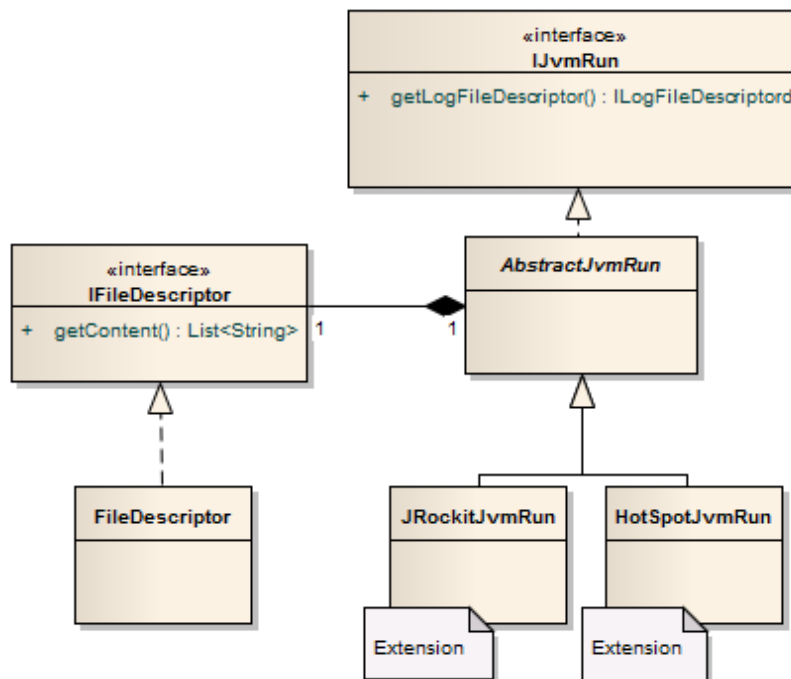
### 7.4.1 Ablauf Garbage Collection Analyse

Nach dem Import der sich auf einem lokalen Laufwerk befindenden Log Datei befindet sich diese im Fenster “Log Files”. Beim Doppelklick auf diese Datei wird der Analyse-Vorgang gestartet. Mit der Voraussetzung, dass die JRockit Extension (Feature) installiert ist, passiert danach folgendes:

1. Die Garbage Collection Log Datei wird ins Memory geladen und wird via *FileDescriptor* referenziert.
2. Der Reihe nach werden alle registrierten *IAnalyzer* gefragt, ob sie den Inhalt der Datei verstehen und interpretieren können.
3. Dem ersten Match wird das FileDescriptor Objekt zur Analyse übergeben. Als Resultat wird ein Objekt vom Typ *IJvmRun* erwartet.
4. Der von der Extension definierte Analysebildschirm wird mit dem Inhalt der Log Datei geöffnet.

#### Domänenmodell

Abbildung 7.2: Domänenmodell: Garbage Collection



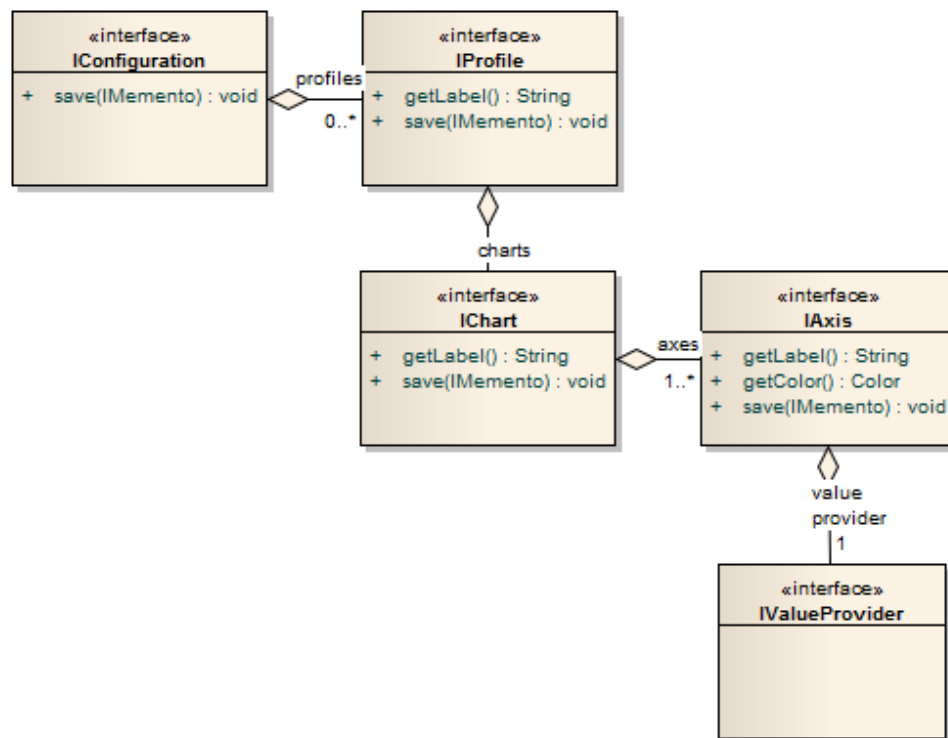
*IFileDescriptor* wird für die Abstraktion der Garbage Collection Log Datei verwendet. Darin enthalten sind Metadaten wie Dateiname und Pfad sowie der Inhalt der Datei - dieser wird allerdings erst beim öffnen der Analyse geladen (lazy). Das Basis-Modell beinhaltet zusätzlich eine naive Abstraktion eines Runs: *IJvmRun* und *AbstractJvmRun*. Diese werden dann in der jeweiligen Extension realisiert (Beispiel: *JRockitJvmRun*).

### 7.4.2 Profilverwaltung

Die Definition von benutzerdefinierten Analysen kann innerhalb von Profilen gespeichert werden. Diese Profile werden in einer Übersicht dargestellt und sind gruppiert nach der jeweiligen Extension (Beispiel: JRockit). Sofern eine Log-Datei geöffnet oder selektiert ist, kann durch Doppelklick auf ein gespeichertes Profil die Analyse dafür geöffnet werden. Die Implementation der View-Domäne befindet sich in der jeweiligen Extension. Damit das Profil über die View “Profiles” ersichtlich ist, muss es *IProfile* realisieren.

#### Domänenmodell

Abbildung 7.3: Domänenmodell: Profilverwaltung





*IExtension* ist eine Abstraktion der Extension und dient zur Gruppierung der für die Extension angelegten Profile. Innerhalb eines Profils können unterschiedliche Diagramme (*IChart*) angelegt werden, welche wiederum durch Achsen (*IAxis*) und deren Daten. Die Abfrage der Daten findet über sogenannte *IValueProvider* statt. Diese definieren den Weg, wie die Daten aus dem Domänen-Modell gelesen werden.

### Profile persistieren

Die erstellten Profile mit den darin definierten Charts müssen über die Grenze der Session hinweg gespeichert werden. Ein dafür mögliches Design Pattern wurde durch die Gang of Four<sup>20</sup> in [1, S. 283] definiert. Mit dem Memento Pattern kann man den Zustand eines oder mehreren Objekten (Objektgraphen) erfassen und externalisieren. Im Eclipse-Umfeld wurde dieses Pattern durch *IMemento* und *XmlMemento* realisiert und kann für die Speicherung der View-Zustände verwendet werden. Für die Speicherung der Profile wird beginnend vom Root-Objekt (*IExtension*), auf der Basis des Visitor-Patterns [1, S. 331], ein Memento-Objekt erstellt. Dieses wird anschliessend im Eclipse-Context (dieser überlebt Shutdown und Restart der Workbench) oder als XML auf dem Datei-System gespeichert.

## 7.5 JRockit Erweiterung (JRockit Extension)

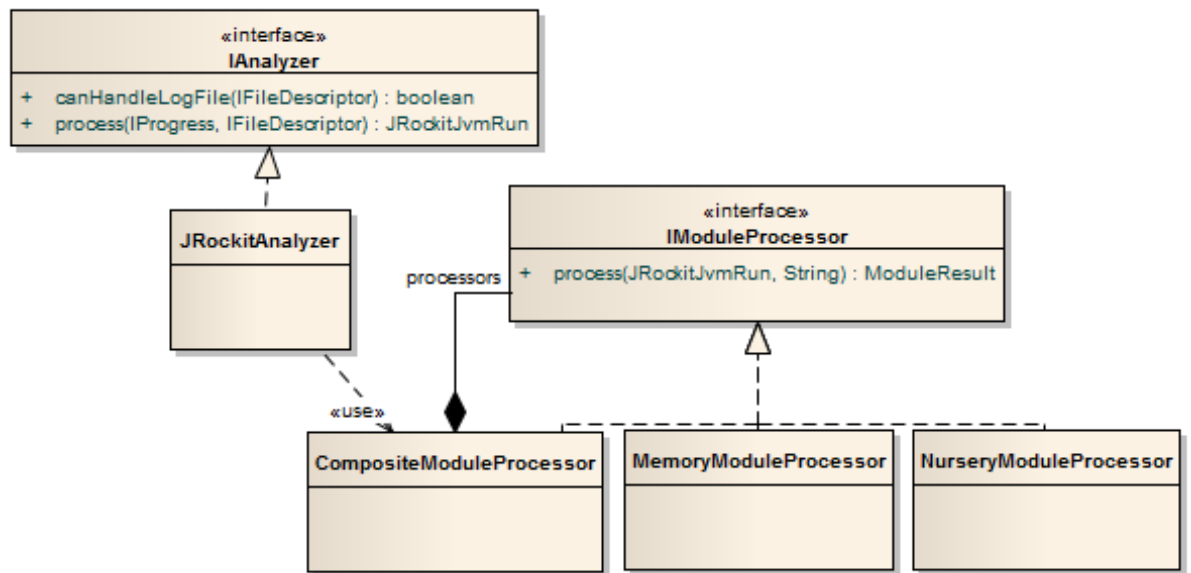
### 7.5.1 Parsen JRockit Garbage Collection Log Datei

Die Garbage Collection Logs der JRockit Virtual Machine bestehen aus Einträgen unterschiedlicher Log Module. Genauer genommen können die Ausgaben betreffend Garbage Collection und Memory Allokation per Kommandozeile eingeschaltet werden (siehe Abschnitt 4.3.2 Log Module). Für die Garbage Collection Analyse sind nur ein Teil dieser Einträge interessant - es werden also niemals alle dieser Einträge von der Analyse-Software verstanden. Für die Analyse der Einträge ist der *JRockitAnalyzer* zuständig. Die Einträge werden durch einen Prozessor, der nach dem Chain-of-Responsibility Pattern [10] aufgebaut ist, prozessiert. Die wichtigsten Einträge des Garbage Collection Logs sind die des Memory Modules und werden vom *MemoryModuleProzessor* geparkt. Die gelesenen Daten werden interpretiert und innerhalb des Domänenmodells abgelegt. Das Chain-of-Responsibility Pattern ermöglicht es an dieser Stelle, neue Funktionalität in Form von neuen oder erweiterten Prozessoren zu definieren.

---

<sup>20</sup>Erich Gamma, Richard Helm, Ralph Johnson, John Vlissides

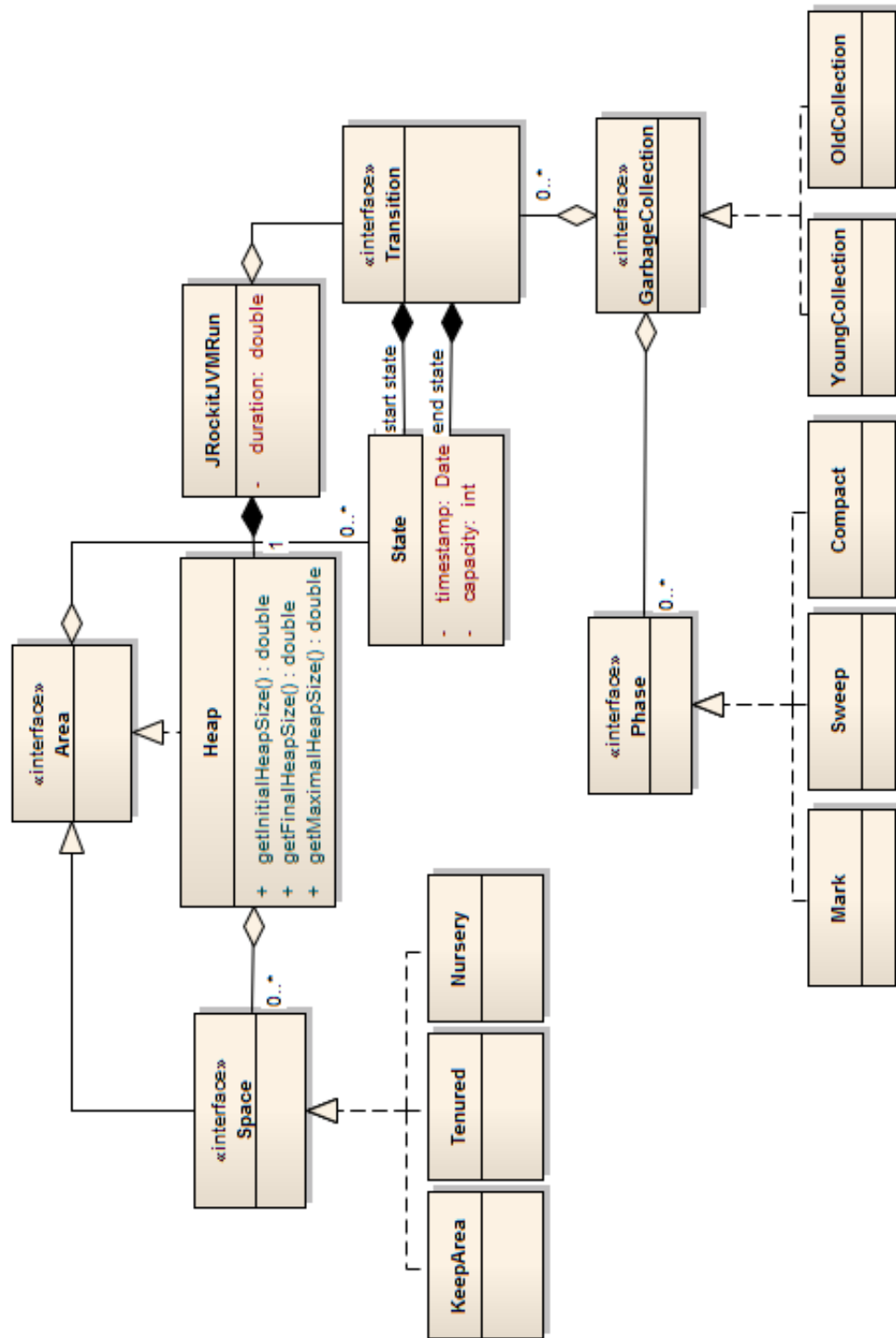
Abbildung 7.4: JRockit Analyseprozess



### 7.5.2 JRockit Garbage Collection



Abbildung 7.5: Domänenmodell: Garbage Collection (JRockit Implementation)



Die Daten der Log-Datei repräsentieren einen Lauf einer JVM (*JRockitJVM-Run*) bestehend aus einem Heap und den darin enthaltenen Bereichen Keep-Area, Nursery und Tenured Space. Für all diese Bereiche sind unterschiedliche Zustände definiert. Obwohl sich die Zustände der einzelnen Bereiche kontinuierlich verändern, wird bei Beginn und Ende der Garbage Collection ein Schnappschuss produziert und es werden die verfügbaren Messgrößen aufgezeichnet. Zustandsübergänge werden in der Automatentheorie als Transitionen bezeichnet, werden hier im Domänenmodell aber als Garbage Collection Zyklen registriert. Es kann sich dabei bei der JRockit Virtual Machine um Young oder Old Collections handeln. Das Starten einer Transition wird durch einen Event ausgelöst (hier im Diagramm nicht ersichtlich), Events werden aufgrund von heuristischen Daten der Laufzeitumgebung ausgelöst - zum Beispiel wenn die Nursery oder die Old Collection voll ist, etc. Der Vollständigkeit halber sind im Diagramm zusätzlich noch die einzelnen Phasen der Garbage Collection definiert. Je nach Algorithmus folgt die Sweep-Phase oder Kompaktierung auf eine Markierungs-Phase.

### 7.5.3 Zusammenfassung der Daten

Der initiale Tab der Analyseseite zeigt verschiedene zusammenfassende Daten des Garbage Collection Logs. Diese werden folgendermassen tabellarisch dargestellt:

- Heap Kapazität
  - Initiale Kapazität (Nursery, Tenured, Heap)
  - Maximale Kapazität (Heap)
  - Speicherbedarf Peak (Heap)
  - Kapazität Durchschnittlich (Heap)
  - Speicherbedarf Durchschnittlich (Heap)
- Garbage Collection Aktivität (Young und Old Collection)
  - Letzter Zyklus
  - Anzahl Zyklen
  - Durchschnittlicher Interval in Sekunden
  - Durchschnittliche Dauer in Sekunden
- Gesamtstatistik
  - Dauer der Messung in Sekunden
  - Anzahl Garbage Collection Zyklen
  - Total Zeit der Garbage Collection
  - Prozentuale Zeit der Garbage Collection
  - Totale Zeit der Old Garbage Collection Zyklen
  - Prozentuale Zeit der Old Garbage Collection Zyklen

#### 7.5.4 Charts

Basierend auf der JFreeChart (siehe Seite ?? Abschnitt ?? ??) Bibliothek können verschiedene Standard-Charts angezeigt werden. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, eigene Charts basierend aus der Auswahl von X- und Y-Datenquelle zu erstellen.

##### Standard Charts

Als vordefinierte (standard) Charts werden dem Benutzer zwei Charts angeboten:

- **Heap Analyse:** Die Heap-Analyse zeichnet den Verlauf des benutzten Speichers im Heap über die Zeit auf. Die einzelnen Garbage Collection Zyklen inklusive der Farbe als Kennzeichnung Young, Old Collection werden als Punkte im Chart markiert.
- **Dauer:** Die Dauer der einzelnen Garbage Collection Zyklen wird gegenüber der verstrichenen Laufzeit dargestellt. Die einzelnen Garbage Collection Zyklen inklusive der Farbe als Kennzeichnung Young, Old Collection werden als Punkte im Chart markiert.

##### Custom Charts

Der Benutzer kann aus den verfügbaren Daten frei die X- und Y-Achse definieren und entsprechend den Chart benennen. Die Selektion kann in einem eigenen Profil gespeichert werden und bleibt über die Session der Applikation erhalten.

## Kapitel 8

# Implementation

## Kapitel 9

## Review



# Glossar

Tabelle 9.1: Glossar

Wort	Beschreibung	Herkunft
Continuous Integration		
Bundle (Eclipse)	siehe Plugin	siehe Plugin
Category (Eclipse)	Auf einer Eclipse Update-Seite werden Features zur Verfügung gestellt. Diese können logisch noch einmal in Kategorien unterteilt werden.	Eclipse
Feature (Eclipse)	Als Feature verpackt man im Eclipse-Umfeld eine logische Einheit an Funktionalität.	Eclipse
Fragment	Manchmal macht es im Eclipse-Umfeld Sinn, gewisse Teile der Applikation optional zu definieren. In diesem Fall verwendet man Fragmente. Sie erlauben die Erweiterung eines bestehenden Bundles (Host-Bundle) und haben Zugriff auf alle auch nicht exportierten Pakete. Test-Projekte werden oft auch als Fragmente definiert, da ihnen der volle Zugriff auf das Host-Bundle gewährleistet wird.	Eclipse
Garbage Collection		
Garbage Collection Algorithmus, Strategie		

Plugin (Eclipse)	Ein Plugin ist eine technische Trennung von gewissen logischen Softwareteilen. Dabei definiert man die Schnittstelle zu anderen Plugins mittels einer Manifest.mf respektive einer plugin.xml Datei. Diese definiert die Abhängigkeiten (Import, Required Bundles inklusive den jeweiligen Versionen), die Exportierten Klassen und die Extension Points	Eclipse
Update Site	Eine Update Site ist eine per Eclipse-Konvention aufgebaute Webseite die via das Http-Protokoll zugänglich ist und Software-Features enthält.	Eclipse
Virtual Machine (JRockit, HotSpot)		

# Abkürzungen

Tabelle 9.2: Glossar

Abkürzung	Begriff	Beschreibung
GC	Garbage Collection	
GUI	Graphical User Interface	
Unit under Test	Unit under Test	Von Unit under Test spricht man bei der zu testenden Klasse.

# Literaturverzeichnis

- [1] E. Gamma. Design patterns: elements of reusable object-oriented software. Addison-Wesley professional computing series. Addison-Wesley, 1995.
- [2] M. Lagergren and M. Hirt. Oracle Jrookit: The Definitive Guide. Packt Publishing, Limited, 2010.
- [3] A. Langer and K. Kreft. Generational garbage collection. Java Magazin, 3:26–30, 2010.
- [4] A. Langer and K. Kreft. Mark-and-compact. Java Magazin, 7:20–24, 2010.
- [5] A. Langer and K. Kreft. Young generation garbage collection. Java Magazin, 5:24–30, 2010.
- [6] Sun Microsystems. Memory management in the hotspot virtual machine. [http://java.sun.com/j2se/reference/whitepapers/memorymanagement\\_whitepaper.pdf](http://java.sun.com/j2se/reference/whitepapers/memorymanagement_whitepaper.pdf), 2006.
- [7] Oracle. Oracle jrookit command-line reference. [http://download.oracle.com/docs/cd/E15289\\_01/doc.40/e15062.pdf](http://download.oracle.com/docs/cd/E15289_01/doc.40/e15062.pdf), 2011.
- [8] K. Pohl and C. Rupp. Basiswissen Requirements Engineering: Aus- und Weiterbildung nach IREB-Standard zum Certified Professional for Requirements Engineering– Foundation Level. Dpunkt.Verlag GmbH, 2010.
- [9] L. Vogel and D. Zapf. Eclipse pde build - tutorial. <http://www.vogella.de/articles/EclipsePDEBuild/article.html#overview>, 2008.
- [10] Wikipedia. Chain-of-responsibility pattern — wikipedia, the free encyclopedia, 2011. [Online; accessed 11-September-2011].
- [11] Wikipedia. Eclipse (ide) — wikipedia, die freie enzyklopädie. [http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Eclipse\\_\(IDE\)&oldid=92563983](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Eclipse_(IDE)&oldid=92563983), 2011. [Online; Stand 29. August 2011].

# Listings

4.1	Format Aktivierung Log Modul . . . . .	22
4.2	Garbage Collection Log (Info) . . . . .	23
4.3	Garbage Collection Log (Info) - Umleitung in gc.log . . . . .	23
4.4	Garbage Collection Log (Debug) - Umleitung in gc.log . . . . .	23
4.5	Garbage Collection Log (Debug) - Umleitung in gc.log . . . . .	24

# Abbildungsverzeichnis

5.1	System und Systemkontext . . . . .	27
5.2	Übersicht der Stakeholder . . . . .	28
5.3	Systemfunktionalität als Use-Case-Diagramm . . . . .	30
7.1	Architektur: Komponentendiagramm . . . . .	51
7.2	Domänenmodell: Garbage Collection . . . . .	54
7.3	Domänenmodell: Profilverwaltung . . . . .	55
7.4	JRockit Analyseprozess . . . . .	57
7.5	Domänenmodell: Garbage Collection (JRockit Implementation) .	59

# Tabellenverzeichnis

4.1	Übersicht der Garbage Collection Algorithmen . . . . .	21
4.2	Übersicht der Garbage Collection Modi . . . . .	22
4.3	Beschreibung der verschiedenen relevanten Log Modulen . . . . .	25
5.1	Use-Case: Offline Betriebsmodus . . . . .	31
5.2	Use-Case: Software installieren . . . . .	32
5.3	Use-Case: Software updaten . . . . .	33
5.4	Use-Case: Hilfesystem . . . . .	34
5.5	Use-Case: Garbage Collection Log Datei importieren . . . . .	35
5.6	Use-Case: Garbage Collection Log Datei analysieren . . . . .	36
5.7	Use-Case: Anzeige Statistik Übersicht . . . . .	36
5.8	Use-Case: Anzeige Heap Benutzung . . . . .	37
5.9	Use-Case: Anzeige Dauer Garbage Collection . . . . .	37
5.10	Use-Case: Garbage Collection Log benutzerdefinierte Auswertung . . . . .	37
5.11	Use-Case: Profil speichern, löschen . . . . .	38
5.12	Use-Case: Profil exportieren . . . . .	38
5.13	Use-Case: Profile importieren . . . . .	39
5.14	Use-Case: Neuer Software-Release erstellen . . . . .	39
5.15	Funktionale Anforderungen . . . . .	42
5.16	Qualitätsanforderungen Software . . . . .	43
5.17	Qualitätsanforderungen Basisframework . . . . .	44
6.1	Schema Vergabe der Punkte . . . . .	46
6.2	Schema Gewichtung der Prioritäten . . . . .	46
6.3	Auswertung Rich Client Frameworks . . . . .	47
7.1	Verwendete Bibliotheken und deren Lizenzen . . . . .	49
9.1	Glossar . . . . .	64
9.2	Glossar . . . . .	66

# Teil III

## Anhang