



Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg
Hamburg University of Applied Sciences

Bachelorarbeit

Jan Lepel

**Automatisierte Erstellung und Provisionierung von ad hoc
Linuxumgebungen -
Prototyp einer Weboberfläche zur vereinfachten
Inbetriebnahme individuell erstellter
Entwicklungsumgebungen**

*Fakultät Technik und Informatik
Studiendepartment Informatik*

*Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Computer Science*

Jan Lepel

**Automatisierte Erstellung und Provisionierung von ad hoc
Linuxumgebungen -
Prototyp einer Weboberfläche zur vereinfachten
Inbetriebnahme individuell erstellter
Entwicklungsumgebungen**

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung

im Studiengang Bachelor of Science Angewandte Informatik
am Department Informatik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Ulrike Steffens
Zweitgutachter: MSc Informatik Oliver Neumann

Eingereicht am: 02. November 2015

Jan Lepel

Thema der Arbeit

Automatisierte Erstellung und Provisionierung von ad hoc Linuxumgebungen -
Prototyp einer Weboberfläche zur vereinfachten Inbetriebnahme individuell erstellter Entwicklungsumgebungen

Stichworte

Virtualisierung, Automatisierter Umgebungsaufbau, Provisionierung, Vagrant, Ansible, VirtualBox, Web-Interface, Requirement-Engineering, Sinatra

Kurzzusammenfassung

Diese Arbeit befasst sich mit der Konzipierung und der anschließenden Entwicklung einer Virtualisierungslösung für Entwicklungsumgebungen. Über eine detaillierte Anforderungsanalyse, der Ausarbeitung eines Entwicklungskonzepts bis zur Umsetzung eines Prototypen der Applikation, wird der gesamte Entwicklungsprozess ausführlich dargestellt und dokumentiert. Durch den Prototypen der Applikation wird es dem Anwender ermöglicht, individuelle, virtuelle Linuxumgebungen über ein Web-Interface zu erstellen, die automatisch provisioniert und verwaltet werden können.

Jan Lepel

Title of the paper

Automated Build and Provisioning of Ad Hoc Linux-Environments -
Creation of a Web-Interface Prototype for a Simplified Commissioning of Individually Created Development-Environments

Keywords

Virtualization, Automated build of Environment-Structures, Provisioning, Vagrant, Ansible, VirtualBox, Web-Interface, Requirement-Engineering, Sinatra

Abstract

This work deals with the development of a concept and subsequent development of a virtualization solution for development environments. The entire process is described and documented extensively, comprises a detailed requirement analysis and an elaboration of a concept formulation. The process completes with an implementation of an application prototype. The prototype will permit the user to create individual virtual Linux environments through a web interface, which can be automatically provisioned and managed.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungen	viii
Auflistungen	ix
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung und Motivation	1
1.2 Themenabgrenzung	2
1.3 Zielsetzung	2
1.4 Struktur der Arbeit	2
2 Grundlagen	4
2.1 Grundlagen der Virtualisierung	4
2.1.1 Virtuelle Maschine	5
2.1.2 Gastbetriebssystem	5
2.1.3 Hypervisor	6
2.2 Konfigurationsmanagementsystem	8
3 Anforderungsanalyse	10
3.1 Zielsetzung	10
3.2 Stakeholder	11
3.3 Funktionale Anforderungen	11
3.4 Use-Cases	13
3.4.1 Business-Use-Case	14
3.4.2 System-Use-Case	15
3.5 Nichtfunktionale Anforderungen	18
3.6 Randbedingungen	26
3.6.1 Technische Randbedingungen	27
3.7 Vergleichbare Anwendungen	27
3.7.1 OpenNebula	28
3.7.2 OpenStack	28
3.7.3 Resümee	29
3.8 Zusammenfassung	29
4 Evaluation	31
4.1 Virtualisierungsprodukte	31
4.1.1 VMware Player (Plus)	31
4.1.2 Microsoft Hyper-V	32

4.1.3	Oracle VM VirtualBox	32
4.1.4	Zusammenfassung	33
4.1.5	Empfehlung	34
4.2	Konfigurationsmanagementsysteme	34
4.2.1	Ansible	35
4.2.2	Saltstack	35
4.2.3	Puppet	35
4.2.4	Zusammenfassung	36
4.2.5	Empfehlung	37
4.3	Vagrant	37
5	Softwareentwurf	39
5.1	Kontextabgrenzung	40
5.1.1	Kurzbeschreibung der externen Schnittstellen	41
5.2	Verteilungssicht	42
5.3	Bausteinsicht	43
5.4	Laufzeitsicht	43
5.5	Systemarchitektur	43
5.5.1	Client-Server-Modell	44
5.5.2	Model-View-Controller Entwurfsmuster	46
5.6	Kommunikation	48
5.7	Server	50
5.7.1	Bausteinsicht	50
5.7.2	Provisioner-Komponente	59
5.7.3	SoftwareAdministration-Komponente	61
5.7.4	Laufzeitsicht	65
5.7.5	Datenbank	68
5.8	Client	72
5.9	Zusammenfassung	72
6	Realisierung	74
6.1	Server-Realisierung	74
6.2	Fremdsoftware	75
6.2.1	Webserver	75
6.2.2	Phusion Passenger	75
6.2.3	VirtualBox	75
6.2.4	Ansible	76
6.2.5	Vagrant	76
6.2.6	Bundler	76
6.2.7	Datenbank	76
6.3	Implementierung	77
6.3.1	Komponenten Umsetzung	78
6.3.2	Datenbank	80

6.3.3 Funktionen	83
7 Schluss	87
7.1 Zusammenfassung und Fazit	87
7.2 Ausblick	88
Literaturverzeichnis	93
Anhang	94

Abbildungsverzeichnis

2.1	Betriebssystemvirtualisierung	6
2.2	Hypervisor Typ 1 und 2	7
3.1	Business-Use-Case Übersicht	14
3.2	Entwurf der Verwaltungsoberfläche	21
3.3	Entwurf der Aufbauoberfläche - Eingabe Parameter	22
3.4	Entwurf der Aufbauoberfläche - Auswahl der Softwarekomponenten	22
3.5	Entwurf der Sharing-Oberfläche	23
3.6	Entwurf der Export-Oberfläche	24
3.7	Entwurf der Import-Oberfläche	24
3.8	Entwurf der Einstellungen - Generelle Konfiguration	25
3.9	Entwurf der Einstellungen - Logdatei	25
3.10	Entwurf der Einstellungen - Softwarekomponenten hinzufügen	26
5.1	Vier Arten von Sichten	39
5.2	Kontextsicht	40
5.3	Verteilungssicht des VM-Builders	42
5.4	Client-Server-Anordnungen	45
5.5	Model-View-Controller	47
5.6	Model-View-Controller im 3-Schichten-Modell	48
5.7	Bausteinsicht Level 1	51
5.8	Benutzerschnittstelle	52
5.9	Komponentensicht Distributor	52
5.10	Komponentensicht MainRepresentation	53
5.11	Komponentensicht BuildingProcess	54
5.12	Komponentensicht MachineOption	55
5.13	Komponentensicht Administration	55
5.14	Komponentensicht Software	56
5.15	Ansicht der Verarbeitungsebene	57
5.16	Komponentenansicht MachineConstruction	58
5.17	Komponentenansicht SystemAdministration	60
5.18	Komponentenansicht SoftwareAdministration	61
5.19	Komponentenansicht MachineManagement	62
5.20	Ansicht der Datenebene	64
5.21	Laufzeitsicht eines VM-Aufbaus	65
5.22	Entity-Relationship-Modell	68

5.23	RelationalDatabaseModel	70
6.1	Bausteinsicht Level 1	80
1	Menü zum Erstellen einer virtuellen Umgebung	94
2	Übersicht aller aktuellen virtuellen Maschinen	95
3	Externe Zugriffsoptionen auf eine virtuelle Maschine	95
4	Import durch Konfigurationsdateien	96
5	Allgemeine Logdatei	96
6	Administration des VM-Builders (Teil 1)	97
7	Administration des VM-Builders (Teil 2)	98
8	Administration von Software und Packages	98
9	Erstellung eines Packages	99

Listings

2.1	Beispiel Inventory-Datei ¹	9
5.1	Routen in Sinatra ²	49
6.1	ORM Framework Datamapper ³	77
6.2	ORM Framework command ⁴	77
6.3	Exemplarische Ordnerstruktur VM-Builder ⁵	78
6.4	Controller Beispiel ⁶	79
6.5	Name-Value-Pair Table ⁷	81
6.6	Single-Row Table ⁸	82
6.7	Beispiel einer Transaktion - Speichern eines Packages ⁹	85
6.8	Inhalt eines Export ¹⁰	86

1 Einleitung

1.1 Problemstellung und Motivation

Die Herausforderung klassischer IT-Umgebungen besteht oft in der dynamischen Anpassung an die Umstände eines Unternehmens. Wächst das Unternehmen oder werden neue Systeme integriert, wird die Umsetzung durch konventionelle Methoden meist aufwändig und langwierig. Die zu treffenden Maßnahmen erfordern meist die Anschaffung neuer Hardware, die exakte Festlegung der Hardwareeigenschaften und die Integration in die bestehende Infrastruktur. So entstehen unflexible Server-Konstrukte, die über Jahre meist nur einen starren Zweck erfüllen, ggf. durch nicht genutzte Auslastung Ressourcen vergeuden und nach Beendigung ihres Einsatzzweckes ausgemustert werden. Eine mögliche Lösung zur effizienteren Nutzung von Ressourcen wurde bislang durch die Verwendung von Virtualisierungslösungen erreicht. Durch die Entkopplung von der Hardware können unterschiedliche Strukturen an Maschinen parallel genutzt werden und somit mehrere Aufgaben, bei besserer Auslastung der Hardware, durchgeführt werden.

Auch wenn die Virtualisierung viele Abläufe beschleunigt hat und Umgebungen schneller bereit stehen, entsteht bei Administratoren ein hohes Zeitdefizit, durch die Vervielfältigung von Systemen, dem Anlegen von Systemzuständen, der Verwaltung von Speicherressourcen und der Bearbeitung von Anfragen nach temporären und permanenten Maschinen. Eine Entlastung dieser Tätigkeiten könnte der Schritt zu IaaS (Infrastructure-as-a-Service) bringen, um die zahlreichen Tätigkeiten zu reduzieren. Die angebotenen Automatismen helfen den Administratoren bei der Verwaltung der Basisinfrastruktur und unterstützen den Anwender mit selbstständigen Konfigurationen. Nachteilig sind allerdings die laufenden Betriebskosten, die an den IaaS-Anbieter zu entrichten sind. Auch das Herausgeben der ganzen oder teilweisen Infrastruktur (Cloud-Computing / Hybrid-Cloud) an einen Drittanbieter ist meist mit Sicherheitsbedenken verbunden. Eine alternative Herangehensweise wäre das Abgeben von Zuständigkeiten an eine interne Applikation oder den Anwender selbst. Dabei müsste die Basiskonfiguration zwar immer noch vom Administrator bereitgestellt werden, jedoch wird der Anwender so in die Lage versetzt sich in einem Teil der Infrastruktur seine eigene virtuelle Umgebung aufzubauen.

Die Einbindung der IT oder eines administrativen Weges wäre somit obsolet. Durch die daraus resultierende Autonomie des Anwenders, wäre es leichter Test- und Entwicklungsumgebungen im Aufbau zu automatisiert und den betroffenen Personenkreis flexibel agieren lassen. Möglich ist entsprechend eine Applikation, die dem Anwender Freiraum in Aufbau und Verwaltung seiner Maschinen gibt. Darüber hinaus kann diese ihm zusätzliche Funktionen hinsichtlich des Aufbaus und der Konfigurationen bieten.

1.2 Themenabgrenzung

Diese Arbeit greift bekannte und etablierte Softwareprodukte auf und nutzt diese in einem zusammenhängenden Kontext. Dabei werden die verwendeten Softwareprodukte nicht modifiziert, sondern für eine vereinfachte Benutzung durch eigene Implementierungen kombiniert. Diese werden mit einem Benutzerinterface versehen, welches die Abläufe visualisiert und dem Benutzer die Handhabung vereinfacht. Die vorzunehmenden Implementierungen greifen nicht in den Ablauf der jeweiligen Software ein, sondern vereinfachen das Zusammenspiel der einzelnen Anwendungen.

1.3 Zielsetzung

Diese Arbeit wird sich mit der Konzipierung und der Umsetzung einer Applikation auseinandersetzen, wobei der Fokus auf die Zentralisierung der Applikation, die autonome Handhabung und die Möglichkeit zeitnah individuelle Maschinen zu erstellen gelegt wird. Die Modellierung der Applikation wird, beginnend bei der Planung bis hin zur Umsetzung, iterativ und inkrementell gestaltet. Der Funktionsumfang wird nach Requirement-Engineering-Standard geplant und mit Hilfe von fiktiven Stakeholdern eingegrenzt. So wird ein lauffähiger Prototyp angestrebt, der dem geplanten Funktionsumfang entspricht.

1.4 Struktur der Arbeit

Kapitel 2 greift Grundlagen auf und erläutert Begriffe sowie Funktionsweisen der Virtualisierung. Zudem befasst sich das Kapitel mit dem Aufgabengebiet von Konfigurationsmanagement-Systemen und deren Verwendung.

Anschließend wird in Kapitel 3 eine Anforderungsanalyse erarbeitet, die den Funktionsumfang der Applikation beschreibt. Zum Ende des Kapitels hin werden die herausgestellten Funktionen mit bereits erhältlichen Applikationen verglichen und ein Fazit gezogen, bezogen auf die

zukünftige Verwendbarkeit der Applikationen.

In Kapitel 4 werden etablierte Softwarekomponenten evaluiert, die frei auf dem Markt erhältlich sind. Das Ergebnis der Evaluation soll Komponenten herausstellen, die den Funktionsumfang der angestrebten Applikation unterstützen und ggf. optimieren.

Im darauf folgenden Entwurf (Kapitel 5) wird der Grundstock für eine systematische Umsetzung gelegt, die in Kapitel 6 beschrieben wird. Kapitel 5 geht zudem auf gängige Sichten eines Softwareentwurfs ein, die das System betreffen. Jede Sicht beschreibt das System aus einer anderen Perspektive und integriert Systemarchitekturen, die am Anfang des Kapitels geplant werden. Die zusätzliche Aufteilung zwischen Client und Server sowie die Beschreibung der Kommunikation zwischen diesen beiden Akteuren, konkretisieren die Planung. Zusätzlich wird eine Zwei-Phasen-Konzipierung eines Datenbankschemas ausgearbeitet, wodurch eine detaillierte Ansicht der Tabellen-Konstrukte angestrebt wird.

Im Kapitel 7 werden die Ergebnisse dieser Arbeit nochmals zusammengefasst und mit einem persönlichen Fazit beendet. Zudem werden in einem Ausblick, zukünftig vorstellbare Erweiterungen des Funktionsumfangs und dadurch entstehende Einsatzzwecke der Applikation beschrieben.

2 Grundlagen

Um ein besseres Verständnis für die Begrifflichkeiten dieser Arbeit zu schaffen, werden in diesem Kapitel grundlegende Themen aufgegriffen und erklärt. Im Vordergrund steht dabei die Virtualisierung in Abschnitt 2.1, da diese den Kern der Applikation bilden wird. Der Abschnitt beinhaltet zudem die Beschreibung des Begriffs 'virtuelle Maschine', der im Laufe dieser Arbeit immer wieder aufgegriffen wird. Danach wird in Abschnitt 2.2 ausgeführt, welchen Anwendungszweck Konfigurationsmanagement-Systeme erfüllen und deren Funktionsweise betrachtet.

2.1 Grundlagen der Virtualisierung

Der Begriff Virtualisierung kann unterschiedlich definiert werden. Nach [Christian Baun \(2011\)](#) werden durch die Virtualisierung, die Ressourcen eines Rechnersystems aufgeteilt und von unabhängigen Betriebssystem-Instanzen verwendet. Durch Bündelung der Hardware-Ressourcen zu einer logischen Schicht, wird eine bessere Auslastung der Ressourcen ermöglicht. Die Realisierung einer logischen Schicht wird durch einen Hypervisor übernommen (siehe Abschnitt 2.1.3), der zwischen dem Host und dem Gastsystem (Abschnitt 2.1.2) liegt. So kann die logische Schicht bei Aufforderung auf die Ressourcen des Hosts zugreifen und automatisch dem Gastsystem zur Verfügung stellen. Das Prinzip dahinter ist die Verknüpfung von Servern, Speichern und Netzen zu einem virtuellen Gesamtsystem. Daraus können darüber liegende Anwendungen direkt und bedarfsgerecht nötige Ressourcen beziehen.

Grundsätzlich wird laut [Bengel \(2008\)](#) unterschieden zwischen

1. **Virtualisierung von Hardware**,
die sich mit der Verwaltung von Hardware-Ressourcen beschäftigt und
2. **Virtualisierung von Software**,
die sich mit der Verwaltung von Software-Ressourcen, wie zum Beispiel Anwendungen und Betriebssystemen beschäftigt.

2.1.1 Virtuelle Maschine

Eine virtuelle Maschine ist nach Robert P. Goldberg

'a hardware-software duplicate of a real existing computer system in which a statistically dominant subset of the virtual processor's instructions execute directly on the host processor in native mode' [Siegert und Baumgarten (2006)]

Wörtlich übersetzt handelt es sich bei einer virtuellen Maschine, um ein Hardware-/Software-Duplikat eines real existierenden Computersystems, in der eine statistisch dominante Untergruppe an virtuellen Prozessoren und Befehlen im Benutzer-Modus auf dem Host-Prozessor ausgeführt werden. Dieses Duplikat kann als Software-Container betrachtet werden, der aus einem vollständigen Satz an emulierten Hardwareressourcen, dem Gastbetriebssystem und entsprechenden Software-Anwendungen besteht. Durch die Containerstruktur wird eine Kapselung erreicht, die es ermöglicht, mehrere virtuelle Maschinen komplett unabhängig auf einem Hostsystem zu installieren und zu betreiben. Ist eine virtuelle Maschine fehlerhaft oder nicht mehr erreichbar, betrifft dieses nicht automatisch die restlichen parallel laufenden Maschinen und stellt damit einen der charakteristischen Vorteile von virtuellen Maschinen dar: die Verfügbarkeit. Backup-Systeme oder mehrere Instanzen einer Applikation können so unabhängig voneinander auf einem Host ausgeführt werden, ohne sich gegenseitig zu beeinflussen.

Virtuelle Maschinen können ohne größeren Aufwand verschoben, kopiert und auf unterschiedliche Hostserver transferiert werden, um eine optimierte Hardware-Ressourcen-Auslastung zu erhalten. Diese Eigenschaften können von Administratoren genutzt werden um z.B. effizienter Backups erstellen zu können, Disaster-Recovery zu planen, Umgebungen für Tests/Deployments bereits zu stellen und grundlegende Aufgaben der Systemadministration zu erleichtern, da das Wiederherstellen aus Speicherpunkten oder gespeicherten Abzügen innerhalb von Minuten zu realisieren ist.

2.1.2 Gastbetriebssystem

Der Unterschied zwischen einem Betriebssystem, welches sich auf einem Standard-Rechnersystem befinden und einem Gastbetriebssystem besteht darin, dass üblicherweise Betriebssysteme im privilegierten Prozessor-Modus ausgeführt werden, während dieses dem Gastbetriebssystem verweigert wird. Der privilegierte Modus (auch Kernel-Mode genannt) befähigt das Betriebssystem, die Kontrolle über die vorhandenen Ressourcen zu erlangen und alle Funktionen des Prozessors nutzen zu können. Anwendungen die im Betriebssystem ausgeführt werden, dürfen nur im Benutzer-Modus arbeiten, der restriktiv auf die Anwendungen wirkt. Ein direkter Zugriff auf Ressourcen wird nur sehr selten von und unter genau kontrollierten Bedingungen

von einem Betriebssystem gestattet. So wird verhindert, dass laufende Anwendungen durch fehlerhafte Programmierung das System zum Absturz bringen. (Reuther (2013))

Eine virtuelle Maschine (siehe 2.1.1) läuft als normaler Benutzer-Prozess im Benutzer-Modus. Für das auf der virtuellen Maschine installierte Betriebssystem, das Gastbetriebssystem, hat dieses zur Folge, den privilegierten Prozessor-Modus nicht so nutzen zu können, wie es ein nicht virtualisiertes Betriebssystem könnte. Werden durch ein Gastbetriebssystems Instruktionen ausgeführt, die den privilegierten Prozessor-Modus erfordern, müssen diese Instruktionen anders gehandhabt werden, als es normalerweise der Fall wäre. Dieses zu ermöglichen ist unter anderem die Aufgabe des Hypervisors (siehe Abschnitt 2.1.3).

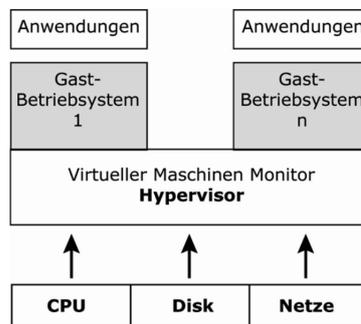


Abbildung 2.1: Betriebssystemvirtualisierung¹

2.1.3 Hypervisor

Der Hypervisor, oder in der Literatur auch VMM (Virtual Machine Monitor) genannt, ist die sogenannte abstrahierende Schicht zwischen der tatsächlich vorhandenen Hardware und den ggf. mehrfach existierenden Betriebssystemen. Wie in Abbildung 2.1 dargestellt. Dessen primäre Aufgabe ist die Verwaltung der Host-Ressourcen und deren Zuteilung bei Anfragen der Gast-systeme. Lösen Instruktionen oder Anfragen eines Gastbetriebssystems eine CPU-Exception aus, weil diese im Benutzer-Modus ausgeführt werden, fängt der Hypervisor diese auf und emuliert die Ausführung der Instruktionen (trap and emulate). Die Ressourcen des Hostsystems werden durch den Hypervisor so verwaltet, dass diese bedarfsgerecht zur Verfügung stehen, egal ob ein oder mehrere Gast-systeme ausgeführt werden. Zu seinen Aufgaben zählen unter anderem E/A-Zugriffe (insbesondere Hardwarezugriffe), Speichermanagement, Prozesswechsel und System-Aufrufe.

¹Bildquelle: Siegert und Baumgarten (2006)

²Bildquelle: Fleischmann (2012)

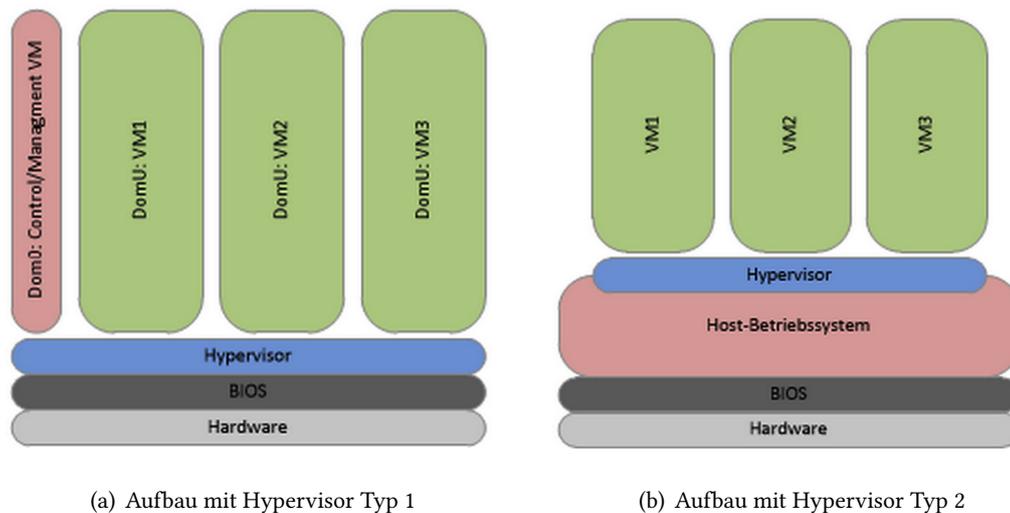


Abbildung 2.2: Hypervisor Typ 1 und 2²

Der Hypervisor kann in zwei verschiedene Typen kategorisiert werden:

Typ 1 Hypervisor

Der Typ 1 Hypervisor arbeitet direkt auf der Hardware und benötigt kein Betriebssystem, welches zwischen ihm und der Hardware betrieben wird. Alle darüber liegenden virtuellen Maschinen laufen in sogenannten Domains. Weder der Hypervisor noch die anderen Domains sind für die jeweilige Domain sichtbar. Die Verwaltung der laufenden Domains wird durch eine privilegierte Domain geregelt, die in der sogenannten 'Dom0' läuft. Dadurch erhält die privilegierte Domain die Möglichkeit andere Domains zu starten, zu stoppen und zu verwalten.

Der Hypervisor Typ-1 verfügt selbst über die nötigen Gerätetreiber, um den virtuellen Maschinen sowohl CPU, Speicher als auch I/O zur Verfügung zu stellen. Durch die wegfallende Schicht, nämlich dem nicht benötigten Betriebssystem, gewinnt der Hypervisor Typ 1 an Performance und reduziert den Ressourcenverbrauch. Abbildung 2.1.3.a zeigt einen entsprechenden Aufbau mit einem Hypervisor Typ 1. [Reuther (2013)]

Typ 2 Hypervisor

Der Typ 2 Hypervisor, der auch als 'Hosted' bezeichnet wird, verdeutlicht durch dessen Bezeichnung bereits den Unterschied zu dem Typ 1 Hypervisor. Im Gegensatz zu dem Typ 1 Hypervisor, setzt der Typ 2 auf einem Hostsystem auf. Es muss also eine Schicht implementiert sein, die zwischen dem Hypervisor und der Hardware liegt. Siehe Abbil-

dung [2.1.3.b].

Diese Schicht wird durch ein Betriebssystem realisiert, das dem Hypervisor den Zugang zur Hardware durch die eigenen Hardwaretreiber ermöglicht. Ist das Betriebssystem mit der Hardware kompatibel, ist transitiv gesehen der Hypervisor ebenfalls mit installiert und ausführbar. Dieses vereinfacht die Installation gegenüber dem Hypervisor Typ 1. Aus Implementierungssicht gibt es für beide Hypervisoren Vor- und Nachteile. Die Anforderung an das Vorhandensein eines Betriebssystems hat vor allem Vorteile bezogen auf Hardware- und Treiber-Kompatibilität, Konfigurationsflexibilität und der Verwendung von vertrauten Management-Tools.

Allerdings entsteht durch das vorhandene Betriebssystem nicht nur ein höherer Management-Aufwand, da dieses konfiguriert und zu verwaltet werden muss, sondern die Performance und der Sicherheitsaspekt wird unter dieser zusätzlichen Schicht eingeschränkt. [Reuther (2013)]

2.2 Konfigurationsmanagementsystem

Die Hauptaufgabe eines Konfigurationsmanagement-Systems ist es, eine zuvor definierte Zustandsbeschreibung eines Zielrechners umzusetzen. Dieses kann beispielsweise die Installation von Softwarepaketen beinhalten, das Starten oder Beenden von Diensten, oder das Erstellen/Anpassen/Entfernen von Konfigurationen. Im Allgemeinen wird dieser Vorbereitungsprozess auch 'Provisionieren' (engl. provisioning) genannt und stattet den Zielrechner mit allen Voraussetzungen für seine Aufgaben aus. In der Regel verwenden Konfigurationsmanagementsysteme eigene Agenten auf den Zielrechnern, über die die Kommunikation abgewickelt und die Zustandsbeschreibung realisiert wird. Neuere Anwendungen wie 'Ansible' (Kapitel 4.2.1) kommen ohne Agenten aus. Die Kommunikation wird im Falle von Ansible über eine SSH-Schnittstelle realisiert. Pull-basierte Tools, wie beispielsweise 'Puppet' (Kapitel 4.2.3), fragen in regelmäßigen Abständen ein zentrales Konfigurations-Repository ab, in dem die jeweils aktuelle Zustandsbeschreibung der Maschine gespeichert ist. Diese sorgen dafür, dass die Änderungen auf dem Ziel-Client ausgeführt werden. Konfigurationsmanagementsysteme können auf virtuelle und Standard Hardware-Maschinen gleichermaßen provisionieren. Zudem sind diese in der Regel dazu fähig, ganze Gruppen von Rechnern parallel zu bearbeiten und die entsprechenden Zustandsbeschreibungen umzusetzen. In dem bereits genannten Beispiel 'Ansible', können mehrere Rechner als Gruppen in Inventory-Dateien (siehe Listing 7) zusammengefasst werden. Jede Gruppe erhält einzeln die entsprechend vorgesehenen Zustandsbeschreibungen.

```
1 [atomic]
2 192.168.100.100
3 192.168.100.101
4 [webserver]
5 192.168.1.110
6 192.168.1.111
```

Listing 2.1: Beispiel Inventory-Datei³

Die Integration und Anwendung von Konfigurationsmanagement-Systemen beschleunigt nicht nur den Aufbau eines oder mehrerer Zielrechner, sondern hilft auch bei der Organisation der Softwareverteilung. [Scherf (2015)]

³Codebeispiel: Scherf (2015)

3 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse hilft Systemeigenschaften und Systemanforderungen der einzelnen beteiligten Gruppen, auch als Stakeholder bezeichnet, zu erfassen, zu analysieren und ggf. eine Diskussionsgrundlage zu schaffen. Das resultierende Ergebnis, kann dann wiederum als Grundstein für ein zukünftiges Lastenheft genutzt werden.

3.1 Zielsetzung

"Keine Systementwicklung sollte ohne wenigstens eine halbe Seite schriftliche Ziele angegangen werden. Dabei ist es wichtig, quantifizierbare Angaben aufzuzählen, denn Ziele sind Anforderungen auf einer abstrakten Ebene." [Rupp und die SOPHISTen (2014)]

Die zu erstellende Applikation (in den folgenden Kapiteln auch als VM-Builder bezeichnet) soll den Anwender in der Umsetzung und Konfiguration von virtuellen Entwicklungsumgebungen unterstützen. Angestrebte Funktionalitäten, wie der Aufbau einer Entwicklungsumgebung inklusive der automatisierten Installation von Programmen oder der Austausch von bereits erstellten Entwicklungsumgebungen zwischen beteiligten Benutzern, soll den Anwender in seiner Tätigkeit unterstützen. Dabei sind User-Interface und der Funktionsumfang primäre Ziele. Während die Strukturierung des User-Interfaces hilft, sich mit geringem Zeitaufwand in die Applikation einzuarbeiten, vereinfacht ein übersichtliches Konfigurationsspektrum die Erstellung der gewünschten virtuellen Umgebung. Die Konfiguration einer virtuellen Maschine muss auch für unerfahrene Nutzer möglich sein und keine speziellen Kenntnisse voraussetzen. Alle virtuellen Maschinen, die zu einem Zeitpunkt aktiv sind, sollten in getrennten Instanzen laufen und voneinander unterscheidbar sein. Die Unterscheidbarkeit soll Funktionen wie den Export oder den entfernten Zugriff auf die Maschine unterstützen. Diese soll dem Anwender die Möglichkeit schaffen, die gewünschte virtuelle Maschine zu beeinflussen, indem er die Umgebung abschalten oder zerstören kann. Des Weiteren soll der VM-Builder Unterstützung bieten, voneinander abhängige Applikationen zu konfigurieren und automatisiert zu installieren.

3.2 Stakeholder

"Stakeholder in Softwareentwicklungsprojekten sind alle Personen (oder Gruppen von Personen) die ein Interesse an einem Softwarevorhaben oder dessen Ergebnis haben." [Zörner (2012)]

Rolle	Anwender
Beschreibung	Ein Anwender ist ein Benutzer des Systems, ohne administrative Einflüsse auf die Applikation.
Ziel	Gute Benutzbarkeit, schnell erlernbar, komfortable Steuerung, leichter Aufbau der gewünschten Umgebung

Tabelle 3.1: Stakeholder: Anwender¹

Rolle	Administrator
Beschreibung	Der Administrator kann die Applikation wie der Anwender nutzen. Er hat erweiterte Möglichkeiten, im Bezug auf die Konfiguration des Systems.
Ziel	Leicht ersichtliche Konfigurationsmöglichkeiten, schnelles auffinden von auftretenden Fehlern, gut protokollierte Fehler

Tabelle 3.2: Stakeholder: Administrator²

3.3 Funktionale Anforderungen

Durch funktionalen Anforderungen werden Kernaufgaben des Systems herausgestellt und beschrieben. Dies beinhaltet dessen Dienste oder Funktionalitäten, die das System bereitstellen soll. Die Unterpunkte 'FA' listen die einzelnen funktionalen Anforderungen auf und werden in den Use-Cases (Abschnitt 3.4) erneut aufgegriffen.

Anforderungen - Anwender

FA 1. Die Applikation muss über den Browser ausführbar sein, ohne zusätzliche lokale Installationen auf Anwenderseite.

FA 2. Die Applikation muss dem Anwender die Möglichkeit bieten, eine virtuelle Maschine zu erstellen.

¹Quelle: Eigene Darstellung

²Quelle: Eigene Darstellung

- FA 3. Möchte der Anwender auf der virtuellen Maschine Software installiert haben, sollte die Applikation ihm Softwarekomponenten zur Auswahl vorschlagen.
- FA 4. Falls der Anwender keine zusätzliche Software auf der virtuellen Maschine haben möchte, muss die Applikation entsprechend darauf reagieren können.
- FA 5. Möchte der Anwender zusätzlich Dateien auf die zu erstellende virtuelle Maschine übertragen, ermöglicht dieses die Applikation.
- FA 6. Möchte der Anwender eine virtuelle Maschine nach dem Abbild einer bereits im System vorhandenen virtuellen Maschine erstellen, bietet die Applikation Optionen dafür an.
- FA 7. Die Applikation sollte durch den Erstellungsprozess die Konfiguration der virtuellen Maschinen automatisch speichern können.
- FA 8. Wenn der Anwender eine virtuelle Maschine erstellen möchte, muss die Applikation bei wichtigen Konfigurationsschritten für den Benutzer sichtbare Statusmeldungen anzeigen.
- FA 9. Treten Fehler bei der Erstellung einer virtuellen Maschine auf, muss das System eine Fehlermeldung ausgeben.
- FA 10. Die Applikation sollte dem Anwender die Option bieten, virtuelle Maschinen zu exportieren.
- FA 11. Ist der Export durchgeführt worden, muss die Applikation dieses mit einer Meldung auf dem Bildschirm bestätigen.
- FA 12. Die Anwendung muss fähig sein, Exporte wieder importieren zu können. Falls während des Imports Datenfehler auftreten, muss die Anwendung den jeweiligen Fehler (Fehlerbeschreibung) auf dem Bildschirm ausgeben.
- FA 13. Ist der Import erfolgreich durchgeführt worden, soll die Applikation eine entsprechende Meldung anzeigen.
- FA 14. Die Applikation soll fähig sein, anderen Anwendern bereits erstellte virtuelle Maschinen über das Internet und das lokale Netzwerk zur Verfügung zu stellen.
- FA 15. Möchte der Anwender eine bereits erstellte und laufende virtuelle Maschine beenden, muss die Applikation dafür eine entsprechende Option bieten.
- FA 16. Falls der Anwender eine bereits erstellte virtuelle Maschine löschen möchte, muss die Applikation ihm dafür ein Hilfsmittel bereitstellen.

Anforderungen - Administrator

- FA 17. Falls während des Betriebes der Anwendung Änderungen an der Konfiguration durchgeführt werden müssen, soll die Applikation dieses über eine Konfigurationsseite anbieten.
- FA 18. Zu den Konfigurationsmöglichkeiten soll das Ändern des Namens sowie des Speicherorts von Logdateien gehören.
- FA 19. Falls in den Einstellungen ein Fehler während der Bearbeitung auftritt, muss die Anwendung eine Fehlermeldung auf dem Bildschirm ausgeben.
- FA 20. Die Anwendung sollte dem Administrator die Option bieten, sich den Inhalt von Logdateien anzeigen zu lassen.
- FA 21. Für das Hinzufügen, Ändern und Löschen von Softwarekomponenten, muss die Applikation eine Oberfläche bereitstellen.
- FA 22. Die Applikation muss eine Oberfläche anbieten, in der Softwarepakete konfiguriert werden können. Es muss dort möglich sein, ein neues Softwarepaket anzulegen, Relationen zu anderer Software herzustellen und ggf. Dateien auszuwählen und dies als Paket zu speichern.
- FA 23. Das Erstellen, Ändern und Löschen von Softwarepaketen muss als Option in der Applikation angeboten werden.

Definition der funktionale Anforderungen nach **Rupp und die SOPHISTen (2014)**

3.4 Use-Cases

Use-Cases (Anwendungsfälle) helfen, die fachlichen Anforderungen eines Systems zu bezeichnen, indem dort Interaktionen zwischen System und Benutzer dargestellt werden und das System in eine Übersicht seiner Hauptfunktionen gegliedert wird. Der Business-Use-Case spiegelt dabei ein Gesamtbild aller Funktionalitäten der Applikation wieder und grenzt diese voneinander ab. Die darauf folgenden System-Use-Cases helfen dabei Hauptfunktionalitäten zu skizzieren, die sich aus den funktionalen Anforderungen (Kapitel 3.3) ergeben haben:

1. Erstellung einer virtuellen Maschine,
2. Export einer vorhandenen Maschine,

3. Import einer zuvor erstellten Maschine,
4. Eine virtuelle Maschine für andere Anwender zugreifbar machen (teilen),
5. Software-Abhängigkeiten konfigurieren.

3.4.1 Business-Use-Case

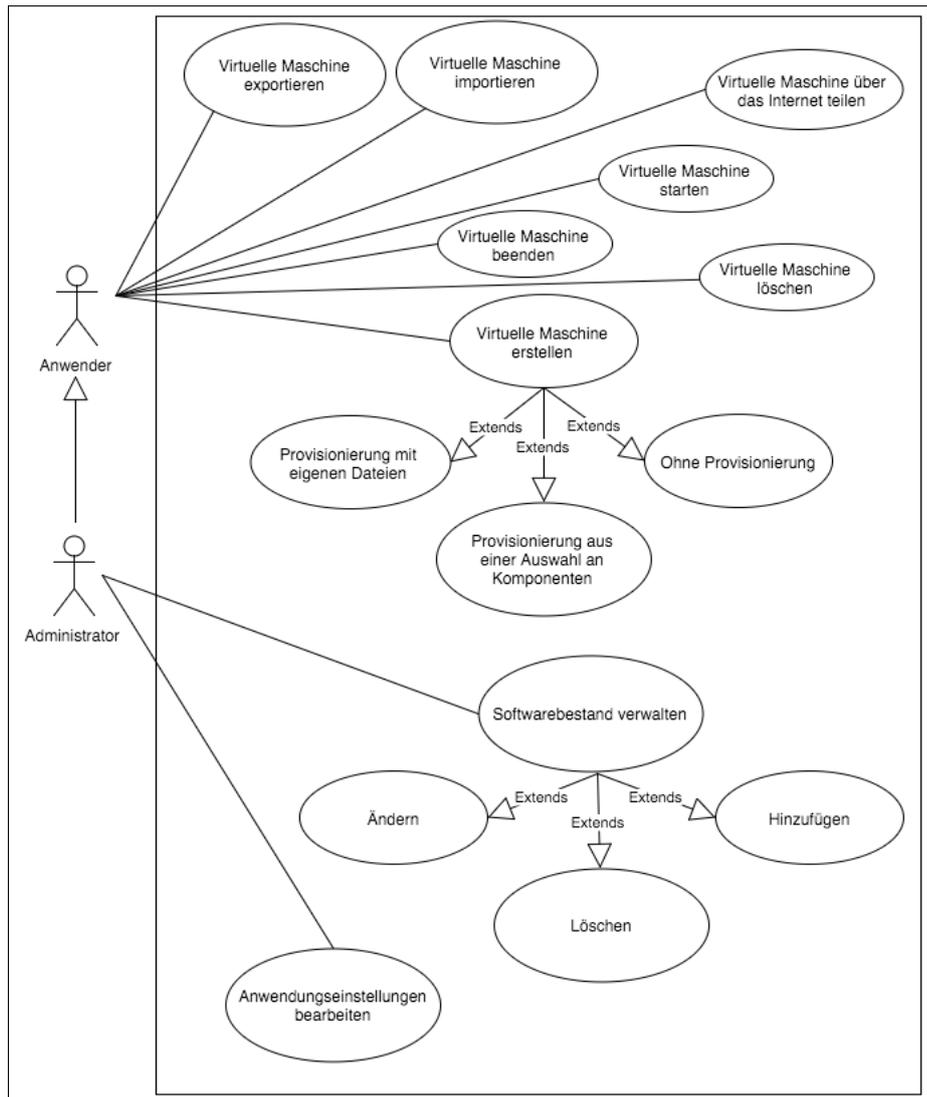


Abbildung 3.1: Business-Use-Case Übersicht³

³Bildquelle: Eigene Darstellung

3.4.2 System-Use-Case

Use-Case 1 - Virtuelle Maschine erstellen

Bezeichnung	Virtuelle Maschine erstellen
Ziel im Kontext	Erstellung einer virtuellen Maschine
Akteur	Anwender
Auslöser	Der Anwender möchte eine virtuelle Maschine erstellen.
Vorbedingung	Die Anwendung ist installiert und lauffähig. Der Anwender kann auf die Benutzeroberfläche zugreifen.
Nachbedingung	Der Anwender kann auf eine lauffähige virtuelle Maschine zugreifen, die seiner Konfiguration entspricht.
Anforderungen	FA 2, FA 3, FA 4, FA 5 , FA 7, FA 8, FA 9
Erfolgsszenario	

1. Der Anwender startet den VM-Builder über den Browser.
2. Der Anwender wählt aus, dass er eine neue virtuelle Maschine erstellen möchte.
3. Der Anwender wird gebeten Konfigurationsparameter für die zu erstellende Maschine einzugeben.
4. Die Applikation schlägt dem Anwender vor, Software mit auf die gewünschte Maschine zu installieren.
5. Der Anwender kann optional eigene Dateien mit übertragen lassen.
6. Nach der entsprechenden Auswahl zeigt die Applikation den aktuellen Aufbaustatus der virtuellen Maschine.
7. Die Applikation zeigt dem Anwender die Zugriffsmöglichkeiten für die Maschine. an

Use-Case 2 - Virtuelle Maschine exportieren

Bezeichnung	Virtuelle Maschine exportieren
Ziel im Kontext	Export aller notwendigen Konfigurationsdateien, um eine Maschine mit der gleichen Konfiguration erneut erstellen zu können.
Akteur	Anwender
Auslöser	Der Anwender möchte eine virtuelle Maschine exportieren.
Vorbedingung	Die zu exportierende virtuelle Maschine existiert bereits.
Nachbedingung	Der Anwender erhält eine gepackte Datei, in der alle nötigen Daten enthalten sind, die für einen erneuten Import nötig wären.
Anforderungen	FA 11, FA 12
Erfolgsszenario	

1. Der Anwender startet den VM-Builder über den Browser.
2. Der Anwender wählt bei der gewünschten virtuellen Maschine die Exportfunktion aus.
3. Die Applikation beginnt mit dem Download der benötigten Dateien.

Use-Case 3 - Virtuelle Maschine importieren

Bezeichnung	Virtuelle Maschine importieren
Ziel im Kontext	Erstellung einer Maschine aus einem Import.
Akteur	Anwender
Auslöser	Der Anwender möchte eine virtuelle Maschine importieren.
Vorbedingung	Die Anwendung ist installiert und lauffähig. Der Anwender kann auf die Benutzeroberfläche zugreifen.
Nachbedingung	Die Maschinenkonfiguration konnte importiert werden und eine virtuelle Maschine wurde erstellt.
Anforderungen	FA 12, FA 13
Erfolgsszenario	

1. Der Anwender startet den VM-Builder über den Browser.
2. Der Anwender wählt die Importfunktion aus und kann die gewünschte(n) Datei(en) hochladen.
3. Die Applikation zeigt dem Anwender, dass der Import erfolgreich war.

4. Der Anwender kann nun entscheiden, ob er die virtuelle Maschine erstellen lassen möchte.

Use-Case 4 - Virtuelle Maschine teilen

Bezeichnung	Virtuelle Maschine teilen
Ziel im Kontext	Eine erstellte Maschine über das Internet oder das lokale Netzwerk für andere Anwender zugreifbar machen.
Akteur	Anwender
Auslöser	Der Anwender möchte eine virtuelle Maschine für andere Anwender zugreifbar machen.
Vorbedingung	Die Anwendung ist installiert und lauffähig Die zu teilende Maschine ist erstellt.
Nachbedingung	Die virtuelle Maschine ist von intern und/oder extern zugreifbar.
Anforderungen	FA 14
Erfolgsszenario	

1. Der Anwender startet den VM-Builder über den Browser.
2. Der Anwender wählt die gewünschte virtuelle Maschine aus und aktiviert die Teil-Option.
3. Die Applikation zeigt dem Anwender die Zugriffsmöglichkeiten auf die virtuelle Maschine.

Use-Case 5 - Softwarepakete konfigurieren

Bezeichnung	Softwarepakete konfigurieren
Ziel im Kontext	Softwarepakete konfigurieren, die andere Software und ggf. das Kopieren/Entpacken von Dateien beinhaltet.
Akteur	Administrator
Auslöser	Eine Installation einer Anwendung, die mehrere Softwarekomponenten benötigt.
Vorbedingung	Wissen über die zu installierenden Softwarekomponenten.
Nachbedingung	Ein Softwarepaket, das die Konfigurationen des Anwenders beinhaltet und in der Applikation anwendbar ist.
Anforderungen	FA 21, FA 22, FA 23
Erfolgsszenario	

1. Der Administrator startet den VM-Builder über den Browser.
2. Der Administrator navigiert in das Administrationsmenü.
3. Der Administrator erstellt ein neues Softwarepaket.
4. Der Administrator gibt die entsprechenden Optionen wie z.B. Name des Softwarepakets ein.
5. Der Administrator wählt die Komponenten aus, die mitinstalliert werden sollen.
6. Der Administrator wählt Dateien aus, die auf den Zielrechner kopiert und/oder entpackt werden sollen.
7. Der Administrator speichert das Paket und kann es bei der Installation einer virtuellen Maschine auswählen.

3.5 Nichtfunktionale Anforderungen

Die Literatur gibt keine einheitliche Definition von nichtfunktionalen Anforderungen vor, aber wie [Burge und Brown \(2002\)](#) es formulierte, können durch nichtfunktionale Anforderungen neue Lösungsmöglichkeiten vorgegeben werden oder eine Menge an potentiellen Designentwürfen, in Bezug auf die Funktionalitäten, reduziert werden. Im Wesentlichen gibt es eine begrenzte Auswahl an Definitionen und Perspektiven bei nichtfunktionalen Anforderungen, die im Folgenden nach [Rupp und die SOPHISTen \(2014\)](#) zusammengefasst werden.

1. **Technologische Anforderungen**

Die detailliertere Beschreibung von Lösungsvorgaben oder der Umgebung, in der das System betrieben werden soll, können und sollen den Lösungsraum für die Realisierung des Systems beschränken.

2. **Qualitätsanforderungen**

Qualitätsanforderungen lassen sich in detailliertere Unterpunkte unterteilen. Dieses kann durch Anwendung von zwei Standards erfolgen: ISO 25000 und ISO 9126. Allerdings ist der ISO 9126 Standard in den ISO 25000 übernommen worden. Beide Standards sollen sicherstellen, dass die Qualität des Systems und des Entwicklungsprozesses über Qualitätsanforderungen festgelegt wird.

3. **Anforderungen an die Benutzeroberfläche**

Die Anforderungen, die festlegen, wie sich die Anwendung dem Benutzer darstellt, werden unter 'Anforderungen an die Benutzeroberfläche' zusammengefasst.

4. **Anforderungen an die sonstigen Lieferbestandteile**

Alle Produkte, die zu dem System oder der Anwendung geliefert werden müssen, wie z.B. ein Handbuch oder Quellcode, werden unter 'Anforderungen an die sonstigen Lieferbestandteile' beschrieben.

5. **Anforderungen an durchzuführende Tätigkeiten**

Die 'Anforderungen an durchzuführende Tätigkeiten' beeinflussen Tätigkeiten, wie Wartung oder Support, die der Entwicklung nachgelagert sind.

6. **Rechtliche-vertragliche Anforderungen**

'Rechtliche-vertragliche Anforderungen' beschreiben die Regelungen, die zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer vor der Entwicklung des Systems oder deren Anwendung, festgelegt werden müssen.

Im Folgenden werden die nichtfunktionalen Anforderungen hinsichtlich der Punkte 1 'Technologische Anforderungen' und 3 'Anforderungen an die Benutzeroberfläche' betrachtet.

Technologische Anforderungen

1. Das für den Betrieb der Anwendung zugrunde liegende Betriebssystem muss Ubuntu 12.04 oder höher sein.
2. Die Anzahl der gleichzeitig laufenden virtuellen Umgebungen, liegt maximal bei 10.
3. Die Kommunikation zwischen Frontend und Backend muss nicht verschlüsselt ablaufen.
4. Softwareupdates der benutzten Softwarekomponenten müssen mit Rücksprache des Entwicklers erfolgen.

Qualitätsanforderungen

1. Die Installation und Inbetriebnahme der Anwendung sollte über einen automatischen Installationsprozess erfolgen.
2. Die Anwendung sollte zu 99,0 Prozent der Zeit lauffähig sein.
3. Jeder auftretende Fehler ist eindeutig identifizierbar und nachvollziehbar.
4. Änderungen am vorgeschlagenen Softwarebestand müssen innerhalb von <10 Sekunden in der Anwendungsoberfläche sichtbar sein.
5. Falls das Betriebssystem auf eine höhere Version aktualisiert werden soll, muss dieses ohne Änderungen des Quellcodes der Anwendung vorgenommen werden können.
6. Soll ein anderer Provisionierer verwendet werden, muss der Aufwand des Austausches bei unter fünf Personentagen liegen.
7. Wird angedacht weitere Grundfunktionalitäten zu implementieren, soll dieses möglichst unkompliziert erfolgen.
8. Der Zeitaufwand für den Import von virtuellen Maschinen sollte <10 Minuten betragen.
9. Die Zeit des Exports einer virtuellen Maschine sollte <5 Minuten betragen.

Anforderungen an die Benutzeroberfläche

"Mit Anforderungen an die Benutzungsoberfläche [...] wird eine Menge von Faktoren beschrieben, die sich mit dem visuellen, akustischen oder auch haptischen Erscheinen und der Bedienung des Systems befassen. Sie ergänzen die funktionalen Anforderungen, die sich an der Oberfläche zeigen und spezifizieren, wie diese funktionalen Anforderungen zu erscheinen haben." **Roland Kluge (2013)**

1. Ein Benutzer ohne Vorkenntnisse muss bei der erstmaligen Verwendung des VM-Builders innerhalb von maximal 10 Minuten in der Lage sein, die gewünschte Funktionalität zu lokalisieren und zu verwenden.
2. Der VM-Builder sollte einen Oberflächendialog für die Verwaltung der virtuellen Maschinen bereitstellen. Die folgenden Bezeichnungen, die Art der abgebildeten Elemente, deren Größe und Anordnung sind keine Umsetzungsanforderung. (Siehe Abbildung 3.2). Primär steht eine Übersicht der erstellten virtuellen Maschinen im Vordergrund, inklusive derer verfügbaren Optionen und Statusinformationen.

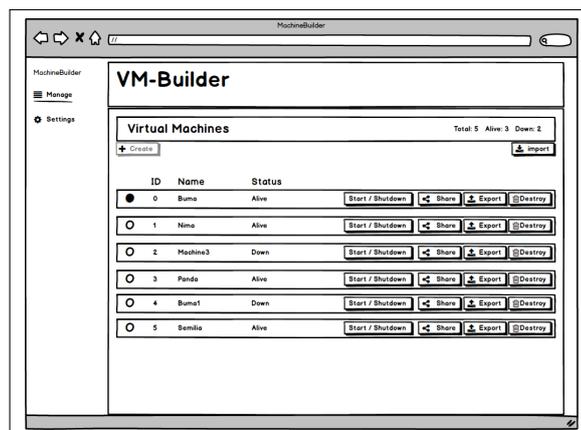


Abbildung 3.2: Entwurf der Verwaltungsoberfläche⁴

⁴Bildquelle: Eigene Darstellung

3. Der VM-Builder sollte den Oberflächendialog 'Virtuelle Maschine erstellen' mit den folgenden Bezeichnungen und der Art der abgebildeten Elemente darstellen (siehe Abbildung 3.3 und 3.4). Keine umzusetzenden Anforderungen sind die genaue Größe und die Anordnung der einzelnen Elemente. Abbildung 3.3 zeigt die Menüführung des geleiteten Aufbaus einer virtuellen Maschine mit Eingabemöglichkeiten. Abbildung 3.4 zeigt den nachfolgenden Auswahlprozess an Softwarekomponenten. Zu beachten ist, dass die Eingabe der optionalen- und Pflichtparameter gegeben ist sowie die Auswahlmöglichkeit an Softwarekomponenten.

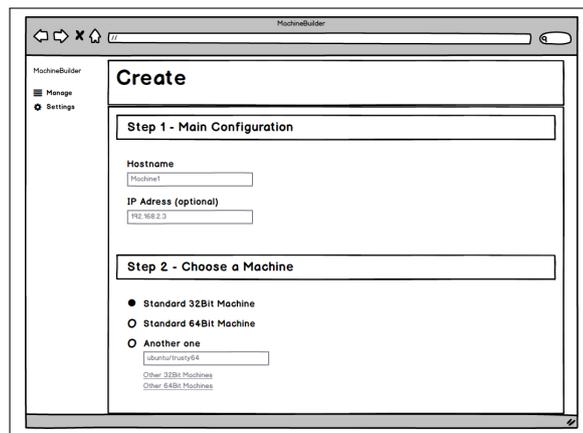


Abbildung 3.3: Entwurf der Aufbauoberfläche - Eingabe Parameter⁵

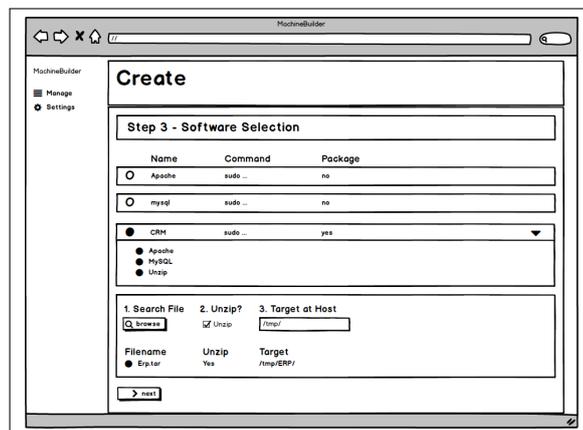


Abbildung 3.4: Entwurf der Aufbauoberfläche - Auswahl der Softwarekomponenten⁶

⁵Bildquelle: Eigene Darstellung

⁶Bildquelle: Eigene Darstellung

4. Der VM-BUILDER sollte den Oberflächendialog 'Sharing' mit den folgenden Bezeichnungen und der Art der abgebildeten Elemente darstellen (siehe Abbildung 3.5). Keine umzusetzenden Anforderungen sind die genaue Größe und die Anordnung der einzelnen Elemente. Um die Oberfläche übersichtlich zu halten, soll der Anwender nur nötige Informationen erhalten, die zur Weitergabe an Dritte benötigt werden. Dieses wären z.B. Konnektivitätsmöglichkeiten und Informationen zur geteilten virtuellen Maschine.

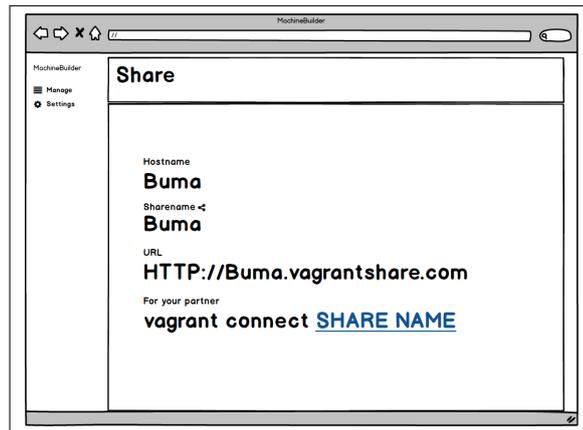


Abbildung 3.5: Entwurf der Sharing-Oberfläche⁷

⁷Bildquelle: Eigene Darstellung

5. Der VM-Builder sollte den Oberflächendialog 'Export' besitzen. Durch den Export sollen, von einer zuvor ausgewählten virtuellen Maschine, alle nötigen Konfigurationsdateien exportiert werden können. In Abbildung 3.6 wird ein exemplarischer Aufbau der Webansicht gezeigt.

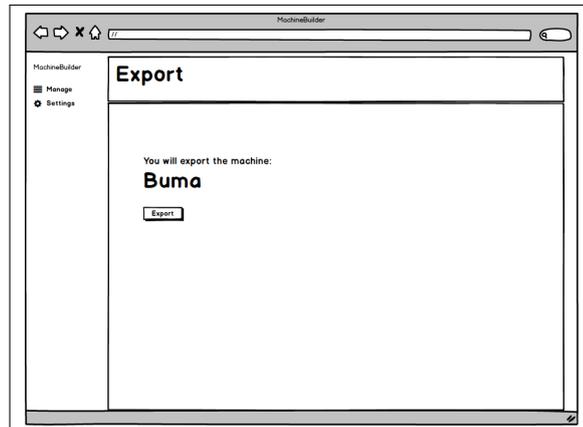


Abbildung 3.6: Entwurf der Export-Oberfläche⁸

6. Der VM-Builder sollte den Oberflächendialog 'Import' besitzen, mit dem der Anwender zuvor exportierte Dateien wieder importieren kann. So sollen Schaltflächen zum Auswählen der benötigten Dateien angeboten werden. Eine Entwurf der Oberfläche wird unter Abbildung 3.7 gezeigt.

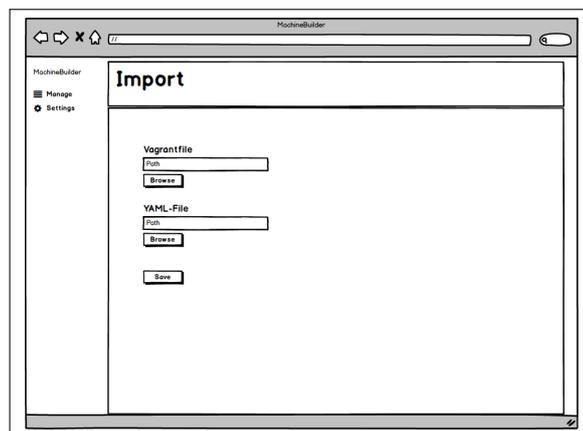


Abbildung 3.7: Entwurf der Import-Oberfläche⁹

⁸Bildquelle: Eigene Darstellung

⁹Bildquelle: Eigene Darstellung

7. Der VM-BUILDER sollte den Oberflächendialog 'Einstellung' besitzen. Die Einstellungen sollen dem Anwender eine generelle Übersicht über Applikations-Konfigurationen geben. Zudem soll dort der Inhalt von Log-Dateien einsehbar sein und Softwarekomponenten / Softwarepakete hinzugefügt werden können. Die folgenden Entwürfe (Abbildungen: 3.8, 3.9, 3.10) zeigen Vorschläge der einzelnen Seite des Menüs

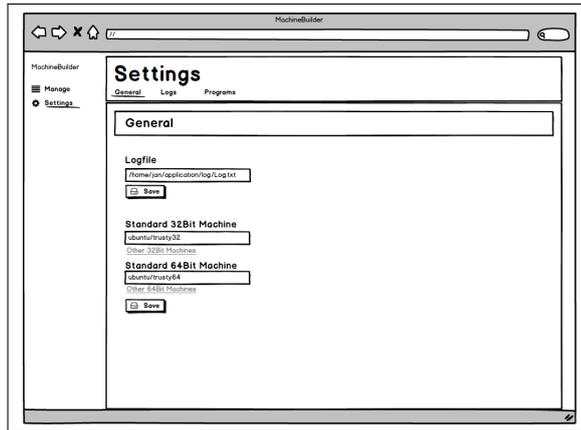


Abbildung 3.8: Entwurf der Einstellungen - Generelle Konfiguration¹⁰

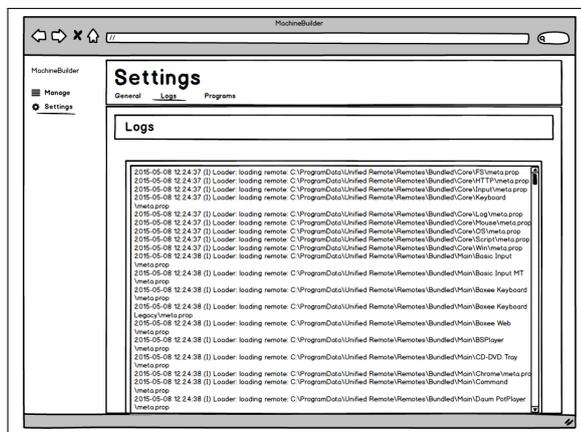


Abbildung 3.9: Entwurf der Einstellungen - Logdatei¹¹

¹⁰Bildquelle: Eigene Darstellung

¹¹Bildquelle: Eigene Darstellung

¹¹Bildquelle: Eigene Darstellung

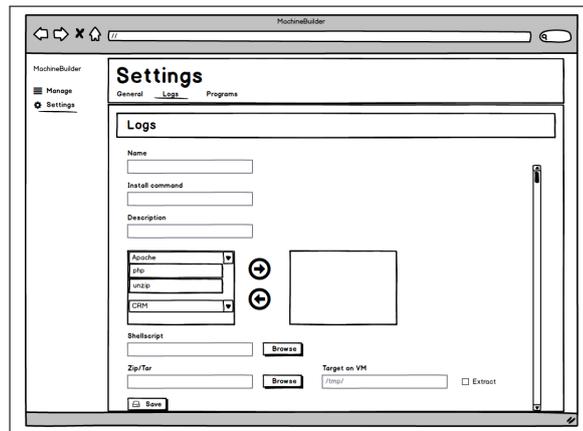


Abbildung 3.10: Entwurf der Einstellungen - Softwarekomponenten hinzufügen

3.6 Randbedingungen

Um anwendungs- und problembezogene Entwurfsentscheidungen treffen zu können, werden Faktoren analysiert, die die Architekturen der Anwendung beeinflussen oder einschränken können. Dieses geschieht über die im Vorfeld formulierten Anforderungen. Laut [Starke \(2014\)](#) werden diese Einflussfaktoren und Randbedingungen in folgende Kategorien unterteilt:

- Organisatorische und politische Faktoren: Manche solcher Faktoren wirken auf ein bestimmtes System ein, während andere eine Vielzahl an Projekten eines Unternehmens beeinflussen können. [[Rechtin und Maier \(2000\)](#)] charakterisierten diese Faktoren als 'facts of life'.
- Technische Faktoren: Durch diese wird das technische Umfeld geprägt und entsprechend eingeschränkt. Diese betreffen nicht nur die Ablaufumgebung des zu entwickelnden Systems, sondern umfassen auch die technischen Vorgaben für die Entwicklung, einzusetzender Software und vorhandener IT-Systeme. [[Starke \(2014\)](#)]

Da weder organisatorischen, noch politischen Faktoren auf dieses Projekt Einfluss haben, werden diese nicht weiter betrachtet.

3.6.1 Technische Randbedingungen

Randbedingungen	Erläuterung
Server Hardware	Die Leistung des Servers sollte entsprechend der Anforderungen genügen. Es muss möglich sein, mehrere virtuelle Maschinen gleichzeitig laufen zu lassen, ohne das es die einzelnen Maschinen beeinflusst.
Server Betriebssystem	Die Lösung sollte auf einem Ubuntu Server 64Bit installiert und betrieben werden.
Implementierung in Ruby	Implementierung der Anwendung erfolgt in Ruby mit dem Framework Sinatra. Da keine separates Frontend-Kommunikation benötigt wird, bietet sich Ruby als Backend-Sprache an. Entwickelt wird in der Version 1.9, welche als stabil gilt.
Fremdsoftware	Fremdsoftware die hinzugezogen wird, sollte idealerweise frei verfügbar und kostenlos sein. Es sollte drauf geachtet werden, dass die Software etabliert ist und der Fokus auf eine stabile Version gelegt wird.
Web-Frontend	Die Kompatibilität zu allen gängigen Browsern wird nicht weiter betrachtet. Optimiert wird ausschließlich für Mozilla Firefox.

Tabelle 3.3: Technische Randbedingungen¹²

3.7 Vergleichbare Anwendungen

Wenn es um den Aufbau und die Verwaltung von virtuellen Maschinen geht, steht eine Vielzahl an unterschiedlichster Software zum Angebot. Das Spektrum reicht von der Administration über Cloud-Dienste, dem Einsatz von Open-Source-Software, um ganze Rechenzentren zu verwalten oder dem Aufbau von virtuelle Maschinen im privaten Umfeld. Um einen kleinen Überblick über populäre Open-Source-Anwendungen zu erhalten, werden im nachfolgenden Teil zwei Anwendungen vorgestellt, die ähnliche Aufgaben wie der VM-Builder übernehmen könnten. Im Anschluss wird in einem Zwischenfazit (Abschnitt 3.7.3) kurz erläutert, wieso die beschriebene Software nicht für den Einsatz geeignet ist.

¹²Quelle: Eigene Darstellung

3.7.1 OpenNebula

OpenNebula ist eine Open-Source-Cloud Lösung, die sich selbst als ein 'Open-Source-Industriestandard zur Virtualisierung von Rechenzentren' bezeichnet [Hock (2012)] und hochverfügbare, skalierbare Virtualisierungsplattformen zur Verfügung stellt. Als eine Art IaaS kann OpenNebula die zentrale Administration und Überwachung von virtuellen Systemen übernehmen. Kommt es zu Ausfällen von Komponenten kann OpenNebula automatisch einen Neustart auf einem anderen Hostsystem ausführen. Zudem sind dynamische Erweiterungen der Hardwareressourcen möglich. Die Kernkompetenzen liegen dabei auf schon vorhandenen Systemen im Bereich Virtualisierung, Speicherung und Vernetzung. OpenNebula kann optimal als Werkzeug für die Integration vorhandener Systeme verwendet werden, da es diverse Möglichkeiten zur Wartung und Skalierung der gegebenen Infrastruktur zur Verfügung stellt. Auch wenn OpenNebula sich selbst in das Enterprise Segment kategorisiert¹³, ist es jedoch auch für kleinere Organisationen praktikabel. Durch die Installation von wenigen Komponenten und die Steuerung über nur ein Frontend, macht die Steuerung und Konfiguration komfortabel.

3.7.2 OpenStack

Der Ursprung von OpenStack liegt in einer Kooperation zwischen Rackspace (ein US-Webhoster) und der NASA, die versuchten eine Lösung zu finden, um Rechenkapazität an einer zentralen Stelle zu bündeln und einzelnen Abteilungen benötigte Ressourcen nach Bedarf anzubieten. Nachdem die NASA das Projekt abgegeben hat und diverse IT-Unternehmen OpenStack weiterentwickelten, ist die Lösung ein fester Bestandteil des Portfolios diverser bekannter Linux-Anbieter geworden. Die Struktur von OpenStack besteht aus einer Vielzahl an Komponenten, die alle unterschiedlich weit entwickelt sind. Während 'Keystone', welches oft als Hauptkomponente von OpenStack bezeichnet wird, als stabil und gut gewartet gilt, liegen neuere Komponenten noch teilweise hinter den Erwartungen der meisten Anwender. Ansonsten bietet OpenStack Administratoren ein großes Spektrum an Werkzeugen, um ihre Cloud-Computing Umgebung zu verwalten. Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten und die große Auswahl an Optionen, ist OpenStack ein guter 'Allrounder', mit Defiziten in der Einarbeitungszeit. [Loschwitz und Syseleven (2015)]

¹³Quelle: Lorente (2014)

3.7.3 Resümee

Eines der wichtigen Merkmale von OpenNebula ist der Schwerpunkt auf Rechenzentrumsvirtualisierung inklusive bestehender Infrastruktur wodurch dieses mehr oder weniger im Enterprise-Cloud-Computing angesiedelt wird, OpenStack dagegen ein Vertreter des Public-Cloud-Computing ist. Einer der Vorteile von OpenNebula ist, dass sich eigene VM-Images per Knopfdruck auf Virtualisierungsservern und dem dazugehörigen Storage instanzieren lassen und Zuweisungen wie IP, Load-Balancing und Speicherplatz von der eigenen Verwaltungssoftware übernommen werden. Zudem kommt eine übersichtliche Steuerung, die Fähigkeit mehrere hundert Server / virtuelle Maschinen verwalten zu können und die Eigenschaft verhältnismäßig einfach in eine bestehende Infrastruktur integriert zu werden. OpenStack versucht für alle alles anzubieten und kommt daher mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Komponenten daher, die schnell unübersichtlich werden können. Das Komponentensystem bringt aber auch den Vorteil mit sich, nur Komponenten zu verwenden, die benötigt werden. So wird im Grunde mehr Flexibilität und die Chance auf Kostenreduzierung erreicht.

Für die Verwaltung von virtuellen Maschinen und Infrastrukturen sind beide Applikationen mehr als geeignet. Allerdings fehlt bei beiden die Möglichkeit direkt Software mit aufzuspielen. Zudem sind beide Anwendungen für den anvisierten Verwendungszweck zu umfangreich in ihren Funktionalitäten und bringen eine zu hohe Einarbeitungszeit mit sich.

3.8 Zusammenfassung

In der Anforderungsanalyse wurde in Abschnitt 3.1 ein Überblick über die Ziele des VM-Builders geschaffen. Danach wurden die Stakeholder inklusive ihrer Beschreibung und Ziele definiert, wodurch die Analyse der funktionalen Anforderungen in Abschnitt 3.3 strukturiert wurde. Das Ergebnis der funktionalen Anforderung stellte die Kernpunkte der Applikation heraus, die sich wie folgt ergaben:

1. Die Erstellung einer virtuellen Maschine,
2. Der Export von Maschinen,
3. Der aus dem Export resultierende Import,
4. Die Möglichkeit virtuelle Maschinen mit anderen zu teilen (Sharing),
5. Die Konfiguration von Softwarepakete, um Abhängigkeiten zu anderen Softwarekomponenten zu definieren.

Diese Punkte wurden in Abschnitt 3.4 als Use-Caseszenarien detaillierter in den Kontext des VM-Builders gestellt. Die nichtfunktionalen Anforderungen (siehe Abschnitt 3.5) bestimmen die Qualitätsmerkmale der Applikation und ergaben die ersten Anforderungen an die Oberfläche (siehe Abschnitt 3). Zuletzt wurden die Randbedingungen betrachtet, um Einfluss- und einschränkende Faktoren zu finden, die sich auf die Architektur der Applikation beziehen können. Die insgesamt geschaffenen Anforderungen werden im folgenden Kapitel 4. ('Evaluation') als Grundlage für die Recherche nach Produkten verwendet, die für den VM-Builder nutzbar sind. Die Ergebnisse aus der Anforderungsanalyse und der Evaluation schaffen zudem eine Grundlage für den Entwurf in Kapitel (Kapite 5).

4 Evaluation

Um herauszufinden, ob und welche Softwareprodukte der Anwendung hinzugefügt werden können, kann eine Evaluation des Marktes hilfreich sein. Dabei ist zu eruieren, ob gewünschte Funktionalitäten unter Verwendung der technischen Randbedingungen aus Kapitel 3.6.1 von externen, etablierten sowie kostenlosen Softwarekomponenten unterstützt oder sogar durchgeführt werden können.

4.1 Virtualisierungsprodukte

Virtualisierungsprodukte oder entsprechende Tools können Anwendern helfen virtuelle Maschinen für temporäre Zwecke aufzubauen, wie beispielsweise um alternative Betriebssysteme zu testen, Softwareprodukte auszuprobieren oder Entwicklungsumgebungen zu erstellen. Die derzeit (Stand Juli 2015) bekanntesten und etablierten Virtualisierungslösungen werden von drei verschiedenen Herstellern vertrieben und werden zum Teil als Freeware angeboten.

1. **VMware Player / Plus**

Der VMware Player ist VMwares preiswerte Virtualisierungslösung für Unternehmen und Privatkunden.

2. **Microsoft Hyper-V**

Microsofts Virtualisierungslösung ist Hyper-V, die ab Windows 8 oder Windows Server 2012 kostenlos zur Verfügung steht.

3. **Oracle VM VirtualBox**

VirtualBox ist ein gratis Open-Source-Tool von Oracle, das großen Funktionsumfang bietet und kostenlos angeboten wird.

4.1.1 VMware Player (Plus)

Eines der bekanntesten Unternehmen für Virtualisierungslösungen ist VMware.¹ VMware bietet für den Privatanwender den VMware Player an, der das kostenlose Pendant zur professionellen

¹Quelle: ama Direktbefragung 02/2014

Lösung VMware Workstation / VMware Fusion darstellt. Mittlerweile ist der VMware Player für Unternehmen unter dem Namen VMware Player Plus, zum Preis von 134,95 Euro zu erwerben.² Der VMware Player (Plus) unterstützt ca. 200 Gastbetriebssysteme, mit 32Bit oder 64Bit, und lässt sich auf Windows und verschiedenen Linux-Distributionen installieren. Nachteilig ist die Beschränkung auf das VMDK-Format (Virtual Machine Disk), das bei der Speicherung von virtuellen Maschinen zur Verfügung steht. Zudem fehlen Features, wie eine virtuelle Maschine in einen vorherigen Systemzustand zurückzusetzen, oder eine Maschine zu duplizieren. Allerdings werden Export- und Import Funktionen, sowie das Erstellen von momentanen Zuständen vom VMware Player unterstützt. [Masiero (2015)]

4.1.2 Microsoft Hyper-V

Hyper-V wurde von Microsoft in Windows 8 (oder höher) und Windows Server 2012 integriert. Die Software lässt sich über die Windows-Funktion einfach nachinstalliert. Damit dieses möglich ist, müssen zwei Faktoren erfüllt sein. Windows 8 muss als Professional-Version in der 64-Bit Version vorliegen. Der Vorteil gegenüber den Mitbewerbern besteht in der Möglichkeit mehrere virtuelle Maschinen parallel betreiben zu können ohne signifikanten Performanceverlust. Dieses erreicht Hyper-V durch SLAT einer Technik zur dynamischen RAM Verwaltung. [Joost (2014)]

4.1.3 Oracle VM VirtualBox

Die im April 2005 gegründete Virtualisierungssoftware von Oracle (erst InnoTek Systemberatung GmbH) eignet sich für Windows, Linux, Mac OS X, FreeBSD und Solaris als Hostsystem. An Gastsystemen wird eine Vielzahl von 32Bit und 64Bit-Betriebssystemen unterstützt, diverse Linux Distributionen, Windows ab Version 3.11, Mac OS X, IBM OS/2 und FreeBSD. VirtualBox lässt dem Anwender viele Freiheiten im Speichern seiner virtuellen Umgebung. Vier gängige Formate werden von VirtualBox angeboten und ermöglichen einen leichteren Austausch von erstellten virtuellen Maschinen unter Anwendern. Ein weiterer Vorteil von VirtualBox besteht darin, dass VirtualBox kostenlos und OpenSource ist. Der Quellcode steht jedem Interessierten zur Verfügung. Im Funktionsumfang der Software enthalten sind das Importieren und Exportieren von virtuellen Maschinen, das Erstellen von Snapshots und das Klonen von virtuellen Maschinen. [Masiero (2015), Reuther (2013)]

²Quelle: <http://store.vmware.com>

4.1.4 Zusammenfassung

	VMware Player (Plus)	Microsoft Hyper-V	Oracle VM VirtualBox
Host-Betriebssystem	Windows, diverse Linux Distributionen	Windows 8 Pro 64 Bit (oder höher); Microsoft Server 2012	Windows, Linux, Mac OS X, FreeBSD und Solaris
Gast-betriebssysteme	Mehr als 200 Gast-Betriebssysteme	Ab Windows XP mit SP 3 (oder höher), Diverse Linux Distributionen, FreeBSD	Diverse Linux Distributionen, Windows, FreeBSD, MacOS X, IBM OS/2
64-Bit-Gast-Betriebssystem	Ja	Ja	Ja
Dateiformate für virtuelle Disks	VMDK	VHDX	VMDK, VHD, Parallels Hard Disk, OVF
Snapshots	Nein	Nein	Ja
Klonen	Nein	Nein	Ja
Export von virtuellen Maschinen	Ja	Ja	Ja
Preis	134,96 Euro für Unternehmen; Kostenlos für Privatanwender	Kostenlos	Kostenlos

Tabelle 4.1: Zusammenfassung evaluierter Softwareprodukte³³Quelle: Eigene Darstellung

4.1.5 Empfehlung

Auch wenn VMware zu den bekannteren Herstellern gehört und der VMware Player (Plus) eine Vielzahl an Funktionen bietet, macht die Unterscheidung zwischen einer Unternehmensvariante und einer für Privatanwender die zukünftige Benutzung aufwändiger. Sollte die zu erstellende Anwendung in einem kommerziellen Umfeld betrieben werden, so muss auf den VMware-Player Plus zugegriffen werden. Dadurch sind ggf. Änderungen an der Implementierung vorzunehmen sind und die entsprechenden Lizenzkosten zu entrichten. Außerdem schränkt nicht nur die geringe Auswahl an Dateiformaten zum Export von Maschinen die Funktionsweise ein, sondern auch das Nichtvorhandensein von Snapshot- und Klon Funktionen ist ein negativer Punkt.

Microsofts Lösung stellt sich, im Rahmen dieser Arbeit, von den Grundanforderungen her als nicht nutzbar heraus. Da Hyper-V Windows als Host-System benötigt, widerspricht dieses den gestellten technischen Randbedingungen aus Kapitel 3.6 - Server Betriebssystem). Oracles VirtualBox hingegen vereint viele für die geforderten Funktionen unterstützende und hilfreiche Aspekte. Die Vielzahl an unterstützenden Dateiformaten ist für die Umsetzung der geforderte Exportfunktion ein positiver Faktor. Da VirtualBox für Privatanwender und Firmenkunden kostenlos ist, hat der Lizenzierungsaspekt keine Relevanz. VirtualBox lässt sich auf diversen Linux-Umgebungen installieren und erfüllt einen weiteren Punkt aus den technischen Randbedingungen (siehe Kapitel 3.6.1). VirtualBox ist durch seinen Funktionsumfang in der Lage, für wichtige Funktionen in der angestrebten Applikation eingesetzt zu werden. Dieses hat den Vorteil, dass die Funktionsbestandteile nicht kostenaufwändig und langwierig implementiert werden müssen.

4.2 Konfigurationsmanagementsysteme

Wie in Kapitel 2.2 beschrieben, helfen Konfigurationsmanagementsysteme bei der Umsetzung von sogenannten Zustandsbeschreibungen eines Hosts. Konfigurationsmanagementsysteme können erforderliche Software installieren, Dienste und Applikationen starten/beenden, Konfigurationen ändern/erstellen/löschen und dieses gleichzeitig auf einem oder mehreren Zielrechnern. Durch die Anwendung von Konfigurationsmanagementsystemen kann die aus der Anforderungsanalyse herausgestellte Anforderung nach automatisierter Installation von Software übernommen werden. Auch hier gibt es bekannte und häufig verwendete Applikationen, die im Folgenden betrachtet werden.

4.2.1 Ansible

Die Hauptdesignidee bei dem in Python geschriebenen Programm Ansible ist es, Konfigurationen mit wenig Aufwand durchführen zu können. Dabei werden weder aufwändige Deployment-Scripts benötigt noch komplizierte Syntax verwendet. Ansible wird nur auf der Maschine installiert, die die Infrastruktur verwaltet und kann von dort auf die gewünschten Maschinen zugreifen. Die Clients benötigen weder eine lokale Ansible-Installation noch andere spezielle Softwarekomponenten. [Hall (2013)] Die Kommunikation zwischen dem Host, auf dem Ansible installiert ist und den Clients wird über SSH ausgeführt. Für Linux-Distributionen, auf denen SSH für den Root Benutzer gesperrt sind, kann Ansible 'sudo' Befehle emulieren, um die gewünschte Zustandsbeschreibung durchzuführen. Windows wird in der aktuellen Version 1.9.1 nicht unterstützt. Zustandsbeschreibungen werden in YAML Syntax ausgeführt und in Playbooks geschrieben. Playbooks haben eine einfache YAML Struktur und können somit schon vorgefertigt als Template gespeichert und wiederverwendet werden. [ScriptRock (2014)]

4.2.2 Saltstack

Saltstack oder kurz 'Salt' ist wie Ansible in Python entwickelt worden. Zur Kommunikation mit den Clients wird ein Mastersystem benötigt und Agenten, als Minions bezeichnet, die auf den Zielclients installiert werden müssen. Die eigentliche Kommunikation wird über eine ZeroMQ messaging lib in der Transportschicht aufgebaut, wodurch die Verständigung zwischen Master und Minions vereinfacht wird. Dadurch verschnellert sich zwar die Kommunikation, jedoch ist diese dadurch unsicherer, als die SSH Kommunikation von Ansible. ZeroMq bietet nativ keine Verschlüsselung an, kann aber Nachrichten über IPC, TCP, TIPC oder Multicast transportieren. Salts Skalierbarkeit ist für Administratoren ein relevanter Faktor. Diese macht es möglich mehrere Ebenen an Mastern zu erstellen, um eine bessere Lastverteilung zu erhalten. Für die eigenen Konfigurationsdateien benutzt Salt das YAML-Format. Allerdings müssen Befehle, die in der Konsole ausgeführt werden, in Python oder PyDSL verfasst werden. [ScriptRock (2014)]

4.2.3 Puppet

Der größte Vertreter auf dem Markt im Bereich Konfigurationsmanagement-Systeme ist Puppet von Puppet Labs. Puppet hat nicht nur eine ausgereifte Monitoring-Oberfläche und läuft auf allen gängigen Betriebssystemen, sondern ist darüber hinaus Open-Source und bietet einen professionellen Support. Entwickelt wurde Puppet in Ruby. Entsprechend ist das Command-Line Interface an Ruby angelehnt, was den Nachteil mit sich bringt, dass neben dem lernen der

Puppet Befehlen auch Ruby Kenntnisse erforderlich sind. Wie bei Salt muss es einen Master geben, auf dem der Puppet-Daemon (Puppetmaster) installiert ist. Der Puppetmaster hält die Zustandsbeschreibung für die jeweiligen Clients und verteilt diese auf Anfrage via REST-API. Die Clients selbst benötigen einen Agenten (Puppet-Agent), um die Zustandsbeschreibungen zu erfragen. Dieser vergleicht die Zustandsbeschreibung mit der aktuellen Konfiguration des Clients und nimmt entsprechende Änderungen vor. [Rhett (2015)]

4.2.4 Zusammenfassung

	Vagrant	Saltstack	Puppet
Host-Betriebssystem	Diverse Linux Distributionen	Diverse Linux Distributionen	Diverse Linux Distributionen, Windows
Client-Betriebssysteme	Diverse Linux Distributionen, Windows	Diverse Linux Distributionen, Windows	Diverse Linux Distributionen, Windows
Lokale Client Installation nötig	Nein	Ja	Ja
Command-line Interface Sprache	Python	Python	Ruby
Zustandsbeschreibung	YAML	YAML	Puppet Code
Push oder Pull	Push	Push	Push und Pull
Open-Source	Ja	Ja	Ja
Preis	Kostenlos	Kostenlos	Kostenlos

Tabelle 4.2: Zusammenfassung evaluierter Konfigurationsmanagementsysteme⁴

⁴Quelle: Eigene Darstellung

4.2.5 Empfehlung

Der Unterschied in den verglichenen Konfigurationsmanagementsystemen besteht im Kontext, in dem das jeweilige System eingesetzt werden soll. Alle drei Anwendungen erfüllen die Grundbedingung auf Linux lauffähig zu sein und diverse Linux-Distributionen als Client bespielen zu können, wobei Puppet sich hervorragend im Umfeld größerer Systemlandschaften eignet. Wie Puppet benötigt Saltstack für die Clients extra Software, um die gewünschte Zustandsbeschreibung durchzuführen, was einen höheren Zeitaufwand und eine Fehlerquelle mehr bedeutet. Ansible ist das neuste entwickelte Softwareprodukt unter den Konfigurationsmanagementsystemen, kann aber einfacher eingerichtet werden und benötigt keine weiteren Ergänzungen auf der Clientseite. Dadurch wird auf den Zielmaschinen ausschließlich die erforderliche Software installiert, der gesamte Installationsprozess beschleunigt und der gesamte Zeitaufwand der Konfiguration minimiert.

4.3 Vagrant

Ein weiteres Produkt, das die zu erstellende Applikation unterstützen wird, ist Vagrant. Dabei handelt es sich um ein Softwareprojekt, welches 2010 von Mitchell Hashimoto und John Bender 2010 entwickelt wurde. [Thlenfeld (2012)] Vagrant ist ein Entwicklungswerkzeug, das als Wrapper zwischen Virtualisierungssoftware wie VirtualBox und Konfigurationsmanagement-System fungiert. Das command-line Interface und die einfache Konfigurationssprache helfen virtuelle Maschinen schnell zu konfigurieren und zu verwalten. Die Konfiguration einer virtuellen Maschine geschieht über das 'Vagrantfile', in dem Parameter wie IP-Adresse konfiguriert und Konfigurationsmanagementsysteme hinzugeschaltet werden können. Da das Vagrantfile in einer Ruby Domain Specific Language geschrieben wird, kann dieses über eine Versionskontrolle (z.B. Git oder Subversion) versioniert und an andere Anwender verteilt werden.

Um eine Virtualisierung vorzunehmen, verwendet Vagrant standardmäßig VirtualBox. Alternativ werden Amazon-Web-Services und VMware-Fusion ebenfalls unterstützt und sind einfach zu integrieren. Zudem werden von Vagrant Funktionen zur Teamarbeit angeboten, die einen entfernten Zugriff auf eine virtuelle Maschine lassen. Diese Möglichkeit des Zugriffs auf eine virtuelle Maschine, ermöglicht es Teams an unterschiedlichen Standorten, auf die gleiche Maschine zuzugreifen. [(Peacock (2013))]

Die zusätzlichen Funktionen von Vagrant und das Vereinen von Konfigurationsmanagement und Virtualisierer in einem Produkt, unterstützen den Entwicklungsprozess der Applikation. Funktionen, wie der entfernte Zugriff auf eine Maschine, können übernommen und in die Applikation eingefügt werden. Eine vergleichbare Applikation zu Vagrant ist Docker. Docker

verwendet Linux-Container (sogenannte LXC) statt virtueller Maschinen. Jeder Container ist eine virtuelle Umgebung die vom Betriebssystem bereitgestellt wird, um Prozesse isoliert auszuführen. Die ausgeführten Container teilen sich dabei einen gemeinsamen Kernel, wodurch der Nachteil entsteht, dass Windows-Applikationen nicht auf Linux ausgeführt werden können. Der Vorteil von Docker ist allerdings der Umgang mit Ressourcen, die im Gegensatz zu einer virtuellen Maschine sparsamer verwaltet werden. Mit etwas höherem Aufwand ist die Installation von Docker verbunden, wofür wiederum Vagrant verwendet werden kann. [Roden (2014)]

Vagrant kann dementsprechend nicht nur den Funktionsumfang der zu erstellenden Applikation übernehmen sondern auch den Entwickler dabei unterstützen Docker auf seiner virtuellen Maschine zu installieren, falls der Entwickler lieber mit Docker weiterarbeiten möchte. So kann mehr Flexibilität für die Applikation erreicht werden.

5 Softwareentwurf

Nach Balzert (2011) ist der Softwareentwurf die Entwicklung einer software-technischen Lösung im Sinne einer Softwarearchitektur auf Basis der gegebenen Anforderungen an ein Softwareprodukt. Die Herausforderung bei der Erstellung eines Softwareentwurfs ist eine Softwarearchitektur zu entwerfen, die die zuvor erarbeiteten funktionalen- (Kapitel 3.3) und nichtfunktionalen Anforderungen (Kapitel 3.5) berücksichtigt, einschließlich der Berücksichtigung von Einflussfaktoren, wie definierte Randbedingungen (Kapitel 3.6). Der Softwareentwurf ist eine Richtlinie, die bei der Umsetzung der geforderten Software unterstützt. Die zu erstellende Softwarearchitektur hingegen beschreibt Architekturbausteine, deren Interaktionen und Beziehungen untereinander sowie ggf. deren Verteilung auf physischer Ebene. Dabei ist die Spezifizierung der entsprechenden Schnittstellen der einzelnen Architekturbausteine mit zu beachten. Zur Visualisierung können verschiedene Abstufungen von Sichten verwendet werden, die Kontextabgrenzung, Bausteinsicht, Laufzeitsicht und die Verteilungssicht. Diese Sichten werden im folgenden Softwareentwurf verwendet und näher beschrieben.

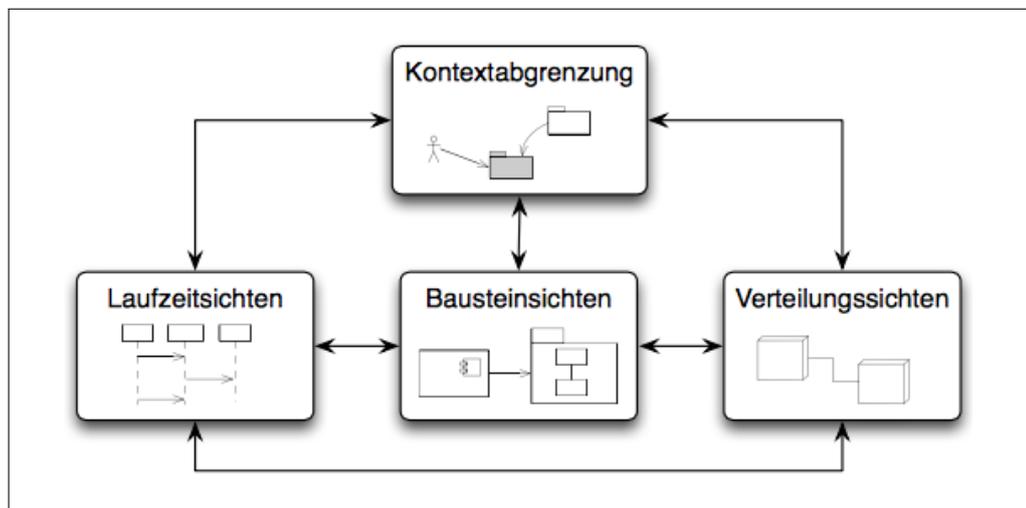


Abbildung 5.1: Vier Arten von Sichten¹

¹Bildquelle: Starke (2014)

5.1 Kontextabgrenzung

Die Kontextabgrenzung beschreibt die Einbettung des Systems in dessen Umgebung sowie die wesentlichen Teile der umgebenden Infrastruktur. Die ermittelten Anforderungen aus Kapitel 3.3 und 3.5 haben ergeben, dass die Hauptfunktionalitäten aus Erstellen, Exportieren, Importieren, Teilen und dem Provisioning von virtuellen Maschinen bestehen. Um dieses weiter zu bündeln, können Teile der Hauptfunktionalitäten einzelner Produkte, die in Kapitel 4 betrachtet wurden, übernommen werden. VirtualBox kann das Erstellen, Exportieren und den Import von virtuellen Maschinen übernehmen. Das Konfigurationsmanagement-System Ansible ist darauf ausgelegt, mit bekannten Virtualisierungslösungen zusammenarbeiten zu können und übernimmt somit die Anforderung nach automatisierter Softwareinstallation. Um die beiden Anwendungen zu kombinieren, kann Vagrant als Wrapper eingesetzt werden, der zusätzliche Funktionen, wie das Teilen (Sharen) einer Maschine, mitbringt. Logik und Oberfläche werden durch den VM-Builder bereitgestellt, der in den folgenden Abschnitten näher konzipiert wird.

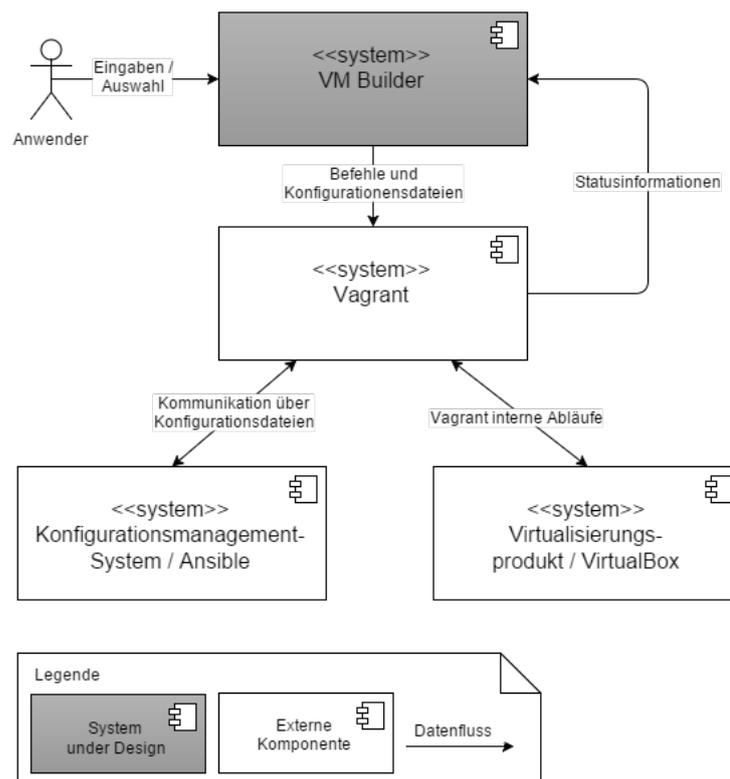


Abbildung 5.2: Kontextsicht²

²Bildquelle: Eigene Darstellung

5.1.1 Kurzbeschreibung der externen Schnittstellen

Eingaben / Auswahl	Der Anwender tätigt Eingaben und wählt unter bereitgestellten Optionen aus. Diese werden direkt von der Applikation verarbeitet.
Befehle und Konfigurationen	Die Applikation erstellt nötige Konfigurationsdateien für Vagrant und Ansible und leitet Befehle für die Weiterverarbeitung an Vagrant weiter.
Kommunikation über Konfigurationsdateien	Vagrant ruft über die erstellten Konfigurationsdateien den Konfigurationsmanager Ansible auf, um die virtuelle Maschine in den beschriebenen Zustand zu überführen.
Vagrant interne Abläufe	VirtualBox erstellt diese virtuelle Maschine und gibt Statusmeldungen an Vagrant weiter. Dies sind interne Abläufe, die zwischen Vagrant und VirtualBox ablaufen und nicht vom Entwicklungsprozess beeinflusst werden können.

Die Applikation, inklusive der oben genannten Produkte, wird auf einem Server betrieben, der zentralisiert positioniert ist und über HTTP, FTP und SSH erreichbar ist. Dem Anwender wird von der Applikation eine Weboberfläche zur Verfügung gestellt, die es ermöglicht Eingaben zu tätigen und Optionen auszuwählen, um eine virtuelle Maschine zu erstellen oder zu verwalten. Damit die Applikation auf dem Server betrieben werden kann, muss eine Internetverbindung bestehen, die es Vagrant ermöglicht das gewünschte Abbild des Betriebssystems herunterzuladen und die virtuelle Maschine mit anderen Anwendern zu teilen. Die vom Anwender gestellten Anfragen an den VM-Builder werden in Konfigurationsdateien übersetzt, die speziell für Vagrant und Ansible erstellt werden. Diese Konfigurationsdateien dienen nicht nur zur Erstellung der gewünschten virtuellen Maschine, sondern auch zur Kommunikation zwischen Vagrant und Ansible. Vagrant entnimmt den Konfigurationen das ausgewählte Image und leitet den dazugehörigen Download des Betriebssystems ein. Ist das Image auf dem Server schon vorhanden, wird dieses verwendet. Durch die Hilfe von VirtualBox und ggf. Ansible wird die zu erwartende virtuelle Maschine komplettiert.

5.2 Verteilungssicht

Um die Beschreibung aus 5.1.1 der Kontextabgrenzung visuell zu unterstützen, wird die Verteilungssicht herangezogen. Starke (2011) beschreibt die Verteilungssicht dabei wie folgt:

"Die Verteilungssicht zeigt die Verteilung von Systembestandteilen auf Hard- und Softwareumgebungen. Diese Sicht klärt, welche Teile des Systems auf welchen Rechnern, an welchen geographischen Standorten oder in welchen Umgebungen ablaufen können, wenn es in einer konkreten technischen Infrastruktur installiert wird."

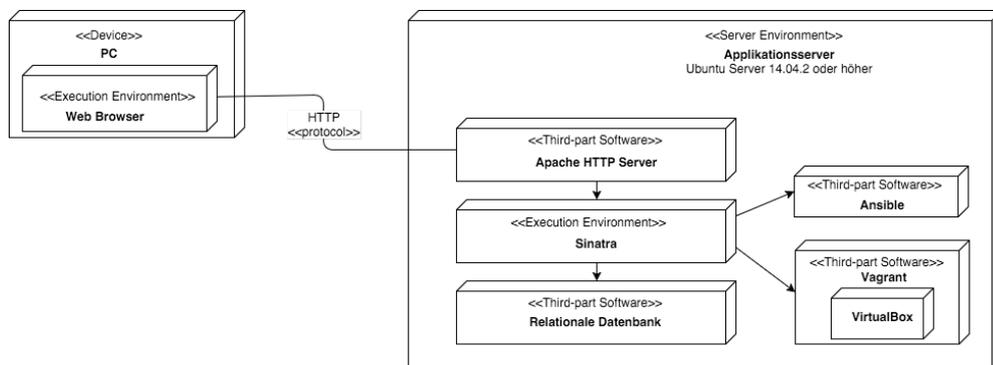


Abbildung 5.3: Verteilungssicht des VM-Builders³

Die genaue Platzierung der Softwarekomponenten aus Abschnitt 5.1.1 verhilft zu einer besseren Umsetzung der kompletten Softwarestruktur und verdeutlicht die Beziehung zwischen den einzelnen Komponenten. Unter den Abschnitten 3.5 und 3.6.1 wurden technologische Anforderungen und entsprechende Randbedingungen beschrieben und definiert. Die dortige Beschreibung definiert, dass die zu verwendende Software frei verfügbar und kostenlos sein muss. Aus diesem Grund wird bei dem Betrieb des Servers Ubuntu verwendet, wobei hier die aktuelle Version (Stand Juni 2015) vorausgesetzt wird. Als Webserver kann Apache eingesetzt werden, der mittels dem zustandslosen HTTP-Protokoll mit dem Client kommuniziert. Die benötigte relationale Datenbank kann durch MySQL umgesetzt werden. Diese wird primär für das Speichern von Konfigurationen einzelner virtueller Maschinen genutzt, dem Speichern derer individuellen Konfigurationen und zur Persistierung der angebotenen Softwarekomponenten. In dem Execution-Framework wird der VM-Builder ausgeführt, der wiederum an die Drittanbieter Ansible und Vagrant angebunden ist.

³Bildquelle: Eigene Darstellung

5.3 Bausteinsicht

Starke (2011) beschreibt in seinem Werk die Bausteinsicht wie folgt:

„Sie zeigt die statische Struktur des Systems, seinen Aufbau aus Softwarebausteinen sowie deren Beziehungen und Schnittstellen untereinander. Jeder dieser Bausteine wird letztlich durch eine Menge (selbst erstelltem oder zugekauftem) Quellcode implementiert.“

Ausgehend vom Systemkontext wird das System hierarchisch zergliedert. Somit entstehen Ebenen in unterschiedlichem Detailgrad. Ebene 0 stellt das System als Blackbox dar, die der Kontextsicht aus Abbildung 5.2 entspricht. In den höheren Ebenen wird der Detailgrad erhöht und die dargestellte Blackbox zur Whitebox. Eine Whitebox gibt einen detaillierten Einblick in dessen Struktur und Schnittstellen, die wiederum als Blackboxen dargestellt werden. Die Bausteinsicht wird in die Planung des VM-Builders mit einbezogen und in Abschnitt 5.7.1 zur Darstellung der Komponentenstruktur verwendet.

5.4 Laufzeitsicht

Nach Zörner (2012) zeigt die Laufzeitsicht Elemente der Bausteinsicht in Aktion, veranschaulicht dynamische Strukturen und das Verhalten des Systems. Laufzeitsichten helfen zudem Verantwortlichkeiten zu klären und Schnittstellen zwischen Komponenten zu definieren. [Zörner (2012)]. Durch die Erstellung von konkreten Szenarien, lassen sich Namen und Parameter für Operationen ableiten und vereinfachen das Verständnis der zukünftigen Implementierung. Abschnitt 5.7.4 zeigt die Anwendung der Laufzeitsicht auf ein primäres Szenario des VM-Builders.

5.5 Systemarchitektur

Nachdem die Umsysteme, deren Verteilung und der technische Aufbau des VM-Builders konzipiert sind, wird die Struktur der eigentlichen Anwendung geplant werden. Dafür gibt es etablierte Architektur- und Entwurfsmuster, auf die zurückgegriffen werden kann. Diese helfen bei der Verteilung der Verantwortlichkeiten und bilden eine Vorlage für die Systemstrukturen. Da diese sich in einigen Punkten überschneiden und ergänzen, entstehen bei der Verwendung mehrerer Architekturmuster keine Widersprüche.

5.5.1 Client-Server-Modell

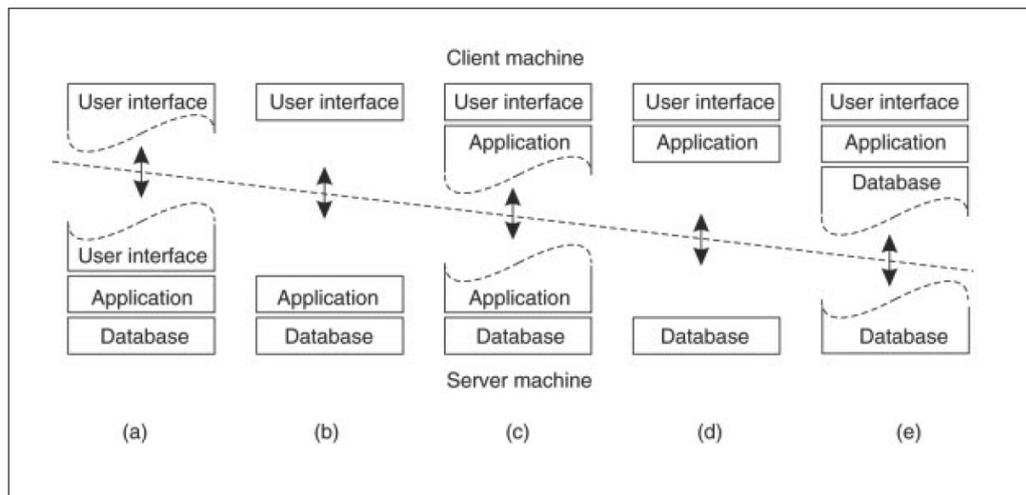
Um eine möglichst gute strukturelle Verteilung der Aufgaben und Dienstleistungen des VM-Builders auf physikalischer Ebene zu erhalten, wird auf das Client-Server-Modell zurückgegriffen. Durch das Client-Server-Modell wird die Aufgabenverteilung innerhalb einer Applikation strukturiert sowie die Zentralisierung von Prozessorenleistung und gemeinsamen Diensten. [Schäfer (2009)]

Die eindeutige Unterscheidung zwischen den Client- und Servertätigkeiten kann durch einen geschichteten Architekturstil erreicht werden, der die Aufgaben in folgende Schichten unterteilt:

1. Benutzerschnittstelle (User interface)
Die Benutzerschnittstelle enthält alles Erforderliche, um direkt mit dem Anwender zu interagieren.
2. Verarbeitungsebene (Application)
Die Verarbeitungsebene enthält die Anwendung / Kernfunktionalität.
3. Datenebene (Database)
Daten werden unabhängig von der Applikation persistent gespeichert.

Im Zusammenhang mit dem Client-Server-Modell steht das n-Tier Model oder auch als Schichtenmodell bezeichnet. Eine Schicht ist entweder ein physikalischer Rechner oder mindestens ein Systemprozess, der eine bestimmte Aufgabe übernimmt. Die einfachste Anordnung dieser Schichten besteht darin, diese auf zwei Computer, den Client und den Server, zu verteilen (2-Tier Model)⁴. Dabei können die Schichten wie in Abbildung 5.4 auf der folgenden Seite dargestellt, zwischen Client und Server verteilt sein. [Tanenbaum und van Steen (2007)]

⁵Bildquelle: Tanenbaum und van Steen (2007)

Abbildung 5.4: Client-Server-Anordnungen⁵

Die in Abbildung 5.4 (a) bis (c) dargestellten Varianten gehören zu der Kategorie Thin-Clients, während die Varianten (d) und (e) zu den sogenannten Fat-Clients gezählt werden. Das Konzept des VM-Builders wird eines der Thin-Client-Konstrukte verwenden, um die Client-Seite zu planen.

Einer der Vorteile von Thin-Clients ist, dass weniger bis keine Client-Software auf die Seite des Anwenders gebracht werden muss. Die Problematik, die bei der Verwendung von Software auf Clientseite entsteht, ist die schwerere Administration des Clients und dessen höhere Anfälligkeit für Fehler. [Tanenbaum und van Steen (2007)]

Die, im Rahmen dieser Arbeit, angestrebte Client-Server-Anordnung ist die in Abbildung 5.4 (a) gezeigte Variante. Der Client soll so minimal wie möglich gehalten werden, um dem Anwender einen schnellen Seitenaufbau zu ermöglichen und lokale Installationen zu vermindern. So liegt die Kontrolle der Darstellung auf Applikations-Seite. Da in der Anforderungsanalyse Kapitel 3.6.1 festgelegt wurde, dass mit Ruby inkl. des Frameworks Sinatra gearbeitet werden soll, wird die Logik auf der Server-Seite implementiert und benötigt keinen Anteil auf Client-Seite. Entsprechend sind die Verarbeitung- (Application) und die Datenebene (Database) auf der Server-Seite angesiedelt. Auf Verarbeitungsebene wird der Webserver mit den Applikationskomponenten des VM-Builders realisiert. Die Datenebene spiegelt die zu verwendende Datenbank wider, die für die Persistierung von Daten zuständig sein wird.

Beim Client-Server-Aufbau mit Variante (b) wird davon ausgegangen, dass die gesamte Darstellung auf Client-Seite platziert wird, wodurch eine Separierung vom Client zur restlichen Anwendung vollzogen wird. Die Anwendung von Variante (c) wird in Applikationen ver-

wendet, in denen zusätzlich Logikverarbeitung auf Anwender-Seite ausgeführt werden soll, wogegen die Planung des VM-Builders sprechen würde. So ist die Wahl von Variante (a) als Thin-Client am praktikabelsten.

5.5.2 Model-View-Controller Entwurfsmuster

Für eine strukturierte Umsetzung der grafischen Komponente des VM-Builders wird auf das bekannte architektonische Model-View-Controller-Entwurfsmuster zurückgegriffen. Das Model-View-Controller-Entwurfsmuster (auch MVC genannt) findet beim Entwurf grafischer Benutzungsoberfläche anwendung, d.h. bei Mensch-Maschine-Interaktionen. Dazu wird das System, das Interaktionen anbietet und ausführt, in drei Verantwortlichkeiten unterteilt:

1. **Model**

Kapselt alle fachlichen Daten und enthält den Anwendungskern.

2. **View**

Bereitet Informationen für den Anwender grafisch auf.

3. **Controller**

Nehmen Benutzereingaben/Events an, die entsprechend an das passende Model oder die View weitergeleitet werden.

Wie das Client-Server-Model besteht auch das Model-View-Controller-Entwurfsmuster aus drei Schichten. Anstatt diese drei Schichten auf mehrere physikalische oder virtuelle Systeme zu verteilen, werden diese auf Applikationsebene abgebildet. Das MVC-Entwurfsmuster kann zwar auf jeder der Schichten des Client-Server-Models implementiert werden, hat aber im Gegensatz zu dem Client-Server-Model nichts mit der Verteilung des Systems zu tun.

⁶Bildquelle: [Wikipedia \(2015\)](#)

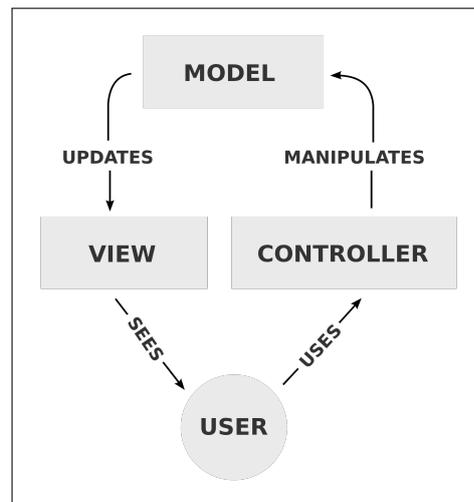


Abbildung 5.5: Model-View-Controller⁶

Abbildung 5.5 zeigt die Kommunikation zwischen den Bestandteilen des Model-View-Controller-Entwurfsmusters.

1. Alle Eingaben/Änderungen des **User** werden von der Benutzeroberfläche an den Controller weitergegeben.
2. Der **Controller** gibt Zustandsänderungen an das Model weiter.
3. Das **Model** verarbeitet die erhaltenen Daten, in dem diese z.B. an den persistenten Speicher weitergeleitet werden oder Berechnungen stattfinden.
4. Die resultierenden Ergebnisse / Änderungen werden über die View sichtbar gemacht.

Das MVC-Entwurfsmuster entkoppelt das User-Interface von der Verarbeitungsebene. Es trennt die View (Repräsentation) und das Model (Fachlichkeiten) von einander, da die Änderungshäufigkeit beider Ebenen unterschiedlich ausfallen können. Durchschnittlich ändern sich z.B. Windows-Oberflächen etwa alle zwei Jahre, Fachlichkeit ca. 10 bis 15 Jahren. Das MVC-Entwurfsmuster ermöglicht als eine Modernisierungsmaßnahme den Austausch der Oberfläche, ohne die Fachlichkeiten ändern zu müssen. [Masak (2009)]

Da das geforderte Framework Sinatra dieses Konzept nativ umsetzen kann, lässt sich das Entwurfsmuster einfach in der Programmierung anwenden. In Sinatra werden die Views separiert von den sogenannten Routen (Controllern) implementiert, wodurch die 'V'- und 'C'- Eigenschaften erfüllt werden. Um die Modell-Anforderungen zu erfüllen, kann z.B. ein

Datenbank-Framework, wie Active-Record, angewendet werden. Die Abbildung 5.6 zeigt die Integration des MVC-Entwurfsmusters in das Schichtenmodell.

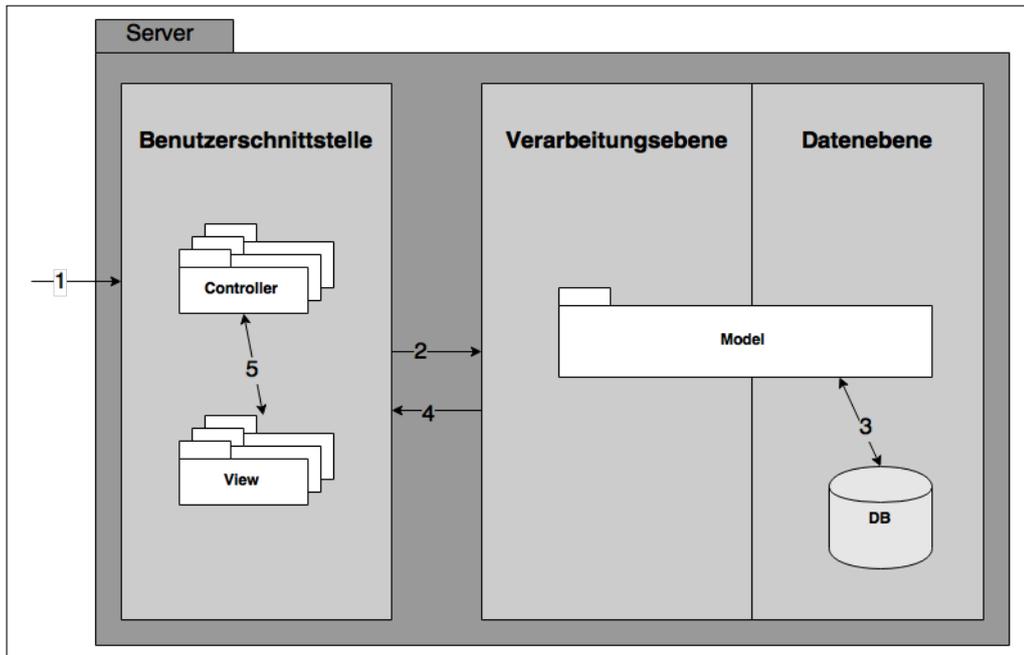


Abbildung 5.6: Model-View-Controller im 3-Schichten-Modell⁷

Da der Client nur für die Darstellung zuständig ist wird wie in Abbildung 5.6 zu sehen das MVC-Entwurfsmuster nur auf Server-Seite implementiert. Entsprechend werden die Controller und die Views im serverseitigen Teil der Benutzerschnittstelle implementiert, während die Modells sich über die Verarbeitungsebene und Datenebene erstrecken, um den Zugriff auf die Datenhaltung zu gewährleisten.

5.6 Kommunikation

Die Kommunikation zwischen Client und Server wird über das zustandslose HTTP Protokoll realisiert. Wird von einem Client (der theoretisch ein Web-Browser, eine Web-Anwendung, ein Dienst usw. sein kann) aus eine Webserver-Kommunikation aufgebaut, erstellt der Client dabei eine HTTP-Nachricht. Diese Nachricht ist in 'plain-text' geschrieben und 'zeilenorientiert'. Dadurch ist eine Nachricht einfach zu erstellen und auf Serverseite einfach auszuwerten. Ist die Anfragebearbeitung auf Serverseite abgeschlossen, sendet dieser in der Regel den Status

⁷Bildquelle: Eigene Darstellung

(Client-Anforderung erfolgreich, Fehler, etc.), Inhalte und andere Daten zurück an den Client. Nachrichten enthalten sogenannte HTTP-Verben, die den Typ der Anfrage definieren und wie der Server die Anfrage zu bearbeiten hat. [Harris und Haase (2011)].

Standard HTTP-Verben	Definition
GET	Eine GET-Anforderung wird verwendet, um einen Server zu bitten, die Darstellung einer Ressource zurückzuliefern.
POST	Eine POST-Anforderung wird verwendet, um Daten an einen Webserver zu übermitteln. In dem
PUT	PUT wird verwendet, um auf einem Server eine Ressource zu erstellen oder zu aktualisieren.
DELETE	DELETE wird verwendet, um eine Ressource auf dem Server zu löschen.

zu verwendenden Framework Sinatra wird das Vokabular der HTTP-Verben benutzt, um Routen zu definieren. Um eine Route in Sinatra zu deklarieren, wird das HTTP-Verb in Verbindung mit der URL benötigt. Das Verhalten der Route wird im Anschluss definiert und beim Aufruf der Route ausgeführt, siehe Abbildung: 5.1.

```
1 get '/' do
2   .. zeige etwas ..
3 end
4
5 post '/' do
6   .. erstelle etwas ..
7 end
8
9 put '/' do
10  .. update etwas ..
11 end
12
```

```
13 delete '/' do
14   .. entferne etwas ..
15 end
16
17 options '/' do
18   .. zeige, was wir können ..
19 end
20
21 link '/' do
22   .. verbinde etwas ..
23 end
24
25 unlink '/' do
26   .. trenne etwas ..
27 end
```

Listing 5.1: Routen in Sinatra⁸

5.7 Server

Im Folgenden wird die strukturelle Planung des Servers erstellt und geschieht unter der Verwendung der Entwurfsmuster aus Abschnitt 5.5. Damit ein vollständiges Bild des Server-Konstrukts entsteht, werden im Folgenden unter anderem die Bausteinsicht und die Laufzeitsicht aus der Abbildung 5.1 konstruiert.

5.7.1 Bausteinsicht

Wie bereits in Abschnitt 5.3 erklärt, zeigt die Bausteinsicht die Struktur des Systems und schafft eine Übersicht über die geplanten Komponenten. Abbildung 5.7 ist eine Ebene-1-Darstellung der Serverapplikation in Form des MVC-Entwurfsmusters. In dieser Darstellung wird der VM-Builder mit seinen einzelnen Komponenten betrachtet, die als Blackboxen dargestellt sind.

⁸Quelle: Sinatra (2015)

⁹Bildquelle: Eigene Darstellung

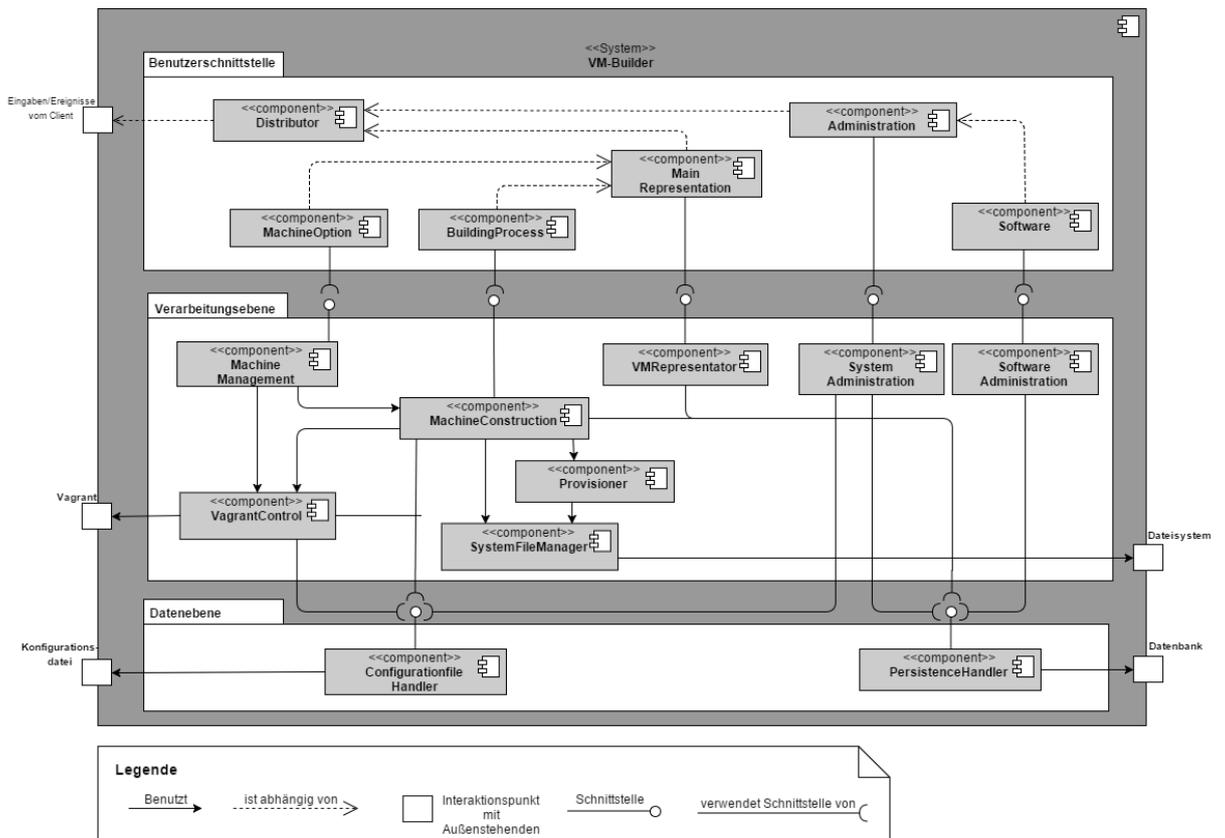


Abbildung 5.7: Bausteinsicht Level 1⁹

Die Komponenten sind in deren Zuständigkeiten gegliedert und den entsprechenden Schichten zugeordnet. Die Schnittstellen werden durch Interaktionspunkte zwischen den Schichten dargestellt. Jede Komponente enthält, der jeweiligen Schicht entsprechend, Controller, Views und/oder Models, die in dem folgenden Abschnitt detaillierter betrachtet werden.

5.7.1.1 Benutzerschnittstelle

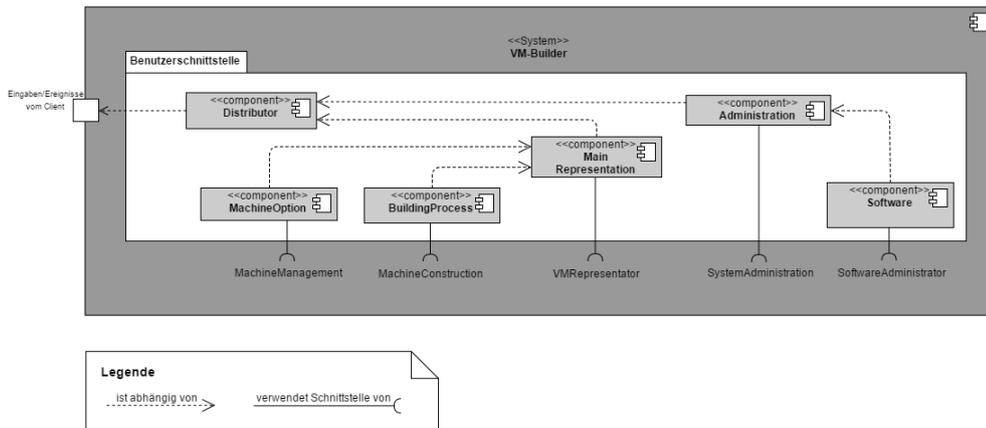


Abbildung 5.8: Benutzerschnittstelle¹⁰

Der für die Kommunikation zuständige Anwendungsteil ist die Benutzerschnittstelle (siehe Abbildung 5.8). Die dort enthaltenen Komponenten sind für die Annehme der User-Interaktionen zuständig und für die Darstellung der gewünschten Inhalte.

Distributor-Komponente

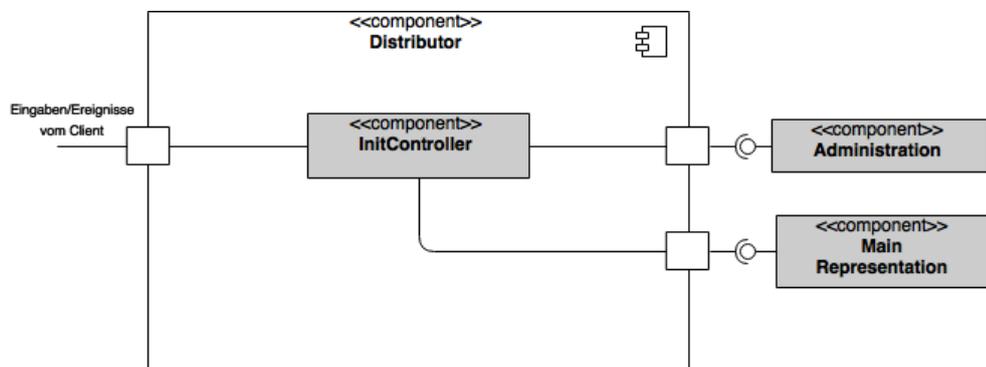


Abbildung 5.9: Komponentensicht Distributor¹¹

Die primäre Aufgabe der Distributor-Komponente liegt im Empfang der eingehenden Kommunikation und der Weiterleitung an den entsprechenden Controller. Durch den Einsatz dieser

¹⁰Bildquelle: Eigene Darstellung

¹¹Bildquelle: Eigene Darstellung

BuildingProcess-Komponente

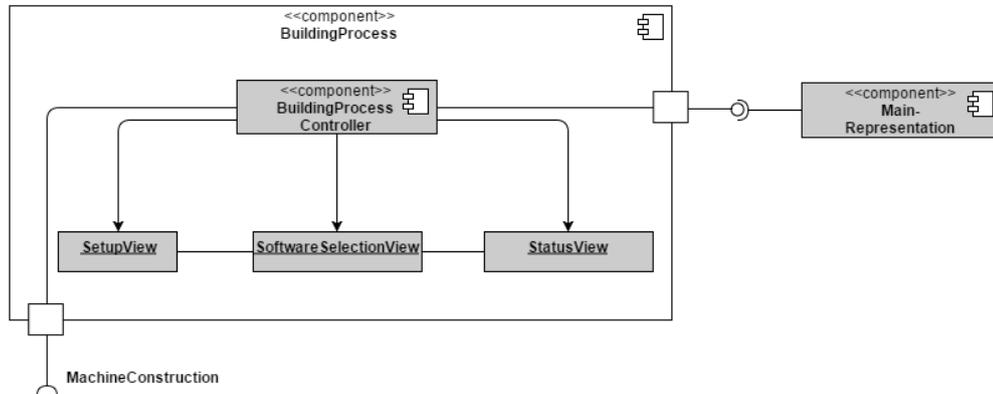


Abbildung 5.11: Komponentensicht BuildingProcess¹³

Der Aufbauprozess einer virtuellen Maschine wird grafisch durch die BuildingProcess-Komponente bereitgehalten. Die dort enthaltenen Views leiten den Anwender durch den Aufbauprozess. Dabei beinhaltet jede View einen Konfigurationsschritt:

1. SetupView

In der SetupView werden die Eigenschaften wie IP-Adresse und Name der zu erstellenden Maschine festgelegt

2. SoftwareSelectionView

Um die virtuelle Maschine in den gewünschten Zustand zu versetzen, bietet die SoftwareSelectionView dem Anwender eine Auswahl an zu installierenden Softwarekomponenten und Paketen.

3. StatusView

Die StatusView erstellt eine Übersicht über den aktuellen Aufbauverlauf und präsentiert die Zugangsmöglichkeiten zur virtuellen Maschine.

Unterstützt wird der Aufbau durch den Zugriff auf die MachineConstruction-Komponente der Verarbeitungsebene. Dieser gibt unter anderem der SoftwareSelectionView eine Vorgabe an Auswahloptionen, die der Anwender in verwenden kann. Da der Aufbau einer virtuellen Maschine erst durch einen definierten Aufruf aus der MainRepresentation erfolgen soll, ist der BuildingProcessController auch nur über diese Komponente aufrufbar.

¹³Bildquelle: Eigene Darstellung

MachineOption-Komponente

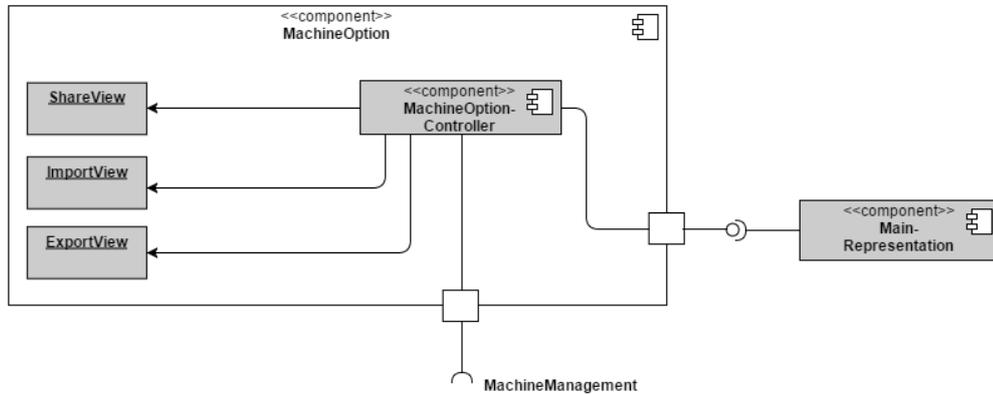


Abbildung 5.12: Komponentensicht MachineOption¹⁴

In Abbildung 5.12 ist ersichtlich, dass die MachineOption-Komponente drei Views bereitstellt, die alle über den Controller indirekt in Beziehung zueinander stehen. Diese repräsentieren die Optionen, die ein Anwender auf eine bestehende Maschine ausführen kann. Über die Schnittstelle der MachineManagement-Komponente, werden die einzelnen Funktionalitäten bereitgestellt und ausgeführt.

Administration-Komponente

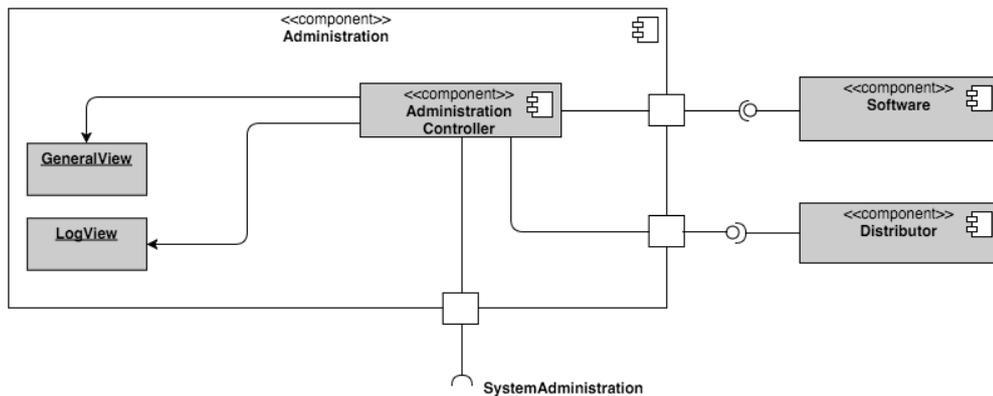


Abbildung 5.13: Komponentensicht Administration¹⁵

¹⁴Bildquelle: Eigene Darstellung

¹⁵Bildquelle: Eigene Darstellung

Wie bereits in Abschnitt Distributor-Komponente (5.7.1.1) beschrieben, wird neben der MainRepresentation-Komponente auch die Administration-Komponente realisiert. Diese ist für die Visualisierung der generellen Einstellungen und der Anzeige von Logdateien. Die Schnittstelle der Administration-Komponente ist mit der SystemAdministration-Komponente aus der Verarbeitungsebene verbunden, um die voreingestellten Anwendungseinstellungen abzurufen und Änderungen an diesen speichern zu können.

Software-Komponente

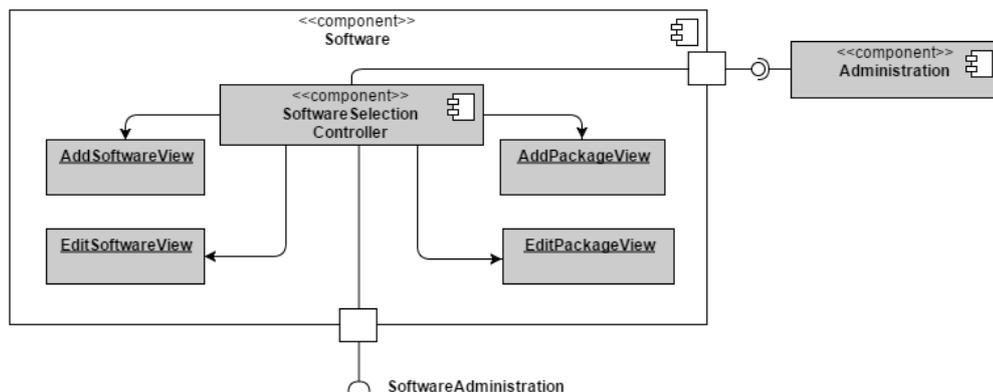


Abbildung 5.14: Komponentensicht Software¹⁶

Die an der Administration-Komponente angeschlossene Software-Komponente unterstützt den Anwender in der Konfiguration einzelner Softwarekomponenten und Software-Pakete. Pakete bestehen aus einzelnen Softwarekomponenten, die zueinander in Abhängigkeit gestellt werden. So können beim Aufbau einer virtuellen Maschine durch die Auswahl eines Paketes mehrere Softwarekomponenten automatisiert installiert werden. Zudem ermöglicht die Software-Komponente neue Softwarekomponenten hinzuzufügen, zu bearbeiten und zu ändern. Entsprechende Views helfen dem Anwender die ausgewählten Funktionen durchzuführen. Organisatorisch gehört die Software-Komponente zur Administration-Komponente. Dieses ermöglicht eine einfachere Implementierung einer Benutzerverwaltung, falls zukünftig Änderungen an Einstellungen und Softwarekomponenten nur von einem bestimmten Personenkreis durchgeführt werden sollen.

¹⁶Bildquelle: Eigene Darstellung

5.7.1.2 Verarbeitungseben

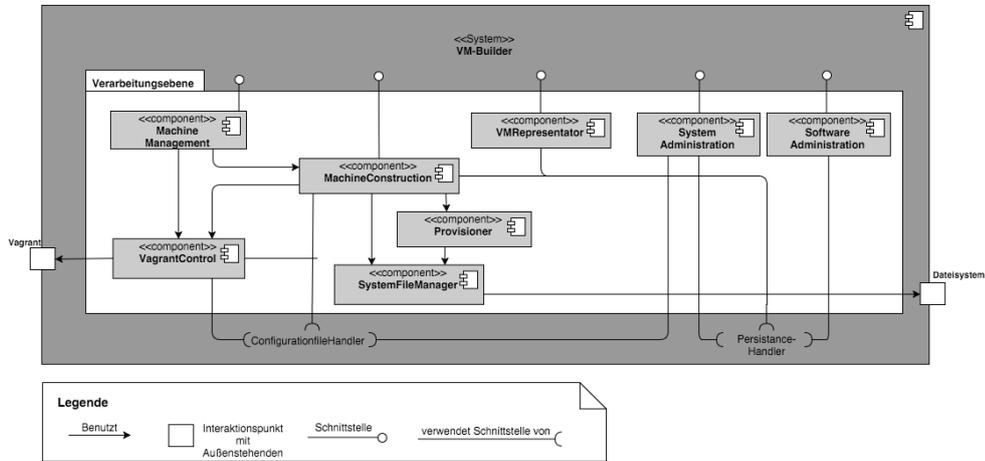


Abbildung 5.15: Ansicht der Verarbeitungsebene¹⁷

Wie im MVC-Entwurfsmuster vorgesehen, beinhaltet die Verarbeitungsebene die Logik der Anwendung, die durch logisch konstruierte Komponenten repräsentiert wird. Da Komponenten wiederum aus Komponenten bestehen können, werden diese durch eine Whitebox-Darstellung explizit hervorgehoben. Die Komponenten, die für sich selber stehen, kommen ohne weitere Whitebox-Darstellung aus.

¹⁷Bildquelle: Eigene Darstellung

MachineConstruction-Komponente

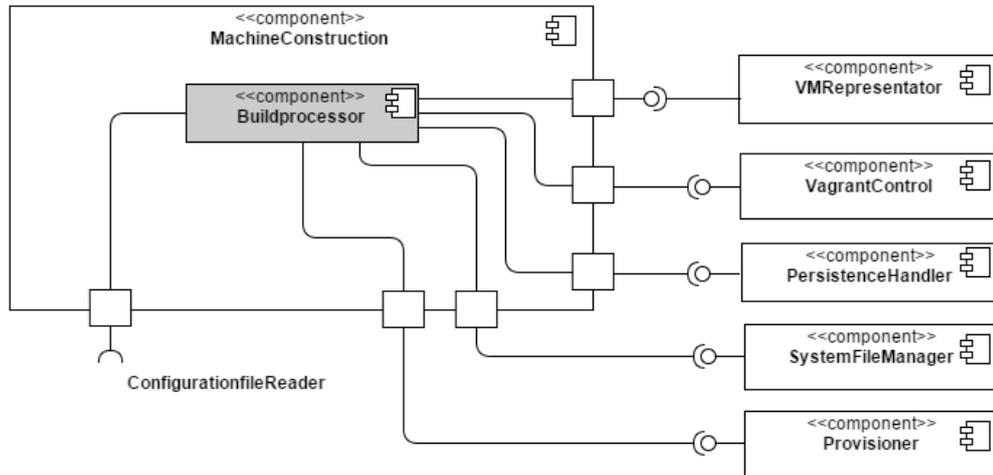


Abbildung 5.16: Komponentenansicht MachineConstruction¹⁸

Der Aufbau einer virtuellen Maschine wird durch die MachineConstruction-Komponente realisiert. Die dort enthaltene Buildprocessor-Komponente enthält die Logik, die den Aufbau der virtuellen Maschinen steuert, in dem diese auf Komponenten der Verarbeitungs- und Datenebene zugreift. Durch die PersistenceHandler-Komponente können die Attribute der virtuellen Maschine in der Datenbank gespeichert und für die Verwaltung der virtuellen Maschinen wieder ausgelesen werden. Um die vom Anwender ausgewählten Softwarekomponenten zu verarbeiten, ist die Verwendung der Provisioner-Komponente nötig. Diese erzeugt aus der Softwareauswahl eine Provisionierungsdatei, die bei der Erstellung der virtuellen Maschine einbezogen wird. Damit die Provisionierungsdatei und alle folgenden Dateien im richtigen Verzeichnis abgelegt werden, wird durch den SystemFileManager eine definierte Verzeichnisstruktur erstellt. In dieser werden alle Konfigurationsdateien der virtuellen Maschine sowie hochgeladenen Dateien des Anwenders gespeichert. Ein Bestandteil der gerade erwähnten Konfigurationsdateien ist das Vagrantfile. Das Vagrantfile beinhaltet alle wichtigen Konfigurationseinstellungen der zu erstellenden virtuellen Maschine. Die Erstellung dieser Datei erfolgt aus vorgegebenen- und anwenderabhängigen Informationen und wird durch die VagrantControl-Komponente durchgeführt. Zudem stellt diese Komponente dem Buildprocessor alle Steuerbefehle für Vagrant zur Verfügung. Über den Zugriff auf die ConfigurationfileHandler-Komponente, die sich in der Datenebene befinden, erhalten der Buildprocessor, VagrantControl und die Provisioner-

¹⁸Bildquelle: Eigene Darstellung

Komponente Grundkonfigurationseinstellungen, die für den Aufbau und die Erstellung der einzelnen Dateien benötigt werden.

5.7.2 Provisioner-Komponente

Die Provisioner-Komponente ist ein erweiterter Bestandteil des Aufbauprozesses. Durch die Verwendung dieser Komponente, wird eine YAML-Datei erzeugt, falls der Anwender eine Softwareauswahl getroffen hat. Die YAML-Datei ist optional, da diese lediglich benötigt wird, wenn Software auf einer virtuellen Maschine installiert werden soll. Wurde keine Software vom Anwender ausgewählt, wird die Konfiguration des Maschinen-Aufbaus so angepasst, dass der Provisionierer nicht involviert wird. Die Provisioner-Komponente baut aus den Informationen, die sie aus dem BuildProcessor erhält, die richtige Struktur und den inhaltlichen Kontext der YAML-Datei auf. Ergänzt werden diese Informationen durch Daten aus dem ConfigurationFileHandler, der sich in der Datenebene befindet. Dieser übergibt weitere Grundkonfigurationen an die Provisioner-Komponente, um den Aufbau der Datei zu vervollständigen.

VagrantControl-Komponente

VagrantControl vereinigt Befehlsaufrufe für die Steuerung von Vagrant. Zudem extrahiert die Komponente wichtige Informationen aus den Statusinformationen von Vagrant heraus, die bei der Ausführung von Vagrant erzeugt werden. Die Informationen werden interpretiert und in Rückgabewerte von Funktionsaufrufen umgewandelt. Zudem werden diese für die Generierung von Fehlermeldungen benötigt und verwendet. Da Vagrant nur mit einem gültigen Vagrantfile lauffähig ist, übernimmt VagrantControl auch das Erstellen dieser.

SystemAdministration-Komponente

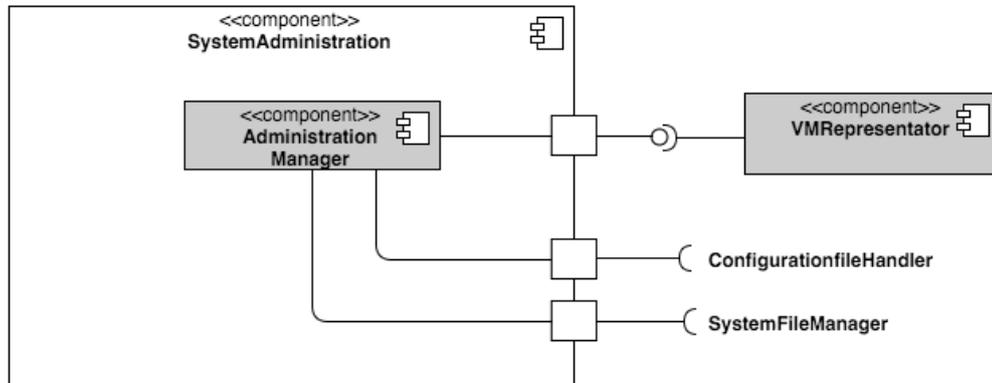


Abbildung 5.17: Komponentenansicht SystemAdministration¹⁹

Die Umsetzung der Logik der administrativen Ansicht geschieht durch die AdministrationManager-Komponente, die in der SystemAdministration implementiert ist. Der dort verwendete ConfigurationfileHandler liest alle notwendigen Einstellungen aus der Konfigurationsdatei des VM-Builders heraus und stellt diese zur Verfügung. Entsprechend können Änderungen an diesen übergeben und in der Konfigurationsdatei ersetzt werden. Eine weitere Eigenschaft der AdministrationManager-Komponente ist das Bereitstellen des Inhalts der Applikationslogdatei. Durch entsprechende Funktionsimplementierungen im SystemFileManager werden Inhalte von Dateien ausgelesen und zurückgegeben. So kann die SystemAdministration-Komponente der Administration-Komponente aus der Benutzerschnittstelle alle wichtigen Daten zur Darstellung liefern.

¹⁹Bildquelle: Eigene Darstellung

5.7.3 SoftwareAdministration-Komponente

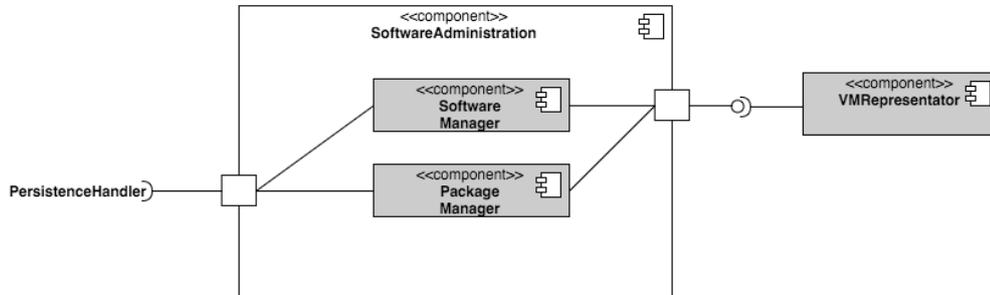


Abbildung 5.18: Komponentenansicht SoftwareAdministration²⁰

Für die Verwaltung und Bereitstellung von Softwarekomponenten und Softwarepaketen stellt der VM-Builder eine Administrative-Oberfläche bereit. Die Umsetzung der dort angebotenen Optionen erfolgt in der SoftwareAdministration-Komponente, durch die Komponenten SoftwareManager und PackageManager. Jede der beiden Komponenten beinhaltet Funktionen zum Bearbeiten, Löschen oder Hinzufügen von Software- oder Packageelementen. Der Package-Manager erweitert den Funktionsumfang zudem um das hochladen von eigenen Dateien, um Packages weiter zu individualisieren. Die Speicherung der jeweiligen Aktionen des Anwenders wird durch die Verwendung des PersistenceHandler durchgeführt.

²⁰Bildquelle: Eigene Darstellung

MachineManagement-Komponente

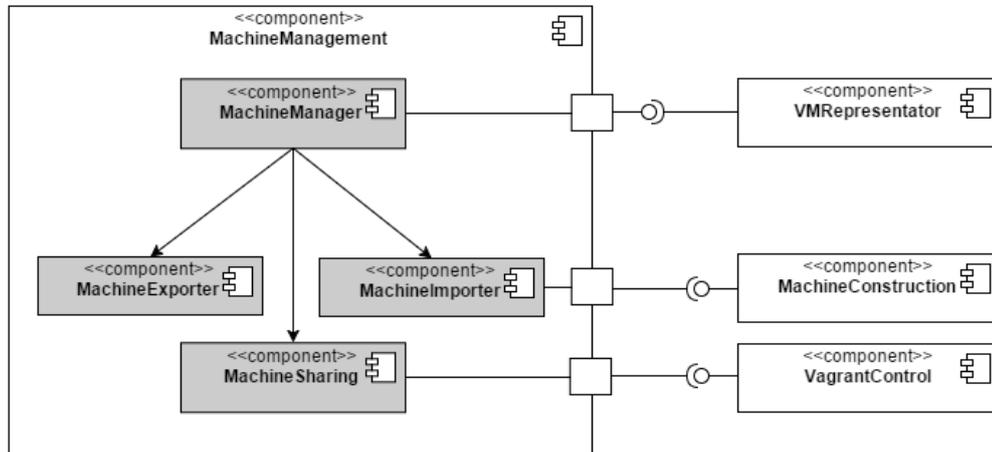


Abbildung 5.19: Komponentenansicht MachineManagement²¹

Um dem Anwender Optionen für die bereits bestehenden virtuellen Maschinen anbieten zu können, wird der MachineManager verwendet. Dieser ist eine Verwaltungskomponente für Optionen, die auf virtuelle Maschinen ausgeführt werden können. Wie in [Abbildung 5.15](#) dargestellt, werden Optionen wie Export-, Import- und das Sharing von Maschinen angeboten, die durch Hinzufügen weiterer Komponenten erweitert werden können. Die MachineSharing-Komponente bereitet eine virtuelle Maschine so vor, dass auf diese von internen- und externen Netzwerken aus zugegriffen werden kann. Beschränkungen auf den Zugriff können allerdings durch Richtlinien des Netzwerkes entstehen, indem der VM-Builder ausgeführt wird. Zudem ist der MachineExporter in der Lage eine virtuelle Maschine zu exportieren, indem dieser Konfigurationsdateien packt und dem Anwender zur Verfügung stellt. Diese Dateien können in anderer Virtualisierungsprodukte geladen werden oder durch den MachineImporter wieder in die Anwendung importiert werden. Durch die Hinzunahme des Buildprocessor können die importierten Dateien zur automatisierten Erstellung des Wiederaufbaus verwendet werden.

VMRepresentator-Komponente

Die VMRepresentator-Komponenten ist der Informationslieferant für die MainRepresentation-Komponente aus der Benutzerschnittstelle. Durch diese Komponente werden die verwalteten virtuellen Maschinen der Web-Repräsentation übergeben.

²¹Bildquelle: Eigene Darstellung

SystemFileManager-Komponente

Die Zugriffsverwaltung auf das Dateisystem wird durch den SystemFileManagers ermöglicht. Durch diese Komponente werden Standard-Ordner-Funktionen des Betriebssystems ermöglicht. Beispielsweise Kopier-, Duplizierungs- und Erstellungsoperationen. Zudem bietet dieser eine Funktion zum Aufruf von Systembefehlen an, damit Linux-Befehle vom VM-Builder ausgeführt werden können.

5.7.3.1 Datenebene

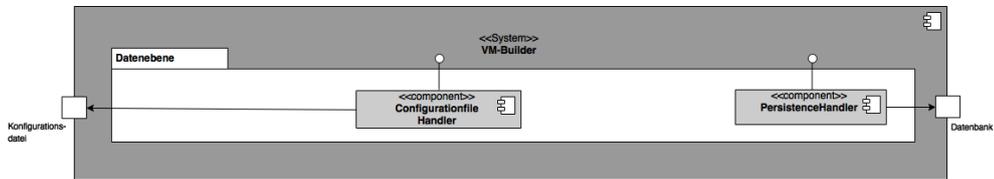


Abbildung 5.20: Ansicht der Datenebene²²

In der Datenschicht werden Funktionen verankert, die zum direkten Lesen aus dem Datenspeicher verwendet werden. Dieses können beispielsweise Funktionen sein, die mittels SQL-Abfragen auf die Datenbank zugreifen oder die lesenden- und/oder schreibenden Zugriff auf Dateien ermöglichen.

PersistenceHandler-Komponente

Der PersistenceHandler ist einer der beiden Komponenten in der Datenebene. Durch die dort definierte Funktionen werden kontrollierte Zugriffe auf die Datenhaltung ermöglicht. Die Manipulation der Daten soll ausschließlich durch diese Komponente erfolgen. Der PersistenceHandler wird somit zur Schnittstelle zwischen Applikation und Datenbank.

ConfigurationfileHandler-Komponente

Ebenfalls in der Datenebene implementiert ist der ConfigurationfileHandler. Durch diese Komponente werden Grundeinstellungen aus einer Konfigurationsdatei gelesen und nötigenfalls zurückgespeichert. Die Grundeinstellungen enthalten allgemeine Applikationseinstellungen, Einstellungen für Vagrant und Konfigurationen für Ansible. Der ConfigurationfileHandler extrahiert diese drei Einstellungstypen und bereitet diese für den entsprechenden Anwendungszweck auf. So kann z.B. die Provisioner-Komponente ihre benötigten Informationen aus dem ConfigurationfileHandler beziehen.

²²Bildquelle: Eigene Darstellung

5.7.4 Laufzeitsicht

Wie in Abschnitt 5.4 beschrieben, können in der Laufzeitsicht Abhängigkeiten und Schnittstellen zwischen Komponenten veranschaulicht werden. Die Abbildung 5.21 nimmt exemplarisch einen interessanten Aspekt des VM-Builders heraus und bildet diesen in der Darstellung der Laufzeitsicht ab. Die dort verwendeten Funktionsaufrufe sind eine Abstraktion der späteren Implementierung, da im Entwurf unabhängig von Programmiersprachen gearbeitet sowie auf implementierungsdetails verzichtet wird.

5.7.4.1 Aufbau einer virtuellen Maschine

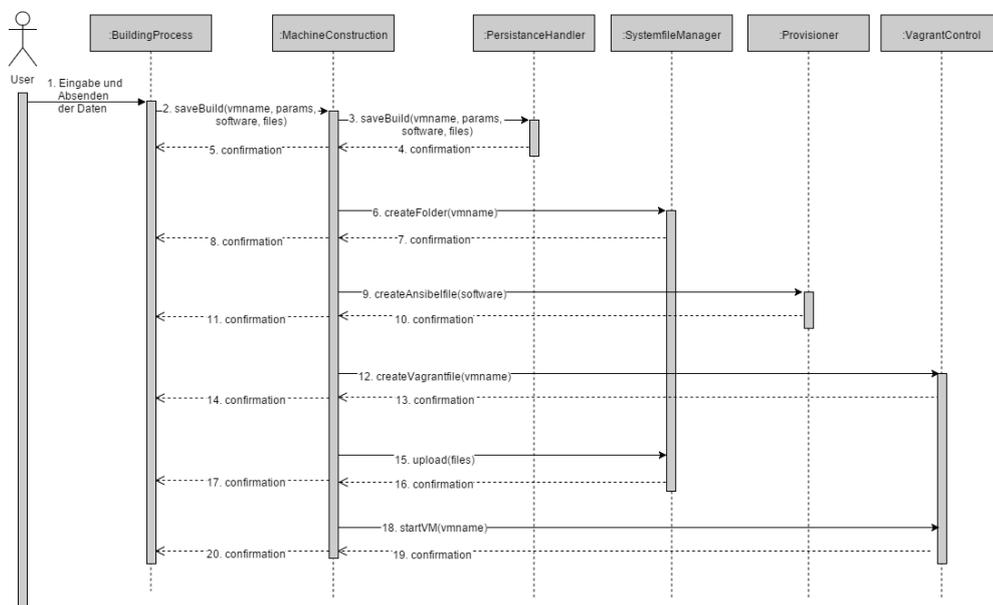


Abbildung 5.21: Laufzeitsicht eines VM-Aufbaus²³

Der Aufbau einer virtuellen Maschine ist eines der prägnanten Leistungsmerkmale der hier zu entwerfenden Software.

Das Sequenzdiagramm aus Abbildung 5.21 beschreibt den Vorgang des Aufbaus einer virtuellen Maschine, in dem die Kommunikation zwischen den beteiligten Komponenten detaillierter aufgezeigt wird. Als Ausgangssituation wird der Usecase 3.4.2 verwendet, der den Aufbau einer virtuellen Maschine beschreibt.

²³Bildquelle: Eigene Darstellung

Ausgangssituation

- **Der Anwender möchte eine virtuelle Maschine erstellen.**

Beschreibung

1. Der Anwender öffnet im Webbrowser den VM-Builder, navigiert zu der Webseite, die die Erstellung von virtuellen Maschinen beinhaltet. Dort wählt der Anwender Attribute der Maschine und zu installierende Software aus. Zusätzlich lädt der Anwender eine Datei hoch und drückt auf den Speichern-Knopf. Danach wird dem Anwender eine Statusseite angezeigt, die ihm den aktuellen Aufbaustand präsentiert. Die Webseite, die den Aufbau der virtuellen Maschinen steuert und die Statusseite werden von Controllern der BuildingProcess-Komponente gehalten.
2. Der Controller, der die Aufbauseite verwaltet, sendet nach der Ausführung des Speichern-Knopfs alle Daten an die MachineConstruction-Komponente. Diese Daten beinhalten alle Eingaben des Anwenders, die Softwareauswahl und Informationen der hochzuladenen Dateien.
3. Die MachineConstruction-Komponente benötigt zum abspeichern der Daten den PersistenceHandler, der entsprechende Funktionen zum speichern der Konfigurationen bereitstellt.
4. Nach der Speicherung der Daten übergibt der PersistenceHandler eine Erfolgsmeldung an die MachineConstruction-Komponente.
5. Diese verwendet die erhaltene Rückmeldung um auf der Statusseite den aktuellen Aufbaustand der virtuellen Maschine zu aktualisieren.
6. Im nächsten Aufbauschritt wird die Dateistruktur für die virtuelle Maschine erstellt. Um diese erstellen zu können, wird auf den SystemfileManager, der Dateisystemfunktionen bereitstellt, zurückgegriffen.
7. Ist die Ordnerstruktur angelegt worden, wird dieses durch eine Rückmeldung des SystemfileManagers an die MachineConstruction quittiert.
8. Diese Meldung wird dann auf der Statuswebseite verarbeitet und dem Anwender gezeigt.
9. Durch die Auswahl an Softwarekomponenten, muss eine Provisioningdatei erzeugt werden, die durch den Aufruf der Provisioner-Komponente konstruiert wird.

10. Nach der Erzeugung der Datei und ihrer Speicherung im Verzeichnis der Maschine, gibt die Provisioner-Komponente eine Statusmeldung an die MachineConstruction zurück.
11. Auch diese Statusmeldung wird verwendet um den aktuellen Status des Aufbaus zu aktualisieren.
12. Um den Aufbau der virtuellen Maschine zu ermöglichen, muss die primäre Konfigurationsdatei, das Vagrantfile, geschrieben werden. Dies geschieht über die Implementierung in der VagrantControl-Komponente.
13. Nach der Erstellung des Vagrantfiles gibt diese Komponente eine Statusrückmeldung zurück.
14. Diese Rückmeldung wird von der MachineConstruction-Komponente weiterverarbeitet und auf der Statusseite angezeigt.
15. Da der Anwender eine Datei hochladen möchte, wird diese auf den Server geladen. Jede hochgeladene Datei wird im Verzeichnis der jeweiligen virtuellen Maschine gespeichert. Zum hochladen bietet der SystemfileManager eine Funktion an, die eine beliebige Anzahl an Datei in das ausgewählte Zielverzeichnis lädt.
16. Generierte Rückmeldungen des SystemfileManagers werden an die MachineConstruction weitergegeben.
17. Diese verwendet die Rückmeldungen um den Status des Aufbaus zu erneuern.
18. Im letzten Aufbauschritt, wird der eigentliche Aufbauprozess initialisiert und VagrantControl erneut angesprochen um den initialen Prozess in Vagrant anzustoßen
19. Die durch Vagrant erzeugten Statusmeldungen, werden aufbereitet und zurückgeliefert.
20. Die Statusmeldungen werden auf der Statusseite aufbereitet und zeigen dem Anwender den aktuellen Aufbaustatus an. Nach dem erfolgreichem Aufbau wechselt die Anwendung wieder auf die Hauptseite.

5.7.5 Datenbank

Wie in der Verteilungssicht (Abbildung 5.3) beschrieben, wird der Server eine relationale Datenbank bereithalten. Der Zuständigkeitsbereich der Datenbank liegt im Speichern von virtuellen Maschinen, deren Konfigurationen und der Verwaltung von Softwarebestandteilen. Optionen bezüglich des Verhaltens von Dateien werden zusätzlich in einer separaten Tabelle abgelegt. Für den Entwurf der Datenbank werden zwei Notationsformen verwendet. Abschnitt 5.7.5.1 zeigt in der Notation des Entity-Relationship-Model den ersten konzeptionellen Entwurf des Datenmodells, während Abschnitt 5.7.5.2 die tabellarische Umsetzung des Konzeptes abbildet.

5.7.5.1 Entity-Relationship-Model

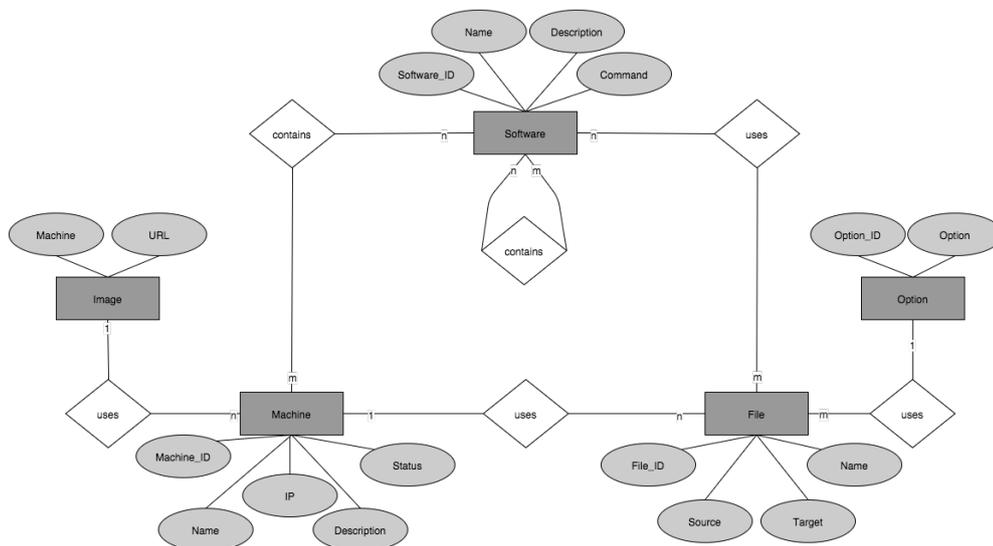


Abbildung 5.22: Entity-Relationship-Model²⁴

Die in der Abbildung 5.22 dargestellte Konzipierung, zeigt das semantische Konstrukt der angestrebte Datenbank, wobei die folgende Beschreibung die Bedeutung und die Abhängigkeiten des Modells erklärt. Die Tabelle Machine wird zukünftig jede Maschine beinhalten, die durch den Anwender aufgebaut wurde, bis zu dessen Löschung. Die eindeutige Identifizierung jeder Maschine wird durch eine ID gelöst, die bei jedem Speichern einer Maschine fortlaufend hochgezählt wird. Die Tabelle enthält zusätzlich zu der ID der Maschine, den Name, eine optionale Beschreibung (engl. Description), den aktuellen Status (Online/Offline) und die IP-Adresse der

²⁴Bildquelle: Eigene Darstellung

Maschine.

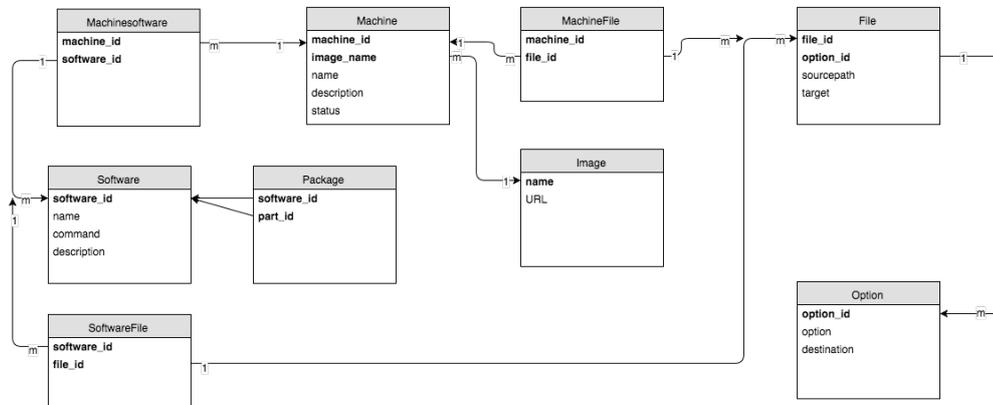
Um den Anwender von Beginn an eine Auswahl an VM-Images anbieten zu können, werden in der Tabelle `Image` die vorgefertigten VM-Images abgelegt. Die Tabelle besteht aus den Attributen `Name`, das den Namen des Images beinhaltet und einer `URL`, die auf das Image im Web verweist.

Die Tabelle `File` speichert Informationen zu Dateien und stellt diese in eine Relation zur virtuellen Maschine oder Softwarepaketen. Nicht nur der Name der Datei wird persistiert, sondern auch das Quellverzeichnis (engl. `Source`) und das Zielverzeichnis (engl. `Target`), das auf das Zielverzeichnis der virtuellen Maschine zeigt. Für die eindeutige Identifikation, bekommt jede Datei eine `ID` zugewiesen, die fortlaufend inkrementiert wird. Damit der VM-Builder in der Lage ist hochgeladene Dateien exakt wiederzuverwenden, werden in der Tabelle `Option` Eigenschaften wie das Kopieren oder Entpacken von Dateien hinterlegt. Jeder Datei, die im VM-Builder gespeichert wird, kann eine solche Eigenschaft zugewiesen werden, um ihr eindeutiges Verhalten zu definieren. Die Tabelle selbst besteht aus einer `ID`, durch die jede Option eindeutig identifiziert werden kann und dem Attribut `Option`, welches die Dateioptionen festlegt.

Damit dem Anwender eine Softwareauswahl angeboten werden kann, wird die Tabelle `Software` benötigt. Jeder Eintrag besteht aus einer automatisch generierten, fortlaufenden `SoftwareID`, dem Namen der Software, einer optionalen Beschreibung (engl. `Description`) und der zwingend notwendigen Befehlszeile (engl. `Command`), die den Linux-Befehl enthält, mit dem die Software installiert wird.

Die Abbildung 5.22 zeigt zusätzlich eine rekursive Eigenschaft der Tabelle `Software`. Die Rekursion entsteht durch die Funktion der Softwarepaketerstellung. Da jedes Softwarepaket aus mehreren Softwarekomponenten bestehen kann, ein Softwarepaket aber auch in der Liste der Softwarekomponenten geführt wird, entsteht so die Rekursion. Die genaue Umsetzung von rekursiven Tabellen wird im folgenden Abschnitt erklärt.

5.7.5.2 Relationales Datenbank Modell

Abbildung 5.23: RelationalDatabaseModel²⁵

Diese Darstellung konkretisiert den Datenbankentwurf aus dem Abschnitt 5.7.5.1 durch eine detaillierte Ansicht der Tabellenkonstrukte und erleichtert die Implementierung der einzelnen Tabellenstrukturen. Dafür werden im weiteren Verlauf dieser Ausarbeitung Beziehungen zwischen Tabellen aufgelöst und ggf. neue Tabellen hinzugefügt. Zudem werden Primär- und Fremdschlüsselbeziehungen herausgestellt, um die Darstellung nah an die Implementierung zu bringen.

Ein Primärschlüssel wird immer aus einer Menge von Schlüsselkandidaten bestimmt, deren Definition in Pernul (2003) lautet:

’Ist die identifizierte Attributmenge "minimal", d.h. ein Oberschlüssel, aus dem keine Attribute gestrichen werden können, ohne das die Schlüsseleigenschaften verloren gehen, so handelt es sich um einen Schlüsselkandidaten K.’

Ein Fremdschlüssel zeichnet sich dadurch aus, dass dieser entweder ein Primärschlüssel oder ein Schlüsselkandidat aus einer anderen Tabelle ist. Da das RDM (Relationales Datenbank Modell) nah an die reale Umsetzung angelehnt ist, erfordert es die Auflösung der Beziehungstypen aus dem vorherigen Abschnitt 5.7.5.1.

Die erste betrachtete Regel bezieht sich bei der Umwandlung auf N:M Beziehungen. Nach Jarosch (2002) müssen N:M Beziehungen in 1:N und N:1 Typen umgeformt werden, wodurch eine Zwischentabelle (Koppeltabelle) entsteht. Angewendet auf Abbildung 5.22 bedeutet das, dass neue Tabellen entstehen, die jeweils als Relation zwischen den folgenden Tabellen entstehen:

²⁵Bildquelle: Eigene Darstellung

1. Software und Machine
2. Software und File
3. Machine und File
4. Software und Software

Die neu entstandenen Zwischentabellen nutzen die Primärschlüssel der Tabellen, die vorher N:M verknüpft waren, als Fremdschlüssel und wandeln diesen in deren eigenen Primärschlüssel um. So werden beispielsweise die Tabellen Machine und Software mit der Zwischentabelle MachineSoftware verknüpft und die Umformung in eine 1:N und N:1 Beziehung durchgeführt. Dieses gilt auch für die Auflösung der Beziehungen zwischen den Tabellen Software und File und Machine und File. Die vierte M:N Beziehung beinhaltet einen speziellen Faktor, der eine andere Herangehensweise benötigt. Die Besonderheit hier besteht in der Rekursion, die auf die eigene Tabelle zeigt und nach [Pernul \(2003\)](#) wie folgt aufgelöst werden muss:

’Rekursive Beziehungstypen beschreiben eine Beziehung verschiedener Entities innerhalb eines einzigen Entitytypen. Durch diesen Sachverhalt stehen wir im Relationenmodell vor dem Problem, dass nach der Transformation die Attribute des Primärschlüssels nun zweimal auftauchen. Eine Forderung des rationalen Datenbankmodells ist aber die Eindeutigkeit von Attributbezeichnungen. Aus diesem Grund muss eine der beiden Bezeichnungen - in Anlehnung an die Art der Beziehung - umbenannt werden. [...] Bei einer Kardinalität M:N muss ein zusätzliches Relationenschema erstellt werden, das als Attribut zumindest den Primärschlüssel und den umbenannten Primärschlüssel aus dem Entitytyp-Relationenschema enthält. In dem neuen Relationenschema bilden dann beide Attributmengen gemeinsam den Primärschlüssel.’

Die Transformierung besagt, dass im ersten Schritt auch hier eine neue Tabelle entstehen muss. Da die Rekursion durch die Verwendung von Softwarepaketen entstanden ist, wird die neue Tabelle Package genannt. Im nächsten Schritt muss nach [Pernul \(2003\)](#) die neue Tabelle Package den Primärschlüssel aus der Tabelle Software zwei Mal enthalten, wobei darauf zu achten ist, dass ein Schlüssel umbenannt werden muss. Das entspricht in diesem Fall der partID, wodurch die Umwandlung abgeschlossen ist.

Für die letzte Transformation werden die 1:N Beziehungen betrachtet, die den folgenden Relationen entsprechen:

1. File und Option
2. Image und Machine

Um auch hier die Umwandlung korrekt vorzunehmen, müssen folgende Regeln beachtet werden:

1. Relationen, die aus dem Entitätstyp mit Kardinalität 1 gebildet wurden, bleiben erhalten.
2. Primärschlüssel aus der Relation mit Kardinalität 1 werden als Fremdschlüssel in die N-Relation eingesetzt.

Als Beispiel für die Umsetzung der Regeln werden die Tabellen File und Option herangezogen. Der Primärschlüssel aus Tabelle Option wird in Tabelle File als Fremdschlüssel eingesetzt und wird so als ein Teil der Tabelle File. Da die Regeln besagen, dass die Tabelle mit der Kardinalität 1 unverändert bleibt, wird an der Tabelle Option keine weitere Veränderung vorgenommen.

5.8 Client

Im Gegensatz zum Server benötigt der Client keine ausführliche Planung und Modellierung, da das angestrebte Konstrukt ein Thin-Client ist. Diese Art von Clients benötigt wenige oder keine Anwendungsteile auf dem Client-Rechner. Auf Anwenderseite wird entsprechend nur die Weboberfläche des VM-Builders aufgerufen, damit die Funktionalitäten bereitstehen. Es wird keine lokale Datenbank oder andere Software zum Betrieb benötigt. So ist Logik, die der Client benötigt, auf dem Server verankert. Dieses gilt auch für die Darstellungen der angezeigten Webelemente. Diese werden durch die Views in den entsprechenden Komponenten der Benutzerschnittstelle realisiert und zur Verfügung gestellt. Eine detaillierte Ansicht zu der Kommunikation zwischen Client und Server sowie deren Ablauf ist z.B. in der Laufzeitsicht (siehe Abschnitt 5.7.4) zu finden.

5.9 Zusammenfassung

Die einzelnen Phasen des Entwurfs ermöglichen nicht nur den Aufbau der Software besser zu verstehen, sondern ermöglichen auch eine definierte Strukturierung der Anwendung. Die Kontextabgrenzung in Abschnitt 5.1 zeigt den VM-Builder inklusive dessen Um Systeme, während die Verteilungssicht (siehe Abschnitt 5.2) weitere Details zu verwendeten Applikationen und deren Platzierung im VM-Builder darstellt. Abschnitt 5.5 beschreibt zwei Systemarchitekturen,

die die Anwendung strukturieren und Zuständigkeiten definieren. Das erste Modell der Architektur ist das Client-Server-Modell, wodurch die Aufgabenverteilung zwischen Client und Server festgelegt wurde, während das MVC-Entwurfsmuster die Zuständigkeiten der einzelnen Schichten bestimmt.

Die darauf folgende Übersicht der Kommunikation geht exemplarisch auf das Verhalten von Sinatra ein und zeigt die Annahme von Clientaufrufen und den Aufbau von Routen (siehe Abschnitt 5.6).

Nachdem die Basis definiert wurde, befasst sich Abschnitt 5.7 mit der Konzipierung der Serverseite unter der Verwendung der Bausteinsicht (Abschnitt 5.7.1) und der Laufzeitsicht (Abschnitt 5.7.4). Die Bausteinsicht zeigt die Komponenten der einzelnen Schichten, deren Verbindungen zu anderen Komponenten und Abhängigkeiten zu der darunter liegenden Schicht. Während die Komponenten in den Schichten noch als Blackboxen dargestellt sind, werden diese in den einzelnen Erklärungen als Whitebox gezeigt, um eine detailliertere Ansicht auf deren Aufbau und Kommunikation zu erhalten. Die Wirkungsweise der Komponenten kann durch die Laufzeitsicht gezeigt werden, die exemplarisch Abläufe darstellt, um so die Aufgabenverteilung der involvierten Komponenten herauszustellen. Abschnitt 5.7.5 befasst sich mit dem konzeptionellen Entwurf des Datenbankschemas und dessen Umwandlung für die spätere Implementierung. Im Abschnitt 5.8 wird der Client beschrieben. Da es sich bei dem Client-Konstrukt um einen Thin-Client handelt, der ohne weitere lokale Software verwendbar ist, wird keine Planung des Clients benötigt.

6 Realisierung

Dieses Kapitel beschreibt die Umsetzung und die damit verbundene Realisierung des VM-Builders. Die Umsetzung geschieht unter der Beachtung der zuvor durchgeführten Planung aus Kapitel 3 und der damit verbundenen Integration von Dritt-Anwendungen. Ein Aspekt des Kapitels ist die Verdeutlichung von Unterschieden, die zwischen Planung und deren Umsetzung auftreten. Realisiert wird ein Prototyp des VM-Builders, wobei die Implementierung nach dem Entwurf durchgeführt wird, der in Kapitel 5 ausgearbeitet wurde. Um die Anforderungen aus dem technischen Randbedingungen (siehe Abschnitt 3.6.1) zu erfüllen, wird die Applikation mit dem Framework Sinatra, Ruby und der IDE 'RubyMine' entwickelt.

Die Realisierung wird in drei Schritte unterteilt:

1. Aufbau des Servers (Abschnitt 6.1),
2. Installation und Beschreibung der Fremdsoftware (Abschnitt 6.2),
3. Erstellung und Implementierung des VM-Builders (Abschnitt 6.3).

Die drei Schritte beinhalten nicht nur Details zu dessen Umsetzung, sondern zeigt die Unterschiede zum Entwurf auf.

6.1 Server-Realisierung

Um die Voraussetzungen für die Entwicklung des VM-Builders zu schaffen, wird in der ersten Realisierungsphase die Entwicklungsserver aufgebaut. Anstelle eines Hardware-Servers wird zunächst auf einer virtuellen Maschine entwickelt. Zeitgleich wird eine identische Umgebung auf einem VM-Host der HAW¹ aufgebaut, um Unterschiede in der Aufbaugeschwindigkeit der virtuellen Maschinen messen zu können. Um Missverständnisse zu vermeiden, wird in den folgenden Abschnitten lediglich ein Server betrachtet. Beide Server unterscheiden sich alleine durch ihre Hardwareausstattung. Der lokale virtuelle Server wird mit 4GB Arbeitsspeicher, 20 GB Festplattenkapazität und Ubuntu 14.04.2 umgesetzt. Der Server auf HAW-Seite, wird mit

¹Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

16 GB Arbeitsspeicher ausgestattet und einem schnelleren Prozessor. Das Betriebssystem ist ebenfalls Ubuntu 14.04.2.

6.2 Fremdsoftware

Eines der Ergebnisse des Entwurfs war die Verwendung von Fremdsoftware, von der definierte Teile des Funktionsspektrums übernommen werden sollen. Der zweite Schritt der Realisierung wird sich mit den einzelnen Softwareelementen beschäftigen, die für den Betrieb des VM-Builders eingesetzt werden sollen. In der Evaluation aus Kapitel 4 sind erste Annahmen getroffen worden, welche Softwarekomponente sich für bestimmte Aufgabenbereiche eignen können, um diese dann in der in der Verteilungssicht (Abschnitt 5.2) provisorisch zu integrieren. Die einzelnen Applikationen werden im Folgenden kurz vorgestellt, wobei auf Installationsdetails verzichtet wird.

6.2.1 Webserver

Für die Präsentation des Webinterfaces und für die Kommunikation zwischen Client und Server wird auf den frei erhältlichen Apache Webserver, in der Version 2.4.7 zurückgegriffen. Zudem wurde der Server aufgrund dessen kostenfreier Verwendung und etablierten Marktposition ausgewählt.²

6.2.2 Phusion Passenger

Im Zuge der Vorbereitung auf die Applikation wird Phusions Passenger installiert, das als ein Modul für Apache konzipiert wurde. Phusions Passenger wird primär bei Ruby-Applikationen verwendet, um Ruby-Web-Applikationen bereitzustellen. Zudem erleichtert Passenger die Administration von Web-Applikationen und ist eine Basiskomponente, die den Betrieb des VM-Builders ermöglicht.

6.2.3 VirtualBox

Um herauszufinden welcher Virtualisierer im VM-Builder eingesetzt werden kann, wurde in der Evaluation (Kapitel 4.1.3) eine Analyse der frei zugänglichen Virtualisierer durchgeführt. Das Ergebnis der Evaluation stellte VirtualBox als geeigneten Softwarekomponente heraus,

²Apache: Marktanteil von 50,51% an aktiven Webseiten [Statista (2015)]

die im VM-Builder die Funktion der Maschinenvirtualisierung und damit den automatisierten Aufbau der Umgebung übernimmt.

6.2.4 Ansible

Für die Umsetzung der vom Anwender ausgewählten Software wird Ansible eingesetzt. Ansible kann die Zustandsbeschreibung direkt auf einer virtuellen Maschine umsetzen ohne dort einen extra Client zu implementieren. Dadurch entsteht weniger Aufwand in der Implementierung und die erstellten Maschinen sind frei von unnötigen Konfigurationen.

6.2.5 Vagrant

Vagrant dient als Wrapper für VirtualBox und Ansible. Die Flexibilität von Vagrant ermöglicht die einfache Zusammenführung der drei Softwarekomponenten. Da Vagrant mit anderen Provisionierern und Virtualisierern zusammenarbeiten kann, ist ein Austausch von Ansible und VirtualBox in kurzer Zeit möglich.

Der VM-Builder wird über Befehlsaufrufe direkt mit Vagrant kommunizieren und durch entsprechende Befehle den Aufbau, die Deaktivierung, das Sharing usw. auslösen.

6.2.6 Bundler

Um in Ruby-Projekten Abhängigkeiten nutzen, Pakete zu verwalten und ggf. deren Versionen zu spezifizieren, kann auf Bundler zurückgegriffen werden. Durch Bundler können einheitliche Umgebungen für Projekte geschaffen und der Wiederaufbau der gleichen Umgebung beschleunigt werden. Durch dessen Eigenschaft Ruby-Komponenten sofort und automatisch installieren zu können, ist Bundler prädestiniert für die Umsetzung einer automatisierten Installation des VM-Builders.

6.2.7 Datenbank

Um die objektorientierte Welt mit der Relationalen Welt der Datenbanken in Einklang zu bringen, können OR-Mapper helfen. Durch ihre Übersetzung von Quellcode, können programmatisch Tabellenkonstrukte erzeugt und Beziehungen zwischen den gewünschten Tabellen definiert werden. Datamapper ist eines der beiden bekanntesten ORM Frameworks für Ruby und wird die beschriebenen Aufgaben im VM-Builder übernehmen.

Ein Beispiel für die Funktionsweise von Datamapper, ist die Definition der Tabelle Machine, die aus vier Attributen besteht inklusive deren Typ-Eigenschaften sowie deren Relation zu anderen Tabellen.

```
1 class Machine
2   include DataMapper::Resource
3
4   property :id, Serial
5   property :name, String, :length => 255, :required => true
6   property :ip, String, :length => 15
7   property :description, String, :length => 255
8   property :status, Integer
9
10  has n, :files
11  has n, :machinesoftwares
12  has n, :softwares, :through => :machinesoftwares
13  belongs_to :vmimage
14 end
```

Listing 6.1: ORM Framework Datamapper³

Der Zugriff auf die Tabellen kann über SQL-Befehle bereitgestellt werden oder über typischerweise vorhandenen Befehle des ORM-Frameworks. Um z.B. aus der Tabelle Machine alle Daten einmal abzurufen genügt der Befehl 'Machine.all'.

```
1 def get_all_machines
2   Machine.all
3 end
```

Listing 6.2: ORM Framework command⁴

6.3 Implementierung

Die Implementierung des Prototypen wird im Folgenden nach den Vorgaben des Entwurfs aus Kapitel 5 durchgeführt. Um dabei dem erarbeiteten MVC-Entwurfsmuster zu entsprechen, wird in Abschnitt 6.3.1 die diesem Muster folgende Komponentenumsetzung beschrieben. Zudem werden wesentliche Unterschiede zwischen dem Entwurf und der Realisierung der Komponenten sowie deren Schnittstellen aufgeführt. Folgende Funktionen werden dabei im Prototypen realisiert:

³Codebeispiel: Eigene Darstellung

⁴Codebeispiel: Eigene Darstellung

- Automatisierter Aufbau einer virtuellen Maschine
- Provisionierung,
- Speichern von VM-Konfigurationen,
- Softwarebundles erstellen,
- Softwarekomponenten erstellen,
- Virtuelle Maschine 'sharen',
- Virtuelle Maschine 'exportieren'.

6.3.1 Komponenten Umsetzung

Die Umsetzung der Komponenten des VM-Builders erfolgt mit Ruby inklusive dem Framework Sinatra, wodurch eine Entsprechung des MVC-Entwurfsmuster einfach umsetzbar ist. Nach Vorgabe dieses Entwurfsmusters müssen die Komponenten in drei Verantwortlichkeiten getrennt werden. Dazu werden die Komponenten aus Abschnitt 5.7.1 in der folgenden exemplarischen Ordner-/Dateistruktur (6.3) realisiert:

```
1 config.ru
2 app.rb
3 helpers/
4   persistence_handler.rb
5 models/
6   init.rb
7 routes/
8   init_controller.rb
9 views/
10  init_view.erb
```

Listing 6.3: Exemplarische Ordnerstruktur VM-Builders⁵

Controller und Views aus der der Benutzerschnittstelle werden in den Ordnern 'routes' und 'views' erstellt. Bestandteile aus der Verarbeitungsebene und Datenebene werden in 'models' und 'helpers' gespeichert.

Da Ruby/Sinatra es zulässt auf Klassen zu verzichten, sind die Controller als organisatorische Einheit konzipiert mit der entsprechenden Logik in den verwendeten Modellen.

⁵Quelle: Eigene Darstellung

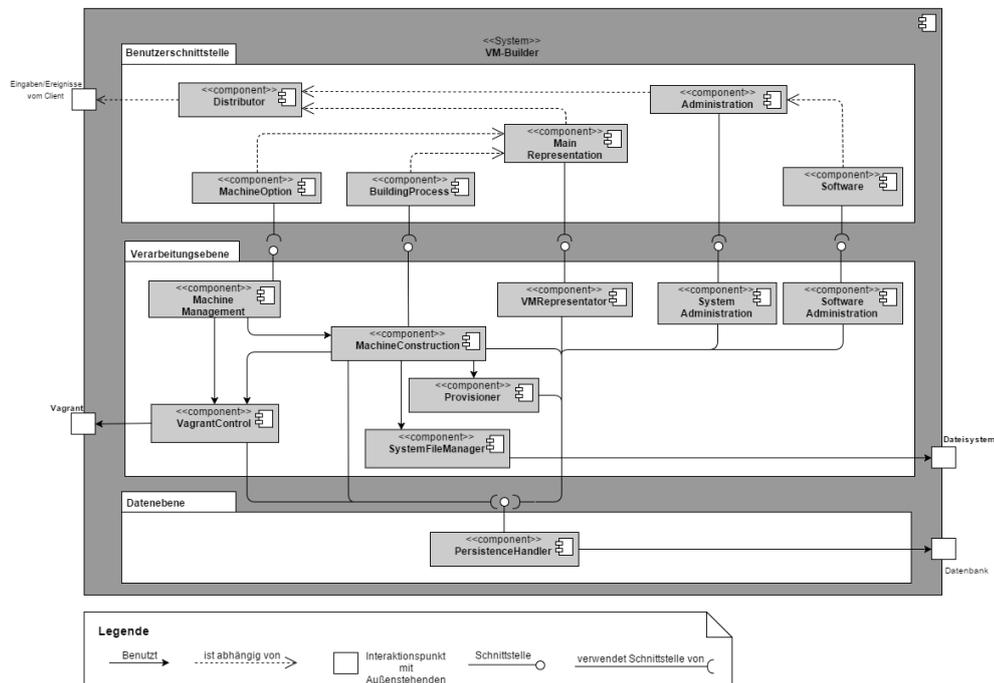
```
1 require './models/administration_manager'
2 require_relative 'softwareadmin_controller'
3
4 get '/log' do
5   @content = admin_mgr.get_log_content
6   erb :logfile
7 end
8
9 put '/log' do
10  admin_mgr.update_log_config(params['logpath'])
11  admin_mgr.create_logfile(params['logpath'])
12  redirect '/admin'
13 end
```

Listing 6.4: Controller Beispiel⁶

Durch die Umsetzung haben sich Unterschiede bezüglich des Entwurfs herausgestellt, die folgende Bausteinsicht ergeben haben:

⁶Codebeispiel: Eigene Darstellung

⁷Bildquelle: Eigene Darstellung

Abbildung 6.1: Bausteinsicht Level 1⁷

Einer der wesentlichen Optimierungen ist der Wegfall der `ConfigurationfileHandler`-Komponente. Dessen geplante Aufgabe bestand im Lesen und Beschreiben einer Konfigurationsdatei, die die Konfigurationen des 'VM-Builders' beinhalten sollte. Anstelle einer Konfigurationsdatei, werden die Konfigurationen in der Datenbank abgelegt und verwaltet. Durch die Verwendung eines einzigen persistenten Speichers resultiert eine zentrale Steuerung für diesen, wodurch das Hinzufügen sowie Änderungen von Konfigurationen vereinfacht wurden. Die Implementierung des zusätzlichen Tabellenkonstrukts wird im folgenden Abschnitt weiter ausgeführt. Des Weiteren sind weitere Views erstellt worden, die einen übersichtlicheren Ablauf des Prototypen ermöglichen.

6.3.2 Datenbank

Im Gegensatz zur Planung wird ein Tabellenkonstrukt angewendet, um Konfigurationen persistent zu speichern. Die dadurch entstehende Einsparung der `ConfigurationfileHandler`-Komponente zentralisiert den Zugriff und die Datenhaltung. Zur Umsetzung von Konfigurationstabellen werden in der Regel zwei Konzepte verwendet:

- **Name-Value-Pair Table**

Name-Value Pair Tabellen bestehen nur aus zwei Spalten. Eine für den Konfigurationstypen und die andere für den zugehörigen Wert. Kommen neue Konfigurationen hinzu, werden diese an die Tabelle angehängt.

```
1  ConfigOption  |  Value
2  -----+-----
3      Start      |  true (or 1, or Y, ...)
4      FullScreen |  true (or 1, or Y, ...)
5      Resolution |  720
6      ...        |  ...
```

Listing 6.5: Name-Value-Pair Table⁸

Vorteil

- Neue Konfigurationen benötigen keine Rekonfiguration des Tabellenschemas.
- Schlanke Tabellenstruktur. Neue Konfigurationen werden angehängt.

Nachteil

- Jede Konfiguration hat den gleichen Typ.
- Alle Values wird als String/Varchar gespeichert.
- Für die Arbeit mit den Werten der Konfigurationstabelle sollte bekannt sein, welcher Typ sich hinter dem Wert verbirgt.

⁸Abbildungsquelle: Eigene Darstellung

- **Single-Row Table**

Bei Single-Row Tabellen wird die Struktur gedreht. Jede Konfiguration besteht aus einer eigenen Spalte. Die darunter liegende Zeile beinhaltet die Werte.

```
1
2 Start | FullScreen | Resolution | ...
3 -----+-----+-----+-----
4 true  | true   | 20    | ...
```

Listing 6.6: Single-Row Table⁹

Vorteil

- Jede Spalte hat bekommt den entsprechenden Datentyp.
- Durch den exakt angegebenen Typ jeder Spalte kann eine Typsicherheit in der Programmierung vorausgesetzt werden.
- Jeder Spalte können einfacher Standardwerte zugeordnet werden.

Nachteil

- Das Tabellenschema muss geändert werden, wenn neue Einstellungen hinzugefügt werden.
- Die Tabelle kann schnell unleserlich werden, wenn zu viele Einstellungen in der Tabelle enthalten sind.

In der Umsetzung wurde das Konzept der 'Name-Value-Pair Table' verwendet. Auch wenn dieses Konzept weniger Vorteile als 'Single-Row'-Implementierung bietet, spricht das leichtere Einpflegen von neuen Konfigurationseigenschaften und die bessere Lesbarkeit der Tabelle, für das Konzept.

⁹Abbildungsquelle: Eigene Darstellung

6.3.3 Funktionen

Die Realisierung aller geplanten Controller, Models und Views hat das Funktionsspektrum der Applikation fast vollständig erfüllt. So sind folgende Funktionen durch die bisherige Implementierung realisiert worden:

Erstellung einer virtuellen Maschine

Die Planung sah ursprünglich vor, dass eine Maschine nur von der Hauptseite aus erstellt werden kann. Ein Optionsmenü, welches am oberen Rand platziert wurde, stellt dem Anwender den Aufbau und diverse andere Funktionen zur Verfügung. Die Realisierung des Aufbaus geschieht hauptsächlich über die BuildingProcess-Komponente. Diese verwaltet nicht nur die für diese bestimmten HTTP-Requests, sondern hält auch die Darstellungen vor, die den Aufbau betreffen. In den Aufbauprozess wurde die Eingabe von Pflicht- und optionalen Attributen implementiert. Dieses beinhaltet beispielsweise die Benamung der gewünschten Maschine, die Auswahl an Softwarekomponenten sowie die Möglichkeit, Dateien auf dem Zielhost zu speichern. Echtzeitinformation über den Aufbauprozess sind nicht implementiert, allerdings sind diese in einem separaten Logfile nachlesbar. Die SystemFileManager-Komponente bietet eine Methode für direkte Systemaufrufe an, mit der VagrantControl vagrantspezifische Befehle absetzen kann. Sobald der Anwender alle notwendigen Informationen eingegeben hat und dies im Webformular bestätigt wurde, werden eine Reihe an Aufbauprozessen eingeleitet. Dabei persistiert der VM-Builder alle aufbauspezifischen Informationen in der Datenbank, die durch Verwendung von Transaktionen konsistent gespeichert werden. Nach der Speicherung der Daten, wird für die virtuelle Maschine eine Verzeichnisstruktur erstellt, in der aufbaurelevante Dateien sowie Logdateien abgespeichert werden. In diesem Zusammenhang werden das Vagrantfile und die YAML-Datei als aufbaurelevant bezeichnet, da diese die Kernkonfigurationen der zukünftigen virtuellen Maschine beinhalten. Das Vagrantfile wird durch die VagrantControl-Komponente erzeugt und wird dabei dynamisch an die Auswahl des Anwenders angepasst. Benötigt der Anwender keine Software und keine Dateien auf seiner Maschine, wird im Vagrantfile der Provisionierer (Vagrant) abgeschaltet. Ähnlich funktioniert der Aufbau der YAML-Datei für Ansible. Sie wird ebenfalls dynamisch an den Kontext der Auswahl angepasst und von dem YamlBuilder erzeugt. Die dynamische Anpassung soll Fehlinformationen in den Dateien verhindern und eine spätere Erweiterung um Funktionen vereinfachen. Dateien, die vom Anwender hochgeladen wurden, werden in das angelegte Verzeichnis der Maschine geladen. Der letzte Schritt beinhaltet den Aufbau der Maschine, bei dem auch die Zustandsumsetzung erfolgt. Sobald die Maschine erstellt wird, werden die ausgewählten Softwarepakete installiert und die Dateien auf der Maschine platziert. Der Start der virtuellen Maschine wird im Anschluss

eingeleitet, so dass der Anwender diese im Anschluss an den Aufbau nutzen kann. Der ganze Aufbauprozess ist ab dem ersten Schritt im Verwaltungsmenü des VM-Builders nachzuverfolgen, da jeder Aufbauschritt in der Logdatei gespeichert wird.

Provisioning

Die Provisionierung von virtuellen Maschinen ist durch die Provisioner-Komponente realisiert. Die Provisionierung ist in den Aufbauprozess integriert und erzeugt, den Eingaben des Anwenders entsprechend, eine YAML-Datei für Ansible. Diese Datei beinhaltet jede Softwarekomponente, wobei ausgewählte Packages aufgeschlüsselt und deren Bestandteile dort einzeln aufgeführt werden. Werden keine Softwarekomponenten vom Anwender ausgewählt reagiert das System darauf und veranlasst bei der Erstellung des Vagrantfiles den Provisionierer nicht zu verwenden.

VM-Konfigurationen speichern

Durch den Aufbau einer virtuellen Maschine wird auch deren Konfiguration gespeichert. Jede getroffene Auswahl des Anwenders wird über Transaktionen in der Datenbank hinterlegt. Durch die Verwendung von Transaktionen wird vermieden, dass inkonsistente Konfigurationen gespeichert werden und zudem sichergestellt, dass diese auch nur im Erfolgsfall gesichert werden.

Packages erstellen

Packages können vom Anwender, ähnlich wie Softwarekomponenten, erstellt werden. Einer der großen Unterschiede zu Softwarekomponenten ist deren Konfigurationsspektrum und deren eigentlichen Verwendung. Packages werden in der Datenbank wie Softwarekomponenten aufgeführt. Allerdings werden diese mit einer extra Kennzeichnung versehen um Datenbankabfragen und die eindeutige Identifizierung der Packages zu beschleunigen. Diese stehen beim Maschinenaufbau zur Auswahl, werden aber vom System als Package erkannt. Packages können aus diversen Softwarekomponenten bestehen und aus einer Vielzahl von Dateien. So wird es möglich, größere Softwareprojekte zu erstellen und dem Anwender zur Verfügung zu stellen. Die SystemAdministration-Komponente hält dafür die entsprechende Implementierung vor. Da die Implementierung organisatorisch zur Administration gehört, wurde diese auch in diesem Paket platziert. Wie bei der Speicherung von Konfigurationen, wird auch hier mit Transaktionen gearbeitet, um keine Inkonsistenzen zu verursachen. Das Codebeispiel aus Abbildung 6.7 zeigt an einem Beispiel den Speichervorgang eines Softwarebundles.

```
1 def save_software_bundle(program, command, desc, selection)
2   Software.transaction do |t|
3     begin
4       Software.first_or_create(:name => program,
5         :command => command,
6         :description => desc,
7         :package => 1)
8
9       selection.each do |software|
10        Package.first_or_create(
11          :source_id => get_software_id(program),
12          :sub_id => get_software_id(software))
13      end
14    rescue
15      t.rollback
16    end
17  end
18 end
```

Listing 6.7: Beispiel einer Transaktion - Speichern eines Packages¹⁰

Werden nicht alle Bedingungen erfüllt, verwirft die Transaktion alle Änderungen und führt ein Rollback aus. Daraus folgt, dass die Datenbank auf den Stand vor der Ausführung der Transaktion gesetzt wird.

VM-Sharing

Das 'Sharing' einer bestehenden virtuellen Maschine wird durch die interne Implementierung von Vagrant übernommen. Jede Maschine, die in der Hauptansicht zu sehen ist, kann von dort aus freigegeben werden. Wie jede weitere Option einer Maschine, wird die Share-Option durch den AdministrationController angesteuert und anschließend durch die Logik dieser Option ermöglicht. Der simultaner Zugriff auf eine Maschine ist durch Aktivierung der Share-Option möglich, wodurch eine Teamarbeit von mehreren Standorten begünstigt wird.

¹⁰Codebeispiel: Eigene Darstellung

Import

Der wesentliche Konfigurationsdateien einer virtuellen Maschine, die über den VM-Builder aufgebaut wird, sind zwei Dateien. Das Vagrantfile, welches generelle Konfigurationen über die Maschine beinhaltet und die Yaml-Datei, die für die Zustandsumsetzung auf der Maschine benötigt wird. Werden diese beiden Dateien in den VM-Builder geladen, kann daraus der Aufbau der Maschine abgeleitet und die Provisionierung der Umgebung übernommen werden. Die importierte Maschine wird im System wie jede andere Maschine geführt und kann somit auf die gleichen Optionen zugreifen. Der Import wird durch den MachineOptionController verwaltet, während dieser auf die Logik im MachineImporter zurückgreift. Damit der Import im System umgesetzt werden kann, verwendet die Klasse MachineImporter die Komponenten der MachineConstruction. Entsprechende Aufbauinformationen werden aus dem MachineImporter extrahiert und an die MachineConstruction weitergeleitet, damit der Aufbau aus dem Import abgeschlossen werden kann.

Export

Der Export befähigt den Anwender seine Maschine vom Server herunterzuladen und als vmdk-Datei zu speichern. Die Annahme des eingehenden HTTP-Requests wird vom MachineOptionController verarbeitet. Die Logik, die in der Klasse 'MachineExport' implementiert ist, veranlasst Vagrant die gewählte Maschine zu packen. Das erzeugte Paket besteht dabei aus folgenden Dateien:

```
1 | -- Vagrantfile
2 | -- box-disk1.vmdk
3 | -- box.ovf
4 | -- metadata.json
```

Listing 6.8: Inhalt eines Export¹¹

Eine Veranschaulichung der Applikation lässt sich im Anhang (7.2) finden. Dort werden die einzelnen Funktionen noch einmal kurz aufgelistet und visualisiert.

¹¹Codebeispiel: [Vagrant \(2015\)](#)

7 Schluss

Der Schluss dieser Arbeit fasst noch einmal alle Kapitel in Kürze zusammen und bildet ein Fazit in Bezug auf das entwickelte Projekt. Der danach folgende Ausblick geht auf Funktionen und Anwendungsgebiete der Applikation ein, die zukünftig realisiert werden können.

7.1 Zusammenfassung und Fazit

Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer Applikation, die einen schnellen und unkomplizierten Aufbau von virtuellen Maschinen ermöglicht sowie deren Verwaltung und einer unkomplizierten Steuerung. Die Applikation sollte dem Anwender ermöglichen, eigenständig dessen virtuellen Aufbauten zu erstellen und zu verwalten. Die Planung der Applikation (in der Arbeit VM-Builder genannt) erfolgte durch eine detaillierte Anforderungsanalyse in Kapitel 3. In der Anforderungsanalyse wurden die funktionalen- und nichtfunktionalen Anforderungen eruiert und durch die eigenen Anforderungen an die Applikation ergänzt. Die daraus entstandenen Use-Cases formten, bezogen auf die Verwendbarkeit, die ersten Details und stellten die primären Funktionen heraus. Mockups verhalfen den Applikationskontext in eine erste Form zu bringen und Optik, Bedienbarkeit und Funktionen zu verbinden. Die anschließende Evaluation von Open-Source-Anwendungen (Kapitel 4) ergab verschiedene Applikationen, die den Funktionsumfang unterstützen. Vagrant stellte sich als hervorragender Dritt-Anbieter für nötige Funktionalitäten heraus. Für die Zustandsumsetzung auf der gewünschten Maschine wurde Ansible ausgewählt. So wurden etablierte und vorhandene Anwendungen in die Planung integriert, um das Funktionsspektrum zu verbessern.

Der Entwurf in Kapitel 5 basiert auf der vorhergegangenen Anforderungsanalyse und greift deren Aspekte auf, um die programmatische Umsetzung zu definieren. Im Softwareentwurf wurde erarbeitet, die Applikation nach bestimmten Systemarchitekturen zu gliedern. So wurde das Client-Server-Modell und das MVC-Entwurfsmuster erarbeitet und bei der Konzeptionierung der einzelnen Komponenten berücksichtigt. Anschließend wurden verschiedene Sichten verwendet, die unterschiedliche Blickwinkel auf die Applikation geben und damit bei der Planung unterstützend wirkten. Im Laufe des Entwurfs stellte sich die Klärung der Datenbankstruktur als expliziter Punkt heraus, die durch zwei typische Datenbanksichten entworfen wurde. Zuerst

wurde das Entity-Relationship-Model (auch als ERM bezeichnet) als Darstellungsform gewählt, um Beziehungen und Attribute der Entitäten darzustellen. Das darauf folgende relationale Datenbank-Modell basiert auf den Ergebnissen des ERMs und bildete einen Entwurf ab der nah an der Umsetzung ist. Relationen zwischen Tabellen wurden dort genauer betrachtet und ggf. nach Regeln der Datenbank-Normalisierung aufgelöst. Das Resultat sind neue Koppeltabellen (Zwischentabellen), die bei der Umsetzung zu berücksichtigen sind.

Bei der Umsetzung des VM-Builders in Kapitel 6 stellten sich teilweise Unterschiede zur Planung heraus. Eine der größten Änderungen betraf den Wegfall der geplanten Konfigurationsdatei. Diese sollte Einstellungen des VM-Builders beinhalten und durch entsprechende Komponenten ausgelesen und beschrieben werden. Konfigurationen werden zukünftig in der bereits bestehenden Datenbank verwaltet. So wird der Implementierungsaufwand verringert und nur ein persistenter Speicher verwendet. Die entsprechende Umsetzung der Konfigurationstabellen ist in Abschnitt 6.3.2 nachzulesen. Die geplante Struktur der Komponenten konnte beibehalten werden, wobei sich teilweise neue Assoziationen zwischen diesen herausstellte, die in der Planung noch nicht berücksichtigt wurden. Die im Entwurf beschriebenen Architekturstile konnten übernommen werden und halfen bei der Umsetzung. Der komplette Entwurf, beschleunigte nicht nur die Umsetzung, sondern verhalf zu einer übersichtlichen Strukturierung. Auch die Vorgaben, die Komponenten mit hoher Kohäsion und niedriger Kopplung zu entwerfen, kam der Umsetzung zugute. Alle Komponenten können leicht ausgetauscht werden und erfüllen den zgedachten Zweck. Die GUI wurde optisch den Mockups angepasst, um den Prototypen übersichtlich und einfach steuerbar zu machen. Alle geplanten Funktionen des VM-Builders sind im Testumfeld voll funktionsfähig. Im zweiten Aufbau, der im HAW-Umfeld stattgefunden hat, wurde das Teilen von Maschinen mit anderen Anwendern durch die Netzwerkbeschränkungen unterbunden. Komplikationen wie diese lassen sich aber durch konkrete Einstellungen in den verwendeten Softwarekomponenten beheben.

7.2 Ausblick

Bei der Entwicklung und Planung der Applikation sind weitere Ideen und Anwendungszwecke entstanden, die allerdings in der zeitlichen Begrenzung und mit der vorhandenen Arbeitskraft nicht umzusetzen werden konnte. Vorstellbar wäre die Erweiterung des Funktionsumfangs, so dass ganze Infrastrukturen nachgebildet werden könnten. Das bedeutet, dass mehrere Server, inklusive deren Softwarebestandteile, nachgebaut werden könnten und das mit minimalem Aufwand. Die Basis dafür bietet der jetzige Entwicklungsstand. Eine entsprechende Erweiterung wäre durch ein umfangreiches Konfigurationsmenü und die Anpassung der Komponenten,

die für die Kreierung der Konfigurationsdateien nötig sind, möglich. Die zugrunde liegenden Softwarekomponenten beinhalten in deren Funktionsumfang die Möglichkeit mehrere Maschinen gleichzeitig zu erstellen und diese unabhängig voneinander zu provisionieren. Extras wie unterschiedliche und explizite IP-Adressen zu vergeben ist z.B. eine minimale Konfigurationsangelegenheit. Da Ansible anbietet vorgefertigte Zustandsbeschreibungen (Playbooks) zu verwenden, könnten auch zuvor geschriebene Zustandsbeschreibungen nachträglich in der zu erstellenden virtuellen Infrastruktur umgesetzt und für spätere Zwecke abgelegt werden. Zudem wäre eine Erweiterung denkbar, die automatisiert produktionsnahe Umgebungen erstellt und gleichzeitig den aktuellen Datenbestand zur Verfügung stellt. So hätten Tester und Entwickler schneller und effektiver einen Abzug des Produktionsumfeldes, um ihren Tätigkeiten besser nachzugehen. Zu beachten wäre bei allen Aufbauten, die Integration der Schnittstellen zwischen den verwendeten Systemen.

Literaturverzeichnis

- [Balzert 2011] BALZERT, Helmut: *Lehrbuch der Softwaretechnik: Entwurf, Implementierung, Installation und Betrieb*. 3. Aufl. 2012. Spektrum Akademischer Verlag, 9 2011. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3827417066/>. – ISBN 9783827417060
- [Bengel 2008] BENDEL, Gunther: *Masterkurs Parallele und Verteilte Systeme: Grundlagen und Programmierung von Multicoreprozessoren, Multiprozessoren, Cluster und Grid (German Edition)*. 2008. Vieweg+Teubner Verlag, 6 2008. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3834803944/>. – ISBN 9783834803948
- [Burge und Brown 2002] BURGE, Janet E. ; BROWN, David C.: *NFR's: Fact or Fiction?* / Computer Science Department WPI, Worcester. URL <http://web.cs.wpi.edu/~dcb/Papers/CASCON03.pdf>, 2002. – Forschungsbericht
- [Christian Baun 2011] CHRISTIAN BAUN, Viktor M.: *Cluster-, Grid- und Cloud-Computing*. 2011. – URL http://www.baun-vorlesungen.appspot.com/CGC11/Skript/fohlen_cgc_vorlesung_13_SS2011.pdf
- [Fleischmann 2012] FLEISCHMANN, Andreas: *Konfigurationsmanagement mit Ansible*. April 2012. – URL <http://www.s-inn.de/blog/image.axd?picture=2012%2F5%2FHypervisor-Type-1-vs-Type-2.png>
- [Hall 2013] HALL, Daniel: *Ansible Configuration Management*. Packt Publishing, 11 2013. – URL <http://amazon.com/o/ASIN/1783280816/>. – ISBN 9781783280810
- [Harris und Haase 2011] HARRIS, Alan ; HAASE, Konstantin: *Sinatra: Up and Running*. 1. O'Reilly Media, 12 2011. – URL <http://amazon.com/o/ASIN/1449304230/>. – ISBN 9781449304232
- [Hock 2012] HOCK, Jürgen: *OpenNebula - The Open Source Solution for Data Center Virtualization* / Hochschule Mannheim Institut für Softwaretechnik und Datenkommunikation, Mannheim. URL <http://baun-vorlesungen.appspot.com/SEM12/>

- [Dokumente/CLCP_SEM_SS2012_OpenNebula_Ausarbeitung.pdf](#), 2012.
– Forschungsbericht
- [Ihlenfeld 2012] IHLENFELD, Jens: *Vagrant 1.0 veröffentlicht*. März 2012. – URL <http://www.golem.de/news/virtuelle-entwicklungsumgebung-vagrant-1-0-veroeffentlicht-1203-90316.html>
- [Jarosch 2002] JAROSCH, Helmut: *Datenbankentwurf: eine beispielorientierte Einführung für Studenten und Praktiker*. Braunschweig Wiesbaden : Vieweg, 2002. – ISBN 3528058005
- [Joost 2014] JOOST, Thomas: *Virtualisierung: der kostenlose Microsoft Hyper-V-Server 2012 R2 in der Praxis*. Dezember 2014. – URL http://www.tecchannel.de/server/windows/2053524/virtualisierung_der_kostenlose_hyper_v_server_2012_r2_in_der_praxis/
- [Llorente 2014] LLORENTE, Ignacio M.: *OpenNebula vs. OpenStack: User Needs vs. Vendor Driven*. 2014. – URL <http://openebula.org/openebula-vs-openstack-user-needs-vs-vendor-driven/>
- [Loschwitz und Syseleven 2015] LOSCHWITZ, Martin ; SYSELEVEN: *OpenStack*. 2015. – URL <http://www.golem.de/news/openstack-viele-brauchen-es-keiner-versteht-es-wir-erklaeren-es-1503-112814.html>
- [Masak 2009] MASAK, Dieter: *Der Architekturreview: Vorgehensweise, Konzepte und Praktiken (Xpert.press)*. 2010. Springer, 11 2009. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3642016588/>. – ISBN 9783642016585
- [Masiero 2015] MASIERO, Manuel: *VMware vs VirtualBox - Virtualisierungs-Tools im Test*. Januar 2015. – URL <http://www.pc-magazin.de/vergleich/vmware-virtualbox-virtualisierung-tool-test-gratis-kostenlos-2827888.html>
- [Peacock 2013] PEACOCK, Michael: *Creating Development Environments with Vagrant*. Packt Publishing, 8 2013. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/1849519188/>. – ISBN 9781849519182
- [Pernul 2003] PERNUL, Günther: *Datenbanken im Unternehmen : Analyse, Modellbildung und Einsatz*. München Wien : Oldenbourg, 2003. – ISBN 3486272101

- [Rechtin und Maier 2000] RECHTIN, Eberhardt ; MAIER, Mark: *The Art of Systems Architecting, Second Edition*. 0002. Crc Pr Inc, 6 2000. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/0849304407/>. – ISBN 9780849304408
- [Reuther 2013] REUTHER, Claus: *Virtualisierung - VMware und Microsoft im Vergleich*, Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorarbeit, 1 2013
- [Rhett 2015] RHETT, Jo: *Learning Puppet 4*. 1. O'Reilly Vlg. Gmbh and Co., 8 2015. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/1491907665/>. – ISBN 9781491907665
- [Roden 2014] RODEN, Golo: *Anwendungen mit Docker transportabel machen*. Februar 2014. – URL <http://www.heise.de/developer/artikel/Anwendungen-mit-Docker-transportabel-machen-2127220.html>
- [Roland Kluge 2013] ROLAND KLUGE, SOPHIST G.: *Schablonen für alle Fälle*. 2013. – URL https://www.sophist.de/fileadmin/SOPHIST/Publikationen/Broschueren/SOPHIST_Broschuere_MASTE.R.pdf
- [Rupp und die SOPHISTen 2014] RUPP, Chris ; SOPHISTEN die: *Requirements-Engineering und -Management: Aus der Praxis von klassisch bis agil*. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Carl Hanser Verlag GmbH und Co. KG, 10 2014. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3446438939/>. – ISBN 9783446438934
- [Scherf 2015] SCHERF, Thorsten: *Konfigurationsmanagement mit Ansible*. 2015. – URL <http://www.admin-magazin.de/Online-Artikel/Konfigurationsmanagement-mit-Ansible>
- [Schäfer 2009] SCHÄFER, Werner: *Softwareentwicklung - inkl. Lerntest auf CD: Einstieg für Anspruchsvolle (Master Class)*. 1. Addison-Wesley Verlag, 12 2009. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3827328519/>. – ISBN 9783827328519
- [ScriptRock 2014] SCRIPTROCK: *Ansible vs. Salt*. Januar 2014. – URL <https://www.scriptrock.com/articles/ansible-vs-salt>
- [Siegert und Baumgarten 2006] SIEGERT, Hans-Jürgen ; BAUMGARTEN, Uwe: *Betriebssysteme: Eine Einführung*. überarbeitete, aktualisierte und erweiterte Auflage. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 12 2006. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3486582119/>. – ISBN 9783486582116
- [Sinatra 2015] SINATRA: *Sinatra Einführung*. Juni 2015. – URL <http://www.sinatrarb.com/intro-de.html#Bedingungen>

- [Starke 2011] STARKE, Gernot: *Software-Architektur kompakt (IT kompakt)*. 2nd Printing. Spektrum Akademischer Verlag, 3 2011. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3827420938/>. – ISBN 9783827420930
- [Starke 2014] STARKE, Gernot: *Effektive Softwarearchitekturen: Ein praktischer Leitfaden*. 6., überarbeitete Auflage. Carl Hanser Verlag GmbH und Co. KG, 1 2014. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3446436146/>. – ISBN 9783446436145
- [Statista 2015] STATISTA: *marktanteil-der-meistgenutzten-websserver*. 2015. – URL <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/181588/umfrage/marktanteil-der-meistgenutzten-websserver/>
- [Tanenbaum und van Steen 2007] TANENBAUM, Andrew S. ; STEEN, Maarten van: *Verteilte Systeme: Prinzipien und Paradigmen (Pearson Studium - IT)*. 2., aktualisierte Auflage. Pearson Studium, 11 2007. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3827372933/>. – ISBN 9783827372932
- [Vagrant 2015] VAGRANT: *CREATING A BASE BOX*. 2015. – URL <https://docs.vagrantup.com/v2/virtualbox/boxes.html>
- [Wikipedia 2015] WIKIPEDIA: *Model-view-controller* – *Wikipedia - The Free Encyclopedia*. 2015. – URL <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/a/a0/MVC-Process.svg/2000px-MVC-Process.svg.png>
- [Zörner 2012] ZÖRNER, Stefan: *Softwarearchitekturen dokumentieren und kommunizieren: Entwürfe, Entscheidungen und Lösungen nachvollziehbar und wirkungsvoll festhalten*. Carl Hanser Verlag GmbH und Co. KG, 5 2012. – URL <http://amazon.de/o/ASIN/3446429247/>. – ISBN 9783446429246

Anhang

Aufbau einer virtuellen Maschine

Create a new machine

Machine name

IP address

Description

Image

- Standard 32 bit machine
- Standard 64 bit machine
- Enter Machine

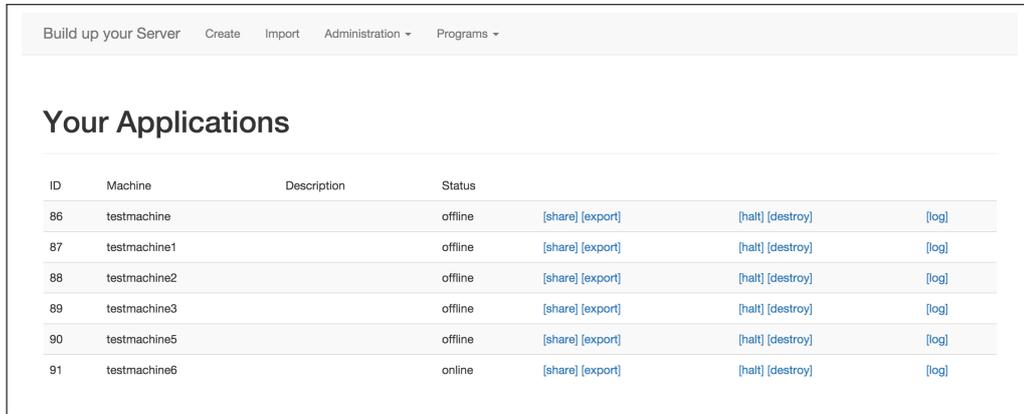
Software

Name	Command
<input type="checkbox"/> unzip	Command: <code>sudo unzip</code>
<input type="checkbox"/> zip	Command: <code>sudo zip</code>
<input type="checkbox"/> apache	Command: <code>sudo apt-get install apache2 apache2-doc</code>
<input type="checkbox"/> CRM-Bundle	Command: <code></code>

Files

Abbildung 1: Menü zum Erstellen einer virtuellen Umgebung

Verwaltung der virtuellen Maschinen

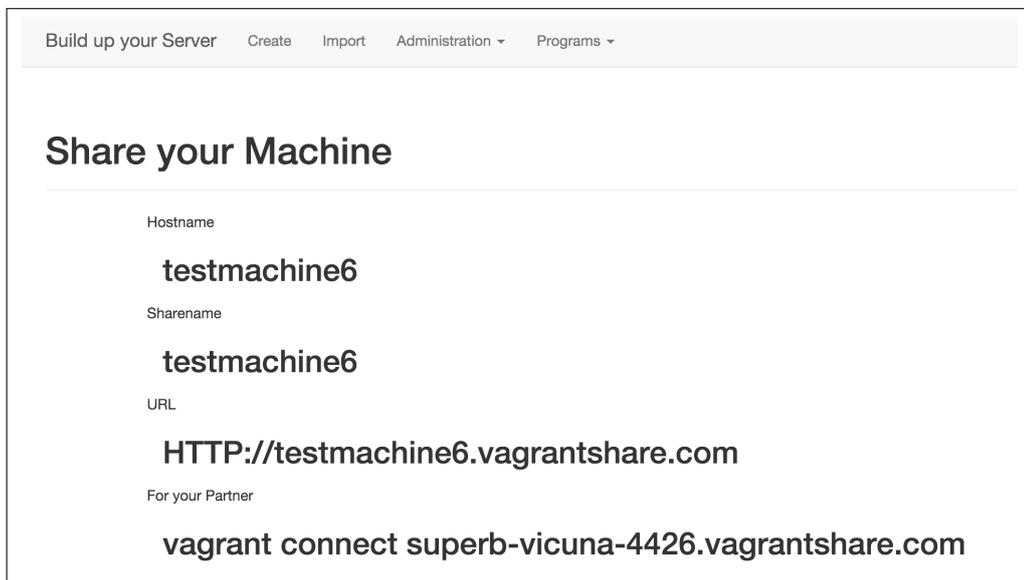


The screenshot shows a web interface with a navigation bar at the top containing 'Build up your Server', 'Create', 'Import', 'Administration', and 'Programs'. Below the navigation bar is the heading 'Your Applications'. A table lists six virtual machines with columns for ID, Machine, Description, Status, and three sets of action links: [share] [export], [halt] [destroy], and [log].

ID	Machine	Description	Status	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
86	testmachine		offline	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
87	testmachine1		offline	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
88	testmachine2		offline	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
89	testmachine3		offline	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
90	testmachine5		offline	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]
91	testmachine6		online	[share] [export]	[halt] [destroy]	[log]

Abbildung 2: Übersicht aller aktuellen virtuellen Maschinen

Externer Zugriff

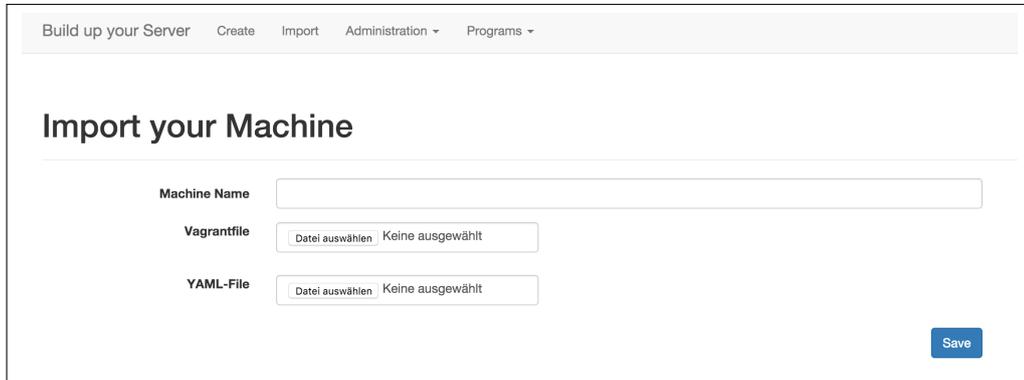


The screenshot shows a web interface with a navigation bar at the top containing 'Build up your Server', 'Create', 'Import', 'Administration', and 'Programs'. Below the navigation bar is the heading 'Share your Machine'. The interface displays the following information:

- Hostname: **testmachine6**
- Sharename: **testmachine6**
- URL: **HTTP://testmachine6.vagrantshare.com**
- For your Partner: **vagrant connect superb-vicuna-4426.vagrantshare.com**

Abbildung 3: Externe Zugriffsoptionen auf eine virtuelle Maschine

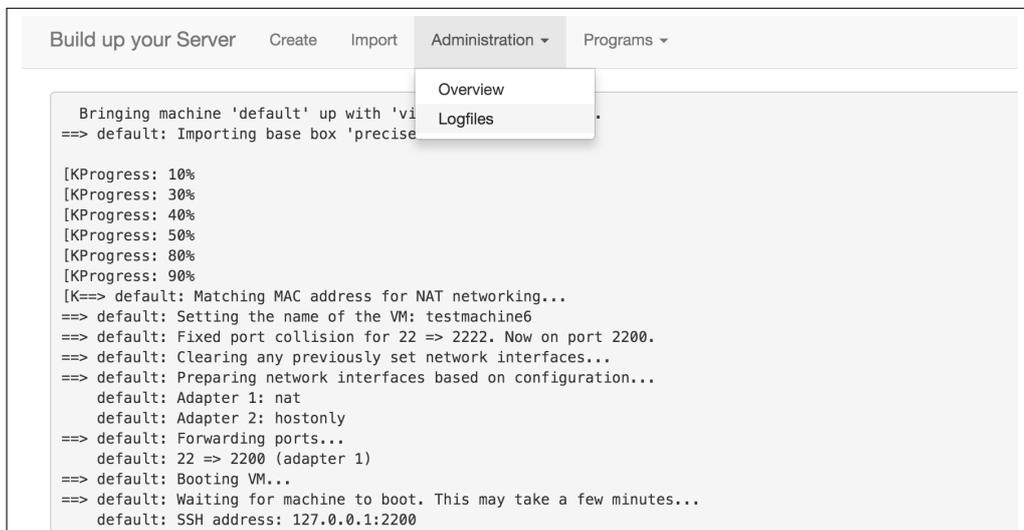
Import



The screenshot shows a web interface for importing a machine. At the top, there is a navigation bar with the text "Build up your Server" and several menu items: "Create", "Import", "Administration", and "Programs". Below this, the main heading is "Import your Machine". The form contains three input fields: "Machine Name" (a text box), "Vagrantfile" (a button labeled "Datei auswählen" and the text "Keine ausgewählt"), and "YAML-File" (a button labeled "Datei auswählen" and the text "Keine ausgewählt"). A blue "Save" button is located at the bottom right of the form.

Abbildung 4: Import durch Konfigurationsdateien

Log



The screenshot shows a log file in a web interface. At the top, there is a navigation bar with the text "Build up your Server" and several menu items: "Create", "Import", "Administration", and "Programs". The "Administration" menu is open, showing "Overview" and "Logfiles". The log file content is as follows:

```
Bringing machine 'default' up with 'vagrant'
==> default: Importing base box 'precise'

[KProgress: 10%
[KProgress: 30%
[KProgress: 40%
[KProgress: 50%
[KProgress: 80%
[KProgress: 90%
[K==> default: Matching MAC address for NAT networking...
==> default: Setting the name of the VM: testmachine6
==> default: Fixed port collision for 22 => 2222. Now on port 2200.
==> default: Clearing any previously set network interfaces...
==> default: Preparing network interfaces based on configuration...
default: Adapter 1: nat
default: Adapter 2: hostonly
==> default: Forwarding ports...
default: 22 => 2200 (adapter 1)
==> default: Booting VM...
==> default: Waiting for machine to boot. This may take a few minutes...
default: SSH address: 127.0.0.1:2200
```

Abbildung 5: Allgemeine Logdatei

Administration

The screenshot displays a web-based administration interface. At the top, a navigation bar contains the following items: "Build up your Server", "Create", "Import", "Administration" (with a dropdown arrow), and "Programs" (with a dropdown arrow). Below the navigation bar, the main heading "Administration" is centered. The interface is divided into two main configuration sections:

- Global - Configuration:** This section contains three input fields:
 - App install path:** /var/www/builderapp/
 - VM install path:** /home/greg/machines/
 - Upload-Folder:** /var/www/builderapp/files/uploads/A blue "Save" button is positioned to the right of these fields.
- Ansible - Configuration:** This section contains one input field:
 - Hosts:** all

Abbildung 6: Administration des VM-Builders (Teil 1)

The screenshot displays a web-based configuration interface for VM-Builders. It is organized into three distinct sections, each with a 'Save' button:

- Sudo:** A text input field containing the value 'true'.
- Vagrant - Configuration:** Includes a 'User' field with 'haw' and a 'Password' field with a key icon.
- Logfile - Configuration:** Includes a 'General' field with '/var/www/builderapp/files/log/log1.txt' and a 'Machines' field with 'status.log'.

Abbildung 7: Administration des VM-Builders (Teil 2)

Software und Packages

The screenshot shows the 'Your Applications' page. At the top, there is a navigation bar with the following items: 'Build up your Server', 'Create', 'Import', 'Administration', and 'Programs'. The 'Programs' menu is currently open, revealing a list of actions: 'Add Software', 'Edit Software', 'Build Packages', and 'Edit Packages'. The main heading 'Your Applications' is prominently displayed below the navigation bar.

Abbildung 8: Administration von Software und Packages

Build your Packages

Program

Command

Description

zip
apache
CRM-Bundle

← →

unzip

Files **target**

Abbildung 9: Erstellung eines Packages

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe.

Hamburg, 02. November 2015

Jan Lepel