Open Source Cloud Computing Management Plattformen – Einführung, Vergleich und Einsatzempfehlungen

Stefan Wind

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik und Systems Engineering
Universität Augsburg
Universitätsstr. 16
86159 Augsburg
stefan.wind@wiwi.uni-augsburg.de

Abstract: In den letzten Jahren lässt sich eine zunehmende Entwicklung und Nutzung von Open Source (OS) beobachten, insbesondere in den Bereichen Programmierung, Betriebssysteme und Anwendungssoftware. Zum Aufbau und Management von Cloud Computing Plattformen wird OS jedoch nach Studien von Gartner und Forrester noch nicht sehr intensiv genutzt. Dies ist insofern verwunderlich, da gerade in diesem Bereich mit den heute verfügbaren OS-Systemen effizient und kostengünstig Cloud Management Plattformen aufgebaut werden könnten. Diese bieten sich auch als Alternative zu kommerziellen Anbietern an und ermöglichen die Implementierung von privaten, hybriden und Community-Cloud Lösungen. Viele Unternehmen, öffentliche Verwaltungen und sonstige Institutionen verzichten jedoch zum Teil aus Unsicherheit und fehlenden Informationen auf diese Möglichkeit. Der vorliegende Beitrag führt daher in das Themengebiet ein, vergleicht bestehende Open Source Cloud Computing Management Plattformen und gibt konkrete Einsatzempfehlungen.

1 Motivation

Cloud Computing ist aktuell zweifelsfrei ein großer Hype und es wird von vielen Fachleuten als die Zukunft der IT gesehen. Laut McKinsey lassen sich für Unternehmen insbesondere durch eine bedarfsangepasste und optimierte Ressourcennutzung im Infrastrukturbereich Einsparpotenziale von 30% bis 40 % erzielen [Mc11]. Dabei ist die Bandbreite der Nutzung noch längst nicht ausgeschöpft. So ist beispielsweise wenig bekannt, dass es sich für Unternehmen insbesondere anbietet, mit der Hilfe von Open Source eine eigene Cloud Lösung aufzubauen und zu verwalten. Die Plattformen in diesem Bereich bieten kostengünstige, herstellerunabhängige, innovative und flexible Lösungen, die zumeist unkompliziert eingeführt werden können. Aus diesem Grund lohnt es, sich mit diesem Einsatzgebiet von Open Source in Wissenschaft und Praxis eingehend auseinanderzusetzen.

erschienen im Tagungsband der INFORMATIK 2011
Lecture Notes in Informatics, Band P192
ISBN 978-3-88579-286-4
weitere Artikel online:
http://informatik2011.de/519.html

1.1 Cloud Computing Management Plattformen

Cloud Computing Management Plattformen dienen generell zum Aufbau und zur Verwaltung von Cloud Architekturen; unabhängig von der Art der Cloud. Mit Hilfe solcher Plattformen ist es für Unternehmen und öffentliche Verwaltungen möglich, aufbauend auf der bereits vorhandenen Infrastruktur, eigene Cloud Architekturen (Private-, Hybride- und Community-Clouds) aufzusetzen. In den letzten Jahren ist der Markt für solche Plattformen stark gewachsen. Neben proprietären Lösungen, die hauptsächlich bei Anbietern von Public Clouds zum Einsatz kommen, gibt es mittlerweile eine Vielzahl von Standard Management Plattformen, welche ebenfalls für den Aufbau und die Verwaltung von Cloud Architekturen genutzt werden können. Aus der Perspektive der OS-Community ist es hierbei besonders erfreulich, dass sich in diesem Bereich OS Produkte immer mehr etablieren [Pe09], [Co10].

1.2 Forschungsmethode und Aufbau des Beitrags

Zur Beschreibung, Synthese, Evaluation und Integration der Ergebnisse vorhandener wissenschaftlicher Arbeiten zu OS Cloud Computing Management Plattformen wurde eine Literaturrecherche, basierend auf dem Ansatz von Webster und Watson (2002), durchgeführt [WW02]. Zusätzlich wurden OS Plattformen zum Teil mit einem prototypischen Ansatz getestet. Der Beitrag ist daher wie folgt aufgebaut: Nach der Einführung und Motivation in Kapitel 1 werden in Kapitel 2 vier verschiedene Plattformen vorgestellt. In Kapitel 3 werden anhand der Literaturanalyse und Erfahrungen durch die Protopyen Vergleichskriterien aufgestellt und darauf eine Klassifikation der Plattformen durchgeführt. Kapitel 4 leitet schließlich Empfehlungen für die Anwendung ab. In Kapitel 5 erfolgen eine Zusammenfassung sowie ein Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf.

2 Open Source Cloud Computing Management Plattformen

Im Rahmen einer internationalen Literaturanalyse wurden Eucalyptus, OpenNebula, Abicloud und Nimbus als bekannteste OS Cloud Computing Management Plattformen identifiziert und für die Arbeit ausgewählt. Diese werden nachfolgend kurz vorgestellt.

Eucalyptus (Elastic Utility Computing Architecture for Linking Your Programs To Useful Systems) wurde als ein Projekt der kalifornischen Universität Santa Barbara ins Leben gerufen und diente ursprünglich dem Aufbau einer Open-Source Private Cloud-Plattform [Eu11]. Mittlerweile wird dies von der Eucalyptus System Company geführt. OpenNebula wurde 2008 von Ignacio M. Llorente und Rubén S. Montero veröffentlicht und ist das Flaggschiff der Europäischen Union im Bereich von Forschungsprojekten bezüglich Virtualisierungen und Cloud Computing [Op11]. So wird es beispielsweise bei der Zentralbibliothek in Florenz bereits erfolgreich eingesetzt. Abicloud wurde von der Firma Abiquo aus Barcelona entwickelt, die auch für die Wartung und Weiterentwicklung verantwortlich ist [Ab11]. Nimbus ist ein Open Source Toolkit, welches es möglich macht, ein Cluster in eine Cloud Computing-Lösung in Form von IaaS umzuwandeln und anzubieten [Ni11].

ISBN 978-3-88579-286-4

3 Kriterien und Vergleichsrahmen

Um die einzelnen Plattformen vergleichen zu können, wurden aus der Literaturanalyse Kriterien abgeleitet, die dazu dienen sollen, u.a. softwaretechnische Fragestellungen zu beantworten. Zusätzlich wurden teilweise prototypische Installationen durchgeführt, um die gewonnen Erfahrungen in die Analyse mit einfließen zu lassen. Für das Verständnis der Funktionsweise der einzelnen Plattformen sind Kenntnisse über die Architektur, die Programmiersprache sowie die unterstützten Arten von Clouds unabdingbar. Dabei wird unterschieden, welche Arten von Clouds (Public-, Hybrid- oder Community-Clouds) mit der Software erzeugt bzw. verwaltet werden können [ST10].

Um die Kompatibilität zu bereits im Unternehmen vorhandener Software sicherzustellen, ist darüber hinaus ein Überblick über die unterstützten Hypervisoren essentiell [Pe09]. Auch die Art des angebotenen Daten- und VM-Speichers beeinflusst möglicherweise die Entscheidungsfindung [RCL09].

Über das grundsätzliche Funktionsverständnis hinaus muss die angestrebte Nutzung in Betracht gezogen werden [CGH09]. So eignen sich die einzelnen Plattformen jeweils für unterschiedliche Einsatzgebiete und haben verschieden aufgebaute Schnittstellen zum Anwender. Auch wird es für eine Entscheidung wichtig sein, welche Open-Source Lizenzen die Softwareprodukte verwenden oder welche Sicherheitsvorkehrungen sie bieten. Auch die Robustheit gegen Fehlfunktionen sowie die Interoperabilität, die es ermöglicht, Anwendungen zwischen Clouds zu übertragen bzw. mehrere Clouds auf einmal zu nutzen, spielt im täglichen Einsatz eine wichtige Rolle [Pe09], [ST10]. Möglicherweise sind auch die Kompatibilität mit anderen Plattformen sowie die Möglichkeit, eigenständig virtuelle Maschinen zu erstellen, entscheidungsrelevant [RCL09].

Eucalyptus besitzt als einzige Plattform eine hierarchische Struktur. Es gibt eine Schnittstelle, die sogenannte Client API, welche die Kommunikation und Verbindung zwischen den einzelnen Ressourcen der Cloud Computing-Plattformen ermöglicht. Anwender haben hierüber Zugriff auf alle benötigten Ressourcen und sind so mit dem Herzstück, dem sog. Cloud Controller (CLC), verbunden. Dieser dient als Komponente für die Beantwortung globaler Entscheidungsprozesse und ist mit den Cluster Controllern (CC) verbunden, in denen alle Prozesse der einzelnen Node Controller (NC) zusammenlaufen. Mehrere logisch verknüpfte NCs eines virtuellen Clusters liefern Informationen an die CCs und stellen als unterste Schicht eine physische Komponente dar, auf der alle virtuellen Einrichtungen laufen können [Eu11]. Durch die separaten Durch die separaten Cluster innerhalb der Architektur wird die Wahrscheinlichkeit korreliert auftretender Fehler deutlich verringert [RCL09]. Die Schnittstelle zum Anwender wird durch ein Command Line Interface (CLI) verwirklicht, das mehr Wissen für die Bedienung voraussetzt und damit für unerfahrene Anwender nicht intuitiv steuerbar ist [ST10]. Die Datensicherheit wird durch ein Schlüsselpaar zur Authentifizierung gewährleistet [Nu09]. Eucalyptus wird als einzige Plattform unter der BSD-Lizenz (Berkeley Software Distribution) vertrieben. Dies bedeutet, dass das Programm kopiert und verändert werden kann, wenn der Copyright-Vermerk des ursprünglichen Programms nicht entfernt wird [OS11].

ISBN 978-3-88579-286-4

	Abicloud	Eucalyptus	OpenNebula	Nimbus
Architektur	Ausgeprägte web-basierte Management-funktionen	Hierarchisch gegliedert vom CLC über den CC zum NC	Drei Module beinhalten sämtliche Komponenten	Drei Module beinhalten sämtliche Komponenten
Programmiersprache	Java, C++, Python	Java	Java, Ruby	Java
Unterstützte Arten von Clouds	Public / Private / Hybrid Cloud	Private / Hybrid Cloud	Public / Private/ Hybrid Cloud	Private / Community Cloud
Unterstützte Hypervisoren	VirtualBox, VMware, KVM Xen	VMware, KVM Xen	VMware, KVM Xen	Python, Bash, Ebtables, Libvirt, KVM, Xen
Daten- / VM-Speicher	ZFS Opensolaris, Logical Volume Manager & iSCSI Linux	Walrus	Network File System oder Secure CoPy	Cumulus File System Backend Storage
Einsatzgebiet	KMU	Großunternehmen Forschungseinricht.	Großunternehmen und öffentliche Institutionen	Forschungseinrichtungen
Schnittstelle zum Anwender	Cloud Operator API	euca2ools (CLI)	Command Line Interface (CLI)	Web-Services, hier: Nimbus Web
OS-Lizenz	Common Public Attribution License	BSD-License	Apache License Version 2	Apache License Version 2
Fehlerrobustheit	Keine extra Absicherung der Daten	Separate Cluster verringern die Wahrscheinlichkeit korrelierter Fehler	Permanente Datenbank zur Speicherung von Informationen der Hosts, Netzwerke und virtuellen Maschinen	Regelmäßige Überprüfung und Absicherung der Arbeiterknoten
Interoperabilität	Standardbasierte Architektur: ermöglicht die Kopplung mit Produkten und Systemen Dritter	Gleiche Infrastruktur für mehrere Cloud Computing Schnittstellen	Standardbasierte Architektur: ermöglicht die Kopplung mit Produkten und Systemen Dritter	Standards: „Rough Consensus and Working Code“
Sicherheit	CAS (Code Access System)	Der Cloud Controller generiert ein public/private key Schlüsselpaar zur Authentifizierung des Nutzers	Authentifizierung durch Passwörter, secure shell und RSA Schlüsselpaare. Lightweight Directory Access Protocol	Public Key Infrastructure
VM creation tool	Drag&Drop	nicht vorhanden	nicht vorhanden	nicht vorhanden
Kompatibilität zu public Cloud Providern	EC2	EC2, S3	EC2	EC2, S3

Tabelle 1: Vergleich Open Source Cloud Management Plattformen

Open Nebula ist in der Lage, Private-, Public- oder Hybrid-Clouds zu konstruieren und wandelt ein physikalisches Rechencluster in eine flexible virtuelle Infrastruktur um, welche je nach Bedarf die benötigten Ressourcen dynamisch anpassen kann [Op11]. Die Schnittstelle zum Anwender wird durch eine Kommandozeile verwirklicht [RCL09]. Die Software besteht physikalisch aus drei Schichten, wobei die erste („Tools“) Funktionen für den Administrator und den Anwender enthält. Zum einen ist hier die Kommandozeile für den Administrator zu finden, zum anderen ein Planungsmodul, mit dem eine Platzierung von virtuellen Maschinen möglich ist. Die zweite Schicht („Core“) enthält Komponenten zur Verarbeitung von Nutzeranfragen und Kontrollressourcen. Die dritte („Drivers“) unterstützt verschiedene darunter liegende Plattformen, denn auf dieser Schicht befinden sich Treiber, die den Datentransfer und die Steuerung virtueller Maschinen regeln, die abhängig von den Hypervisoren auf jedem Host sind. Auch Services von externen Clouds wie Amazon EC2 werden so angefragt [Co10], [OST10]. Für den Fall einer Fehlfunktion kann das Hintergrundprogramm (Linux / Unix) neu gestartet und alle laufenden virtuellen Maschinen wieder hergestellt werden.

Dies geschieht mit Hilfe einer Datenbank, die permanent Informationen über Hosts, Netzwerke und virtuelle Maschinen speichert [Op11].

Abicloud kann sowohl für die Generierung von Public-, Private- oder Hybrid Clouds verwendet werden [Ab11]. Die standardbasierte Architektur ermöglicht durch ihre Interoperabilität einen Transfer von Anwendungen zwischen verschiedenen oder multiplen Clouds [RS10]. Der Abicloud Server, zuständig für das Rechenzentrums-management und die Nutzerschnittstelle, die Abicloud Webservices (WS), zuständig für das Management der virtuellen Anwendungen und die Virtual System Monitor WS, verwendet als Plug-in monitor manager, bilden die drei Hauptkomponenten von Abicloud [Pe09]. Aufgrund der ausgeprägten webbasierten Managementfunktion ist die Software leichter steuerbar als durch Befehle innerhalb der Kommandozeile, wie es bei anderen Plattformen der Fall ist [Ab11], [Pe09]. So können beispielsweise durch eine „Drag & Drop“ Funktion sehr leicht weitere virtuelle Maschinen erstellt bzw. deren Service verwaltet werden. Zusätzlich ist es möglich, eine komplette Cloud zu duplizieren und an anderer Stelle einzusetzen. Dies ist speziell im Rahmen einer Transformation des Arbeitsumfeldes sehr hilfreich und gestaltet den Cloud-Anwendungsprozess leichter und flexibler. Die Software wird unter der Common Public Attribution License vertrieben.

Nimbus ist ein Open Source Toolkit, welches sich im Speziellen auch für die Erstellung einer Community Cloud eignet. Es besteht aus vielen verschiedenen Funktions-komponenten, welche die verschiedenen Module der Plattform unterstützen. Nimbus wurde ursprünglich für wissenschaftliche Forschungen entwickelt und ist deshalb auch komplizierter aufgebaut als andere Plattformen. Befehle und Ergebnisse werden in Befehlszeilen angegeben, was Nimbus aufgrund der spezifischen Anwendungen sehr komplex erscheinen lässt [RCL09]. Andererseits zeichnet sich die Software besonders durch eine hohe Flexibilität aus; da sie die meisten bekannten Hypervisoren unterstützt. Als negativ zu bewerten ist jedoch die fehlende Unterstützung von VMware. Durch eine regelmäßige Absicherung der Arbeitsknoten wird der Datenverlust während einer eventuellen Fehlfunktion verhindert. Nimbus wird wie OpenNebula in der Apache License Version 2 angeboten. Unter dieser Lizenz darf die Software frei verwendet, modifiziert und verteilt werden [OS11].

Der Vollständigkeit halber sei im Hinblick auf die Erstellung von Community Clouds noch folgendes erwähnt: Obwohl OpenNebula, Eucalyptus und Abicloud nicht explizit die Möglichkeit ausweisen, Community Clouds zu erstellen, lässt sich vermuten, dass dies dennoch möglich ist. Da diese Plattformen auch für die Erstellung von Hybriden Clouds geeignet sind, ist es wahrscheinlich, dass auch Private Clouds miteinander verbunden werden können und somit eine Community Cloud erzeugt werden kann.

4 Einsatzempfehlungen

Der Vergleich zeigt deutlich die Unterschiede zwischen den Plattformen auf. Aus diesen Unterschieden resultiert die Eignung für individuell unterschiedliche Einsatzgebiete, die im Folgenden erläutert werden.

Durch die Kompatibilität zu EC2 und S3 kann Eucalyptus die gleichen Dienste anbieten wie Amazon und stellt somit eine günstige Alternative dar [CGH09]. Ein Einsatz ist in vielfältiger Art und Weise denkbar, so z. B. für große Firmen, die Kunden über ihre Website bedienen. Durch Eucalyptus kann der Überlastung der Website vorgebeugt werden, da es die Elastizität mitbringt, unterschiedliche Nachfrageintensitäten abzudecken. Ebenso kann die Plattform in Unternehmen für die Entwicklung und Testphase von neuen Softwareprodukten eingesetzt werden, da jederzeit die benötigten Ressourcen verfügbar sind. Des Weiteren ist Eucalyptus gut geeignet für Einrichtungen, die mit sehr großen Datenmengen umgehen bzw. große Berechnungen durchführen müssen. Hierfür wird evtl. eine Hybrid Cloud benötigt, da es sein kann, dass die Ressourcen in der Private Cloud nicht ausreichen. Vorstellbar sind hier wissenschaftliche bzw. Forschungseinrichtungen, aber auch Unternehmen aus dem Finanzsektor oder der Automobilindustrie [Eu11].

OpenNebula eignet sich sowohl für Firmen als auch für Forschungseinrichtungen wie Universitäten, die für ihre wissenschaftlichen Simulationen und Berechnungen eine offene, flexible und skalierbare Cloudlösung suchen [Op11]. Auch hier ist, ähnlich wie bei Eucalyptus, die Möglichkeit der dynamischen Anpassung von benötigten Ressourcen von Vorteil. Jede Einrichtung, die ihre aktuelle Netzwerklösung verbessern möchte, kann OpenNebula verwenden, da es so konzipiert wurde, dass es in beliebige bestehende Lösungen integriert werden kann [OST10]. Die Installation von OpenNebula gestaltet sich relativ einfach, da auf der Website ein „Installation Guide“ vorhanden ist, der die verschiedenen Möglichkeiten der Installation beleuchtet. Somit haben auch kleinere Einrichtungen ohne Fachpersonal die Möglichkeit, die Plattform zu nutzen.

Nimbus ist eine Cloud Computing Lösung, die sich hauptsächlich für den Einsatz im wissenschaftlichen Bereich eignet, da die Plattform eine intensive Einarbeitung benötigt [Ni11]. Unter dieser Voraussetzung ermöglicht sie jedoch eine hohe Nutzenausbeute. So ist es unter anderem möglich, die Bedienung einer Cloud an sich durch spezifische Werkzeuge zu erlernen. Darüber hinaus kann eine Cloud im Vergleich zu anderen Plattformen wesentlich individueller angepasst werden, beispielsweise hinsichtlich der Unterstützung verschiedener Hypervisoren oder Anwenderschnittstellen [En10], [Pe09], [Ni11]. Dies ist insbesondere im Bereich der der wissenschaftlichen Forschung essentiell. So ist es einem französischen Studenten im April 2010 gelungen, eine der größten Clouds mit über 1000 Knoten über sechs verschiedene Standorte in den USA und Frankreich zu konstruieren [Uc11].

Abicloud ist sehr leicht zu skalieren und deswegen vielseitig einsetzbar. So können sowohl kleine Entwicklergruppen als auch große Firmen Abicloud verwenden, da ohne Schwierigkeiten eine beliebige Anzahl an virtuellen Maschinen gleich gut verwaltet werden können. Diese Plattform versetzt sowohl kleine, mittlere als auch große Unternehmen in die Lage, ihre komplette Infrastruktur zu managen und diese ohne zusätzlichen Aufwand beliebig zu erweitern. Durch die Möglichkeit, eine Hybrid Cloud zu erstellen, ist es ebenso wie Eucalyptus oder OpenNebula für große Unternehmen geeignet, da auch riesige Datenmengen kein Problem darstellen und leicht verwaltet werden können [Ab11].

ISBN 978-3-88579-286-4

5 Zusammenfassung und Ausblick

In der vorausgegangen Arbeit wurden vier Open Source Plattformen für den Aufbau von Cloud-Lösungen einem detaillierten Vergleich unterzogen und Einsatzempfehlungen herausgearbeitet. Dabei wurde deutlich, dass es Unternehmen heute schon möglich ist, auf Basis von Open Source Plattformen Cloud-Lösungen aufzubauen. Gerade auch hierfür ist OS besonders gut geeignet. Wichtig ist jedoch, über die Eigenschaften und Unterschiede der einzelnen Produkte detailliert informiert zu sein. Dies wurde im vorliegenden Artikel durch zwei Aspekte erreicht: Zum einen wurden die verschiedenen Funktionsweisen genauer erläutert, zum anderen wurden Gemeinsamkeiten und Unterschiede der vier gängigsten Plattformen herausgearbeitet. Daraus konnten schließlich jeweils konkrete Einsatzempfehlungen für die betrachteten Plattformen abgeleitet werden.

Open Source Plattformen für Cloud Computing sind in ihrer Entwicklung jedoch noch lange nicht am Ende. Diese Technik ist noch sehr jung und aktuell einem sehr dynamischen Entwicklungsprozess unterworfen. Zukünftiger Forschungsbedarf besteht somit im Aufbau von Community Clouds mit Open Source Plattformen sowie einer weiteren Entwicklung der OS Cloud Plattformen.

Literaturverzeichnis

[Ab11] Abicloud: The Enterprise Open Source cloud computing. In: http://wiki.abiquo.com/ display/abiCloud/Home /, 2011, Abruf am 07.04.2011.

[Ba10] Baun, C. et. al.: Computing Web-basierte dynamische IT-Services. Springer Verlag, Berlin Heidelberg, 2010.

[CGH09] Cerbelaud, D.; Garg, S.; Huylebroeck, J.: Opening The Clouds: Qualitative Overview of the State-of-the-art Open Source VM-based Cloud Management Platforms. Proceedings of the 10th ACM International Conference on Middleware, (22), 2009.

[Co10] Cordeiro, T. et al. . Open Source Cloud Computing Platforms. Ninth International Conference on Grid and Cloud Computing, pages 366–371, 2010.

[En10] Endo, P. T. et. al.: A Survey on Open-source Cloud Computing Solutions. VIII Workshop em Clouds, Grids e Aplicações, 2010.

[Eu11] Eucalyptus: Eucalyptus Cloud Management –Elastic, Open, Proven. In: http://eucalyptus.com, 2011, Abruf am 07.04.2011.

[Ke09] Keahey, K: Cloud Computing with Nimbus. University of Chicago Argonne National Laboratory, January 2009.

[Mc11] McKinsey et al.: Cloud Computing and Beyond. Acad. Sci., USA 144 – 171, 2011.

[Ni11] Nimbus: Open-source toolkit on providing IaaS. In: http://nimbusproject.org, 2009, Abruf am 07.04.2011.

[Nu09] Nurmi, D. et. al.: The Eucalyptus Open-Source Cloud-computing Sytem. 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid, pages 124 – 131, 2009.

[Op11] OpenNebula: The open source toolkit for cloud computing: In. http://opennebula.org, 2011, Abruf am 07.04.2011.

[OS11] Open Source Initiative: Open Source Licenses. In: http://www.opensource.org, 2011, Abruf am 28.03.2011.

[OST10] Ogrizovic, D.; Svilicic, B.; Tijan, E.: Open Source Science Clouds. MIPRO Proceedings of the 33rd International Convention, pages 1189 – 1192, IEEE 2010.

[Pe09] Peng, J.: Comparison of Several Cloud Computing Platforms. Second International Symposium on Information Science and Engineering, pages 23–27, 2009.

[RCL09] Rimal, B. P.; Choi, E.; Lumb, I.: A Taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems. Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, pages 44–51, 2009.

[RS10] Rambhadjan, M.; Schutijser, A.: SURFnet Cloud Computing Solutions.Universiteit van Amsterdam, System and Network Engineering, March 2010.

[ST10] Sempolinski, P.; Thain, D.: A Comparison and Critique of Eucalyptus, OpenNebula and Nimbus. Second International Conference on Cloud Computing Technology and Science (Cloud Com), pages 417–426, IEEE, 2010.

[Uc11] University of Chicago: One of the biggest cloud with Nimbus. In: http://news.uchicago.edu/, 2011, Abruf am 07.04.2011.

[WW02] Webster J.; Watson, R.T.: Analyzing the past to prepare for the future: Writing a literature review. MIS Quart 26(2):13–23, 2002.

ISBN 978-3-88579-286-4