



Aktualisierte
2. Auflage!

Cloud Computing

Praxisratgeber und Einstiegsstrategien

Mario Meir-Huber

Mario Meir-Huber

Cloud Computing

Praxisratgeber und Einstiegsstrategien

Mario Meir-Huber
Cloud Computing
ISBN: 978-3-86802-263-6

© 2011 entwickler.press
Ein Imprint der Software & Support Media GmbH
2. aktualisierte Auflage

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek
Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen
Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über
<http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Ihr Kontakt zum Verlag und Lektorat:
Software & Support Media GmbH
entwickler.press
Geleitsstr. 14
60599 Frankfurt am Main
Tel.: +49 (0)69 630089 0
Fax: +49 (0)69 930089 89
lektorat@entwickler-press.de
<http://www.entwickler-press.de>

Lektorat: Sebastian Burkart
Korrektorat: Frauke Pesch
Satz: Dominique Kalbassi
Belichtung, Druck & Bindung: M.P. Media-Print Informationstechnologie GmbH, Paderborn

Alle Rechte, auch für Übersetzungen, sind vorbehalten. Reproduktion jeglicher Art (Fotokopie, Nachdruck, Mikrofilm, Erfassung auf elektronischen Datenträgern oder anderen Verfahren) nur mit schriftlicher Genehmigung des Verlags. Jegliche Haftung für die Richtigkeit des gesamten Werks kann, trotz sorgfältiger Prüfung durch Autor und Verlag, nicht übernommen werden. Die im Buch genannten Produkte, Warenzeichen und Firmennamen sind in der Regel durch deren Inhaber geschützt.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	9
1 Einführung in Cloud Computing	11
1.1 Was ist Cloud Computing?	11
1.2 Cloud Computing – Evolution oder Revolution?	16
1.3 Abgrenzung zu anderen Technologien	19
1.4 Begrifflichkeiten	20
1.5 On premise	20
1.6 Private, Public und Hybrid Clouds	21
1.7 Ebenen des Cloud Computings	23
1.7.1 Infrastructure as a Service (IaaS)	24
1.7.2 Platform as a Service (PaaS)	26
1.7.3 Software as a Service (SaaS)	28
1.7.4 Vergleich der Anwendungen	30
1.7.5 Weitere Ansätze	30
2 Technische Grundlagen	33
2.1 Datacenter Design	33
2.2 Virtualisierung	34
2.2.1 Virtualisierungstechniken	35
2.3 Selbstverwaltung und Management von Cloud-Computing-Umgebungen	38
2.4 Sicherheit in der Cloud	39
3 Rechtliche Grundlagen für Cloud Computing	45
3.1 Einwirkungen durch das Europäische Datenschutzgesetz	46
3.2 Verträge und Servicelevel-Agreements (SLAs)	53
3.3 Fazit	54

4	Wirtschaftliche Grundlagen	57
4.1	Service Level Agreements (SLAs)	57
4.1.1	Begrifflichkeiten in Service Level Agreements	59
4.1.2	Inhalte von SLAs	59
4.2	Preismodelle	61
4.3	Outsourcing als Produktivitätsfaktor?	64
4.4	Wann macht es Sinn, Cloud Computing zu verwenden?	67
4.5	Kostenbeispiele	72
4.5.1	SaaS-Beispiele	72
4.5.2	PaaS-Beispiele	75
4.5.3	IaaS-Beispiele	78
4.5.4	Case Studies	81
5	Architekturelle Grundlagen	85
5.1	Datenbanken in der Cloud	85
5.1.1	NoSQL	85
5.1.2	SQL	87
5.1.3	Massenspeicher (Blobs)	88
5.2	Elementare Web- und Web-Service-Technologien	88
5.2.1	REST	88
5.2.2	Soap	94
5.2.3	HTML als wichtiger Antreiber für verteilte Anwendungen	95
5.3	Architekturen für verteilte Anwendungen	96
5.3.1	MapReduce für große Datenmengen	96
5.4	Skalierungstechniken	97
6	Cloud-Computing-Plattformen und -Anbieter	101
6.1	Amazon	101
6.1.1	Amazon Elastic Compute Cloud (EC2)	104
6.1.2	Amazon CloudFront	113
6.1.3	Amazon Elastic MapReduce	115
6.1.4	Amazon SimpleDB	115
6.1.5	Amazon Relational Database Service (Amazon RDS)	118
6.1.6	Amazon Simple Storage Service (Amazon S3)	124
6.1.7	Amazon Simple Queue Service	127
6.1.8	Amazon Mechanical Turk	133
6.1.9	Weitere Dienste von Amazon	136

6.2	Microsofts Cloud-Computing-Angebote	142
6.2.1	Überblick über die Azure Services Platform	142
6.2.2	Windows Azure Compute	143
6.2.3	Windows Azure Storage	150
6.2.4	SQL Azure	160
6.2.5	Windows Azure AppFabric	162
6.2.6	Windows Azure Datamarket	165
6.2.7	Microsoft BPOS Solutions	169
6.3	IBMs Cloud-Computing-Angebote	171
6.3.1	IBM LotusLive	171
6.3.2	IBM Smart Business Development and Test	174
6.4	Cloud-Computing-Angebote von Google	175
6.4.1	Google Apps	175
6.4.2	Google App Engine	178
6.5	Cloud-Computing-Angebote von Salesforce	186
6.5.1	SalesForce Software-as-a-Service-Angebote	186
6.5.2	PaaS-Angebote von Salesforce	192
6.6	Weitere Cloud-Computing-Anbieter und -Angebote	200
6.6.1	Rackspace	200
6.6.2	Novell	203
6.6.3	Red Hat	204
6.6.4	Eucalyptus	206
6.6.5	RightScale	206
6.6.6	CloudSwitch	208
6.6.7	VMware	209
6.6.8	Enomaly	209
6.6.9	Oracle	210
6.6.10	Canonical – Ubuntu	211
6.6.11	Fazit	212
6.7	Vergleich der Cloud-Computing-Plattformen	213
6.7.1	SaaS-Plattformen	213
6.7.2	PaaS-Plattformen und IaaS-Plattformen	214
6.7.3	PaaS-Plattformen und IaaS-Plattformen	215

7 Ausblick	221
7.1 Die Risiken von Cloud Computing	221
7.2 Die Einführung von Cloud Computing in Unternehmen	225
7.3 Open-Cloud-Standards? Welche Standards gibt es in der Cloud, werden sich Standards etablieren?	227
7.4 Ausblick	229
Stichwortverzeichnis	231

Vorwort

Cloud Computing ist im Jahr 2010 eines der Hype- und Modeworte in der IT. Doch was verbirgt sich hinter diesem Hype? Dieses Buch soll Aufschluss darüber geben, wie und vor allem wann man Cloud Computing einsetzt. Denn nicht jedes Szenario ist für den Einsatz von Cloud Computing geeignet.

Prinzipiell richtet sich dieses Buch an jeden, der Interesse an der IT hat, in der IT arbeitet oder forscht. Das Buch klammert zu tiefe technische Fakten explizit aus. In einigen Kapiteln wird stärker auf technische Möglichkeiten und Grundlagen eingegangen, aber auch die wirtschaftlichen Aspekte werden nicht vernachlässigt. Jedes Kapitel gibt einen Überblick über die verschiedenen Facetten des Cloud Computing und enthält Hinweise auf weiterführende Literatur.

Kapitel 1 dient vor allem der Definition der Begrifflichkeiten. Hier werden die wichtigsten Begriffe, Abgrenzungen sowie Möglichkeiten des Cloud Computing vorgestellt. Kapitel 2 widmet sich voll und ganz den technischen Grundlagen. Es wird auf das Design von Rechenzentren und Virtualisierung eingegangen. Kapitel 3 gibt einen Überblick über das heikle Thema der rechtlichen Stellung von Cloud Computing und verweist dabei auf das europäische Datenschutzrecht, das von den Gerichten unterschiedlich ausgelegt wird. An dieser Stelle kann das Buch nur informierend zur Seite stehen und nicht die Konsultation eines Rechtsanwalts ersetzen.

Kapitel 4 stellt die Preismodelle und Verträge vor, die bei Cloud-Computing-Plattformen häufig angewandt werden. Kapitel 5 beläuchtet den Einfluss von verteilten Architekturen auf die Softwareentwicklung. Kapitel 6 geht auf die verschiedenen Plattformen wie Amazon EC2, Microsoft Windows Azure und Salesforce ein. Ferner finden auch einige weniger bekannte Plattformen eine Erwähnung. Das Kapitel soll vor allem einen Überblick über die verschiedenen Cloud-Computing-Anbieter geben und enthält einige einfache Beispiele, von Low-Level APIs bis zu .NET- und Java-Implementierungen. Kapitel 7 soll dazu anregen, Cloud Computing kritisch zu sehen und sich nicht blind auf den Hype zu verlassen. Ziel des Buches ist es, dem Leser zu zeigen, wie er Cloud Computing richtig und verantwortungsbewusst einsetzen kann.

Und nun noch einige Danksagungen. Sie gelten vor allem meinen Freunden und meiner Familie, die mich während der Bucherstellung unterstützt haben und oft auf mich verzichten mussten. In der heißen Phase des Schreibens gab es neben dem Buch nur Essen und Schlafen als „Freizeitaktivitäten“. Ich möchte auch meinem Geschäftspartner Andreas Aschauer für seine Geduld danken, er ist in vielen Situationen für mich in die Bresche gesprungen. Mein Dank gilt außerdem all den Unternehmen, die mich bei der Recherche

unterstützt haben, besonders Matt Wood von Amazon für die Unterstützung beim Thema Amazon Web Services. Viel Unterstützung habe ich auch durch die Organisationen VITE (Vienna IT Enterprises) und OCG (Österreichische Computer Gesellschaft) erfahren, auch ihnen möchte ich an dieser Stelle einen herzlichen Dank aussprechen. Schlussendlich möchte ich Werner Kurschl, Professor an der Fachhochschule Hagenberg und Cloud-Computing-Experte, für seine Unterstützung danken. Werner stand mir stets für Fragen zur Seite und ich arbeite seit vielen Jahren mit ihm zusammen. Natürlich gilt mein Dank auch Herrn Burkart, dem Lektor dieses Buches, für seine stilistischen Ratschläge und die Korrektur. Ein Dank geht auch an Thomas Mutzl, der auf dem Flug von Wien nach Las Vegas neben mir saß und mir beim ersten Kapitel tatkräftig zur Seite stand. Besonderer Dank gilt Frank Klöppl, der mich auf Fehler in der ersten Auflage aufmerksam gemacht hat und somit zur Verbesserung beigetragen hat.

Einführung in Cloud Computing

"It's stupidity. It's worse than stupidity: it's a marketing hype campaign"

Richard Stallman, Open Source Advokat, in „The Guardian“, September 2008

Bevor es um die technologischen Grundlagen von Cloud Computing geht, muss Cloud Computing korrekt definiert werden. Kapitel 1 soll sich diesem heiklen Thema widmen. Zu Beginn steht eine Anforderungsdefinition an Cloud Computing, die die Definition des Begriffs sowie die wichtigsten Punkte umfasst, die eine Cloud-Computing-Plattform ausmachen. In Folge wird der Frage nachgegangen, ob es sich bei Cloud Computing um eine Revolution oder doch „nur“ um eine Evolution handelt. Liest man derzeit diverse Blogs, so lässt alles auf eine Revolution schließen. Ob das tatsächlich der Fall ist, soll in diesem Kapitel auch geklärt werden. Hierfür werden die generelle Entwicklung der IT und die Entwicklungen der letzten sechs Jahre beleuchtet. Schließlich wird Cloud Computing vom wissenschaftlichen Grid Computing abgegrenzt. Grid Computing gilt oft als nächster Verwandter von Cloud Computing, und oft wird Cloud Computing von Grid Computing abgeleitet. Dies wird in diesem Kapitel erläutert.

1.1 Was ist Cloud Computing?

Cloud Computing ist eines der Modeworte in der IT. Viele Hersteller setzen auf Cloud Computing und bieten Cloud-Plattformen an. Sogar traditionelle IT-Unternehmen, die Umsätze primär durch Software generieren, bieten zunehmend Cloud-Dienste und -Plattformen an. Ein prominentes Beispiel ist Microsoft. Im November 2008 hat Microsoft seine Cloud-Computing-Plattform vorgestellt. Die Bedeutung von Cloud Computing wurde durch diesen Schritt noch stärker betont. Für Microsoft ist dies ein gewagter Schritt, da ein Großteil des Unternehmensgewinns mit traditioneller Software und dem Betriebssystem Windows eingespielt wird. In der webbasierten Cloud spielt das Betriebssystem eine untergeordnete Rolle und speziell für die Windows-Plattform geschriebene Anwendungen verlieren an Bedeutung. Trotzdem misst Microsoft der Cloud-Technologie eine große Bedeutung zu, sonst wäre dieser Schritt wohl kaum gegangen worden.

Doch nun wollen wir erst einmal eruieren, worum es bei Cloud Computing geht. Viel wird darüber gesprochen, wenig ist darüber bekannt. Generell betrachtet geht es um die Auslagerung von Anwendungen, Daten und Rechenvorgängen ins Web. Das kann zum Beispiel die Auslagerung der Bürosoftware wie Tabellenkalkulation oder Textverarbeitung oder das CRM-System in die Cloud sein. Der Vorteil der Auslagerungen ganzer Anwendun-

gen liegt auf der Hand: Die Synchronisation zwischen mehreren Rechnern wird unnötig und gemeinsames Arbeiten an Dokumenten durch die zentrale Ablage vereinfacht. Die gemeinsame Verwendung von Dokumenten bietet jedoch auch viele andere Vorteile in Unternehmen, da es damit möglich ist Dokumente freizugeben. Das können beispielsweise Vorlagen für Rechnungen oder Ähnliches sein. Viele in Kapitel 6 vorgestellte Cloud-Plattformen erlauben es ferner, selbst Anwendungen in der Cloud zu erstellen. Hierbei sprechen einige Anwender sogar von einem neuen „Betriebssystem“, das speziell für die Cloud ausgelegt ist. Derartige Plattformen können außerdem als Ergänzung zu ausgelagerten Anwendungen verwendet werden. Damit kann man Anpassungen für die Cloud-basierte Bürosoftware erstellen. All dies erfordert es, dass Daten in die Cloud ausgelagert werden können, hierfür stellen verschiedene Anbieter große Datenspeicher in der Wolke zur Verfügung, die meist die Eigenschaft haben, nahezu unendlich viele Daten aufnehmen zu können. Natürlich sind auch diese Datenspeicher begrenzt, sie bieten jedoch für (fast) jeden Anwendungsfall ausreichenden Speicherplatz an. Schlussendlich kommt hinzu, dass Rechengänge in die Cloud ausgelagert werden können. Hier kann man auf einen großen „Pool“ an virtuellen Maschinen zurückgreifen. Muss man mehrere Millionen eingescannte Bilder verarbeiten, hätte man vor der Cloud-Computing-Ära eine große Anzahl an Servern benötigt. Dank Cloud Computing kann man nun diese Server für die wenigen Stunden, in denen sie benötigt werden, mieten und somit Budget einsparen. Cloud Computing bedeutet in einem Satz:

Cloud Computing ist die Auslagerung von Anwendungen, Daten und Rechengängen in das Internet.

Was noch nicht definiert wurde, ist, was Cloud Computing überhaupt bedeutet. Prinzipiell kommt der Begriff „Cloud“ aus dem Englischen, was wortwörtlich Wolke bedeutet. Der Grund für den Namen dieser Technologie ist, dass Dienste, die ins Internet ausgelagert wurden, stets in einer Wolke gezeichnet wurden, die das Internet repräsentiert.

Nach der Definition des Cloud Computings geht es nun an die Anforderungen. Hier stellt sich die Frage, was eine Cloud-Computing-Plattform ausmacht. Gewisse Anforderungen wie Skalierung und Kostensenkung sollten bereits zu Beginn klar sein. In der Wissenschaft gibt es einige gute Quellen, die zentrale Anforderungen an eine Cloud-Computing-Plattform bzw. -Anwendung beschreiben. Typische Cloud-Computing-Anwendungen haben einige gemeinsame Merkmale, die im Folgenden genauer beleuchtet werden sollen:

Hohe Skalierung und Elastizität

Jede Cloud-Computing-Plattform bietet eine sehr hohe Skalierung. Die dazu notwendigen Techniken werden in Kapitel 2 genauer beschrieben. Skalierung und Elastizität beziehen sich hierbei auf mehrere Bereiche. Das ist zum einen die Bandbreite, die immer die wirklich benötigte Größe hat. Wenn ein Ticketsystem Karten für eine Top-Band verkauft, kann es vorkommen, dass diese Seite aufgrund der vielen Anfragen in die Knie gezwungen wird. Mit Cloud Computing passiert das nicht, da unabhängig von der Belastung die richtige Bandbreite zur Verfügung steht. Wichtig ist jedoch auch, dass die Anwendung

eine Vielzahl von Anfragen bearbeiten kann. Dies kann durch verschiedene Techniken der Parallelisierung erledigt werden. Viele Plattformen bieten darüber hinaus die Möglichkeit eines Management API, das bei Bedarf zusätzliche virtuelle CPUs allokalieren kann.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Ressourcenskalisierung. Auf Cloud-Computing-Plattformen spielt es keine Rolle, ob man 100 registrierte Benutzer hat oder 400 Millionen, wie es etwa bei Facebook der Fall ist. Die Speicher der Cloud-Plattformen bieten in den meisten Fällen nahezu unbegrenzt Kapazität an. Darüber hinaus ist die schnelle Skalierbarkeit der Anwendung(en) von Bedeutung, was in traditionellen Umgebungen oft sehr schwierig ist, da in diesem Fall neue Server benötigt werden. Die Anschaffung und Installation kann hierbei viel Zeit in Anspruch nehmen und der Zeitverlust bei dieser Vorgehensweise negative Auswirkungen auf das Geschäft haben.

Gemeinsame Benutzung der Ressourcen

Eine Anwendung verwendet gemeinsame Ressourcen, die sich verschiedene Benutzer teilen. Das bedeutet, dass die Daten eines Benutzers in einer von mehreren Nutzern verwendeten Tabelle liegen. Die Absicherung der Datensätze unterliegt der Cloud-Computing-Plattform und der Anwendung selbst. Außerdem kann eine Cloud-Computing-Anwendung stets auf die gleichen Ressourcen wie Bilder, Videos und andere Mediatypen zugreifen. Ressourcen werden auch physisch verwendet: Eine Anwendung in der Cloud kann sich einen physikalisch vorhandenen Rechner mit einer anderen Anwendung teilen. Das funktioniert durch Virtualisierung, die in Kapitel 2 genauer erklärt wird.

Pay per Usage

Ein zentrales Konzept ist das Pay-per-Usage-Konzept, bei dem nur für die tatsächlich genutzten Kapazitäten bezahlt wird. Die Abrechnung erfolgt typischerweise in Monatsintervallen. In vielen Cloud-Computing-Anwendungen kommt jedoch auch die Bandbreite (eingehende und ausgehende Verbindung) hinzu. Ferner gibt es Transaktionskosten für den Storage Account (dies sind HTTP-Anfragen), die häufig in wenigen Cent pro 10 000 Abfragen berechnet werden. Transaktionskosten fallen an, wenn man eine Datei löscht, Ressourcen manipuliert oder erstellt und so weiter. Die Transaktionen werden in Kapitel 5 genauer erklärt. Sofern man auch Computerinstanzen (virtuelle CPUs für Websites, Rechenvorgänge und Ähnliches) verwendet, wird eine Gebühr pro Stunde erhoben. Die Kosten sind ein komplexes Thema und werden in Kapitel 4.2 genauer beleuchtet.

Internet und Unabhängigkeit von Geräten

Eine zentrale Anforderung an Cloud-Computing-Anwendungen ist die ständige Verbindung zum Internet. In den meisten Anwendungen läuft alles im Web (mit Ausnahme von Software-plus-Service-Plattformen). Das macht das Internet daher zu einer wichtigen Anforderung. Mit dem Punkt „Internet“ geht eine weitere Anforderung einher, nämlich die Unabhängigkeit von konkreten Plattformen. Die Anwendungen basieren auf Webstandards wie HTML und sollten daher von allen Geräten unterstützt werden. Eine

Cloud-Computing-Anwendung wird im Normalfall nicht für ein bestimmtes Gerät oder Betriebssystem geschrieben. Dadurch haben Cloud-Computing-Plattformen eine wesentlich höhere Reichweite.

Einfache Verwaltung

Die meisten Cloud-Computing-Plattformen sind, verglichen mit traditionellen Systemumgebungen, wesentlich einfacher zu verwalten. Das liegt am hohen Abstraktionsgrad der Plattformen, sodass man sich nicht mehr um typische Administrationsaufgaben wie Load Balancing oder Serverwartung kümmern muss, da dies bereits vom Anbieter der Cloud-Computing-Plattform übernommen wird. Viele Plattformen bieten auch wesentlich vereinfachte Administrationsoberflächen an.

On demand

Cloud-Computing-Plattformen sind on demand verfügbar. Das bedeutet, dass man keine komplexen Verträge abschließen muss, um sie benutzen zu können. Im Normalfall kann man eine Cloud-Computing-Plattform bereits nach wenigen Minuten benutzen. Bei traditionellem On-premise-Hosting dauert dies, abhängig vom Beschaffungsprozess im Unternehmen, einige Tage bis Wochen. Der Cloud-Computing-Anbieter Amazon rechnet beispielsweise über seine vorhandenen Konten für den Onlineshop ab. Hat man schon bei Amazon eingekauft, kann man die Cloud-Computing-Plattform bereits verwenden. Benötigt man zusätzliche Instanzen, besteht die Möglichkeit, dass man diese binnen weniger Minuten zur Verfügung hat.

Nachdem nun der Begriff und sämtliche Anforderungen an die Cloud-Plattformen definiert sind, wollen wir uns den Layern zuwenden. Hierfür soll Abbildung 1.1 als Startpunkt dienen:

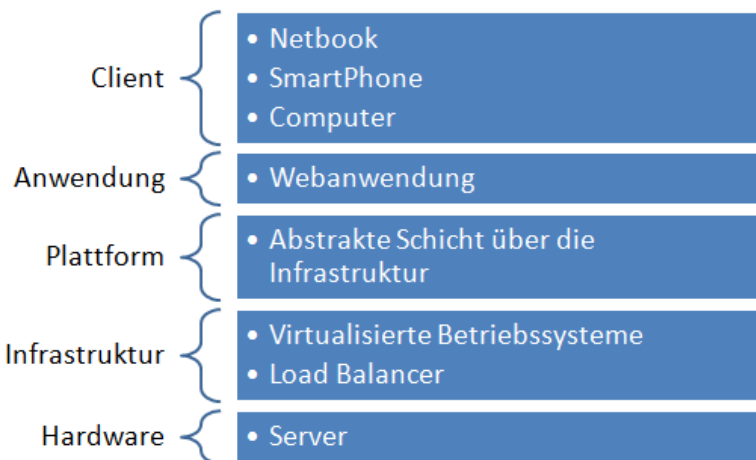


Abbildung 1.1: Ebenen des Cloud Computings

Abbildung 1.1 stellt die einzelnen Ebenen des Cloud Computings dar. Nun sehen wir uns die einzelnen Ebenen von oben nach unten im Detail an.

Hardware

Die Serverhardware, auf der normalerweise ein für die Virtualisierung optimiertes Betriebssystem (z. B. Linux oder Windows Server) installiert ist. Auf dieser Ebene findet noch keine Verteilung für späteres Cloud Computing statt. Die Hardware mit dem Betriebssystem und etwaiger Software für Cloud-Anwendungen bietet die Grundlage für die nächste Schicht.

Infrastruktur

Dieser Bereich baut auf der vorigen Schicht auf. Hierbei kommen auch Load Balancer zum Einsatz, die Lasten auf verschiedene Server verteilen. Betriebssysteme werden ab diesem Zeitpunkt lediglich virtuell zur Verfügung gestellt. Das bedeutet, dass man auf dieser Ebene nicht mehr darüber informiert ist, auf welchem Server das System läuft, er wird je nach Auslastung dynamisch zugewiesen. Diese Ebene wird auch als Infrastructure as a Service (IaaS) bezeichnet, welches in diesem Kapitel noch genauer erklärt wird.

Plattform

Eine Schicht über der Infrastruktur befindet sich nun eine weitere Abstrahierung, die Plattformschicht. Hier hat man keinen Zugriff mehr auf das darunter liegende (virtuelle) Betriebssystem, sie dient primär der Anwendungsentwicklung. Im Normalfall wird hier ein API (Application Programming Interface) zur Verfügung gestellt, auf dessen Basis man seine Anwendungen erstellen kann. Die Plattformschicht verteilt die Lasten je nach Belastungsspitzen auf verschiedenen virtuellen Betriebssystemen. Die meisten Plattformen erlauben es, das zu konfigurieren. Diese Schicht wird als Plattform-as-a-Service (PaaS)-Schicht bezeichnet.

Anwendung

Die Anwendungsschicht setzt auf der Plattformschicht auf. Hierbei wird eine Anwendung für den Endbenutzer bereitgestellt. Die Anwendung ist bereits gebrauchsfertig. Anwendungen, die auf dieser Schicht laufen, konsumieren oft die APIs der Plattformschicht. Diese Schicht wird auch als Software as a Service (SaaS) bezeichnet. Ein typisches Merkmal für eine SaaS-Anwendung ist es, dass sie lediglich einen Webbrowser benötigt, um die Anwendung auszuführen.

Client

Die letzte Ebene ist die Clientebene. Es handelt sich dabei um Geräte und Anwendungen, die Cloud-Computing-Dienste konsumieren und auf verschiedenen Geräten wie Smartphones oder Netbooks laufen können. Der Unterschied zu Cloud-Anwendungen aus der vorigen Ebenen ist, dass die Anwendungen Cloud-Computing-Dienste verwenden, je-

doch nicht ausschließlich in einer Cloud-Umgebung laufen. Oft ist es jedoch der Fall, das Anwendungen auf die Cloud angewiesen und ohne sie nicht lauffähig sind. Diese Ebene wird auch als Software plus Services bezeichnet.

1.2 Cloud Computing – Evolution oder Revolution?

Damit man die Frage, ob es sich bei Cloud Computing um eine Evolution oder eine Revolution handelt, beantworten kann, ist es notwendig, in die Anfänge der IT zurückzugehen. Machen wir den Anfang mit dem Aufkommen des Personal Computers. Das war gewiss einer der Wendepunkte für die IT. Es ging weg vom Mainframe-Rechner zu einem für jedermann erschwinglichen Personal Computer, kurz PC. Die ersten PCs kamen in den 1970er Jahren auf. Der erste PC war der Xerox Alto, der über ein GUI (Graphical User Interface), eine Maus, eine Tastatur und einen Bildschirm verfügte. Er war jedoch nur als Prototyp vorhanden und hatte für den Endanwender wenig Bedeutung. Bereits ein Jahr später, im Jahre 1974, wurde der Altair 8800 erstellt und interessanterweise als Bausatz ausgeliefert.

Richtig erfolgreich am Massenmarkt war aber erst der Apple II von Macintosh, der im April 1977 in den USA vorgestellt wurde. Hier war es bereits möglich, den PC durch Steckplätze anzupassen. Heutzutage werden anpassbare Systeme als PC bezeichnet. Der Apple II konnte bereits Töne wiedergeben und Farben darstellen.



Abbildung 1.2: Der IBM PC

Der Name „PC“ wird jedoch bis heute noch mit dem Unternehmen IBM in Verbindung gebracht. Inspiriert durch die Erfolge des Apple II erstellte IBM selbst einen PC, der 1981 als „IBM-PC“ vorgestellt wurde. IBM gelang es durch geschicktes Marketing, den Begriff „PC“ mit dem Unternehmen zu verknüpfen. Als Betriebssystem verwendete IBM hierbei ausschließlich „PC-DOS“, das von Microsoft an IBM lizenziert wurde. Microsoft entwickelte dessen Betriebssystem weiter und lizenzierte es auch an andere Unternehmen. Das führte dazu, dass eine Reihe an Hardwareherstellern eigene „IBM-PC-kompatible Computer“ herstellten. Erst der Umstand, dass es kein Monopol am PC Bereich gab, führte zu dem bis heute anhaltenden Siegeszug von PCs.

Neben dem Vorhandensein eines PCs (oder Mac) ist für das Arbeiten in der Cloud eine Internetverbindung unerlässlich. In vielen Unternehmen ist das Internet heutzutage kaum mehr wegzudenken außerdem haben sich soziale Gebilde wie Facebook oder Twitter im Internet gebildet. Cloud Computing erfordert eine ständig vorhandene Verbindung zum Internet, da ja die Anwendungen nicht mehr lokal, sondern auf Servern im Web laufen. Auch das Internet gibt es bereits seit sehr vielen Jahren, richtig Bedeutung hat es jedoch erst in den letzten 10-15 Jahren erlangt. Hervorgegangen ist es aus einem Forschungsprojekt des US-Verteidigungsministeriums im Jahre 1969. Die erste wichtige Anwendung im Internet war die E-Mail, die bis heute eine hohe Relevanz in der sozialen Kommunikation hat. Erst 1993 entstand das Internet, so wie wir es heute kennen, und heute hat es eine sehr hohe Verbreitung. Von vielen Experten wird ihm gar eine ähnliche Bedeutung wie der Erfindung des Buchdrucks nachgesagt. Durch Blogs und Wikis wird Wissen frei und effektiv weiterverbreitet, IP-Telefonie erlaubt es, mit Freunden oder Bekannten an weit entfernten Orten kostenlos oder sehr billig zu telefonieren, Spiele zu spielen oder über verschiedenste soziale Plattformen wie Facebook oder Twitter Kontakt mit Freunden zu halten. Auch im kommerziellen Sinne hat sich das Internet sehr erfolgreich etabliert. Google kann man mittlerweile als Gelddruckmaschine bezeichnen, und Amazon oder eBay bieten Konsumenten eine schier endlose Auswahl an Artikeln. Ohne jeden Zweifel hat das Internet starken Einfluss auf das soziale Verhalten der Menschen genommen. Cloud Computing wäre ohne Internet nicht möglich. Die Bedeutung des Internets für Cloud Computing wird auch dadurch deutlich, dass viele Internetunternehmen wie Amazon oder Google eine der wichtigsten Plattformen in der Cloud sind.

Es ist allerdings nicht alles Gold, das glänzt. So gibt es noch einige Einschränkungen in der Cloud. Das Internet ist zwar in Ballungszentren sehr gut ausgebaut, in weniger urbanen Gebieten sieht es dagegen anders aus. Wenn ein Manager mit der Bahn unterwegs ist, so ist eine ständig vorhandene Internetverbindung meist ein Wunschtraum. Allein auf einer der meist befahrenen Strecken in Österreich, zwischen Linz und Wien, kommt es häufig vor, dass Tunnels oder ländliche Gebiete eine sehr schlechte oder gar nicht vorhandene Verbindung haben. Das führt dazu, dass Entscheidungsträger eher nicht auf Cloud-Anwendungen setzen werden. Wenn eine zuverlässige Internetverbindung nicht sichergestellt ist, kann das zu Problemen führen. Tatsache ist jedoch auch, dass die Verbindungen stets ausgebaut und verbessert werden. Bereits einige Flugzeuge bieten WLAN

an Bord an. Dadurch kann man auch auf einer Geschäftsreise die Zeit mit Arbeit „totschlagen“. Ferner ist es möglich, Dokumente gemeinsam zu bearbeiten.

Ein weiterer Kritikpunkt, der bereits zu Beginn erwähnt werden sollte, ist, dass Cloud-Anwendungen traditionellen Anwendungen des Öfteren um einiges nachstehen. Anwendungen wie Google Docs sind zwar toll, hinken jedoch in der Funktionalität traditionellen Anwendungen noch um einiges hinterher. Die Tatsache, dass Cloud-Computing-Umgebungen einfacher zu aktualisieren sind, ist jedoch sehr verheißungsvoll. Das ist eindeutig ein erheblicher Vorteil gegenüber traditioneller Software, schon alleine wegen der Möglichkeit der Fehlerbehebung (Patches) oder der Aktualisierung der Funktionalität.

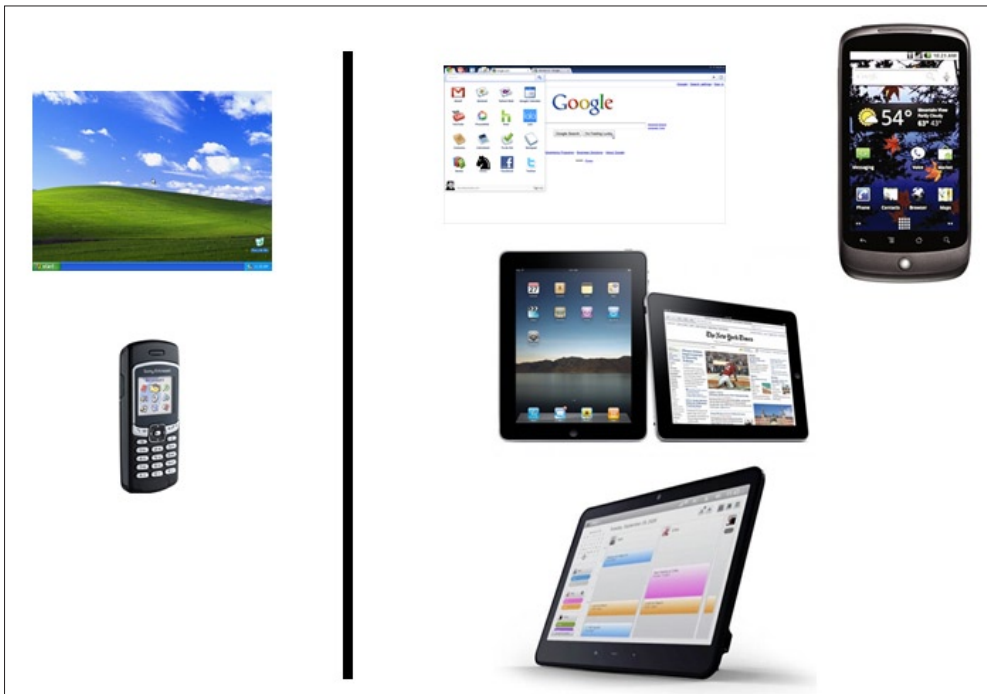


Abbildung 1.3: 2004 vs. 2010

Das war der Blick auf die Vergangenheit, jetzt wollen wir uns auf das konzentrieren, was die Cloud-Plattformen in Zukunft zu den entscheidenden Plattformen machen wird. Auch hierzu ein kurzer Blick in die Vergangenheit. Erinnern wir uns an die IT im Jahre 2004: Damals war das Betriebssystem „Windows XP“ von Microsoft sehr stark verbreitet. Andere Plattformen existierten zwar, waren jedoch kaum relevant. Smartphones hatten primär für Manager Bedeutung und waren kaum auf die Verwendung von Anwendungen (Apps) ausgelegt. Die wichtigsten Funktionen waren E-Mail und der Organizer. Heutzutage sieht das radikal anders aus. Windows hat immer noch einen beträchtlichen Anteil am Markt, jedoch haben sich andere Gerätetypen etabliert. Das sind etwa die Smartpho-

nes, die vor allem durch das Betriebssystem Android oder das iPhone immer mehr an Bedeutung gewinnen. Auch Tablet PCs setzen sich stärker durch. Der Siegeszug des iPad von Apple ist zwar noch nicht gänzlich abzusehen, jedoch werden auch diese Plattformen zunehmend populärer. Oft haben Personen auch nicht nur einen PC in Verwendung, sondern zwei oder mehr. Das führt zu dem Problem, dass Daten zwischen den Geräten oft nicht synchron sind. Wenn jemand ein Textdokument auf dessen Smartphone kopiert und es während einer Reise manipuliert, ist das nicht mehr dasselbe wie auf dem PC. Hier muss entweder die Synchronisation von Hand oder per Software erfolgen. Mit Cloud Computing wäre das nicht passiert. Sämtliche Dokumente befinden sich in der Cloud und sind dadurch für jedes Gerät mit demselben Inhalt belegt. Je mehr verschiedene Geräte mit unterschiedlichen Plattformen erhältlich sind, umso stärker wird die Bedeutung von Cloud-Computing-Plattformen werden. Eine wesentliche Verstärkung wird hier HTML5 bieten, wobei einige wichtige Funktionen wie die Offlinefähigkeit ergänzt werden.

Die Frage, ob Cloud Computing eine Revolution oder eine Evolution ist, kann auch hier nicht gänzlich geklärt werden. Zum einen beruht Cloud Computing auf bereits vorhandenen Technologien wie Servern oder Internet, zum anderen ist die Auslagerung sämtlicher Daten und Rechengänge doch etwas Revolutionäreres. In diesem Kapitel haben wir etwas von beiden beschrieben. Fakt ist, dass die Cloud definitiv angekommen ist und die Voraussetzungen für ihren Siegeszug vorhanden sind. Vor allem die veränderten Benutzerbedürfnisse dürften Cloud Computing einen starken Aufschwung ermöglichen. Immer mehr Endgeräte umgeben den Endbenutzer. Damit die Daten synchron gehalten werden, muss ein zentraler Speicher vorhanden sein. Das ist ein klarer Pluspunkt für Cloud Computing.

1.3 Abgrenzung zu anderen Technologien

Cloud Computing ähnelt in den Grundzügen stark dem Grid Computing. Die Technologien sind sich in sehr vielen Bereichen ähnlich, jedoch unterscheiden sie sich in gewissen Punkten. Historisch gesehen kommt Cloud Computing aus dem Grid Computing. Was beide Technologien definitiv unterscheidet, ist die Tatsache, dass Grid Computing wesentlich häufiger in wissenschaftlichen Bereichen eingesetzt wird. Zwar hat sich das Grid Computing mittlerweile auch in wirtschaftlichen Bereichen durchgesetzt, doch dürfte die Bedeutung für kommerzielle Angebote für Cloud Computing wesentlich höher sein. Ein zentraler Unterschied ist auch, dass Cloud-Computing-Dienste von Anbietern für eine große Anzahl an potenziellen Kunden bereitgestellt wird, während Grid Computing meist für sehr spezielle Anwendungsfälle im Unternehmen selbst aufgebaut wird. Als spezielle Anwendungen könnte man etwa die Berechnung von komplexen mathematischen Problemen wie der Entschlüsselung einer DANN-Signatur anführen. Pharmaunternehmen haben für diesen Anwendungsfall meist ein eigens dafür abgestelltes Grid im Unternehmen. Natürlich kann man auch mit Cloud-Computing-Plattformen komplexe Rechengänge ausführen, wenn man sich einen Algorithmus schreibt, der auf einer Vielzahl von gemiete-

ten Instanzen ausgeführt wird. Grid Computing ist jedoch eher für sehr spezielle Anwendungen gedacht, während die Cloud für wesentlich allgemeinere Fälle da ist.

Ein weiterer Unterschied liegt in der Nutzung der Ressourcen. Grid Computing ermöglicht die gemeinsame Nutzung der Ressourcen. Das wäre beispielsweise der Fall, wenn mehrere Wissenschaftler Algorithmen für eine DNA-Signatur ausführen. In einer Cloud-Computing-Umgebung gibt es einen Benutzer und einen Anbieter. Ferner werden in der Cloud sämtliche Ressourcen zentral gesteuert, während Grid Computing keine zentrale Steuerung der Ressourcen hat.

1.4 Begrifflichkeiten

Nachdem jetzt die wichtigsten Grundlagen definiert wurden, widmen wir uns in diesem Unterkapitel verstärkt den Begrifflichkeiten. Unter Begrifflichkeiten werden vor allem die alten Plattformen, unterschiedliche Abstraktionsebenen des Cloud Computings sowie der Unterschied zwischen private, public und hybrid Clouds erklärt. Ziel dieses Kapitels ist es, neben den technischen Grundlagen auch die einzelnen Cloud-spezifischen Begriffe zu verstehen. Am Ende des Kapitels werden die Ebenen des Cloud Computings und deren Anforderungen definiert.

1.5 On premise

Unter „on premise“ versteht man den klassischen Ansatz des Hostings. Hierbei werden sämtliche Unternehmensdaten auf lokalen Servern im Unternehmen gehostet. On premise steht an sich nicht mit Cloud Computing im Zusammenhang, es ist das exakte Gegenteil von Cloud Computing. Daher wird On-premise-Hosting oft mit Cloud Computing verglichen. On-premise-Hosting ist nicht mehr als ein lokaler Webserver, auf dem ein Apache oder IIS Server läuft. On premise kann auch für andere Aufgabenzwecke wie dem Dokumentenmanagement, der Verteilung von Intranet-Anwendungen oder Mailing eingesetzt werden. Ähnlichkeiten zwischen On-premise-Hosting und Cloud Computing bestehen oft jedoch in den eingesetzten Technologien. So verwendet man für On-premise-Hosting oft die gleiche Software. Das kann über die verschiedensten Ebenen, angefangen vom Betriebssystem bis hin zu spezieller Software reichen. Abhängig von den einzelnen Ebenen des Cloud Computings kann Wissen aus dem On-premise-Bereich wieder verwendet werden. Vor allem im am wenigsten abstrakten Bereich, dem Infrastructure-as-a-Service-Bereich, ist Wissen über die eingesetzte Software notwendig. In diesem Bereich hat man noch Zugriff auf das Betriebssystem und muss es auch selbst verwalten. Die Einrichtung eines Mailservers oder eines SQL-Dienstes obliegt hier wiederum einem Systemadministrator.

Ein weiterer Unterschied zwischen Cloud Computing und On-premise-Hosting liegt in der unterschiedlichen Kostenberechnung. Kosten in einer Cloud-Computing-Umgebung fallen monatlich an, für On-premise-Hosting einmalig und monatlich. Bei Cloud-Computing-Umgebungen wird pro Monat der tatsächliche Verbrauch berechnet, der sich aus der Anzahl der CPU-Stunden, dem Verbrauch an ein- und ausgehender Bandbreite, der Größe des verbrauchten Datenspeichers und der Anzahl der Storage-Transaktionen zusammensetzt. In On-premise-Umgebungen kommen an einmaligen Kosten die Softwarelizenzierungskosten und Hardwarekosten zur Berechnung. Monatliche Kosten sind die Wartung der Hardware sowie die Kosten für die Bandbreite. In vielen On-premise-Systemen entstehen ferner erhebliche Personalkosten. Diese werden wiederum für die Wartung der Systeme und deren Aktualisierung eingesetzt. In dieser Beschreibung sind noch keine Opportunitätskosten für den Ausfall von Systemen einberechnet. In vielen Unternehmen ist die so genannte „Downtime“, also die Zeit, in der die IT aufgrund von Fehlern nicht erreichbar ist, sehr hoch. Google beziffert die durchschnittliche Downtime von Exchange Servern in mittelmäßig gewarteten IT-Landschaften mit 150 Minuten¹. Eine Downtime von 150 Minuten entspricht in etwa einer Verfügbarkeit von 99,6 %. Das kann natürlich auch negative Auswirkungen auf das Geschäft haben, da viele Abteilungen und Mitarbeiter von diesen Services abhängig sind. Cloud Computing garantiert hier in den meisten Fällen eine 99,9 %ige Verfügbarkeit. Kosten, Verfügbarkeit und Vorteile von Cloud Computing werden in Kapitel 4 behandelt und sollen in diesem Kapitel nur oberflächlich gestreift werden.

Auch wenn sich on premise und Cloud Computing stark unterscheiden, müssen sie nicht gänzlich isoliert betrachtet werden. „Software plus Services“ ist auch mit Cloud Computing verbunden und bietet eine Integration von vorhandenen On-premise-Lösungen in Cloud-Computing-Umgebungen. Ferner bieten einige Hersteller, etwa Microsoft, Integrationslösungen an. Vor allem mithilfe von „AppFabric“ bietet Microsoft eine umfangreiche Lösung an, die On-premise-Anwendungen in die Cloud bringen. Dadurch ist es Kunden und Partnern möglich, vorhandene Anwendungen eines Unternehmens sicher zu verwenden.

1.6 Private, Public und Hybrid Clouds

Neben den Ebenen des Cloud Computing gibt es noch ein weiteres Unterscheidungsmerkmal: die Offenheit der Plattform. Hier unterscheidet man zwischen private und public Clouds. Des Weiteren gesellt sich auch noch eine hybrid Cloud zu diesen Typen. Im Prinzip geht es hier um den Zugriff auf die einzelnen Plattformen.

Der einfachste und am häufigsten verwendete Bereich ist die Public Cloud, die meist gemeint ist, wenn von Cloud Computing gesprochen wird. Ein Plattformanbieter stellt seine

¹ <http://googleblog.blogspot.com/2008/10/what-we-learned-from-1-million.html>

Dienste mehreren Kunden zur Verfügung. Das bedeutet auch, dass die Ressourcen mit mehreren Kunden geteilt werden. Die Ressourcenteilung bedeutet hier konkret, dass Datenspeicher oder Maschinenstunden am selben physikalischen Server geschehen können. Als Public-Cloud-Anbieter treten die großen Plattformen wie Google, Amazon oder Microsoft auf. Ein typisches Merkmal ist auch, dass die Nutzung der Ressourcen pro Monat abgerechnet wird, basierend auf einem Abo-Modell, wobei meist nur der tatsächliche Verbrauch verrechnet wird. Manche Angebote haben jedoch gewisse monatliche Fixkosten.

Anders verhält es sich nun bei so genannten privaten Clouds. Wie der Name schon andeutet, kann man darauf nicht so einfach zugreifen wie auf Public Clouds. Private Clouds befinden sich innerhalb eines Unternehmens. Das hat den wesentlichen Vorteil, dass Datensicherheit und Privatsphäre einfacher zu kontrollieren sind. Der Unterschied zu On-Premise-Lösungen ist, dass private Clouds Schnittstellen nach außen haben. Private Clouds können somit auch von Dritten verwendet werden, was jedoch im Normalfall auf gewisse Personen(gruppen) eingeschränkt wird. Beispiele sind Kunden oder Lieferanten, die gewisse Tools für die Kooperation mit dem Unternehmen verwenden müssen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass eine private Cloud ideal an die Unternehmensstrategie angepasst werden kann. Bei Public Clouds wird dies unter Umständen schwieriger. On-premise-Hosting und private Clouds sind im Prinzip die gleiche Sache, jedoch werden beide Begriffe in der Literatur und im World Wide Web häufig gebraucht. Ein großer Nachteil der privaten Clouds ist, dass sich das Unternehmen wiederum um die Bereitstellung von Hard- und Software kümmern muss. Ferner fallen wesentlich mehr Personalkosten an, da diese Systeme gewartet werden müssen.

Eine Mischform des Ganzen stellt nun der Ansatz der Hybrid-Cloud-Lösungen dar. Hierbei wird versucht, die Vorteile beider Techniken zu vereinen und die Nachteile zu substituieren. Mithilfe von Hybrid Clouds kann man unternehmensinterne Lösungen und Angebote mittels einer Middleware. Am einfachsten lässt sich das über die Verwendung von Services erläutern. Will ein Unternehmen deren interne Services auch für Kunden anbieten, kann das zum einen über eine private Cloud erfolgen, wobei die Serviceendpunkte dem Kunden zur Verfügung gestellt werden. Eine Hybrid Cloud würde genau an diesem Punkt, nämlich der Bereitstellung des Services, ansetzen. Hierbei wird der Service dem Kunden nicht direkt zur Verfügung gestellt, sondern über einen Cloud-Service, was den Vorteil hat, dass Kunden nicht auf unternehmensinterne Daten zugreifen können. Die unternehmensinterne IT kann in gleicher Weise weiter betrieben werden. Das ermöglicht es dem Unternehmen, die IT-Strategie weiter zu verfolgen. Der Cloud Service bietet nun eine Schnittstelle zwischen den Kunden und dem Unternehmen an. Da das viele Probleme, die heute noch als zentrales Manko von Cloud-Computing-Umgebungen gelten, ausgleicht, wird die Bedeutung von hybriden Clouds in Zukunft sicher steigen. Ein Beispiel für hybride Cloud-Anwendungen ist Windows Azure AppFabric. Tabelle 3.1 fasst die Punkte noch einmal zusammen.

Art	Art der Ressourcenteilung	Hoster	Kosten
Private Cloud	Keine Ressourcenteilung	Unternehmensintern	Einmalig (Software und Hardware) und monatlich (Personal, Bandbreite)
Hybrid Cloud	Ressourcenteilung möglich	Unternehmensintern und durch Cloud-Computing-Anbieter	Einmalig wie bei der Private Cloud und monatlich für die Cloud-Computing-Umgebung
Public Cloud	Ressourcenteilung	Cloud-Computing-Anbieter	Monatlich

Tabelle 1.1: Überblick über die Ebenen

1.7 Ebenen des Cloud Computings

Wie eingangs erwähnt, gibt es verschiedene Ebenen des Cloud Computings. Theoretisch betrachtet bauen diese Ebenen aufeinander auf und können auch in dieser Weise verwendet werden. Die unterste Ebene des Cloud Computings ist die Infrastructure-as-a-Service-Ebene. Hierbei stellt der Cloud-Computing-Anbieter lediglich die Infrastruktur zur Verfügung. Darauf aufbauend gibt es die Plattform-as-a-Service-Ebene, wo der Cloud-Computing-Anbieter bereits eine gänzlich verwaltete Umgebung zur Verfügung stellt. Der Konsument muss sich bei der Plattform nur noch um den Entwurf einer Software kümmern. Die höchste Abstraktion erreicht man auf der Software-as-a-Service-Ebene. Hier gibt es vollständige Anwendungen, die der Endanwender sofort verwenden kann. Ein Merkmal von allen Cloud-Computing-Anwendungen ist „Pay per Use“. Im Normalfall wird die Gebühr abhängig von der Benutzung des Services verrechnet. Abbildung 1.4 stellt die verschiedenen Ebenen dar.

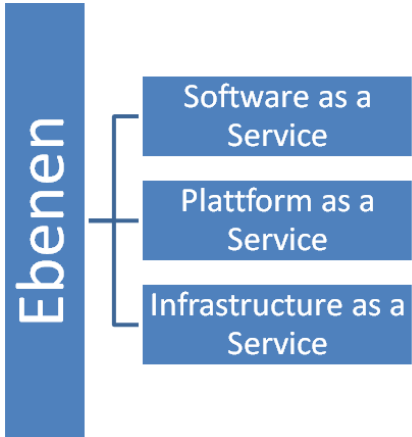


Abbildung 1.4: Cloud-Computing-Ebenen

1.7.1 Infrastructure as a Service (IaaS)

Wie erwähnt, stellt Infrastructure as a Service die unterste Schicht des Cloud Computings dar. Hierbei handelt es sich um eine Infrastruktur, die vom Cloud-Computing-Anbieter zur Verfügung gestellt wird. Den Konsumenten des Dienstes steht es nun frei, Software auf diese Infrastruktur aufzusetzen. Im Normalfall wird seitens des Anbieters ein virtualisiertes Betriebssystem zur Verfügung gestellt. Er kümmert sich um die Lastverteilung (Load Balancing) und stellt somit sicher, dass die gekauften Leistungen ständig verfügbar sind.

Welche Aufgaben eine Infrastruktur hierbei erledigt, kann sehr vielfältig sein. Da der Konsument Zugriff auf das Betriebssystem hat, kann er jegliche Software installieren, die vom Betriebssystem unterstützt wird. Häufig kommen als Betriebssysteme Linux und Windows Server zum Einsatz. Mögliche Anwendungsszenarien sind Domänencontroller, SQL Server, Internetserver, Mailserver und vieles mehr. Will man Webanwendungen auf einer Infrastruktur erstellen, muss man sich um die Installation der notwendigen Laufzeitumgebungen wie etwa PHP, Java oder .NET kümmern. Der Administrationsaufwand gegenüber den anderen beiden Anwendungstypen wie Plattform as a Service und Software as a Service ist deutlich höher, dafür bietet diese Form des Cloud Computings die höchste Flexibilität für die eigenen Anwendungen. Anwendungen auf dieser Ebene können sowohl an Kunden weiterverkauft als auch für unternehmensinterne Zwecke genutzt werden.

Mit Infrastructure as a Service werden dem Kunden infrastrukturelle Services wie Compute-Instanzen, Speicher, Netzwerk und Backup zur Verfügung gestellt, der Kunde hat jedoch die Verantwortung für die Wartung der virtualisierten Umgebungen.

Eine IaaS-Lösung richtet sich vor allem an IT-Dienstleister, die Services wie E-Mail, Webseiten und Ähnliches auslagern wollen. Dadurch hat der IT-Dienstleister keine Notwendigkeit mehr, ein eigenes Rechenzentrum zu betreiben, sondern bietet nur noch die Services an, die bereits vorher angeboten wurden. Dadurch kann er sich auf die Optimierung seiner Services für den Endkunden konzentrieren. Eine weitere Zielgruppe der IT-Betrieb: Ein Unternehmen kann die IT-Infrastruktur in die Cloud auslagern. Verschiedene Anbieter wie etwa Amazon bieten eine große Menge an vorkonfigurierten Images an. Dadurch muss man sich nur noch die passende Instanz aussuchen und mittels der Verwaltungskonsolle starten. Die dritte Zielgruppe ist jene, die Anwendungen in einer IaaS-Anwendung schreibt und diese dann wiederum Dritten zur Verfügung stellt. Damit ist der IaaS-Konsument selbst ein Cloud-Computing-Anbieter, da diese Form auch als Software as a Service bezeichnet wird. Wie hier erkennbar ist, sind in IaaS-Lösungen Endkunden eher die Ausnahme. Vielmehr zielt diese Form des Cloud Computings auf Wiederverkäufer ab. Abbildung 1.5 zeigt potenzielle Konsumenten von IaaS-Services.