

2013

Cloud Computing lohnt sich (noch) nicht

Carsten Ingo Berendes

Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, s3cabere@stmail.uni-bayreuth.de

Markus Ertel

Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, s3maerte@stmail.uni-bayreuth.de

Thomas Röder

Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, s3throed@stmail.uni-bayreuth.de

Thomas Sachs

Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany, thomas.sachs@fim-rc.de

Thomas Süptitz

Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik (BWL VII), Bayreuth, Germany, thomas.sueptitz@uni-bayreuth.de

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <http://aisel.aisnet.org/wi2013>

Recommended Citation

Berendes, Carsten Ingo; Ertel, Markus; Röder, Thomas; Sachs, Thomas; Süptitz, Thomas; and Eymann, Torsten, "Cloud Computing lohnt sich (noch) nicht" (2013). *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013*. 108.

<http://aisel.aisnet.org/wi2013/108>

This material is brought to you by the Wirtschaftsinformatik at AIS Electronic Library (AISEL). It has been accepted for inclusion in Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013 by an authorized administrator of AIS Electronic Library (AISEL). For more information, please contact elibrary@aisnet.org.

Authors

Carsten Ingo Berendes, Markus Ertel, Thomas Röder, Thomas Sachs, Thomas Süptitz, and Torsten Eymann

Cloud Computing lohnt sich (noch) nicht

Carsten Ingo Berendes¹, Markus Ertel¹, Thomas Röder¹, Thomas Sachs¹,
Thomas Süptitz², und Torsten Eymann²

¹ Universität Bayreuth, Bayreuth, Germany

{s3cabere, s3maerte, s3throed, s3tssach}@stmail.uni-bayreuth.de

² Universität Bayreuth, Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik (BWL VII), Bayreuth, Germany
{thomas.sueptitz, torsten.eymann}@uni-bayreuth.de

Abstract. Das Thema Cloud Computing steht nicht nur zunehmend im Interesse der medialen Berichterstattung, sondern auch vermehrt der wissenschaftlichen Forschung. Letztere widmet sich u. a. der Frage, ob Cloud Computing den Nachfragern die oft versprochenen Kostenvorteile bietet. Mit Hilfe einer agentenbasierten Simulation wurden verschiedene Nachfrageszenarien simuliert, um beurteilen zu können, ob die Nutzung von Cloud-Computing-Lösungen kostengünstiger als die Eigenfertigung, der Betrieb eigener Rechenzentren, ist. Die Ergebnisse zeigen, dass die Nutzung von Cloud-Computing-Lösungen etablierten Unternehmen (noch) keine Kostenvorteile bringt. Die Hauptursache dafür liegt in den relativ hohen Kosten für die Speicherung von Daten. Die Nachfrage nach zusätzlichen Sicherungen verstärkt diesen Effekt. Bei jungen, dynamisch wachsenden Unternehmen (z. B. Start-ups) konnte festgestellt werden, dass in den ersten zwei Jahren Cloud-Computing-Lösungen der Eigenfertigung vorzuziehen sind.

Keywords: cloud computing, make-or-buy, agent-based modeling, simulation, Amazon Web Services

1 Einführung

Auf dem deutschen Cloud-Computing-Markt werden im Jahr 2012 voraussichtlich 5,3 Milliarden Euro umgesetzt. Der Markt wird Schätzungen zufolge weiter mit zweistelligen jährlichen Raten auf 17,1 Milliarden Euro im Jahr 2016 wachsen [1]. Diese Zahlen belegen die steigende Bedeutung des Cloud Computing für Anbieter und Nachfrager. Unternehmen stehen zunehmend vor der Frage, ob IT-Leistungen wie die Speicherung und Verarbeitung von Daten selbst gefertigt oder fremdbezogen werden sollten. Bei dieser Entscheidung gilt es, sowohl quantitative (harte) als auch qualitative (weiche) Faktoren zu berücksichtigen [2-3]. Trotz der aufgezeigten Relevanz nehmen sich nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen dieses Themas – aus Kostenperspektive – an.

2 Literaturüberblick

Verschiedene Vorgehensweisen sind denkbar, um die Wirtschaftlichkeit von Computing-Lösungen abzuschätzen. Diese reichen von einer lastspitzenabhängigen Heuristik [4], über eine Break-even-Analyse [5] bis hin zu einem komplexen Entscheidungsmodell, das quantitative und qualitative Faktoren berücksichtigt [6].

Mit der Anwendung der Methoden der Kostenrechnung auf IT-Infrastrukturen beschäftigen sich Thorsteinsson [7] und Brandl [8]. Ersterer identifiziert Kostenfaktoren im Detail und kategorisiert diese, um darauf aufbauend Anhaltspunkte für adäquate Kostenschätzungen abzuleiten. Brandl schlägt ein speziell auf verteilte IT-Infrastrukturen ausgerichtetes Modell vor, das gerade auch im Cloud Computing zur Anwendung kommen kann: Mit seiner Methode lässt sich der zu erwartende Ressourcenbedarf von an verteilte Systeme gerichteten Anfragen ermitteln.

Henneberger et al. nutzen eine multikriterielle Entscheidungsunterstützungsmethodik, um den Einsatz von SaaS- und IaaS-Services für das gesamte Unternehmen oder für dessen einzelne Ebenen zu eruieren. Diese prozessorientierte Analyse zeigt, dass SaaS-Services als Sourcing-Option in Frage kommen, wohingegen potenzielle (Sicherheits-)Risiken gegen den Einsatz von Cloud Sourcing sprechen [9].

Seltener werden Simulationen basierend auf realen Daten zur Evaluierung eingesetzt. Die Studie von Deelman et al. untersucht Kostensenkungspotentiale, die aus der Nutzung von Cloud-Lösungen resultieren [10]. Allerdings können diese Ergebnisse nicht auf gesamte Unternehmen oder verschiedene Branchen extrapoliert werden. Dieser Umstand begründet die zentrale Motivation der vorliegenden Untersuchung.

Hinsichtlich zu erwartender Ergebnisse gibt es Hinweise, dass sich Cloud-Lösungen eher für kleinere und mittlere Unternehmen lohnen, jedoch nicht für große [11]. Obwohl Entscheider vorwiegend Kosten als Beurteilungskriterium nutzen [12], sollte dieses nicht allein den Ausschlag geben [2-3]. Dennoch werden Kosten stets grundlegender Bestandteil einer Wirtschaftlichkeitsanalyse sein.

Auf Basis einer agentenbasierten Simulation wird in der vorliegenden Arbeit ein quantitativer Vergleich zwischen den zwei Alternativen Eigenfertigung und Fremdbezug angestrebt, um theoretische Kosten-/Nutzenüberlegungen zu unterstützen. In diesem Zusammenhang wird für den Fremdbezug exemplarisch die Preisstruktur von Amazon Web Services (AWS) als einem der führenden Cloud-Computing-Anbieter herangezogen, dessen umfassendes Angebot von der Technologieebene ausgeht [13]. Ziel der Untersuchung ist, anhand von systematischen Analysen Handlungsempfehlungen für verschiedene Branchen abzuleiten.

3 Darstellung der Nachfrageszenarien

Das Modell betrachtet für die Analyse vier Nachfrageszenarien, die sich hinsichtlich der Ausgestaltung der Anforderungsparameter, die in Abschnitt 4.2 näher erläutert werden, unterscheiden.

Einem beispielhaften *mittelständischen Unternehmen* wird nachfolgend unterstellt, dass es zu Beginn einen Speicherplatz von 4,8 Terabyte (TB) benötigt [14] und die

Daten nur einmal zusätzlich sichert. Die angesetzte Rechenleistung von $19,1 \text{ TFLOPS} \times h$ orientiert sich an einem typischen Serverangebot für mittelständische Unternehmen, bei einer durchschnittlichen Inanspruchnahme von 40 % in einem Monat mit 720 Stunden [15]. Als Breitbandanschluss setzt das Modell eine Anbindung von 50 Megabit pro Sekunde (Mbit/s) voraus, die einen Datentransfer von 5,5 TB pro Monat zu bewältigen hat. Wachstumsannahmen stützen sich auf die Vorhersage des Deutschen Industrie- und Handelskammertages, der für das Jahr 2012 ein Wachstum von 1,3 % prognostizierte [16].

Das Szenario *Handelskette* bildet ein Unternehmen nach, das einen schnell wachsenden Bedarf an Speicherplatz aufweist: pro Tag fallen bis zu 14 TB an [17]. In diesem Szenario kommt dem Parameter Speicherplatzbedarf große Bedeutung zu, zum einen durch den hohen täglichen Zuwachs an Daten, zum anderen durch eine dreifache Sicherung. Die Rechenleistung weist keine außergewöhnlichen Spitzen auf, sondern ist mit einer konstanten monatlichen Summe von $52,5 \text{ TFLOPS} \times h$ angesetzt. Die angenommene Wachstumsrate von 1,3 % stützt sich auf die Prognose des Handelsverbands HDE und der Gesellschaft für Konsumforschung für das Jahr 2012 [18]. Es steht dem Unternehmen eine Backbone-Anbindung mit einem Durchsatz von 1.200 Mbit/s zur Verfügung.

Die Daten im Szenario *Wetterdienst* basieren auf Informationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Der DWD besitzt ein Datenarchiv von 4 Petabyte (PB), welches nicht in die Cloud migriert werden soll, sondern nur die täglich neu anfallenden Daten in Höhe von 7 Gigabyte (GB) [19]. Der anfängliche Speicherbedarf beträgt 0,2 TB. Im Modell kommen zwei Sicherungsinstanzen zur Anwendung. Die monatlich benötigte Rechenleistung beträgt $15.700 \text{ TFLOPS} \times h$. Diese Angabe stützt sich auf die mögliche Spitzenrechenleistung des DWD von 109 TFLOPS [20], von der eine durchschnittliche Auslastung von 20 % angenommen wird. Die Rechenleistung wird u. a. für tägliche Wettervorhersagen sowie für spezielle saisonale Berechnungen wie Gewitterrisiken eingesetzt. Der DWD benötigt zwar eine hohe Rechenleistung, zielt dabei aber insbesondere auf die Ergebnisse der Wetter- und Klimasimulationen ab. Dies begründet einen eher geringen Datentransfer von 0,3 TB pro Monat.

Das Szenario *Start-up* bildet Unternehmen ab, die durch ein hohes Wachstum aller Parameter – beispielhaft 10 % pro Jahr – gekennzeichnet sind [21]. Das höhere Wachstum im Vergleich zu den anderen Szenarien verdeutlicht sich in dem schneller wachsenden Bedarf an Speicherplatz, Rechenleistung und Datentransfer. Der anfängliche Speicherplatzbedarf beträgt 0,01 TB, wobei eine Sicherungsinstanz zur Anwendung kommt. Die Rechenleistung zeigt zwar durch das Wachstum eine gewisse Dynamik, weist jedoch keine hohe Grundlast auf; annahmegemäß beträgt sie monatlich $1,9 \text{ TFLOPS} \times h$. Der zu erwartende Datentransfer beträgt zu Beginn 0,3 TB pro Monat. Als Anbindung kommt ein Breitbandanschluss mit 32 Mbit/s in Frage.

Tabelle 1. Zusammenfassende Darstellung der Nachfrageszenarien

	Einheit	Mittelstand	Handelskette	Wetterdienst	Start-up
Speicherbedarf	TB	4,8	400	0,2	0,01
Anzahl der Sicherungen	-	1	3	2	1
Rechenleistung	TFLOPS × h	19,1	52,5	15.700	1,9
Spitzenlast Rechenleistung	GFLOPS	60	120	109.000	12
Datentransfer	TB/Monat	5,5	370	0,3	0,3
Bandbreite	Mbit/s	50	1.200	1.000	32
Wachstum	%/Monat	0,1	0,1	0,02	0,8

4 Forschungsmethodik

4.1 Agentenbasierte Simulation

Unternehmen, die einen Bedarf an Leistungen elektronischer Datenverarbeitung oder -speicherung haben (Nachfrager), besitzen mindestens zwei Entscheidungsalternativen: jene Leistungen (a) in eigenen Rechenzentren zu erstellen (= Eigenfertigung / „Make“) oder (b) als Dienstleistung von externen Anbietern zu beziehen, zu denen die Daten über Internetverbindungen gelangen (= Fremdbezug / „Buy“). In der agentenbasierten Simulation werden beide Marktteilnehmer als Agenten dargestellt. Das Kosten-/Nutzenkalkül der – anhand verschiedener Anforderungsparameter – typisierten Nachfrager führt zur Entscheidung zwischen den Extremen (a) und (b). Unternehmen können derart gewonnene Simulationsdaten als Grundlage für ihre Entscheidung zwischen Eigenfertigung und Fremdbezug von Computing-Leistungen dienen.

Agentenbasierte Simulation ist eine dezentral aus der Sicht eines Individuums oder mehrerer Individuen geprägte Nachbildung komplexer Systeme. Jedes handelnde Individuum (Person, Wettbewerber, Unternehmen etc.) wird dabei zum Agenten. Diese Agenten, auch unterschiedlichen Typs, interagieren gemäß ihrer zuvor definierten Verhaltens- und Entscheidungsmöglichkeiten in der Simulation miteinander. Computergestützte Simulationen haben den erheblichen Vorteil, dass sie nicht real vollzogen werden müssen; damit reduzieren sich sowohl Entwicklungs- und Forschungskosten als auch der Zeitaufwand für die Modellbildung, oder es lassen sich Modelle überhaupt erst entwickeln. Die Autoren führen Modellbildung und Simulation mithilfe der Software Anylogic (Version 6.8.1) durch. Eine zeitliche Einheit (Periode) der Simulation entspricht jeweils einem Monat.¹

¹ Im Modell umfasst ein Monat 30 Tage, an denen IT-Leistungen beansprucht werden. Bei vielen Unternehmen bestehen nur vernachlässigbare Unterschiede zwischen Werktagen und Sonn-/Feiertagen, bei anderen gleichen sich Differenzen im Wochenverlauf aus.

4.2 Parameter auf Nachfrageseite

Zur Nachfrageseite des modellierten Marktes können beliebig viele Agenten gleichzeitig hinzugefügt werden, gekennzeichnet durch sieben unterschiedliche Attribute. Diese Simulationsparameter entsprechen den wesentlichen Anforderungen, die Nachfrager an Computing-Leistungen stellen.

Der Parameter *Start_Speicherplatz* wird in der Einheit TB bemessen und gibt das Speichervolumen an, in dessen Umfang pro Monat neue Daten hinzugefügt werden. Einmal (in Vormonaten) gespeicherte Datenvolumina bleiben erhalten und daher als Grundstock bei der Kostenberechnung stets berücksichtigt, sodass es sich bei dem Parameter um den Monat für Monat tatsächlichen zusätzlichen Speicherbedarf handelt. Der Speicherbedarf wächst außerdem durch die erforderliche Anzahl von Datenspiegelungen (zusätzliche Sicherungskopien der gespeicherten Daten), angegeben durch den Parameter *Anzahl_Sicherungen*.

Eine zweite zentrale Anforderung stellt die Datenverarbeitung dar, deren Umfang der Parameter *Start_Rechenleistung* bemisst. Maß für die Verarbeitungsleistung ist dabei die Anzahl der vom Prozessor ausgeführten Gleitkommaoperationen pro Sekunde – engl. Floating Point Operations Per Second, FLOPS – in Billionen (10^{12} FLOPS = TFLOPS). Durch den zweiten Faktor der Einheit, Stunden (h), wird berücksichtigt, für welche Dauer die angegebene Rechenleistung in Anspruch genommen wird. Ähnlich der Kilowattstunde (kWh) als Energieeinheit ergibt sich als Einheit der Rechenleistung das Maß TFLOPS \times h. Bei Verteilung der Rechenleistung über den Monat ergäbe sich rechnerisch eine durchschnittliche Serverlast, die es zu unterscheiden gilt in Grundlast und temporäre Spitzenlast. Insbesondere letztere, angegeben durch *Spitzenlast_Rechenleistung* (in GFLOPS), ist relevant für die Berechnung notwendiger Kapazitäten: Da der Servercluster jene Leistung im Bedarfsfall vollumfänglich gewährleisten muss, wird der Bedarf an Servern an der Spitzenlast ausgerichtet.

Sowohl die Übermittlung von Daten über Internetverbindungen in das fremde Rechenzentrum (Traffic eingehend) als auch der Abruf der dortigen Daten (Traffic ausgehend) finden Niederschlag in der Größe *Start_Datentransfer*, gemessen in TB pro Monat. Damit die Nutzung von Cloud Computing überhaupt möglich wird, ist zu beachten, dass der monatliche Datentransfer – zumindest im Mittel – die am Standort des Nachfragers verfügbare Bandbreite nicht überschreiten darf. Eine Routine prüft in der Simulation dieses K.-o.-Kriterium und warnt, falls mangelnde Bandbreite den Fremdbezug unmöglich macht. Durch den gleichnamigen Parameter wird die nutzerspezifische Angabe der am Standort jeweils verfügbaren *Bandbreite*, gemessen in Mbit/s, abgebildet: zum Beispiel Werte im ein- und zweistelligen Bereich bis 32 Mbit/s für DSL-, 50 Mbit/s für VDSL- sowie Werte bis zu 1.000 Mbit/s für unmittelbare (Gigabit-) Backbone-Anbindungen.

Für die drei Parameter beginnend mit „Start_“ gilt, dass deren Werte jeweils den Markteintritt des Nachfragers, d. h. den Monat nach Hinzufügen des Agenten, betreffen; in den Folgemonaten wachsen diese drei Startwerte jeweils um den angegebenen Faktor *Wachstum*, das bedeutet:

$$\text{Wert}_{(t+1)} = \text{Wert}_{(t)} \times (1 + \text{Wachstum}). \quad (1)$$

4.3 Parameter auf Angebotsseite

Die Anbieterseite umfasst aus Vereinfachungsgründen einen einzigen Agent, der in der Lage ist, Anforderungen aller Nachfrager vollumfänglich zu befriedigen. Als Referenz wird hierfür AWS als großer Anbieter auf dem Markt für Cloud Computing herangezogen, ähnlich Matros et al. [5].

Drei Parameter und Formeln bilden die Preisstruktur von AWS möglichst gut nach. Da die Anbieterpreise von AWS in US-Dollar (USD) notiert sind, orientiert sich das gesamte Modell an dieser Währung, bezieht sich jedoch auf den deutschen bzw. europäischen Markt. Pro genutztem GB Speicherplatz berechnet AWS bei dem Produkt Simple Storage Service (Amazon S3) 0,11 USD [22], dies entspricht 110 USD pro TB,² dem Standardwert des Parameters *Preis_Speicherplatz*. Ab gewissen Speichervolumina gelten ermäßigte Tarife. Die Preisstaffelung ist für das Modell mittels einer Funktion nachgebildet worden: Indem auf den durchschnittlichen Preis pro TB abgestellt wurde, wurde eine hohe Güte der Anpassung ($R^2 \approx 0,97$) erreicht. Mit S in TB als Speichervolumen ergibt sich der Durchschnittspreis pro TB wie folgt.

$$P_S^\emptyset = f(S) = \begin{cases} 110 \frac{\text{USD}}{\text{TB}} & \text{für } S \leq 50 \text{ [TB]} \\ (-0,0545 \times \ln(S) + 1,206) \times 110 \frac{\text{USD}}{\text{TB}} & \text{für } S > 50 \text{ [TB]} \end{cases} \quad (2)$$

Eine Preisstaffelung tritt ebenfalls in Kraft bei dem Preis des Datentransfers. Im Parameter *Preis_Datentransfer* ist der Grundpreis von 120 USD pro im Monat übertragenen TB festgehalten. Die Preisstaffelung ist mittels einer Funktion nachgebildet worden, wobei auch hier auf den durchschnittlichen Preis pro übertragenem TB abgestellt und eine beliebige Teilbarkeit unterstellt worden ist. Die Funktion weist eine sehr hohe Güte der Anpassung auf ($R^2 > 0,99$). Mit T als Transfervolumen in TB ergibt sich der Durchschnittspreis pro TB wie folgt:

$$P_T^\emptyset = f(T) = \begin{cases} 120 \frac{\text{USD}}{\text{TB}} & \text{für } T \leq 10 \text{ [TB]} \\ (-0,1276 \times \ln(T) + 1,2707) \times 120 \frac{\text{USD}}{\text{TB}} & \text{für } T > 10 \text{ [TB]} \end{cases} \quad (3)$$

Der Preis für die Rechenleistung ist bei dem AWS-Produkt Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) fixiert: Der Preis pro Rechenstunde (*Preis_Rechenleistung*) liegt bei 0,085 USD [23]. Dem Modell zugrunde liegt die Standard-Instanz (Small), die nach Bedarf gebucht werden kann. AWS misst die entsprechende Rechenleistung in der eigenen Einheit EC2 Compute Unit (ECU), wobei die Standard-Instanz genau eine ECU bietet [24]. AWS setzt diese mit der Rechenkapazität eines 1,0–1,2 GHz Opteron- oder Xeon-Prozessors aus dem Jahr 2007 gleich. Ein Vergleichsmaßstab baut auf der Herleitung von Ostermann et al. auf: „a 1.1 GHz 2007 Opteron can perform 4 flops per cycle at full pipeline, which means at peak performance one ECU equals 4.4 gigaflops per second (GFLOPS)“ [25]. Beliebige Teilbarkeit unterstellt, entsprechen 0,085 USD pro ECU-Rechenstunde ($4,4 \text{ GFLOPS} \times h$) einem Preis von 19,3182 USD für $1 \text{ TFLOPS} \times h$. Hierbei tritt keine Degression in Kraft.

² AWS wendet den Umrechnungsfaktor 10^3 an, also $1 \text{ TB} = 1.000 \text{ GB}$.

Wie oben dargestellt, umfasst die Angebotsseite genau einen Agenten. Dies trägt auch der Tatsache Rechnung, dass Cloud Computing ohne Sonderleistungen als Commodity aufgefasst werden kann.

Um die Wettbewerbssituation auf dem Markt für Cloud-Computing-Leistungen ansatzweise ins Modell zu integrieren, sind dem Anbieter auch Parameter bezüglich seiner Wettbewerbsstrategie zugeordnet worden:

- *Sicherheitsaktivitäten*: Der Anbieter investiert in die Sicherung seiner Systeme gegenüber Datenverlust, unbefugten Zugriffen und Angriffen von Dritten.
- *Service*: Der Anbieter bietet seinen Kunden unterstützende Dienstleistungen wie eine Hotline, Autokonfiguration, Hilfsfunktionen, außergewöhnliche Usability etc.
- *Verfügbarkeit*: Der Anbieter ergreift Maßnahmen, um Ausfallsicherheit und eine hohe Verfügbarkeit zu gewährleisten, schafft beispielsweise Redundanz.
- *Hardwareleistung*: Der Anbieter legt bei der Beschaffung Wert auf hochwertige und leistungsfähige Hardware.

Diese Parameter messen jeweils die relative Position im Branchenvergleich: Anbieter können eine im Branchenvergleich führende und entsprechend teure Position anstreben (Werte tendieren zu 1) oder eine zurückhaltende, kostensparende Strategie verfolgen (Werte tendieren zu -1). Mit Werten um 0 wird jeweils eine durchschnittliche Position angegeben. Durch die Ausprägung der vier Parameter wird die Abbildung konträrer Wettbewerbsstrategien möglich.

4.4 Fremdbezug: Zusammenfügen von Nachfrage und Angebot

Auf der Nachfrageseite existieren nach dem Hinzufügen beliebig viele Agenten mit gleichen oder verschiedenen Attributen. Diese Zahl der Nachfrager besitzt einen Bedarf an IT-Leistungen, den die individuell verschiedenen Attribute definieren. Um zu ermitteln, zu welchem Preis der Anbieter diese befriedigen kann, findet ein Austausch der dem Bedarf entsprechenden Preisinformationen statt.

Die Nachfrage bezüglich Speicherplatz, Rechenleistung und Datentransfer wird zugleich aggregiert und vom Anbieter gespeichert. Er ist somit in der Lage, seinen Hardware-Bestand dem durch die Nachfrage bestimmten Bedarf anzupassen. Der Anbieter hat die Möglichkeit, seine Grundpreise zu ändern. Da ceteris paribus die Kostenbestandteile für Ersteller von IT-Leistungen identisch bleiben, verändert sich dadurch lediglich die Gewinnspanne des Anbieters. Die oben beschriebenen Wettbewerbsstrategie-Parameter sind so implementiert, dass ein von ihren Werten abhängiger Teil der Gewinnspanne als (monatlicher) Deckungsbeitrag verbleibt. Der Verlauf wird wie folgt charakterisiert:

- Sind alle vier Parameter gleich -1, so verbleibt die gesamte Gewinnspanne als Deckungsbeitrag.
- Sind die vier Parameter gleich 1, so verbleibt kein Deckungsbeitrag.
- Zwischen diesen Extremen verläuft die Funktion in Form einer S-förmigen Kurve.
- Am Mittelpunkt der Kurve („Branchendurchschnitt“), hier beträgt die Summe der Parameterwerte 0, verbleiben ca. 70 % der Gewinnspanne als Deckungsbeitrag, da

ein durchschnittliches Qualitätsniveau annahmegemäß mit verhältnismäßig geringeren Kosten als die führende Position zu erreichen ist. In anderen Worten: Branchentypische Anbieter bemühen sich, bei den Investitionen in Qualität hauszuhalten und Qualitätsziele gegen den erzielbaren Deckungsbeitrag abzuwägen.

- Um ein überdurchschnittliches Qualitätsniveau zu erreichen, sind dementsprechend hohe Investitionen notwendig, die den Deckungsbeitrag beträchtlich schmälern.

4.5 Kosten der Erstellung von Datenverarbeitungsleistungen

Für Agenten auf beiden Marktseiten gelten identische Kostenbestandteile hinsichtlich der Erstellung von Computing-Leistungen, d. h. der Bereitstellung von Speicherplatz, Rechenleistung und Datentransfervolumen. Diese Leistungen an sich (unter Vernachlässigung oben beschriebener Qualitätsmerkmale) können dabei als Commodity aufgefasst werden, sie sind also qualitativ identisch. Diese Annahme ermöglicht den einfachen Vergleich der Vorziehenswürdigkeit von Eigenerstellung oder Fremdbezug anhand der Kosten. Sowohl der Anbieter von Cloud-Computing-Dienstleistungen als auch der Nachfrager von IT-Leistungen, sofern er sich für die Eigenerstellung entscheidet, müssen Investitionen in die Serverinfrastruktur tätigen und die Kosten des laufenden Betriebs tragen.

Bei den *Infrastrukturinvestitionen* handelt es sich meist um fixe Kosten. Sprungfix sind allerdings die Investitionen in Festplatten und Server, da diese in Abhängigkeit der Ausbringungsmenge von Speicherplatz (S in TB) bzw. der Rechenleistung (C in TFLOPS $\times h$) anzuschaffen sind. In Annahme von 1-TB-Einheiten ist die Auswirkung bei Festplatten gering.

Andererseits ist der sprungfixe Charakter der Server-Investitionen stärker: In Abhängigkeit von der benötigten Rechenleistung werden im Modell Server des Typs HP ProLiant DL160 Gen8 angeschafft. Ausgestattet mit dem Prozessor Xeon E5-2603 besitzen diese eine Leistungsspitze von 57,6 GFLOPS. Ein angenommener durchschnittlicher Auslastungsgrad von 75 % ist dabei u. a. durch Virtualisierung erreichbar. Die Server werden in Verbindung mit Netzwerkhardware wie Switches, Firewalls, Load Balancer und Verkabelung in Racks untergebracht. Pro Rack mit 42 U-Einheiten können dabei annahmegemäß 36 Server montiert werden, der restliche Teil der U-Einheiten wird von der Netzwerkhardware belegt.

Folgende Summanden ergeben zusammen die Infrastrukturkosten pro Monat K_I :

1. Lineare Abschreibung der Anschaffungskosten von Servern (angenommene Nutzungsdauer drei Jahre [5]), erhöht um einen prozentualen Zuschlag für Netzwerkhardware (annahmegemäß 20 %)

$$AfA = \frac{\text{Anschaffungskosten}}{\text{Nutzungsdauer}} \times (1 + p_{\text{Netzwerkhardware}}) \quad (4)$$

2. Wiederkehrende Kosten aus Wartungsverträgen als Prozentsatz der Anschaffungskosten von Servern und Netzwerkhardware, annahmegemäß 1 % monatlich

3. Einmalige Kosten für Software zur Ausstattung angeschaffter Server, insbesondere mit einem Betriebssystem, annahmegemäß null dank dem Einsatz einer Open-Source-Distribution von Linux
4. Lineare Abschreibung der Anschaffungskosten von 42 U-Racks (angenommene Nutzungsdauer fünfzehn Jahre [5])
5. Flächenkosten als Produkt der (ggf. kalkulatorischen) Miete für die Standfläche der Racks (annahmegemäß der deutsche Durchschnittsmietpreis für Büroflächen), der Zahl im Bestand befindlicher Racks und dem Platzbedarf pro Rack inklusive Kühlung, Laufwegen etc.
6. Lineare Abschreibung der Anschaffungskosten für Festplatten in 1-TB-Einheiten, in Abhängigkeit von der benötigten Menge an Speicherplatz S
7. Abzug eines einmaligen Rabatts vom Preis angeschaffter Hardware, um Einsparungen zu berücksichtigen, die insbesondere bei großen Einkaufsvolumina möglich werden (Fixkostendegression):

$$\text{Rabattsatz} = -0,01 \ln (\text{Wert gekaufter Hardware}) \quad (5)$$

8. Kalkulatorische Kosten des in der Infrastruktur gebundenen Kapitals, als Produkt des gewichteten Kapitalkostensatzes und der fortgeführten Anschaffungskosten (nach Abschreibungen) aller im Bestand befindlicher Hardware

Bei den *Betriebskosten* handelt es sich hingegen um variable Kosten. Hierbei kommt auch die Abhängigkeit von der Datentransfermenge T zum Tragen. Folgende Summanden ergeben zusammen die Betriebskosten K_O :

1. Elektrizitätskosten unter Heranziehung des deutschen Strompreises für Gewerbekunden; der Strombedarf berechnet sich dabei als Produkt der Leistung eines Netzteils zur Versorgung eines Servers bei Spitzenlast (nach Herstellerangaben 500 W), des Umwandlungsfaktors (verwendeter Anteil der Stromversorgung bei typischer Belastung, berechneter Wert 40 % basierend auf [5]), des Multiplikators für den Gesamtbedarf eines Rechenclusters einschließlich Kühlung, Netzwerk etc. (bemessen am Strombedarf eines einzelnen Servers, annahmegemäß 200 % analog [26]) und der Betriebsstunden im Monat (durchgängiger Betrieb, d. h. 720 h):

$$\begin{aligned} \text{Strombedarf} &= \text{Netzteilleistung} \times \text{Umwandlungsfaktor} \\ &\times \text{Multiplikator Gesamtstrombedarf} \times \text{Betriebsstunden} \end{aligned} \quad (6)$$

2. Kosten des Datentransfers, d. h. Kosten für Bandbreite und die Nutzung der Datenübertragung ins Internet, multipliziert mit dem Datentransfer (T in TB/Monat, als Monatsmittel umgerechnet in Mbit/s) – annahmegemäß entfallen diese Kosten für Nachfrager, die eine eigene IT-Infrastruktur vor Ort aufbauen
3. Kosten der technischen Betreuung des Rechenzentrums, berechnet als Produkt des Monatsgehalts eines IT-Administrators ohne Personalverantwortung in Deutschland (Jahresgehalt inkl. variablen Bestandteilen: 44.400 Euro [27]) und der Zahl im Bestand befindlicher Server, die mit einer Vollzeitstelle betreut werden können

Alle genannten Kostenbestandteile fließen im Modell in eine Kalkulation ein, wofür die Nachfrage der Agenten der Nachfrageseite aggregiert wird. Auf Grundlage der Gesamtwerte berechnen sich die dem Anbieter entstehenden Kosten für die Bereitstellung der Cloud-Computing-Leistung. Auf Nachfrageseite ergeben sich die Kosten der Eigenerstellung für jeden Agenten individuell.

5 Darstellung der Simulationsergebnisse

5.1 Hinweise zur Interpretation der gewonnenen Daten

Die beschriebenen Szenarien wurden mit folgenden Grundeinstellungen simuliert:

- Anzahl der Anbieter und Nachfrager: jeweils einer
- Simulationszeitraum: 60 Monate (= fünf Jahre)

Die Kostendifferenz zwischen „Buy“ und „Make“ berechnet sich wie folgt:

$$\text{Kostendifferenz} = \text{Gesamtkosten Buy} - \text{Gesamtkosten Make} \quad (7)$$

Ein positiver Betrag bedeutet, dass eine Eigenfertigung gegenüber der Inanspruchnahme von Cloud-Computing-Lösungen (Fremdbezug) vorzuziehen ist und vice versa. Diese Differenz gilt nachfolgend als ausschlaggebendes Kriterium bei den entsprechenden Darstellungen, Würdigungen und Handlungsempfehlungen.

5.2 Szenario: Mittelständisches Unternehmen

Unter den gesetzten Parameterwerten kann in dem Szenario „Mittelständisches Unternehmen“ keine Empfehlung für den Bezug von Cloud-Computing-Lösungen ausgesprochen werden. Dies zeigt sich daran, dass im Zeitablauf die Kostendifferenz zwischen Buy und Make zunimmt; dies verdeutlicht Abbildung 1.

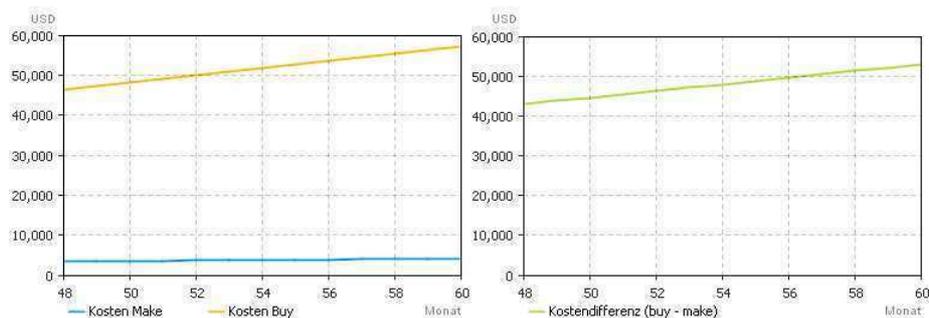


Abb. 1. Kosten beim Szenario „Mittelständisches Unternehmen“

Eine künftige Umkehr der Entscheidung ist auszuschließen, da die Kurven „Kosten Make“ und „Kosten Buy“ nicht zueinander streben. Hauptursache für diese Entwick-

lung ist der zunehmende Bedarf an Speicherplatz. Die Rechenleistung und der Datentransfer sind hingegen keine entscheidenden Kostentreiber.

5.3 Szenario: Handelskette

Bei den gewählten Parametern in dem Szenario „Handelskette“ kann ebenso keine Empfehlung zu Gunsten des Cloud Computing ausgesprochen werden. Auch hier nimmt die Kostendifferenz zwischen Make und Buy im Zeitablauf zu. Eine Umkehr der gegebenen Handlungsempfehlung in künftigen Monaten ist nicht zu erwarten, da ein Divergieren der Kostenkurven erkennbar ist.

Wie bei dem Szenario „Mittelständisches Unternehmen“ kann der Bedarf an Speicherplatz als Kostentreiber und somit ausschlaggebender Faktor für die Handlungsempfehlung identifiziert werden.

5.4 Szenario: Wetterdienst

Das Szenario „Wetterdienst“ hebt sich von den beiden zuvor genannten Szenarien dadurch ab, dass es einer erhöhten Rechenleistung bedarf, dafür aber weniger Speicherplatz und Datentransfer. Trotzdem ist auch hier die Eigenfertigung für das Unternehmen günstiger, wie Abbildung 2 zeigt.

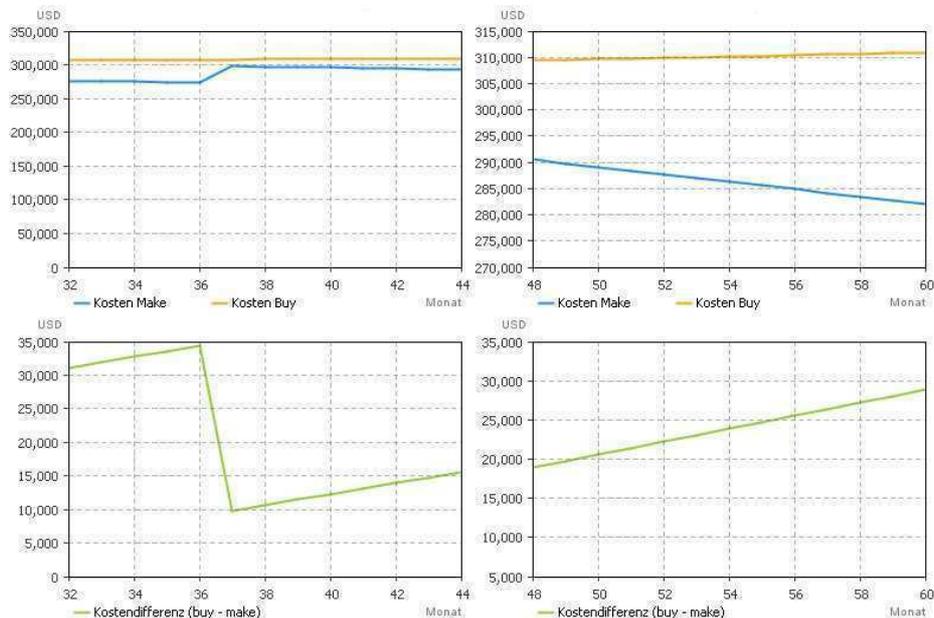


Abb. 2. Kosten beim Szenario „Wetterdienst“

Ursächlich für den Kostennachteil der Cloud-Lösung sind in diesem Szenario die hohen Ausgaben für Rechenleistung. Obwohl sich dies hierfür im Falle des Eigenbe-

etriebs anfallenden Investitionen sprunghaft verhalten, liegt die zugehörige Kostenkurve durchgängig unter der des Fremdbezugs. Im Zeitverlauf sinken aufgrund des linearen Abschreibungsverlaufs die Kosten gebundenen Kapitals, wodurch die Kurve der Eigenherstellung fallend verläuft. Ein Knick in der Kostenkurve entsteht immer dann, wenn Ersatzinvestitionen getätigt werden. Hingegen steigen die Kosten des Fremdbezugs kontinuierlich. Durch das langfristige Auseinanderstreben der beiden Kurven ist auch hier keine Umkehr der getroffenen Entscheidung zu erwarten.

5.5 Szenario: Start-up

Cloud Computing wird oft im Zusammenhang mit Start-ups genannt, die auf Grund ihres unvorhersehbaren Bedarfs und limitierter Kapitalausstattung auf solche Lösungen zurückgreifen. Die Simulation ergab, dass dies durchaus als sinnvoll betrachtet werden kann, denn bis zum 28. Monat ist der Fremdbezug von IT-Leistungen für das Start-up günstiger. Erst zu Beginn des 29. Monats kehrt sich der Vorteil um; dies verdeutlichen der Schnittpunkt der Kostendifferenzkurve mit der x-Achse, ab dem sie im positiven Bereich verläuft, bzw. der Schnittpunkt der Kostenkurven Make und Buy. Am Szenario Start-up zeigt sich, dass der schnell wachsende Bedarf an Speicherplatz auf lange Sicht die Entscheidung in Richtung Eigenfertigung beeinflusst.

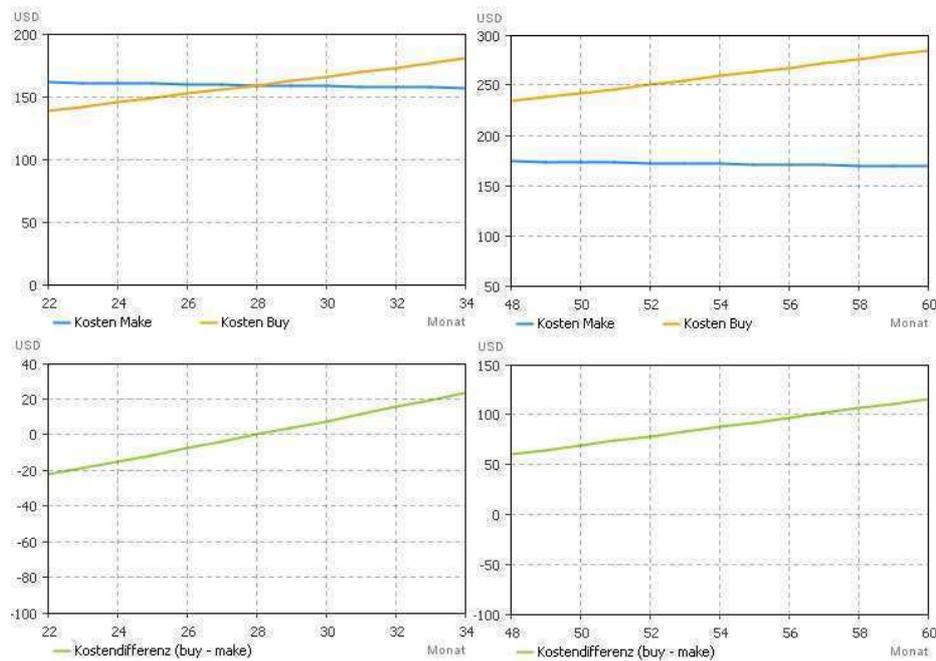


Abb. 3. Kosten beim Szenario „Start-up“

6 Würdigung der Ergebnisse

6.1 Einschätzung im Kontext bisheriger Forschung

Matros et al. [5] und Lamberth/Weisbecker [6] gehen davon aus, dass sich Cloud Computing nur bei rechenintensiven Unternehmen lohnt. Wie die Ergebnisse der Simulation zeigen, ist Cloud Computing noch keine lohnenswerte Alternative für etablierte Unternehmen mit hohem Bedarf an IT-Leistungen. Junge, dynamisch wachsende Unternehmen wie Start-ups können hingegen von Cloud-Lösungen profitieren. Als wesentlicher Kosten- und Entscheidungsfaktor wurde die Nachfrage nach und der Preis von Speicherplatz identifiziert.

Die Studie von Harms/Yamartino [28] prognostiziert, dass die Preise für Cloud-Lösungen künftig fallen werden. Sollte dies zutreffen, könnten auch größere Unternehmen mit einem differenzierteren Anforderungsprofil auf Cloud Computing setzen.

6.2 Modellrestriktionen

Das aufgestellte Modell bildet einen vereinfachten Ausschnitt der Wirklichkeit ab und wird u. a. durch folgende zu berücksichtigende Faktoren beschränkt:

- Das Modell geht davon aus, dass es im Markt nur einen Anbieter gibt, der jegliche Nachfrage befriedigen kann. Das Modell bildet die tatsächliche Wettbewerbssituation somit nur ansatzweise ab.
- Die im Zuge der Erstellung von Leistungen anzuschaffende IT-Ausstattung wird dem Erwerber bei Bedarf ohne Zeitverzögerung bereitgestellt. Wartezeiten für Lieferung, Installation und Konfiguration bleiben somit außer Betracht.
- Gemäß der Annahme des Modells können Nachfrager Angebote für Speichervolumen, Rechenleistung und Datentransfer in beliebiger Höhe wahrnehmen. Die Angebote gelten damit als teilbar. Pauschal bezahlte Inklusiv-Kontingente oder Grundgebühren bleiben außer Betracht.

7 Fazit

Nachfrager von IT-Leistungen, die vor der Wahl zwischen Eigenerstellung und Fremdbezug stehen, befinden sich in einer komplexen Entscheidungssituation, in der sie quantitative wie auch qualitative Faktoren zu berücksichtigen haben. Die Simulation konzentrierte sich auf den Kostenaspekt als elementares Entscheidungskriterium und nutzte verschiedene Szenarien, um einen ausgesuchten Branchenquerschnitt praxisnah nachzubilden.

Die Ergebnisse zeigen, dass Cloud-Lösungen bislang nur für kleine und dynamisch wachsende Unternehmen in der Gründungs- und Anlaufphase sinnvoll sind. Größere Unternehmen mit einem differenzierteren Anforderungsprofil, z. B. Anzahl von Sicherungen und Speicherplatz, können mit Cloud Computing noch keine Kostensenkungspotentiale realisieren. Als Grund dafür wurde der relativ hohe Preis für Spei-

cherplatz (und somit auch für Sicherungen) identifiziert. Dabei sollte beachtet werden, dass sich durch den zunehmenden Wettbewerb zwischen Cloud-Anbietern Preis-senkungen ergeben können [29].

In der Praxis finden sich auch hybride Infrastrukturlösungen, die Cloud Computing mit der eigenen IT-Infrastruktur von Unternehmen kombinieren. Diese wurden in der Arbeit nicht thematisiert, stellen jedoch nach Ansicht der Verfasser ein interessantes und weiter zu untersuchendes Forschungsfeld dar.

Literatur

1. BITKOM: Umsatz mit Cloud Computing steigt über 5 Milliarden Euro, http://www.bitkom.org/de/markt_statistik/64086_71376.aspx
2. Khajeh-Hosseini, A., Greenwood, D., Smith, J.W., Sommerville, I.: The Cloud Adoption Toolkit: Supporting Cloud Adoption Decisions in the Enterprise. *Software: Practice and Experience* 42 (4), 447–465 (2012)
3. Khajeh-Hosseini, A., Greenwood, D., Sommerville, I.: Cloud Migration: A Case Study of Migrating an Enterprise IT System to IaaS, <http://arxiv.org/pdf/1002.3492>
4. Armbrust, M., Fox, A., Griffith, R., Joseph, A.D., Katz, R., Konwinski, A., Lee, G., Patterson, D., Rabkin, A., Stoica, I., Zaharia, M.: A View of Cloud Computing. *Communications of the ACM* 53 (4), 50–58 (2010)
5. Matros, R., Stute, P., von Zuydtwyck, N.H., Eymann, T.: Make-or-Buy im Cloud-Computing – Ein entscheidungsorientiertes Modell für den Bezug von Amazon Web Services. *Bayreuther Arbeitspapiere zur Wirtschaftsinformatik*, Bayreuth (2009)
6. Lamberth, S., Weisbecker, A.: Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen beim Einsatz von Cloud Computing. In: Pietsch, W., Krams, B. (eds.): *Vom Projekt zum Produkt*. LNI, Vol. 178, pp. 123–136. GI, Bonn (2010)
7. Thorsteinsson, P.B.: *On the classification and estimation of costs in information technology*. University of Iceland, Reykjavik (2010)
8. Brandl, R.: *Cost Accounting for Shared IT Infrastructures*. Gabler, Wiesbaden (2008)
9. Henneberger, M., Strebler, J., Garzotto, F.: Ein Entscheidungsmodell für den Einsatz von Cloud Computing in Unternehmen. *HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik* 47 (275), 76–84 (2010)
10. Deelman, E., Singh, G., Livny, M., Berriman, B., Good, J.: The Cost of Doing Science on the Cloud: The Montage Example. In: *Proceedings of the 2008 ACM/IEEE conference on Supercomputing*, article No. 50. IEEE Press, Piscataway (2008)
11. McKinsey & Company: Clearing the air on cloud computing, http://www.isaca.org/Groups/Professional-English/cloud-computing/GroupDocuments/McKinsey_Cloud%20matters.pdf
12. Durkee, D.: Why Cloud Computing Will Never Be Free. *Communications of the ACM* 53, 62–69 (2010)
13. Repschläger, J., Zarnekow, R.: *Cloud Computing in der IKT-Branche*. *Research Papers in Information Systems Management*, Vol. 2. TU Berlin, Berlin (2011)
14. Onpulson: Weltweite Backup-Studie: Deutscher Mittelstand nimmt Spitzenposition ein, <http://www.onpulson.de/themen/3315/weltweite-backup-studie-deutscher-mittelstand-nimmt-spitzenposition-ein>
15. Fritz & Macziol: AIX 5L- und Linux-Server, http://www.fum.de/webfm/fmhome.nsf/pages/ibm_system_p

16. Focus Online: Deutsche Firmen sind trotz Krise zuversichtlich, http://www.focus.de/finanzen/news/dihk-sagt-wirtschaftswachstum-voraus-deutsche-firmen-sind-trotz-krise-zuversichtlich_aid_760113.html
17. Hüske, F.: Entwurf und Evaluation eines Algorithmus zur Verteilung von materialisierten Sichten unter Berücksichtigung der Eigenschaften von RFID-Daten. Universität Ulm, Ulm (2008)
18. Der Handel: Einzelhandel darf auch 2012 auf Wachstum hoffen, <http://www.derhandel.de/news/finanzen/pages/Konjunktur-Einzelhandel-darf-auch-2012-auf-Wachstum-hoffen-8252.html>
19. Deutscher Wetterdienst: Datenmanagement – Einleitung, http://www.dwd.de/bvbw/appmanager/bvbw/dwdwwwDesktop?_nfpb=true&T1400657811144045287327gsbDocumentPath=Content/Oeffentlichkeit/TI/TI1/Informationstechnik/Datenmanagement/German/Datenmanagement__teaser__dt.html
20. Deutscher Wetterdienst: Neuer Superrechner für den Deutschen Wetterdienst, www.dwd.de/bvbw/generator/DWDWWW/Content/Presse/Pressekonferenzen/2009/PK__17__03__09/20090317__Rede__Hoffmann,templateId=raw,property=publicationFile.pd
21. IHK-Startup: Studie zur Wachstumsfinanzierung im aktuellen Marktumfeld, <http://www.ihk-startup.de/themen-gruender/news/studie38.html?type=123>
22. Amazon Web Services: Amazon S3 – Preise, <http://aws.amazon.com/de/s3/pricing/>
23. Amazon Web Services: Amazon EC2 – Preise, <http://aws.amazon.com/de/ec2/pricing/>
24. Amazon Web Services: Amazon EC2-Instancetypen, <http://aws.amazon.com/de/ec2/instance-types/>
25. Ostermann, S., Iosup, A., Yigitbasi, N., Prodan, R., Fahringer, T., Epema, D.: A Performance Analysis of EC2 Cloud Computing Services for Scientific Computing. In: D.R. Avresky et al. (eds.): Cloud Computing. LNICST, Vol. 34, pp. 115–131. Springer, Berlin (2010)
26. Smith, V., Roberts, S., Berman, D.: The Green Grid Energy Policy Research for Data Centres. The Green Grid Association Whitepapers, Beaverton (2009)
27. StepStone: Der StepStone Gehaltsreport 2012. StepStone Deutschland, Düsseldorf (2012)
28. Harms, R., Yamartino, M.: The Economics of the Cloud. Microsoft, Redmond (2010)
29. Etro, F.: The Economics of Cloud Computing, <http://www.intertic.org/Policy%20Papers/Report.pdf>