

Cloud Computing: Gestern, heute, morgen

Raoul Hentschel · Christian Leyh

Eingegangen: 8. Juni 2016 / Angenommen: 6. August 2016 / Online publiziert: 24. August 2016
© Springer Fachmedien Wiesbaden 2016

Zusammenfassung Die Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) unterliegt nicht nur derzeit sondern bereits seit mehr als einem Jahrzehnt einem raschen Wandel und hat dabei enormen Einfluss auf nahezu jeden Lebensbereich. Unternehmen, Organisationen und auch Privatpersonen verlagern ihre Aktivitäten zunehmend in die digitale Welt. Beispielsweise nutzen Industrie- und Handelsunternehmen vermehrt die Potenziale des E-Commerce, Behörden und öffentliche Einrichtungen reduzieren den Verwaltungsaufwand durch E-Government, soziale Interaktionen finden vermehrt in virtuellen Netzwerken statt, und auch ein Großteil des weltweiten Finanzverkehrs wäre ohne den Einsatz von IKT quasi nicht mehr denkbar. Mit dieser drastisch zunehmenden Digitalisierung des Unternehmensalltags und der Gesellschaft an sich sind auch wesentlich höhere Anforderungen an Informationssysteme und ein stetig wachsender Bedarf an Rechenleistungen und Speicherkapazitäten verbunden. Einen möglichen Lösungsansatz hierfür bietet Cloud Computing. Durch scheinbar unendliche IT-Ressourcen, die auf Abruf bereitgestellt oder auch wieder „zurückgegeben“ werden können, entsteht für Unternehmen eine äußerst flexible und skalierbare Hard- und Softwareinfrastruktur. Clouds treten dabei in verschiedenen Organisationsformen/Ausprägungen auf, wie z. B. als private, public oder hybrid Cloud. Des Weiteren können Unternehmen entscheiden, Clouds im Eigenbetrieb (Sourcing-Option: insourced) nur innerhalb und nur für das eigene Unternehmen aufzusetzen oder diese außerhalb des Unternehmens von Fremdanbietern (Sourcing-Option: outsourced) zu beziehen. Jedoch, unabhängig von der konkreten Ausgestaltung des „Rechnens aus oder in der Wolke“ bietet Cloud Computing effizi-

R. Hentschel · C. Leyh (✉)

Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik, insb. Informationssysteme in Industrie und Handel, Technische Universität Dresden, Helmholtzstr. 10, 01069 Dresden, Deutschland

E-Mail: Christian.Leyh@tu-dresden.de

R. Hentschel

E-Mail: Raoul.Hentschel@tu-dresden.de

ente und effektive Unterstützungsmöglichkeiten für zukünftige Entwicklungen und Trends, z. B. für die unternehmensseitige Ausrichtung hin zum komplett digitalisierten Unternehmen oder zum Industrie 4.0-Unternehmen. Man könnte teilweise sogar so weit gehen, zu sagen, dass die Nutzung von Clouds und Cloud Services zur Bewältigung der Herausforderungen des technologischen Fortschritts ein elementarer und notwendiger Bestandteil ist.

Schlüsselwörter Cloud Computing · Cloud-Dienste · Chancen und Risiken · Digitalisierung · SaaS · PaaS · IaaS

Cloud Computing: Yesterday, Today, Tomorrow

Abstract For more than a decade, the information and communication technology (ICT) is changing and evolving rapidly and therefore, has huge impact on almost every aspect of life. Companies, organizations and individuals relocate their activities increasingly into the digital world. For example, industrial and trading companies use more intensively the potential of e-Commerce, public authorities and institutions reduce the administrative burden by using e-Government, social interactions tend to be held more often in virtual networks, and also a large part of global financial transactions would be infeasible without the use of ICT. This dramatically increasing digitalization of everyday business life and society itself, significantly higher demands on information systems and an ever-growing demand for computing power and memory go along. Therefore, Cloud Computing provides a possible solution for this issues. Seemingly endless IT resources enable a highly flexible and scalable hardware and software infrastructure for enterprises. Thereby, clouds can have different organizational forms / characteristics, e.g., as private, public or hybrid cloud. Furthermore, companies can decide for on premise clouds (sourcing option: insourced) set up within and only for their own company or to procure this from third-party vendor from “outside” the company (sourcing option: outsourced). However, regardless of the specific configuration of the “computing in the cloud”, Cloud Computing provides efficient and effective support options for future developments and trends, e.g., for the enterprise’s orientation towards a fully digitalized business or towards Industry 4.0 business activities. Partially, it is even possible to state that the use of clouds and cloud services is a fundamental and essential part to meet and to deal with the challenges of the ongoing technological progress and development.

Keywords Cloud Computing · SaaS · PaaS · IaaS · Digitization

1 Entwicklung des Cloud Computing – Definition und Abgrenzung

1.1 Der Begriff „Cloud Computing“

Ein neuartiger und zugleich disruptiver IT-Ansatz beschäftigt seit mehreren Jahren die Köpfe von Führungskräften und IT-Abteilungen und verspricht die Lösung

für jegliche Probleme zu sein: Cloud Computing ist das Schlagwort zur Lösung sämtlicher Kapazitäts- und Leistungsengpässe. Nahezu kein anderes IT-Thema wird derzeit und wurde in den vergangenen Jahren so stark und teilweise auch kontrovers diskutiert wie das „Rechnen aus oder in der Wolke“.

„Cloud Computing“ geht dabei auf RAMNATH K. CHELLAPPA (Professor für Informationstechnologie der Goizueta Business School) zurück, der 1997 auf einer Konferenz in Dallas den Begriff prägte (Chellappa 1997). Seitdem ist der Begriff allgegenwärtig. Dennoch gibt es derzeit keine einheitliche oder standardisierte Definition, doch werden gemeinsame/ähnliche Merkmale und Ausprägungen dieses Ansatzes in der Literatur diskutiert.

In nahezu allen Definitionen werden die Merkmale einer *„flexiblen und skalierbaren Infrastruktur“* (Rittinghouse und Ransome 2010), der *„Illusion von unendlichen Computer-Ressourcen, die auf Abruf zur Verfügung stehen“* (Armbrust et al. 2009) und der *nutzenbasierten Abrechnung* für Dienste hervorgehoben. Letzteres impliziert, dass es sich um ein Verfahren handelt, das es ermöglicht, ein IT-Projekt ohne großen Kostenaufwand und langen Planungsvorlauf zu starten.

Das Wort „Cloud“ deutet nach (Baun et al. 2009) darauf hin, dass *alle Dienste von einem Provider im Internet oder Intranet* erbracht werden. Historisch gesehen ist das Wolkensymbol eine Metapher für das Internet, die ursprünglich im Rahmen von Netzwerkdiagrammdarstellungen verwendet wurde. Das Zeichen symbolisiert die Schnittstelle für den Transport von Daten, die an unterschiedlichen Orten lokalisiert sind (Rittinghouse und Ransome 2010).

Technisch steht Cloud Computing im Zusammenhang mit der Virtualisierung von Hardware, virtuellen Rechenzentren und den Service-Ebenen „Software-as-a-Service“ (SaaS), „Platform-as-a-Service“ (PaaS) und „Infrastructure-as-a-Service“ (IaaS), auf die in den weiteren Kapiteln noch detaillierter eingegangen wird.

Wirtschaftlich handelt es sich um eine spezielle Form des Outsourcings von IT-basierten Funktionen, bei der der Betrieb und die Wartung der Services durch spezialisierte Anbieter erfolgen.

1.2 Cloud Computing vs. Grid Computing

Das Konzept – wie auch der Name – des Grid Computing, der historisch älteren Technologie, stammt aus der Mitte der 1990er-Jahre und geht auf den Bereich der elektrischen Netze zurück (Weinhardt et al. 2009). Zunächst stand vor allem das Ziel der Einfachheit und Zuverlässigkeit der Stromnetze im Vordergrund (Foster und Kesselman 1999): Der Nutzer erhielt über standardisierte Adapter Zugriff auf das Stromnetz, die technische Realisierung blieb ihm jedoch verborgen.

Das Prinzip sollte sich demnach auch auf IT-Ressourcen wie Rechenleistung oder Speicherkapazität übertragen lassen. Der Bedarf groß angelegter wissenschaftlicher Anwendungen, beispielsweise des Large Hadron Collider (LHC) des CERN, an mehr Rechenleistung, als ein lokales Cluster-System bereitstellen konnte, und schneller Vernetzung über das Internet trieb schließlich die Idee einer gemeinsamen, koordinierten Nutzung von Ressourcen über virtuelle Organisationen (VO) hinweg voran und beschleunigte die Entwicklung des Grid Computing.

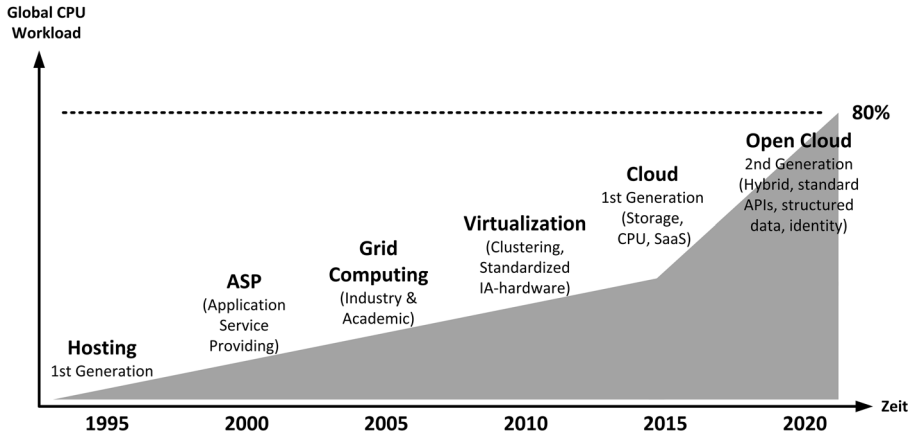


Abb. 1 Technische Evolution des Cloud Computing. (In Anlehnung an Experton Group 2010)

Foster (Foster und Kesselman 1999), einer der Pioniere des Grid Computing, definiert ein System mit den folgenden drei Eigenschaften als Grid:

- Dezentrale Ressourcenkontrolle, d. h. ein Grid besteht aus geografisch verteilten Ressourcen, die administrativ unabhängig von Organisationen betreut werden.
- Standardisierte, offene Protokolle und Schnittstellen, d. h. die Grid-Middleware ist nicht anwendungsspezifisch und kann zu verschiedenen Zwecken eingesetzt werden.
- Nichttriviale Eigenschaften des Dienstes, z. B. in Bezug auf Antwortzeitverhalten, Verfügbarkeit oder Durchsatz.

Hinsichtlich dieser drei Eigenschaften bestehen durchaus Ähnlichkeiten mit dem Cloud-Computing-Konzept, allerdings werden etwa Fragen des Utility Computing, das heißt wirtschaftliche Kriterien, die das Geschäftsmodell betreffen, oder der Zentralisierung von Rechenzentren nicht berücksichtigt. Gerade in wissenschaftlich genutzten Grid Umgebungen werden Geschäfts- und Preisgestaltungsmodelle nicht beachtet, denen jedoch beim Cloud Computing wesentliche Bedeutung zukommt (Weinhardt et al. 2009).

Die Ansätze des dezentralen Managements und der verteilten Ressourcen beim Grid Computing werden beim Cloud Computing nicht weiterverfolgt. Vielmehr bietet gerade die Zentralisierung von IT-Ressourcen (Rechenzentren, Management usw.) ökonomische Vorteile, die bei Cloud-Geschäftsmodellen eine zentrale Rolle spielen.

2 Das heutige Cloud Computing

Heutzutage bedingen immer stärker steigende Nutzerzahlen, die drastisch zunehmende Digitalisierung der Gesellschaft und damit verbunden wesentlich höhere Anforderungen an Informationssysteme einen stetig wachsenden Bedarf an Rechenleistungen und Speicherkapazitäten (vgl. Abb. 1).

Klassische Modelle der Datenverarbeitung, wie das bewährte Client/Server-Modell, können dabei diesen Anforderungen teilweise nicht mehr gerecht werden. Cloud Computing kann diese Anforderungen teilweise oder gar gänzlich erfüllen. An erster Stelle steht hier der Einsatz von modernen/innovativen Virtualisierungstechnologien, deren Funktion in der Nachbildung physikalischer Hardware besteht. Doch ist die Akzeptanz dieses Ansatzes wohl erst der Entwicklung eines neuen Umweltbewusstseins in der IT-Branche geschuldet (Lampe 2010). Nicht wenig dazu beigetragen haben auch serviceorientierte Architekturen (SOA)¹, die es Unternehmen ermöglichen, einzelne Dienste voneinander zu entkoppeln und flexibel kombinierbar zu machen. Dies erhöht nicht nur die Agilität und Flexibilität von Unternehmen, sondern gestattet auch die gezielte Auslagerung von Funktionen an externe Dienstleister (Sirtl 2010).

2.1 Organisationsdimensionen von Clouds

Aus Organisations- bzw. Unternehmenssicht kann derzeit zwischen Private, Public und Hybrid-Clouds und einigen Mischformen unterschieden werden. Zusätzlich kann eine Unterscheidung durch eine zweite Dimension, der Sourcing-Option, vorgenommen werden (BITKOM 2010). Der Zusammenhang wird in Abb. 2 veranschaulicht.

In einer *Public Cloud* teilen sich mehrere Anwender dieselbe Infrastruktur. Ein unabhängiger Service-Provider stellt gegen Bezahlung eine vorher definierte Leistung zur Verfügung. Oftmals erfolgt die Abrechnung auf Subskriptionsbasis oder auch nach tatsächlich genutzten Ressourcen (Cohen 2009). Da Leistung dynamisch an alle Teilnehmer verteilt wird, die physischen Ressourcen der Infrastruktur jedoch begrenzt sind, spielen Service-Level-Agreements (SLAs) eine entscheidende Rolle. Der Service-Provider garantiert daher in der Regel nicht für eine physische Kapazität oder die Kontrolle über die Ressourcensteuerung, sondern bietet lediglich eine Mindesterreichbarkeit. Der Betrieb von sicherheitskritischen Anwendungen in einer *Public Cloud* erweist sich daher im Unternehmenskontext als schwierig.

Die Nachteile der *Public Cloud* lassen sich mit einer *Private Cloud* teilweise kompensieren. *Private Clouds* sind so konzipiert, dass lediglich ein vorab definierter Nutzer vollständige Kontrolle über den Zugriff und die IT-Infrastruktur hat. Die Implementierung erfolgt dazu hinter der Unternehmensfirewall, der Zugang ist in der Regel über ein Intranet beziehungsweise ein Virtual Private Network (VPN) möglich. Oftmals werden *Private Cloud*-Umgebungen vom Unternehmen selbst betrieben, eine Auslagerung an einen externen Dienstleister ist jedoch ebenso möglich. Durch den Besitz von eigener IT-Infrastruktur wird die Abhängigkeit von Drittanbietern und Herstellern reduziert, was der Vermeidung eines Anbieter-Lock-Ins zugutekommt. In einigen Anwendungsfällen kann das Bereitstellen von Cloud Services in einer *Private Cloud* trotzdem nicht optimal sein, beispielsweise wenn es um das Abfangen von Lastspitzen geht. Zu nennen wäre hier zum Beispiel eine größere Marketing-Aktion, auf dessen Reaktion unerwartet viele Benutzeranfragen im On-

¹ Weitere Informationen zum Thema SOA im HDM Heft 253 (2007).

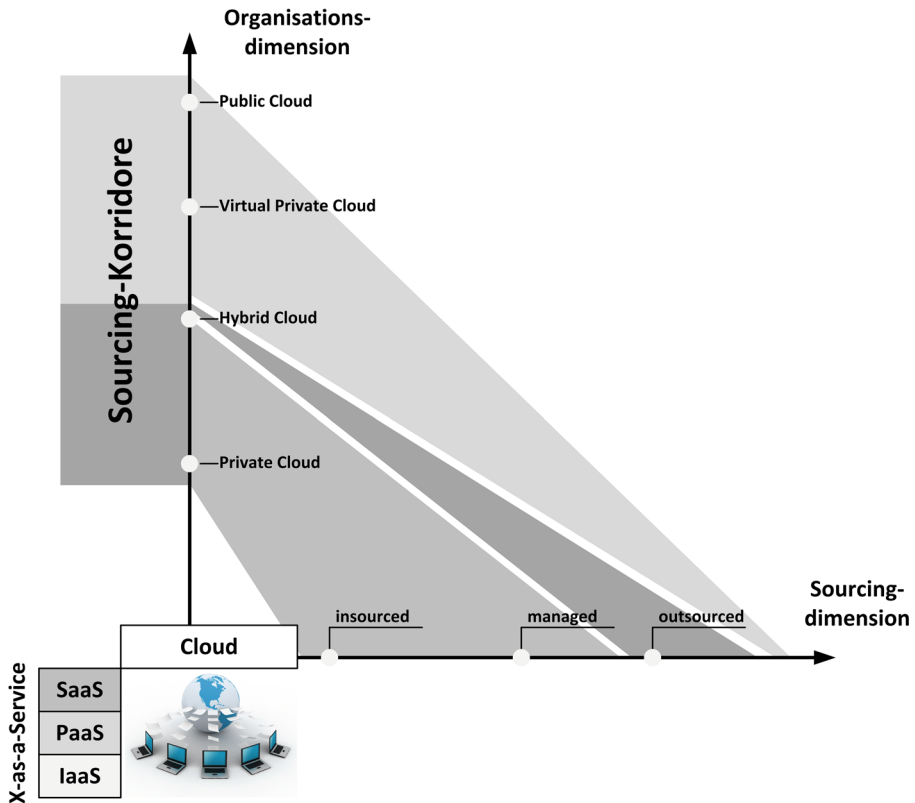


Abb. 2 Typisierung von Clouds in zwei Dimensionen. (In Anlehnung an BITKOM 2010)

line-Shop registriert werden. An dieser Stelle wird das Konzept der Hybrid Cloud tragfähig.

Bei der *Hybrid Cloud* handelt es sich um eine Mischform aus Public und Private Cloud. Bei diesem Konzept werden bestimmte IT-Services oder Funktionalitäten in eine Public Cloud ausgelagert, damit der Regelbetrieb in der Private Cloud uneingeschränkt weiter erfolgen kann (Baun et al. 2009). Unternehmen können bei diesem Modell die eigenen IT-Ressourcen nutzen und bei Spitzenbedarf Rechenleistung an einen Cloud-Service-Provider auslagern (Lissen et al. 2014). Art und Umfang der Kopplung zwischen Private Cloud und Public Cloud hängen von der Unternehmenspolitik ab, oftmals kommen nur unkritische Geschäftsapplikationen für die Nutzung in einer Hybrid Cloud infrage. Denn die größte Herausforderung dieses Cloud-Typs liegt neben für den Benutzer homogen erscheinenden Systems (Lissen et al. 2014) vor allem in der Security- und Service-Integration (BITKOM 2010).

Eine zweite Dimension zur Unterscheidung Clouds ist, wie zuvor genannt, die *Sourcing-Option*. Während eine Public Cloud vollständig durch einen externen Dienstleister betrieben wird (outsourced) und hierdurch die Einflussnahme des Unternehmens auf den Anbieter sehr beschränkt ist (z. B. keine individuellen Service-

Level-Agreements), kann bei einer Private Cloud kundenspezifisch definiert werden, welche Mindestanforderungen erfüllt werden müssen. Das Unternehmen gewinnt damit an Kontrolle und kann selbst entscheiden, ob die Private Cloud im Unternehmen verbleiben soll (insourced) oder der Betrieb durch einen externen Dienstleister nach dessen Vorgabe erfolgen soll (managed). Bei einer Hybrid Cloud hat das Unternehmen ebenfalls alle Sourcing-Optionen, wobei der Teil der Public Cloud stets an einen Dienstleister ausgelagert wird (BITKOM 2010).

2.2 X-as-a-Service

2.2.1 Einordnung der XaaS-Begriffe

Weitgehend durchgesetzt haben sich drei Abstraktionsebenen von Cloud Services, was auch als „Everything-as-a-Service“-Paradigma bezeichnet wird. Anhand der Klassifizierung in drei Service-Ebenen, die mit „Software-as-a-Service“ (SaaS), „Platform-as-a-Service“ (PaaS) und schließlich „Infrastructure-as-a-Service“ (IaaS) bezeichnet werden, kann die Großzahl der zugrundeliegenden Geschäftsmodelle üblicherweise eingeordnet werden. Ebenso kann eine Unterscheidung nach Funktionalität und Zielsetzung vorgenommen werden (Lenk et al. 2009). Die einzelnen Schichten (Cloud-Stacks) werden nach dem Abstraktionsgrad angeordnet, wie Abb. 3 verdeutlicht. Dadurch kann ein Dienst aus einer Schicht höheren Abstraktionsgrades auf einen Dienst, der in einer darunterliegenden Schicht realisiert wird, zurückgreifen. Demnach wird also ein bestehender Dienst zu einer neuen Dienstrealisierung verwendet. Je höher die Ebene, desto komplexer ist der Service, der auf

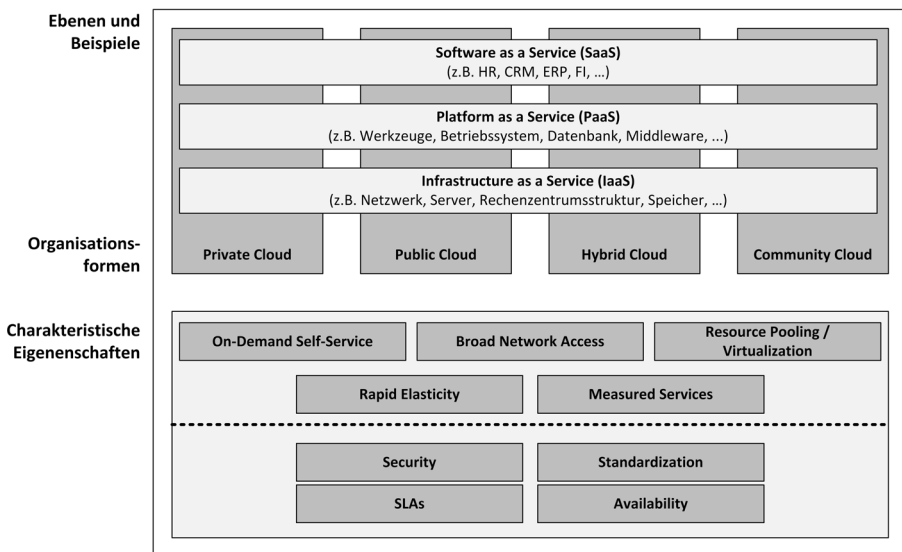


Abb. 3 Ausprägungen von Cloud Computing. (In Anlehnung an Pelzl et al. 2013)

der Ebene bereitgestellt wird. Auf der anderen Seite wird das Einsatzspektrum auf niedrigeren Schichten begrenzt (Sirtl 2010).

Verdeutlicht werden soll die Differenzierung der Service-Ebenen später anhand ausgewählter Geschäfts- und Erlösmodelle bekannter Vertreter der jeweiligen Schicht. An dieser Stelle wird die Unterscheidung unter technischen Gesichtspunkten vorgenommen.

2.2.2 *Infrastructure-as-a-Service*

Die unterste Abstraktionsschicht stellt physikalische IT-Basisinfrastruktur in Form von Diensten bereit. Sie wird daher auch mit Infrastructure-as-a-Service (kurz: IaaS) bezeichnet. Der Fokus liegt hierbei auf der dynamischen Zuweisung von IT-Ressourcen wie beispielsweise Speicher- und Prozessorkapazitäten, die durch Virtualisierung geteilt und zugewiesen werden und letztendlich auf Abruf über ein Netzwerk dem Nutzer zur Verfügung stehen (Vaquero et al. 2009). IaaS-Infrastrukturen werden immer dann verwendet, wenn komplexe Anwendungslandschaften vorliegen, die klassische Hardware nicht mehr bewältigen kann. Rechenleistung, Speicher und sonstige IT-Infrastrukturkomponenten werden vom Anwender nicht eigenständig erworben und gewartet, sondern von einem IT-Dienstleister gemietet. Somit entfällt der teure Erwerb von Rechenzentrumsinfrastruktur. Bekannte Vertreter in diesem Bereich sind beispielsweise Amazon mit den Amazon Web-Services (AWS)² oder T-Systems mit der DSI vCloud³.

Aus Nutzersicht kann von einer uneingeschränkten Skalierbarkeit der Kapazitäten ausgegangen werden, da weitere Ressourcen dynamisch bei Bedarf allokiert werden können. Dies geschieht mit sogenannten Ressource-Sets, die eine Art Hardware-Pool darstellen. Der Pool wird mit einer Programmierschnittstelle (API) angesprochen und ermöglicht zum Beispiel die flexible Skalierung der Infrastruktur oder den Aufbau von Netzwerktopologien.

Damit ein getrenntes, automatisiertes Management sowohl der physikalischen als auch der virtuellen Ressourcen möglich ist, unterscheidet man zwischen den beiden Service-Ebenen Physical Resource Set (PRS) und Virtual Resource Set (VRS). Die erste Ebene, das PRS, bildet demnach die reine Hardware, die von Hardware-Herstellern bereitgestellt wird. Die zweite Ebene, das VRS, verwendet Virtualisierungstechnologien, sogenannte Hypervisoren, um virtuelle Instanzen nutzen zu können. Die Unterteilung in zwei Ebenen findet auch deshalb statt, da IT-Ressourcen unterschiedlich virtualisiert werden (Vaquero et al. 2009).

2.2.3 *Platform-as-a-Service*

Die PaaS-Schicht steht in engem Zusammenhang mit SaaS, richtet sich allerdings an Entwickler statt an Endbenutzer. Entwicklern wird eine Plattform geboten, auf der sich eigene Software entwickeln und ausführen lässt. Es handelt sich technisch gesehen lediglich um eine weitere Variation von SaaS, allerdings mit mehr Freiheits-

² Weitere Informationen unter: <https://aws.amazon.com/de/>.

³ Weitere Informationen unter: <https://cloud.telekom.de/infrastruktur/dsi-vcloud/>.

graden. Bei PaaS wird keine vollständig ausführbare Software angeboten, wie dies bei SaaS der Fall ist, vielmehr stellt der Service-Provider sogenannte Programming Environments (PE) und Execution Environments (EE) zur Verfügung, mit deren Hilfe sich Software in bestimmten Programmiersprachen entwickeln lässt (Rittinghouse und Ransome 2010).

Platform-as-a-Service kann demnach als weiterer Evolutionsschritt von klassischen Hosting-Diensten verstanden werden, nachdem Provider durch die Bereitstellung von Skriptsprachen bereits eine Vielzahl von Softwareentwicklungsmöglichkeiten angeboten haben. Bei PaaS wird jeder Aspekt der Softwareentwicklung, angefangen vom Design über das Testen und die Implementierung bis hin zum Verteilen der Software, in der Cloud angeboten. Dies macht aber auch deutlich, dass eine hohe Abhängigkeit zum Platform-as-a-Service-Provider besteht. Oftmals kommen proprietäre Elemente (z. B. Bibliotheken oder Komponenten) zum Einsatz, die einen Wechsel des Anbieters erschweren. Bekannte Beispiele für PaaS-Implementierungen sind die von Google bereitgestellte Google App Engine⁴ oder die von Microsoft entwickelte Azure-Plattform⁵.

2.2.4 *Software-as-a-Service*

In der höchsten Abstraktionsschicht, der SaaS-Ebene, erfolgt die Bereitstellung von standardisierten Anwendungen, die Endnutzer direkt adressieren. Die Software wird dabei über das Internet von einem Dienstleister zur Verfügung gestellt, eine lokale Software-Installation entfällt. Anwender benötigen daher zur Nutzung von SaaS-Diensten in den meisten Fällen lediglich einen Internet-Zugang und einen Web-Browser. Neue Technologien, wie beispielsweise AJAX (Asynchronous JavaScript and XML), erlauben eine nahezu desktopartige Nutzung der SaaS-Software. Dadurch werden Kenntnisse bzw. Expertise und Kontrolle der Funktionalität der Technologieinfrastruktur überflüssig. Der SaaS-Dienstleister ist für den Betrieb und die Wartung der Software verantwortlich (Buxmann et al. 2008). Die Anpassungs- und Integrationsmöglichkeiten von SaaS-Software sind oftmals eingeschränkt, da die Anwendungen einer breiten Masse an Anwendern zur Verfügung gestellt werden. Die Anforderungen an die lokalen Rechnerkapazitäten wie Festplattenspeicher oder CPU-Geschwindigkeit werden reduziert, da die eigentliche Berechnung/Rechenleistung nicht mehr am Arbeitsplatz, sondern in den untergeordneten Ebenen des Cloud-Stacks stattfindet. Abgerechnet werden SaaS-Leistungen häufig nach dem „pay per use“ Prinzip, bei dem Anwender nur für tatsächlich genutzte Einheiten bezahlen. Eine separate Lizenzierung der Software entfällt (BITKOM 2010). Eine Realisierung des SaaS-Konzepts ist in nahezu allen Bereichen denkbar, in denen Standardsoftware zum Einsatz kommt. Im betrieblichen Umfeld findet es bisher jedoch vorwiegend Anwendung im Bereich der CRM- und ERP-Software. Maßgeblich dafür ist vor allem der hohe Grad an wiederkehrenden Funktionen und Prozessen, die sich in der genannten Software standardisieren lassen. Als bekanntes Beispiel für eine SaaS-Implementierung soll hier der amerikanische Anbieter für

⁴ Weiter Informationen unter: <https://cloud.google.com/appengine/>.

⁵ Weitere Informationen unter: <https://azure.microsoft.com/de-de/>.

CRM-Software Salesforce genannt werden, der neben seinem erfolgreichen Produkt Salesforce⁶ CRM auch diverse Vertriebs-, Marketing- und Innovationsmanagement-Lösungen anbietet.

2.3 Fallbeispiele zu X-as-a-Service

In der Praxis dient das XaaS-Paradigma einerseits dazu, Dienstleistungsangebote/ Geschäftsmodelle zu klassifizieren, andererseits als gedankliches Hilfsmittel, wenn es darum geht, die Komplexität von Cloud-Lösungen zu verstehen. Der Service-Gedanke der 3-Ebenen-Architektur steht schließlich in engem Zusammenhang mit modernen Virtualisierungskonzepten. Virtualisierung ist ein wesentliches, wenn nicht sogar das Schlüsselement zur Bereitstellung cloud-basierter Services. Die Technologie löst eine Vielzahl von Problemen klassischer IT-Landschaften, wie beispielsweise das des Managements von verteilten IT-Ressourcen durch ein zentrales Verwaltungssystem oder die Konsolidierung von Systemen, um die Kosten von Hardware und Verbrauchskosten (Strom, Kühlung) zu reduzieren. Obwohl Virtualisierung bereits vor über vierzig Jahren in Großrechnern bei IBM betrieben wurde, gewann sie erst mit der Einführung von Multicore-Prozessoren an Popularität (Baun et al. 2009). Hersteller von Virtualisierungstechnologie bezeichnen die neue Technik gar als „Allheilmittel“ im Interesse schlanker und kostengünstiger IT-Infrastrukturen (Härtdter 2010). Virtualisierung bietet neben technischen Vorteilen wie Effizienz, Verlässlichkeit und hoher Verfügbarkeit auch wirtschaftliche, da unter anderem die Auslastung von IT-Ressourcen gesteigert wird, Flexibilität und Qualität zunehmen und dadurch das für die Systeme verantwortliche Management entlastet wird. Die Möglichkeiten der Virtualisierung haben dazu geführt, dass sich etliche Geschäftsmodelle entwickelt haben. Neben den Großkonzernen wie Amazon, Google oder Microsoft, die zugleich Pioniere auf diesem Gebiet sind, haben sich auch kleine und mittelständische Anbieter mit differenzierten Angeboten am Markt positioniert. Die Bandbreite erstreckt sich von Unternehmen, die ihre bisherige Produktpalette um Cloud Services ergänzt haben, bis hin zu Unternehmen, die ausschließlich Cloud-Dienste anbieten und sich darauf spezialisiert haben. Die Klassifikation von Geschäftsmodellen soll an dieser Stelle anhand kleinerer Anbieter vorgenommen werden, die sich vor allem in der DACH-Region etabliert haben.

2.3.1 Fallbeispiel IaaS: Profitbricks⁷

Als eines der ersten deutschen Unternehmen im Bereich Infrastructure-as-a-Service, das den Trend aus den USA aufgegriffen hat, gilt das Unternehmen Profitbricks, das sich mit technologischen Innovationen und strengen Datenschutzrichtlinien einen Namen gemacht hat. Das Leistungsangebot von Profitbricks umfasst im Wesentlichen die Bereitstellung von Rechenleistung und Speicherkapazität in einem virtuellen Rechenzentrum. Der Anwender kann hierbei beliebig viele virtuelle Server erstellen, die mit 1–62 CPU-Kernen versehen werden können. Jede Instanz ist dabei

⁶ Weitere Informationen unter: <http://www.salesforce.com/de/>.

⁷ Weitere Informationen unter: <https://www.profitbricks.de/>.

flexibel skalierbar und kann im laufenden Betrieb angepasst werden. Jedem Server kann redundanter Block-Speicher zugeordnet werden, auf dem eine persistente Speicherung der Daten erfolgt. Die Server können über eine interne Netzwerk-Schnittstelle miteinander kommunizieren, sodass eine vollständige Isolierung vom Internet möglich ist. Um Ausfallsicherheit und Verfügbarkeit zu erhöhen, können die Ressourcen innerhalb des gleichen Rechenzentrums in verschiedenen Brandschutzzonen bereitgestellt werden. Zugleich kann die gesamte Infrastruktur auf mehrere Rechenzentren verteilt werden, darunter befinden sich zwei in Deutschland. Die Steuerung und Verwaltung des virtuellen Rechenzentrums erfolgt über eine grafische Oberfläche, dem sogenannten „Data Center Designer“ (DCD), der die Konfiguration von Komponenten (Server, Storage) mit dem Browser ermöglicht. Neben einer grafischen Verwaltung ist auch die Nutzung von Programmierschnittstellen (APIs) möglich, um Dienste in eigene Anwendungen zu integrieren. Abgerechnet werden nur die in Anspruch genommenen Leistungen (pay-per-use), z. B. die verwendete CPU-Leistung über einen bestimmten Zeitraum. Durch die Möglichkeit, IT-Ressourcen flexibel zu beziehen, entfallen auf Nutzerseite hohe Investitionen in IT-Infrastruktur. Dies macht es vor allem für Unternehmen interessant, die noch über kein eigenes Rechenzentrum verfügen oder bedarfsweise hohe Lastspitzen abdecken müssen. Das Produktportfolio von Profitbricks kommt zwar vom Umfang noch nicht an das Angebot vom Branchenriesen Amazon AWS heran, die Einhaltung deutscher Datenschutzstandards nach dem Bundesdatenschutzgesetz mit hiesigen Rechenzentren macht Profitbricks jedoch durchaus zu einem alternativen Kandidaten im Bereich IaaS.

2.3.2 Fallbeispiel PaaS: Jelastic⁸

Neben Google mit seiner Google App Engine bietet der Anbieter Jelastic eine PaaS-Plattform, auf der Entwickler hochverfügbare Webanwendungen entwickeln und betreiben können. Das zunächst nur für Java-Anwendungen entwickelte Angebot deckt inzwischen zahlreiche Entwicklungsumgebungen ab. Dazu zählen Python-, Ruby- oder PHP-Umgebungen. Das Deployment und die anschließende Verwaltung der Anwendungen erfolgt über eine Weboberfläche oder alternativ über Programmierschnittstellen (APIs). Skaliert werden die Anwendungen entweder durch den Nutzer selbst oder durch eine von Jelastic Cloud zur Verfügung gestellte Option, die mit „Auto-Scaling“ bezeichnet wird. Hierbei sorgt Jelastic Cloud im Hintergrund dafür, dass die benötigten Hardware-Ressourcen zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang ist auch von einer vertikalen Skalierung die Rede, da keine Anpassung im Programmcode der Anwendung notwendig ist.

Die Abrechnung der Cloud-Plattform erfolgt nach dem „Pay-per-Use“ Prinzip. Hierbei kann der Anwender zwischen zwei Abrechnungsvarianten wählen. Zur Auswahl stehen mehrere Ressourcen-Pakete, sogenannte Cloudlets, die in festen Einheiten gebucht werden können. Alternativ kann die Allokation der Ressourcen dynamisch erfolgen. Hierbei entscheidet dann das Jelastic-System automatisch, welche Ressourcen für den optimalen Betrieb der Anwendung notwendig sind. Jelastic stellt

⁸ <https://jelastic.com/>.

seine Entwicklungsplattform nicht zentral, sondern über externe Hosting-Dienstleister zur Verfügung. Dadurch haben Anwenderunternehmen Einfluss auf den Standort und können Service-Levels individuell mit dem Dienstleister vereinbaren.

2.3.3 Fallbeispiel SaaS: SAP S/4HANA⁹

Anhand der ERP-Lösung „S/4HANA“ von SAP, das als Nachfolger der verbreiteten SAP Business Suite gilt, lässt sich das Konzept von Software-as-a-Service erläutern. SAP bietet mit S/4HANA eine integrierte Unternehmens-Software, die alle relevanten betriebswirtschaftlichen Funktionen eines Unternehmens abdeckt, wahlweise als On-Premise-Modell, in der Cloud oder als Hybridlösung an. Die cloudbasierte Lösung, die als „SAP S/4HANA Cloud Edition“ bezeichnet wird und als Technologie, die In-Memory-Plattform SAP HANA¹⁰ nutzt, wird vollständig über einen Webbrowser bedient und bedarf keiner lokalen Installation. Die Bereitstellung und das Hosting des Systems erfolgen direkt durch SAP in eigenen Rechenzentren. Support und Wartung der Software erfolgt – wie bei SaaS üblich – durch den Hersteller selbst. Ebenso gehört die Bereitstellung von Updates, das Ausführen von Backups oder die Archivierung zu den Aufgaben des Dienstanbieters. Weiterführende Veränderungen am System, wie beispielsweise kundenspezifische Anpassungen (Customizing oder darüberhinausgehende Anpassungen) werden vom SAP-Consulting oder von speziellen SAP-Partnern bereitgestellt und umgesetzt. Darüber hinaus kann die HANA Cloud-Plattform durch eigene Zusatzfunktionen oder Erweiterungen von Drittanbietern ergänzt werden (IsReport 2015). Aktuell besteht die Cloud-Edition von SAP S/4HANA aus drei Produkten, die sich in Funktionsumfang und Integrationstiefe unterscheiden. Die „Cloud Enterprise Edition“ zielt auf Unternehmen ab, die ein gesamtes ERP-System in der Cloud nutzen möchten. Es deckt die wesentlichen Geschäftsbereiche eines Unternehmens wie Finanzwesen, Personalwesen, Beschaffung und Produktion ab. Die beiden anderen Editionen „Cloud Marketing“ und „Cloud Projekt Services“ bieten Spezial-Funktionalitäten, die sich für spezielle Einsatzszenarien eignen und Funktionalitäten über die üblichen Geschäftsbereiche hinaus bereitstellen. So richtet sich die „Cloud Project Services“ Edition vorrangig an Serviceunternehmen wie Beratungsunternehmen, die ihr Projektgeschäft in der Cloud verwalten möchten. Mit der Edition „Cloud Marketing“ ist hingegen die Steuerung von Marketingmaßnahmen möglich, beispielsweise um Kampagnen zur Verkaufsförderung zu verwalten. Abgerechnet wird die Nutzung der Cloud-Edition des ERP-Systems über ein Subskriptionsmodell, bei dem statt anfänglichen Hardwareinvestitionen nur ein monatlicher Mietpreis anfällt (Hufgard et al. 2015).

⁹ <http://go.sap.com/germany/product/enterprise-management/s4hana-erp.editions.html>.

¹⁰ <https://hana.sap.com/>.

3 Chancen und Herausforderung des Cloud Computing

3.1 Chancen der Cloud-Nutzung

Die Einsatzszenarien für Cloud Services im Unternehmen sind, unabhängig von Größe und Branche, vielfältig (BITKOM 2013). Die Vorteile des Cloud Computing liegen dabei scheinbar auf der Hand: IT-Ressourcen, wie zum Beispiel Rechen- oder Speicherkapazitäten, lassen sich flexibel skalieren, Anwendungen werden über das Internet bereitgestellt, die Datensicherheit wird durch verteilte Speichersysteme erhöht und die Effizienz von Rechenzentren steigt. Gleichzeitig wird die Komplexität von IT-Landschaften innerhalb der Unternehmen selbst durch die Einführung von Abstraktionsebenen reduziert, sodass der Administrations- und Wartungsaufwand durchaus drastisch sinkt. Anwender(unternehmen) von IT-Dienstleistungen werden von der kapitalintensiven Beschaffung von Hard- und Software entlastet und zahlen auf Basis eines variablen Kostenmodells nur für verbrauchsabhängige Leistungen (Repschläger et al. 2010; Sirtl 2010).

Unternehmen können sich diese Vorteile zu Nutze machen. Größere Unternehmen, die auf eine eigene IT-Infrastruktur zurückgreifen können, bieten Cloud Services eine Ergänzung zu bestehenden Kapazitäten. Temporäre Rechen- und Speicherkapazitäten (z. B. für Simulationen) können über einen begrenzten Zeitraum von einem Dienstleister in Anspruch genommen werden. Kleinere Unternehmen, allen voran Start-ups, die noch über keine eigene IT-Infrastruktur verfügen, profitieren von Cloud Services ganz besonders. Auf der einen Seite entfällt die kapitalintensive Beschaffung von Hard- und Software, auf der anderen Seite verschaffen die Dienste Unternehmen Zugang zu Technologien, die früher nur großen Unternehmen zur Verfügung standen. Die vielfältigen Möglichkeiten, die Cloud Services bieten, versprechen jungen Unternehmen einen kostengünstigen Start und bieten Optionen, im Erfolgsfall schnell wachsen zu können.

Die Vorteile der Cloud haben Unternehmen jeder Größe inzwischen erkannt, dies zeigt auch, die in den letzten Jahren stark gewachsene Verbreitung von Cloud. Laut Gartner nutzen 33 % der deutschen Unternehmen bereits PaaS-Dienste, 47 % verwenden IaaS-Angebote und gar 73 % beziehen standardisierte Software von Anbietern in Form von SaaS-Diensten (Münzl et al. 2015). Cloud Computing als IT-Outsourcing Ansatz erhöht die Flexibilität der Unternehmen und reduziert in vielen Fällen die Kosten. Die Technologie kann dazu beitragen, dass Unternehmen in Zukunft besser auf Marktveränderungen und geschäftliche Anforderungen reagieren können. Zusammenfassend werden die Chancen des Cloud Computing im Wesentlichen durch folgende Merkmale charakterisiert:

- geringere Investitionskosten in eigene IT-Infrastruktur/Verringerung der Kapitalbindung,
- flexiblere, agilere und bedarfsorientiertere Skalierung der IT-Infrastruktur,
- schnellere Realisierung von IT-Projekten, auch bei fehlendem Know-how,
- erleichterter Zugang für klein- und mittelständischen Unternehmen zu Technologien, die bisher nur Großunternehmen zur Verfügung standen.

3.2 Risiken der Cloud Nutzung

Dennoch birgt der Cloud-basierte IT-Ansatz auch Risiken. Zum einen entfällt bei der Migration von Anwendungen in die Cloud der direkte Einflussbereich von Unternehmen, zum anderen bietet die zentralisierte Speicherung von großen Datenmengen eine breitere Angriffsfläche. Die mangelnde Existenz von Standards erhöht den Integrations- und Migrationsaufwand und kann viele Vorteile des Cloud Computing zunichtemachen. Fehlendes Vertrauen in Datenschutz- und Datensicherheitskonzepte, unzureichende Interoperabilität zwischen Cloud-Diensten oder fehlende Transparenz sind hierbei weitere wesentliche Hemmnisse.

Unternehmen sehen sich daher auf dem Weg in die Cloud mit technischen, rechtlichen und nicht zuletzt organisatorischen Risiken konfrontiert, die es zu bewältigen bzw. abzuwägen gilt. Das Thema Cloud-Compliance spielt hierbei eine zentrale Rolle. Denn mit der Verlagerung des Verantwortungsbereichs an Dritte müssen Regeln zur Nutzung oder Bereitstellung von Cloud Services umso mehr eingehalten werden (BITKOM 2010). Doch diese müssen zuvor festgelegt und in der Unternehmensstrategie verankert werden. Ansonsten droht ein unkontrollierter Einsatz von Cloud Services und begünstigt die Entstehung einer Schatten-IT im Unternehmen (Münzl et al. 2015). Neben der Einhaltung der Compliance stehen Unternehmen vor der Herausforderung, Cloud Services zu kategorisieren und zu bewerten, um Dienstangebote besser voneinander abgrenzen zu können. Die Bewertung kann das Unternehmen je nach Anwendungsbereich nach unterschiedlichen Faktoren vornehmen (z. B. Ort der Datenspeicherung, Service-Level), um eine kontextabhängige Risikobetrachtung zu erreichen. Das Ergebnis dieser Auswertung dient als Entscheidungshilfe, um sich für oder gegen einen bestimmten Cloud Service zu entscheiden. So hat beispielsweise eine Befragung des Branchenverbandes Bitkom gezeigt, dass einer der wichtigsten Entscheidungsfaktoren für Cloud Computing das Thema Informationssicherheit ist (BITKOM 2010). Andere vermeintliche Vorteile der Cloud, wie z. B. die zentralisierte Datenspeicherung, bergen gleichzeitig auch Angriffsfläche vor unberechtigten Zugriff (Sirtl 2010). Um einen Großteil der Risiken zu minimieren, müssen Anwenderunternehmen daher besonders hohe Anforderungen an die Sicherheitsfunktionen von Cloud Services stellen und Maßnahmen zum Erhalt dieser Funktionen eng mit dem Cloud-Dienstleister abstimmen. Zusammengefasst lassen sich vor allem folgende Risiken von Cloud Computing identifizieren:

- Unzureichende Auswahlkriterien von Cloud Services können zum Verlust von Unternehmensgeheimnissen oder zum Missbrauch von Daten führen.
- Compliance-Verstöße und unkontrollierter Einsatz von Cloud Services kann die Bildung einer Schatten-IT im Unternehmen begünstigen.
- Fehlende Standards erhöhen den Integrationsaufwand und erschweren die Interoperabilität.
- Abhängigkeit von Cloud-Dienstleister erhöht die Gefahr eines Anbieter Lock-Ins.

Um diese Risiken zu minimieren, sollten Unternehmensführung, Fachbereiche und die IT eine gemeinsame Cloud-Strategie entwickeln. Mit der Festlegung und Einhaltung dieser organisatorischen Maßnahmen können darauf aufbauend passende

Cloud-Dienstleister evaluiert werden, die nach den Anforderungen entsprechende Zertifizierungen und Service-Levels nachweisen können.

4 Perspektiven und zukünftige Entwicklungen

Cloud Computing verändert in Unternehmen nicht nur die IT-Abteilungen im Speziellen, vielmehr verändert die Verbreitung und Durchdringung von Cloud Services die Art und Weise im Allgemeinen, wie Unternehmen auf aktuelle Entwicklungen reagieren können. Lange betrafen derartig starke Veränderungen vornehmlich Großunternehmen, vor allem da die Implementierung von „Trendthemen“ wie Industrie 4.0, Big Data oder Cloud Computing von kleinen und mittleren Unternehmen oft als zu komplex und teuer angesehen und teilweise auch als nicht relevant eingestuft wurde. Allerdings ist dies mittlerweile nicht mehr nur auf Großunternehmen beschränkt und betrifft auch nicht nur einzelne Funktionsbereiche wie die IT innerhalb der Unternehmen, sondern zieht sich vielmehr durch die gesamte Wertschöpfungskette der Unternehmen. Die Vorteile liegen auch für KMU in einem profitablen Wachstum durch neue Produkte, Dienstleistungen und Geschäftsmodelle. Dies realisierend, öffnen sich auch vermehrt KMU dem Cloud Computing und auch den damit verbundenen Digitalisierungsfeldern.

Zu nennen wäre beispielsweise die zunehmende *Konsumerisierung im IT-Bereich*, das auch die BYOD-Thematik („Bring Your Own Device“) mit einschließt. Die IT-Konsumerisierung führt dazu, dass Mitarbeiter immer häufiger den Wunsch äußern, dieselben (mobilen) Endgeräte sowohl für den privaten als auch für den beruflichen Zweck nutzen zu können. Ähnliches gilt für Software, Dienste und Anwendungen: Mitarbeiter kommen zunächst im privaten Umfeld mit innovativen Anwendungen (z. B. Dropbox) in Kontakt, die in der Regel durch hohe Bedienfreundlichkeit und neue Anwendungsmöglichkeiten hervorstechen. Entsprechend hoch wird die Erwartungshaltung der Mitarbeiter an die vom Unternehmen zur Verfügung gestellte IT- und Softwareinfrastruktur (von Entreß-Fürsteneck et al. 2016).

Auch bei der *Digitalisierungs- und IT-Strategie* von Unternehmen scheint kein Weg an Cloud Services vorbeizuführen. Längst ist die fortschreitende Digitalisierung der Gesellschaft auch im Alltag der Unternehmen angekommen. Dabei erfordert die Digitalisierung, dass Daten, Prozesse und auch die Kommunikation ohne örtliche und zeitliche Begrenzung verfügbar sind. Kunden erwarten von Unternehmen zusätzliche Funktionalitäten (z. B. Echtzeit-Sendungsverfolgung), die ohne digitale Prozessunterstützung unmöglich sind. Hier zeigt sich (auch durch den Trend der letzten Jahre zu mehr architektonischer Flexibilität) eine gewisse Abkehr von ganzheitlichen Ansätzen (Abdeckung aller Funktionen mit einem Anwendungssystem). Anwenderunternehmen unterstützen jetzt wieder vermehrt einzelne Bereiche durch separate, stark bereichs- oder aufgabenspezifische Systeme. Daraus resultieren heute wieder, trotz vieler Konsolidierungsanstrengungen in der Vergangenheit, recht heterogene und komplexe Softwarelandschaften bestehend aus verschiedenen Unternehmenssoftwarearten und -bausteinen (CRM, SRM, SCM, funktionsorientierte Komponenten) mit hohen Integrationsanforderungen untereinander und in technologisch sowie benutzerseitig anders ausgerichtete Softwarewelten hinein (Groupware,

Social Media). Und gerade diesbezüglich bieten die Entwicklungen und Fortschritte in der Cloud und auch die damit einhergehenden Möglichkeiten alternative Betriebsmodelle („on demand“, „as a service“), wiederum ein enorm hohes Flexibilisierungspotenzial (Bley et al. 2016; Leyh und Bley 2016).

Nicht zuletzt spielt Cloud Computing bei *Cyber-physischen Systemen* – auch als „Internet der Dinge“ (IoT) bezeichnet – eine zentrale Rolle, bei dem über Sensoren und Schnittstellen alles mit allem vernetzt wird (Boberach und Neuburger 2014). Dies wiederum dient als Basis für die Ausrichtung der Unternehmen im Themenkomplex *Industrie 4.0*. Weltweite digitale Vernetzung, Automatisierung einzelner oder gar aller Geschäftsprozesse und die Umstrukturierung bestehender Geschäftsmodelle sind nur einige wenige Auswirkungen, die dabei in diesem Zusammenhang zu nennen sind. E-Mail und das Internet als Hauptkommunikationsmittel nehmen stetig an Bedeutung zu, computergestützte Programme präzisieren die Fertigung und Managementsysteme unterstützen das operative Tagesgeschäft. Insgesamt verschimmt im Zuge der Industrie 4.0 die Abgrenzung wertschöpfender und unterstützender Prozesse immer weiter (Roland Berger Strategy Consultants GmbH und BDI 2015). Auch hier bietet die Cloud wieder einen effektiven und effizienten Ansatzpunkt, diese Herausforderungen in der Industrie 4.0 vor allem durch hohe Flexibilität zu bewältigen oder hier die Ausrichtung der Unternehmen hin zu Industrie 4.0 gar erst zu ermöglichen.

Literatur

- Armbrust M, Fox A, Griffith R et al (2009) Above the clouds: a Berkeley view of cloud computing. Technical Report, Bd. UCB/EECS-2009-28. Electrical Engineering and Computer Sciences University of California at Berkeley, Berkeley
- Baun C, Kunze M, Ludwig T (2009) Servervirtualisierung. Inform Spektrum 32:197–205. doi:[10.1007/s00287-008-0321-6](https://doi.org/10.1007/s00287-008-0321-6)
- BITKOM (2010) Cloud Computing – Was Entscheider wissen müssen. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V (BITKOM), Berlin
- BITKOM (2013) Wie Cloud Computing neue Geschäftsmodelle ermöglicht. Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e. V (BITKOM), Berlin
- Bley K, Leyh C, Schäffer T (2016) Digitization of German enterprises in the production sector – do they know how “digitized” they are? Proceedings of the 22nd Americas Conference on Information Systems, AMCIS, San Diego.
- Boberach M, Neuburger R (2014) Zukunftspfade Digitales Deutschland 2020. HMD Prax Wirtschaftsinform 51:762–772. doi:[10.1365/s40702-014-0087-z](https://doi.org/10.1365/s40702-014-0087-z)
- Buxmann P, Hess T, Lehmann S (2008) Software as a Service. Wirtschaftsinform 50:500–503. doi:[10.1007/s11576-008-0095-0](https://doi.org/10.1007/s11576-008-0095-0)
- Chellappa RK (1997) Intermediaries in cloud-computing: a new computing paradigm. Proceedings of INFORMS Annual Meeting, Dallas. Bd. 1997.
- Cohen AM (2009) Types of clouds. Futurist 43:18
- Entreß-Fürsteneck M von, Urbach N, Buck C, Eymann T (2016) IT-Konsumerisierung: Strategien und Maßnahmen in mittelständischen Unternehmen. HMD Prax Wirtschaftsinform 53:254–264. doi:[10.1365/s40702-016-0211-3](https://doi.org/10.1365/s40702-016-0211-3)
- Experton Group (2010) Cloud vendor benchmark 2010. Experton Group AG, Ismaning
- Foster I, Kesselman C (1999) The grid: blueprint for a new computing infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco
- Härder G (2010) Steuerung der IT im Klinikmanagement: Methoden und Verfahren. Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- Hufgard A, Rauff S, Zinow R (2015) SAP Cloud – Szenarien, Lösungen, Technologie. SAP Press, Bonn

- IsReport (2015) SAP und HP treiben Cloud-ERP gemeinsam voran. *Z Betriebswirtsch Informationssyst* 19:7
- Lampe F (2010) Green-IT, Virtualisierung und Thin Clients Mit neuen IT-Technologien Energieeffizienz erreichen, die Umwelt schonen und Kosten sparen. Vieweg+Teubner, Wiesbaden
- Lenk A, Klems M, Nimis J et al (2009) What's Inside the Cloud? An Architectural Map of the Cloud Landscape. Proceedings of the 2009 ICSE Workshop on Software Engineering Challenges of Cloud Computing. IEEE Computer Society, Washington, DC, S 23–31
- Leyh C, Bley K (2016) Digitalisierung: Chance oder Risiko für den deutschen Mittelstand? – Eine Studie ausgewählter Unternehmen. *HMD Prax Wirtschaftsinform* 53:29–41. doi:[10.1365/s40702-015-0197-2](https://doi.org/10.1365/s40702-015-0197-2)
- Lissen N, Brünger C, Damhorst S (2014) IT-Services in der Cloud und ISAE 3402 Ein praxisorientierter Leitfaden für eine erfolgreiche Auditierung. Springer Gabler, Berlin Heidelberg
- Münzl G, Pauly M, Reti M (2015) Cloud Computing als neue Herausforderung für Management und IT. Springer Vieweg, Berlin Heidelberg
- Pelzl N, Helferich A, Herzwurm G (2013) Wertschöpfungsnetzwerke deutscher Cloud-Anbieter. *HMD Prax Wirtschaftsinform* 50:42–52. doi:[10.1007/BF03340833](https://doi.org/10.1007/BF03340833)
- Repschläger J, Pannicke D, Zarnkow R (2010) Cloud Computing: Definitionen, Geschäftsmodelle und Entwicklungspotenziale. *HMD Prax Wirtschaftsinform* 47:6–15. doi:[10.1007/BF03340507](https://doi.org/10.1007/BF03340507)
- Rittinghouse JW, Ransome JF (2010) Cloud computing :implementation, management, and security. CRC Press, Boca Raton
- Roland Berger Strategy Consultants GmbH, BDI (2015) Die Digitale Transformation der Industrie. Roland Berger Strategy Consultants GmbH, Bundesverband der deutschen Industrie e. V. (BDI), Berlin München.
- Sirtl H (2010) Cloud Computing – stabiles Fundament für IT as a Service. *Z IT Serv Manage* 13:3–7
- Vaquero LM, Roderio-Merino L, Caceres J, Lindner M (2009) A break in the clouds: towards a cloud definition towards a cloud definition. *ACM SIGCOMM Comput Commun Rev* 39:50–55. doi:[10.1145/1496091.1496100](https://doi.org/10.1145/1496091.1496100)
- Weinhardt C, Anandasivam A, Blau B et al (2009) Cloud computing – a classification, business models, and research directions. *Bus Inf Syst Eng* 1:391–399. doi:[10.1007/s12599-009-0071-2](https://doi.org/10.1007/s12599-009-0071-2)