



# Trusted Clouds für die digitale Transformation in der Wirtschaft

Teil 5: Orientierungswissen für Dienstanbieter zur  
Standardauswahl für Cloud-Dienstleistungen

5

## Impressum

### **Herausgeber**

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi)  
Öffentlichkeitsarbeit  
11019 Berlin  
www.bmwi.de

### **Text und Redaktion**

Kompetenzzentrum Trusted Cloud  
Sascha Alpers, Dr. Henning Groenda und Dr. Klaus Krogmann  
FZI Forschungszentrum Informatik

### **Gestaltung**

A&B One Kommunikationsagentur, Berlin

### **Stand**

März 2015

Diese Druckschrift wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom Bundesministerium für Bildung und Forschung unentgeltlich abgegeben. Sie ist nicht zum gewerblichen Vertrieb bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerberinnen/Wahlwerbern oder Wahlhelferinnen/Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament. Missbräuchlich sind insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen und an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken oder Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Unabhängig davon, wann, auf welchem Weg und in welcher Anzahl diese Schrift der Empfängerin/dem Empfänger zugegangen ist, darf sie auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Bundesregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Zusammenfassung</b>	<b>4</b>
<b>2 Einleitung</b>	<b>6</b>
2.1 Wofür sollten Sie, wenn überhaupt, Cloud Computing einsetzen?	7
2.2 Standardisierung als Erfolgsfaktor des Cloud-Computing	12
2.3 Vertrauen als Erfolgsfaktor des Cloud-Computing	13
2.4 Datenbasis der Handreichung	14
<b>3 Empfohlene Auswahlkriterien und Strategie</b>	<b>15</b>
<b>4 Ausgewählte Cloud Standards</b>	<b>19</b>
4.1 TOSCA	19
4.2 OSGi	21
4.3 OCCI	23
4.4 OpenStack	24
<b>5 Fazit</b>	<b>26</b>
<b>6 Glossar</b>	<b>27</b>
<b>7 Quellen und Referenzen</b>	<b>29</b>

# 1 Zusammenfassung

Diese Handreichung hilft Ihnen, wenn Sie **Anbieter** von Cloud-Diensten sind oder werden wollen. Die vorliegende Handreichung beleuchtet Standards, die einen verlässlichen und langfristigen Betrieb ermöglichen. Die Handreichung zeigt die Einsichten und Risikoabwägungen, die sich aus der Arbeit von insgesamt vierzehn Trusted Cloud Projekten von 2011 bis 2015 ergeben haben.

Als Anbieter von Cloud-Diensten dürfen Sie auf Vorprodukte und Vordienstleistungen aus der Cloud zurückgreifen, um Ihre Lösungen effizienter zu entwickeln, kompatibler zu gestalten und die Vertrauenswürdigkeit für Anwender zu steigern. Wenn Sie reiner Nutzer von Cloud-Diensten sind, lesen Sie die Handreichung für Dienstanutzer<sup>1</sup>.

Insgesamt werden vier Standards nach heutigem Kenntnis- und Entwicklungsstand aus den Trusted Cloud Projekten exemplarisch detaillierter betrachtet und für die Einbeziehung in Ihre eigenen Standardauswahlverfahren empfohlen:

- TOSCA als Meta-Standard zur Orchestrierung von Betrieb und Deployment
- OSGi als Komponenten auf der Applikationsebene
- OCCI zur Spezifikation von Infrastrukturanforderungen einer Cloud-Anwendung
- OpenStack für die automatische Umsetzung der Infrastrukturanforderungen von Cloud-Anwendungen bei deren Inbetriebnahme bzw. Skalierung.

Diese vier Standards wurden für die Handreichung aufgrund des Grades der Verbreitung, der Reife der Standards und der Erfahrung in den Trusted Cloud Projekten ausgewählt. Diese Standards lassen sich teilweise mit einander kombinieren, da sie teilweise komplementäre Aspekte einer Cloud-Anwendung bedienen. Die Kombination ist nicht nur möglich sondern in einigen Fällen auch sinnvoll um die individuellen Anforderungen eines Projektes erfüllen zu können. OpenStack ist eine Referenzimplementierung von OCCI; TOSCA und OCCI/OpenStack adressieren teilweise die gleichen Aspekte. OSGi ist zusätzlich zu den drei anderen Standards – im Java-Umfeld – eine sinnvolle Ergänzung zur Modularisierung einer Anwendung.

Sie sollten bei der Wahl von Standards für Ihre zu schaffenden Cloud-Dienste unter anderem aufgrund der Etablierung des Standards in der Praxis, der Größe und Marktmacht des hinter dem Standard stehenden Konsortiums, der Aktivität der Entwicklung, der langfristigen Perspektive und des (Funktions-)Umfangs des Standards entscheiden. Kapitel 3 stellt diese und weitere empfohlene Auswahlkriterien detailliert vor.

<sup>1</sup> Bei Drucklegung stand noch nicht genau fest, wo das Dokument veröffentlicht wird. Sie finden es unter <http://url.fzi.de/tcbf>

Durch eine geschickte Wahl und Kombination von Standards lässt sich langfristige Investitionssicherheit erreichen. Diese Investitionssicherheit wird beispielsweise durch die Entkopplung einer Anwendungsimplementierung von proprietären Erweiterungen der Anwendungsumgebung erreicht. Diese Entkopplung ermöglicht perspektivische Wechsel auf konkurrierende Implementierungen und verringert die Bindung an einzelne Hersteller oder Anbieter. Ein anderer Vorteil für Dienstleistungsanbieter kann darin bestehen, dass ihre Lösung sich aufgrund implementierter Standards leichter in größere Systeme ihrer Kunden einbinden lässt. Dies setzt jedoch auch eine standardkonforme Schnittstelle im System des Kunden voraus.

Die konkrete Auswahl von Standards ist kontextabhängig. Die Erfahrungen aus den Trusted Cloud Projekten erlauben jedoch Empfehlungen abzugeben und mögliche Richtungen aufzuzeigen. Universalempfehlungen für oder gegen Standards sind nicht möglich. Daher werden typische Risiken angegeben und Alternativen zu möglichen Handlungsoptionen aufgezeigt. Zur weiteren Risikoverringerung ist eine genaue Evaluationsphase vor Implementierung der vorgeschlagenen Standards empfehlenswert. Dies kann auch eine genaue technische Evaluation einschließen.

Die **Kernempfehlungen** sind:

- Machen Sie sich frühzeitig klar auf welcher Schicht von Cloud (SaaS, PaaS, IaaS, ...) Sie Leistungen erbringen und einkaufen wollen.
- Prüfen Sie ob Ihre Dienstleistung in der Cloud neue Kundenpotentiale erschließen kann.
- Prüfen Sie ob die Cloud Ihnen neue Geschäftsmodelle ermöglicht.
- Prüfen Sie ob Sie Dienstleistungen aus der Cloud beziehen können, um eine höhere Dienstgütequalität (z. B. niedrigere Ausfallzeiten) oder eine Reduktion von Kosten zu realisieren.
- Prüfen und hinterfragen Sie Ihre Motivation für den Einsatz von Cloud Computing und vermeiden Sie Aktivismus zu Gunsten von Trends.
- Sorgen Sie für Rechtssicherheit, auch für Ihre Kunden.
- Achten Sie auf Lock-In-Effekte und Interoperabilität.
- Achten Sie beim Cloud-Einsatz auf die nachweisbare Einhaltung von Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität Ihrer Daten bzw. der Daten Ihrer Kunden.
- Der Einsatz von Standards zur Datensicherheit und Zertifizierungen helfen bei der transparenten Darstellung von Schutzniveaus – auch gegenüber Ihren Kunden.
- Planen Sie ausreichend Zeit zur Standardevaluation mit ein.
- Auswahlkriterien für Standards sind perspektivenspezifisch für verschiedene Interessensgruppen in einem Auswahlprozess. Nehmen Sie alle hier vorgeschlagenen Perspektiven ein oder beziehen Sie jeweils einen Interessensvertreter der Perspektive mit ein. Binden Sie alle Stakeholder in einen Standardauswahlprozess ein. Denken Sie auch an Vertreter künftiger Interessensgruppen wie bspw. Betriebsverantwortliche.
- Gehen Sie bei der Auswahl von Standards systematisch vor.

## 2 Einleitung

Die Handreichung zur Standardauswahl im Cloud Computing bietet Ihnen eine Hilfestellung für Ihre eigenen Auswahlverfahren und Entscheidungen. Orientierungswissen gibt als Wissen um Handlungsmaßstäbe Antworten auf die Frage „Was soll ich tun?“ (vgl. [1]). Um diese Frage zufriedenstellend beantworten zu können, müssen als Handlungsgrundlage auch Ziele und Werte<sup>2</sup> [3] formuliert werden. In dieser Handreichung wird Orientierungswissen für Ihre Auswahl- und Einsatzentscheidungen so präzise, knapp und verständlich wie möglich dargestellt.

Diese Handreichung greift auf das Wissen aus vierzehn öffentlich geförderten Trusted Cloud (<http://www.trusted-cloud.de>) Projekten zurück. Die zu Grunde liegenden Daten wurden in einer Kombination aus strukturierten Umfragen per Fragebögen und anschließenden individuellen Interviews 2014 und 2015 erhoben.

Die vorliegende Handreichung ist keine vollständige Sammlung von existierenden Cloud-Standards. Die vorliegende Handreichung gibt vielmehr einen Überblick zu Entscheidungskriterien und betrachtet exemplarisch ausgewählte Standards einschließlich der Trusted Cloud Projekterfahrungen. Die im Internet verfügbare frühere Studie [4] der Trusted Cloud Begleitforschung kann als umfassender Überblick zu Standards dienen. Diese Handreichung gibt darüber hinaus Hinweise für den Entscheidungsprozess und beschreibt die für Dienstanbieter relevanten Praxiserfahrungen.

Die Handreichung ist wie folgt aufgebaut. Die nachfolgenden Abschnitte dieses Kapitels führen Cloud Computing und den damit verbundenen möglichen Einsatz von Standards ein. Der letzte Abschnitt der Einleitung thematisiert den Erfahrungsschatz dieser Handreichung als eine entscheidende Informationsquelle. In Kapitel 3 werden die Kriterien beschrieben, welche Sie bei der Auswahl eines Standards beachten sollten. Kapitel 4 betrachtet die in den Trusted Cloud Projekten ausgewählten Cloud Standards einschließlich gesammelter Erfahrungen. Zudem wird soweit möglich die zukünftige Entwicklung des Standards skizziert. Kapitel 5 zieht ein Fazit über die Wahl von Standards. Eine Erklärung verwendeter Fachbegriffe finden Sie im Glossar.

<sup>2</sup> Ein möglicher Wert kann bspw. die unbedingte Achtung der Vertraulichkeit von Kundendaten sein. Vgl. [2]



### Handlungsempfehlung

Für den wirtschaftlichen und wirkungsvollen Einsatz von Cloud-Standards in produktiven Anwendungen sollten diese Fragestellungen betrachtet werden.



### Chancen

Der Standardeinsatz bietet Ihrem Projekt Chancen. Diese Vorteile werden nicht automatisch voll ausgeschöpft. Sie können jedoch so entscheiden, dass Sie hier Wirtschaftlichkeit oder Wirkungsgrad Ihrer Umsetzung signifikant verbessern.



### Risiken

In dieser Kategorie werden bedeutende Risiken hervorgehoben. Wenn Sie diese in Ihrer Projektplanung oder Umsetzung vernachlässigen, kann der Erfolg bzw. seine Nachhaltigkeit signifikant gefährdet werden.



### Details

Hier werden wertvolle Hintergrundinformationen zu gegebenen Empfehlungen hervorgehoben. Sie erleichtern die Umsetzung betreffen Ihre Entscheidungsfindung aber nicht direkt.

## 2.1 Wofür sollten Sie, wenn überhaupt, Cloud Computing einsetzen?

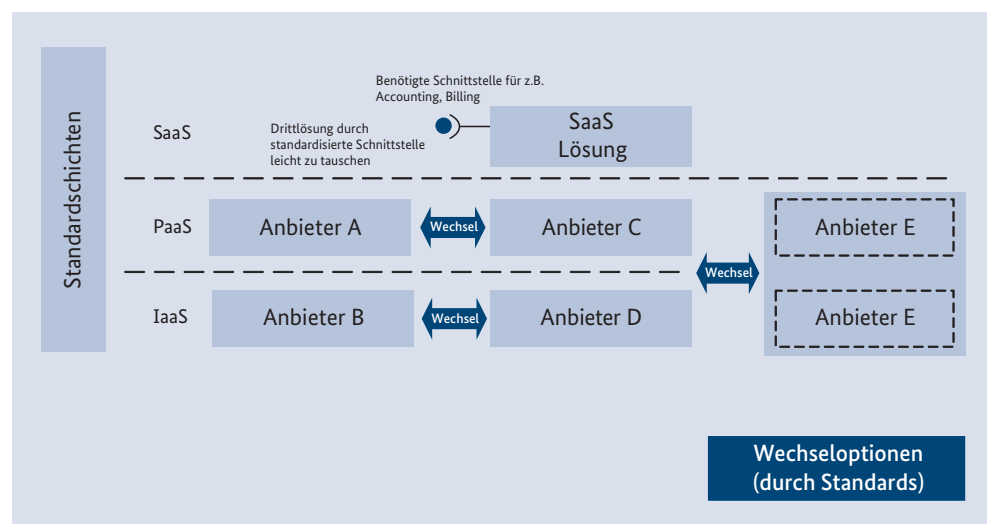


Abbildung 1: Standardverwendung ermöglicht Flexibilität hinsichtlich Anbieter(neu-)wahl



**Handlungsempfehlung: Machen Sie sich frühzeitig klar auf welcher Schicht von Cloud (SaaS, PaaS, IaaS, ...) Sie Leistungen erbringen und einkaufen wollen.**

Machen Sie sich zuerst mit den verschiedenen Typen von Cloud-Angeboten vertraut. Üblicherweise werden die folgenden Schichten voneinander abgegrenzt (vgl. [5], [6]):

- **Software-as-a-Service (SaaS):** Fertige, einsetzbare Applikationen. Die Nutzer beziehen und bezahlen ein Benutzungsrecht einer in der Cloud betriebenen und gewarteten Software.  
Relevant für Dienstanbieter als: Wiederverkäufer
- **Plattform-as-a-Service (PaaS):** Laufzeit- oder Entwicklungsumgebung. Die Nutzer teilen sich hier eine Installation (bspw. eines Webservers) mit verschiedenen anderen Nutzern. Betriebssystem und typische Funktionen sind für alle Nutzer gleich.  
Relevant für Dienstanbieter als: SaaS-Anbieter, Anbieter von Individual- und In-house-Lösungen
- **Infrastructure-as-a-Service (IaaS):** Virtuelle Maschinen mit Rechenleistung, Arbeitsspeicher und persistentem Speicher. Nutzer haben keine eigene ihnen exklusiv zur Verfügung stehende Hardware. Durch die Virtualisierung ist es möglich auf einer physischen Maschine verschiedene virtuelle Maschinen für verschiedene Nutzer zu betreiben. Zudem kann eine virtuelle Maschine Komponenten verschiedener physischer Maschinen (z.B. Speicherplatz<sup>3</sup>) mit einbeziehen.  
Relevant für Dienstanbieter als PaaS-Anbieter: Anbieter von Individual- und In-house-Lösungen, virtuelle Rechenzentrumsbetreiber, Infrastrukturweiterverkäufer

Es gibt weitere Begriffe für spezialisierte Dienste wie bspw. Backup-as-a-Service, Business-Process-as-a-Service und Monitoring-as-a-Service. In der Regel lassen diese sich jedoch in die obigen drei Kategorien einordnen und stellen lediglich den Mehrwert für Anwender durch die Kategorisierung in den Vordergrund.



**Detail: Nicht zu verwechseln sind diese Kategorien des Cloud Computing mit anderen Konzepten wie z. B. Crowdsourcing, auch wenn diese gelegentlich ähnlich bezeichnet werden (z. B. Human-as-a-Service), zu einer ähnlichen Zeit entstanden sind oder durch die Cloud erst im größeren Stil ermöglicht werden.**

Technische Spezialanforderungen oder eine hohe Skalierung können dazu führen, dass Sie selbst mehrere Schichten des Cloud Computing (SaaS, PaaS, ...) wirtschaftlicher abdecken können als durch Einzeleinkauf (bspw. Aufsetzend auf IaaS das Angebot einer eigenen SaaS). Die folgenden Tätigkeiten und Empfehlungen unterstützen Sie bei der Entscheidung.

<sup>3</sup> Eine virtuelle Festplatte eines Systems ist dann physisch auf mehrere Systeme verteilt.



**Chance: Prüfen Sie ob Ihre Dienstleistung in der Cloud neue Kundenpotentiale erschließen kann.**

Eventuell kann die Cloud das Wachstum Ihres Unternehmens fördern oder beschleunigen. Eine Möglichkeit ist mit bestehenden Angeboten weitere Kunden zu gewinnen. Diese bestehenden Angebote waren bereits vor der Cloud Teil der Produktpalette Ihres Unternehmens – jedoch können aufgrund eines Cloud-Angebotes nun neue Kunden Ihr Produkt nutzen. Konkret könnten Sie bspw. eine Unternehmenssoftware für Ihre Kunden hosten statt die Unternehmenssoftware nur für On-Premise-Installationen zu verkaufen. Ein Cloud Angebot kann folglich im Allgemeinen zu einer veränderten Attraktivität Ihres Produktes für bestimmte Kunden führen. Ursachen sind bspw. die Reduktion von Einstiegshürden und Betriebsaufwänden für mögliche Kunden. Niedrigere Einstiegshürden für die Dienstanutzer ergeben sich u. a. für rein webbasierte Lösungen gegenüber Desktoplösungen durch den Wegfall von Spezialinstallationen vor Ort. Dadurch wird auch der Wartungs- und Pflegeaufwand zentralisiert und kann aufgrund von Skaleneffekten günstiger erbracht werden. Eine weitere Chance neue Kunden zu erreichen besteht darin, Fachabteilungen anderer Unternehmen direkt für die Nutzung eines Produktes über die Cloud zu begeistern – für klassische Infrastrukturen hätte zuerst die IT-Abteilung für den Betrieb gewonnen werden müssen.

**Chance: Prüfen Sie ob die Cloud Ihnen neue Geschäftsmodelle ermöglicht.**

Die Cloud kann Ihnen ganz neue Geschäftsmodelle ermöglichen. Die Cloud kann dazu dienen neue Funktionen verwerten zu können. Beispielsweise können Sie Ihre Produktpalette um einen kostenpflichtigen Dienst mit Echtzeitdaten aus eigenen – für Ihre Kunden relevanten – Messungen oder Erhebungen erweitern. Ein Beispiel dazu ist die Beobachtung der aktuellen Verkehrssituation.

Die Cloud dient als Enabler für ein Produkt welches Sie noch gar nicht im Portfolio hatten nun aber ermöglicht wird. Die Cloud ermöglicht das flexible Angebot und die Berechnung von Zusatzdiensten. Modelle wie kostenfreie oder mit geringen Gebühren belegte Basisversionen, die um kostenpflichtige Premiumfunktionalität jederzeit durch den Kunden ergänzt werden können, werden begünstigt. Dies senkt die Einstiegshürden für potentielle Kunden und erweitert das Handlungsfeld für das Produktmanagement. Die für den Betrieb in der Cloud notwendigen Umstellungen können durch Ergänzungen teilweise ganz neue Kundengruppen ansprechen. Machen Sie sich frühzeitig Gedanken über das Potential Ihres Angebots außerhalb Ihres bisherigen Kundenkreises und Ihrer bisherigen Produktes.



**Chance: Prüfen Sie ob Sie Dienstleistungen aus der Cloud beziehen können, um eine höhere Dienstgütequalität (z. B. niedrigere Ausfallzeiten) oder eine Reduktion von Kosten zu realisieren.**

Die hohe Professionalisierung und Skaleneffekte im Betrieb machen den Bezug von Cloud-Dienstleistungen an Stelle eigener IT attraktiv für eigene Dienstleistungen. Sie profitieren auch davon weil Sie für Ihre eigenen Produkte teilweise die hohe Dienstgüte (z. B. geringe Ausfallzeiten niedrigerer Cloud Schichten wie IaaS oder PaaS) weitergeben können. Die eigenen Betriebskosten können trotz erhöhter Dienstgüte sinken, da für Lastschwankungen durch eine tiefere Schicht der Cloud aufgefangen werden und Sie nicht selbst dafür Hardware vorhalten müssen.



**Risiko: Der Fremdbezug von IT-Diensten ist mit strategischen Risiken verbunden.**

Der Fremdbezug von IT-Diensten ist unter anderem durch Margen der Anbieter nicht in jedem Fall günstiger als der Eigenbetrieb der Dienste. Zudem verzichtet das dienstnutzende Unternehmen darauf Kompetenz für bestimmte Dienste<sup>4</sup> selbst aufrechtzuerhalten und erhöht damit die Abhängigkeit von externen Dienstleistern. Verschärft wird dies durch die Möglichkeit späterer Preissteigerungen für bezogene IT-Dienste und dadurch veränderter Wirtschaftlichkeit des Betriebes.



**Handlungsempfehlung: Prüfen und hinterfragen Sie Ihre Motivation für den Einsatz von Cloud Computing und vermeiden Sie Aktivismus zu Gunsten von Trends.**

Der Reiz von Neuem bzw. einem aktuellen Trend mag – auch für ein KMU – ein guter Grund sein, sich mit dem Neuen oder dem aktuellen Trend auseinanderzusetzen. Der Einsatz im produktiven Betrieb sollte aber gut abgewogen werden.

Typische realisierbare Vorteile beim Einsatz von Cloud Computing sind eine Reduktion der Kosten und eine Steigerung der Dienstgütequalität (bspw. Verfügbarkeit, Skalierbarkeit [7]) gegenüber dem selbstständigen Betrieb der entsprechenden Anwendungen bzw. Dienste. Eine ausführlichere Betrachtung möglicher Motive findet sich in [8], ein Entscheidungsmodell in [9].

Es gibt jedoch Herausforderungen beim Einsatz von Cloud Computing wie bspw. die verfügbare Bandbreite für die notwendige Kommunikation. Diese führen auch bereits zu ersten veränderten Ansätzen wie z. B. eine Cloud mit zusätzlichen kleinen cleveren Caches. Diese Entwicklungen erhalten dann teilweise auch eigene Schlagworte (z. B. Fog-Computing) [10], [11].

4 z. B. Fachwissen für den Betrieb der Infrastruktur

**Details: Schätzen Sie den Gesamtumfang einer Migration oder Erweiterung auf Cloud Computing genau ab.**



Prüfen Sie dazu, anhand der zu unterstützenden (IT-)Prozesse, welche davon aufgrund der Cloud-Nutzung angepasst bzw. eingeführt werden müssen.

Nachdem Sie sich für den Einsatz von Cloud Computing für bestimmte Anwendungsfälle Ihres Unternehmens entschieden haben sollten Sie nicht nur die Auswirkungen auf die direkt betroffenen Geschäftsprozesse berücksichtigen. Es ist wichtig sich auch Gedanken zu unterstützenden Prozessen zu machen. Beispielsweise ist zu klären ob Wartungsaufgaben für eingekaufte Dienste (bspw. das Einspielen von Updates) zu erfüllen sind oder wie und durch wen das Ausrollen neuer eigener Versionen erfolgt oder wie Abrechnungen für die Nutzung der eigenen Dienste erfolgen können.

**Handlungsempfehlung: Sorgen Sie für Rechtssicherheit, auch für Ihre Kunden.**



Die Publikationen zu Rechtsfragen des Cloud Computing [12]–[19] der Begleitforschung bieten Empfehlungen zur Erreichung von Rechtssicherheit für den Betrieb von Cloud-Diensten entsprechend verschiedener Rechtsräume. Beispielsweise müssen Vereinbarungen zur Datenverarbeitung häufig ebenfalls angepasst oder gar geschaffen werden. Als IT-Dienstanbieter in der Cloud sollten Sie Ihren Kunden entsprechende Regelwerke bieten. Aufgrund dieser Complianceanforderungen ist Governance ein wichtiges weiteres Beispiel für anzupassende unterstützende Prozesse bzw. Richtlinien (vgl. [20]).

## 2.2 Standardisierung als Erfolgsfaktor des Cloud-Computing

Nachdem Sie sich entschieden haben wofür Sie Cloud Computing einsetzen, müssen Sie sich als nächstes Fragen, wie Sie Cloud Computing einsetzen möchten. Zwei wichtige Schlagworte in diesem Zusammenhang sind der Einsatz von Standards und das Schaffen bzw. Erhalten von Vertrauen der Anwender und Betroffenen.

**Für diese Handreichung verstehen wir unter einem Standard:**

1. etwas, was als mustergültig, modellhaft angesehen wird und wonach sich anderes richtet
2. eine im allgemeinen Qualitäts- und Leistungsniveau erreichte Höhe [...]

Ein Standard kann in einem formalisierten oder nichtformalisierten Regelwerk (in [...] Regeln oder einer Norm) beschrieben sein oder sich ungeplant ergeben.“ [21, S. 38]

Im Kontext von Cloud Computing sind beide Formen von Standards anzutreffen. Es gibt sowohl durch eine Standardisierungsorganisation getriebene Standards wie OCCI und mit der Zeit etablierte De-Facto-Standards.



**Handlungsempfehlung: Achten Sie auf Lock-In-Effekte und Interoperabilität.**

Lock-In-Effekt bezeichnet den Effekt der Bindung an einen Anbieter oder eine Technologie wenn eine Änderung der gegenwärtigen Anbieter- bzw. Technologieentscheidung aufgrund hoher Wechselkosten unwirtschaftlich ist. Die Wechselkosten können bspw. durch Schulung von Mitarbeitern aber auch durch den Transfer von Daten oder die Anpassung von Prozessen und verwendeten Schnittstellen entstehen.

Auch die „European Network and Information Security Agency“ stuft das Risiko von nachteiligen Auswirkungen des Lock-In-Effektes als hoch ein [22]. Nutzen Sie also möglichst keine proprietären Erweiterungen und achten Sie auf standardkonforme Infrastruktur und Datenexportformate. Wägen Sie dazu auch Mehraufwände für Standardkonformität mit langfristigen Abhängigkeiten (singulärer Lieferant) ab.



**Chance: Standards können helfen Lock-In-Effekte, also die Bindung an einen Anbieter aufgrund hoher Wechselkosten, zu reduzieren [23], [24].**

Konkret kann z. B. ein Standard für ein Datenaustauschformat bei der Überführung der Daten zwischen verschiedenen Diensten und Dienstleistern helfen. Allgemeiner sind die durch Standardeinsatz eröffneten Wechseloptionen am Beispiel einer SaaS-Lösung in Abbildung 1 dargestellt. Ein weiteres Argument für den Einsatz von Standards ist die mögliche Verbesserung der Interoperabilität verschiedener Anwendungen und Dienste untereinander sowie mit Ihrer eigenen Werkzeugkette. Dies kann eine schnelle Ergänzung und Erweiterung des eigenen Portfolios erlauben. Das kann auch die technische Infrastruktur (bspw. Applikationsserver und Virtualisierungs-Container) betreffen.

## 2.3 Vertrauen als Erfolgsfaktor des Cloud-Computing

**Handlungsempfehlung: Achten Sie beim Cloud-Einsatz auf die nachweisbare Einhaltung von Vertraulichkeit, Verfügbarkeit und Integrität Ihrer Daten und der Daten Ihrer Kunden.**



Entscheidungsträger und von der Datenverarbeitung Betroffene nehmen die Informationssicherheit in Cloud Lösungen oft als nicht hinreichend gewährleistet wahr und haben daher oft Einwände gegen deren Einsatz. Zu ihren Anforderungen diesbezüglich gehört, dass Vertraulichkeit und Integrität ihrer Daten jederzeit gewahrt und eine hohe Verfügbarkeit sichergestellt wird. Darüber hinaus ist gerade hinsichtlich national unterschiedlicher gesetzlicher Regelungen die Konformität zu den jeweils anzuwendenden Gesetzen und Vorgaben für Anbieter, Entscheidungsträger und Betroffene nicht zu vernachlässigen (vgl. [25], [26]). Diese Regelungen stammen nicht nur aus naheliegenden Rechtsthemen wie z. B. dem Datenschutz sondern auch aus für rechtliche Laien unerwarteten Themenfeldern wie z. B. dem Steuerrecht [27].

Potentielle Cloud-Nutzer möchten, dass die Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit ihrer Daten und Dienste weder durch Dritte noch durch den Cloud-Dienstleistungsanbieter oder durch seine Mitarbeiter korrumpiert werden kann. Es genügt hier nicht, nur mit dem Vertrauen, auf dem Geschäftsbeziehungen beruhen, und dem eigenen Image zu werben. Vielmehr erfordert es wirksame Maßnahmen gegenüber Außen- und Innentätern. Natürlich können solche Maßnahmen zu Einschränkungen hinsichtlich von Funktionalität oder Benutzbarkeit führen. Ist dies der Fall, sollten diese mit Verweis auf die dadurch erreichte höhere Sicherheit kommuniziert werden. Eventuell ist es sogar möglich den Anwender entscheiden zu lassen ob er die Einschränkungen hinnehmen möchte oder den Dienst mit einer niedrigeren Sicherheitsstufe aber höherem Komfort nutzen möchte. Ein Beispiel dafür ist ein Storage-as-a-Service Angebot. Hier können bspw. alle Dateien clientseitig verschlüsselt werden. Wenn der Schlüssel nicht über den Server sondern ausschließlich manuell durch den Nutzer zwischen verschiedenen Clients ausgetauscht wird, kann der Storage-Anbieter die Dateien nicht lesen. Ein Nutzer verliert insofern Komfort als dass er nicht mehr ohne Vorbereitung über einen Webbrowser von jedem beliebigen Rechner auf seine Dateien zugreifen kann.

**Handlungsempfehlung: Der Einsatz von Standards zur Datensicherheit und Zertifizierungen helfen bei der transparenten Darstellung von Schutzniveaus – auch gegenüber Ihren Kunden.**



Ihre Kunden sind bei Auswahlentscheidungen mit einer Vielzahl von Alternativen konfrontiert. Es ist Ihnen nicht möglich in einem frühen Stadium des Entscheidungsprozesses die Einhaltung von Datensicherheit für die einzelnen Angebote selbst zu kontrollieren. Das Kriterium ist aber – auch aufgrund der Gesetzeslage zur Auftragsdatenverarbeitung [28] – für viele Entscheidungsträger wichtig. Anerkannte Zertifikate und Standards können Ihnen helfen Ihr Angebot hier transparent und leicht einschätzbar zu präsentieren. Zukünftig werden sich hier Zertifikate verstärkt etablieren (siehe dazu Thesenpapier [18] aus der Trusted Cloud Begleitforschung). Eine Standardumsetzung zeigt auch ein aktuelles Beispiel zur Umsetzung des internationalen ISO/IEC-27018-Standards für Datenschutz durch Microsoft [29].

## 2.4 Datenbasis der Handreichung



**Handlungsempfehlung: Planen Sie ausreichend Zeit zur Standardevaluation mit ein.**

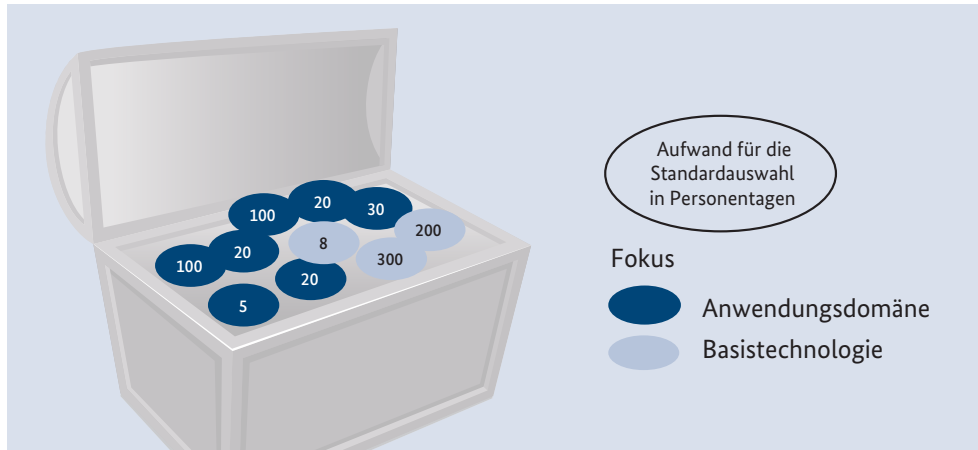


Abbildung 2: Aufwände der Trusted Cloud Förderprojekte hinsichtlich der Standardauswahl

Diese Handreichung basiert auf dem umfangreichen Erfahrungswissen aus vierzehn Trusted Cloud Projekten<sup>5</sup>. Insgesamt haben die Projekte ca. 40 Personenmonate Aufwand in die Auswahl einzusetzender Standards investiert. Abbildung 2 stellt diesen Erfahrungsschatz dar. Der Aufwand ist jeweils für die einzelnen Projekte angegeben. Projekte mit Fokus auf Basistechnologien sind hellblau, Projekt mit Fokus einer Anwendungsdomäne (hier Industrie und Handwerk, Gesundheitssektor und öffentlicher Sektor) dunkelblau dargestellt. Im Rahmen einer standardisierten Umfrage und verschiedener Interviews wurde der Erfahrungsschatz gehoben und in dieser Handreichung verfügbar gemacht.

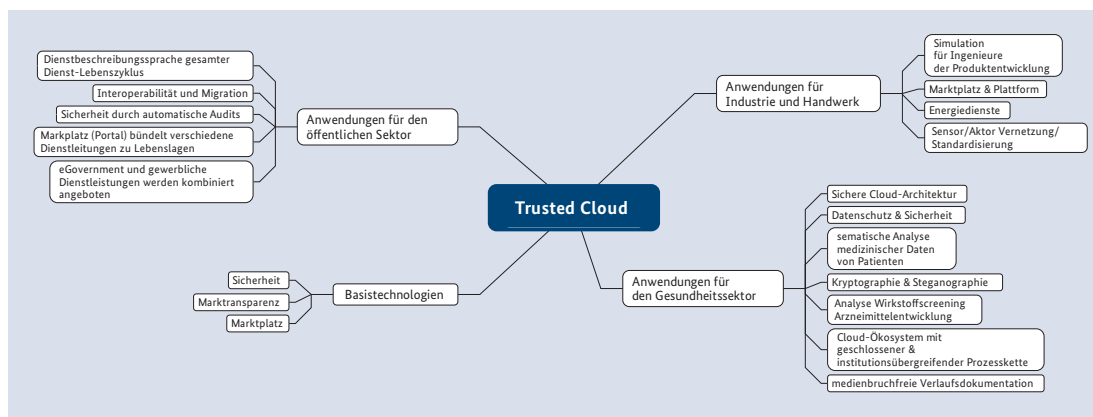


Abbildung 3: Übersicht über Trusted Cloud Projekte (Datenbasis)

Abbildung 3 verdeutlicht die Domänen in denen die Projekterfahrungen gesammelt und aus denen sie später für diese Handreichung extrahiert wurden. Es wird deutlich, dass verschiedenartige Domänen eingebunden waren. Die geschilderten Erkenntnisse dürften daher auch für andere Domänen wertvoll sein. Aus der großen Zahl von Standards im Cloud-Umfeld kristallisiert sich eine kleinere Menge besonders häufig genutzter Standards heraus, die projektübergreifend Verwendung finden. Diese werden in dieser Handreichung detailliert dargestellt.

<sup>5</sup> Siehe <http://www.trusted-cloud.de/218.php>

## 3 Empfohlene Auswahlkriterien und Strategie

Nachdem Sie die Fragen wofür Sie Cloud Computing wie einsetzen wollen, geklärt haben, müssen Sie sich in einem nächsten Schritt damit beschäftigen wie genau der Cloud-Einsatz aussehen soll. Die Auswahl des richtigen Standards ist dabei entscheidend. Diese Entscheidung beeinflusst die spätere Flexibilität Ihrer Lösung genauso wie die Wirtschaftlichkeit. Es ist immer eine multikriterielle Entscheidung. Die hier vorgestellten Entscheidungskriterien wurden der Literatur (z. B. [8], [9]) entnommen und aufgrund der Projekterfahrungen ergänzt. Für jeden Kontext ist eine individuelle Gewichtung der Kriterien wichtig. Im Folgenden werden jedoch Kriterien vorgestellt welche in jedem Kontext betrachtet werden sollten. Die konkrete Gewichtung muss dann im jeweiligen Kontext erarbeitet werden. Die beschriebenen Gewichtungsentscheidungen aus den vierzehn Trusted Cloud Projekten helfen Ihnen jedoch dabei.

Die hier vorgestellten Kriterien gliedern sich in solche für die **Entwicklung** und die für den **Betrieb und Wartung** einer Cloud-Lösung.

**Handlungsempfehlung: Auswahlkriterien für Standards sind perspektivenspezifisch für verschiedene Interessensgruppen in einem Auswahlprozess. Nehmen Sie alle hier vorgeschlagenen Perspektiven ein oder beziehen Sie jeweils einen Interessensvertreter der Perspektive mit ein.**



Berücksichtigt man nur die Bedürfnisse einer Interessensgruppe werden einseitige Entscheidungen getroffen und die Bedürfnisse anderer Interessensgruppen vernachlässigt. Die Bedürfnisse von Entwicklern (gute Entwicklungsunterstützung, ...) unterscheiden sich aber von den Bedürfnissen der späteren Betriebsverantwortlichen (Stabilität der Lösung, ...). Aber auch ganz andere Interessensgruppen können relevant sein. So kann z. B. das Marketing die oben beschriebenen Vorteile von leicht nachvollziehbarer Gewährleistung von Datensicherheit einbringen. Nehmen Sie daher alle Rollen ein und integrieren Sie die entsprechenden Kriterien in die Auswahlentscheidung.

**Risiko: Werden nicht alle Stakeholder bei der Wahl von Standards eingebunden, kann die Auswahl ungewollt einseitig sein.**



Die Auswahl von Standards erfolgt oft erst nachdem Software-Architekten und -Entwickler feststehen. Dadurch sind deren Präferenzen bei der Standardauswahl meist bekannt und werden von dieser Personengruppe aktiv im Entscheidungsprozess vertreten. Die Betriebsverantwortlichen stehen bei der Auswahlentscheidung noch nicht fest (noch findet kein Betrieb statt) und deren Interessen hinsichtlich einer Auswahlentscheidung können vergessen werden. Als Entscheidungskoordinator für den Einsatz von Standards müssen Sie prüfen, ob die Belange aller Stakeholder berücksichtigt wurden. Ggf. müssen Vertreter für zukünftige Interessensgruppen gefunden werden.

Hinsichtlich der **Entwicklung** sind, aufbauend auf den Erfahrungen der Trusted Cloud Projekte, insbesondere folgende Kriterien zu beachten:

- **Relevanz für die Aufgabenstellung:** Wie stark hilft der Standard bei der Lösung der adressierten Aufgabe?
- **Reputation der Standardisierungsorganisation und Reife des Standards:** Wie ist die Reputation der jeweiligen standardsetzenden Organisation? Wie ausgereift ist der jeweilige Standard? Beides können Indikatoren für die **Einsetzbarkeit** aber auch für die **Zukunftssicherheit** des Standards sein.
- **Werkzeugunterstützung für Entwickler:** Entwicklungswerkzeuge können die Entwickler bei der Verwendung des Standards unterstützen.
- **Integrationsfähigkeit** in und Kompatibilität zu vorhandenen Entwicklungsmethoden (Werkzeuge, Verfahren, etc.).
- **Musterimplementierungen:** Quelloffene Musterimplementierungen zu einem Standard unterstützen eigene Implementierungen und können als Referenzen herangezogen werden.
- **Dokumentation und Entwicklergemeinschaft:** Dokumentationen unterstützen Entwickler, wobei Aktualität, Reife und Verfügbarkeit wichtig sind. Zudem kann eine aktive zugängliche Community bei Fragen und Problemen hilfreich sein.
- **Komplexität:** Wie schwierig ist der Standard zu verstehen und wie schwer ist er zu implementieren bzw. einzusetzen?

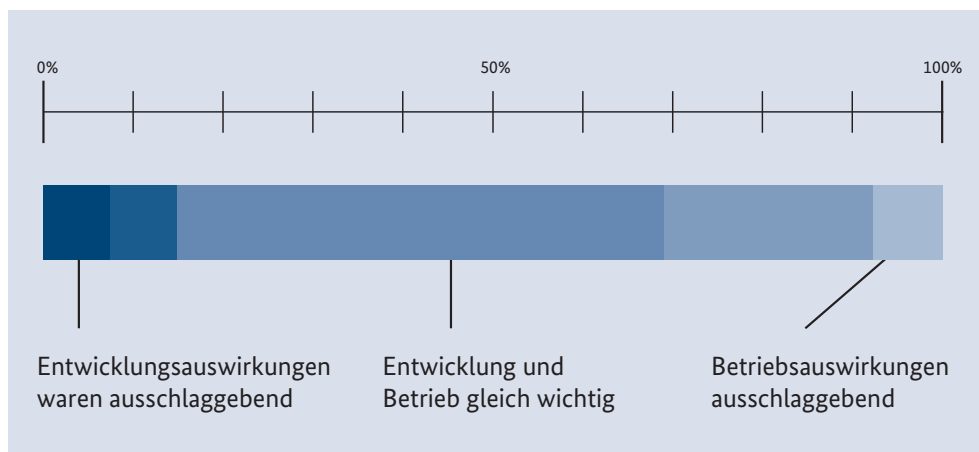


Abbildung 4: Ausschlaggebende Kriterien bei der Standardauswahl innerhalb der Trusted Cloud Projekte



Als Entscheidungskoodinator müssen Sie an die Auswirkungen auf den späteren Betrieb der Lösung denken. Oft stehen Betriebsverantwortliche zum Entscheidungszeitpunkt noch nicht fest oder werden nicht eingebunden. Seien Sie sich darüber im Klaren, dass die kumulierten Betriebsaufwände in der Regel höher sind als die initialen Entwicklungsaufwände. Die Bedeutung der Betriebskriterien wird durch die Befragung der Projektverantwortlichen der Trusted Cloud Projekte verdeutlicht (siehe Abbildung 4). Obwohl sieben Projekte Entwicklung und Betrieb als gleich wichtig eingestuft haben, haben vier Projekte den Betriebsaspekten eine höhere Bedeutung zugemessen (drei eine leicht höhere, für ein Projekt waren ausschließlich Betriebskriterien ausschlaggebend). Die Entwicklung hingegen haben nur zwei Projekte als bedeutender angesehen (davon ein Projekt, für das ausschließlich die Entwicklungskriterien ausschlaggebend waren). Die unterschiedliche Einschätzung ist auch durch die Diversität der Projekte begründet (siehe Abbildung 2 und Abbildung 3).

Basierend auf den Erfahrungen der Trusted Cloud Projekte sollten Sie mindestens die folgenden Kriterien heranziehen, um die Auswirkungen einer Auswahlentscheidung auf **Betrieb und Wartung** abschätzen zu können:

- **Portabilität:** Gewährleistung der Übertragbarkeit einer Cloud-Dienstleistung auf einen anderen Cloud-Anbieter. Beispielsweise sollte eine Cloud-Dienstleistung aus der SaaS-Schicht ohne großen Aufwand auf einer anderen Plattform (PaaS) betrieben werden können.
- **Standardverbreitung:** Eine hohe Nutzung eines Standards und damit verbunden ein existierendes stabiles Ökosystem fördern sowohl die langfristige Einsetzbarkeit einer Lösung (wichtig für Lösungsanbieter) als auch die Austauschbarkeit von Diensten (wichtig für die Basisinfrastruktur eines Diensteanbieters). Außerdem dient das Kriterium als Indikator für die aktuelle Relevanz des Standards.
- **Weiterentwicklung des Standards:** Wird der Standard weiterentwickelt und an sich ändernde Gegebenheiten angepasst? Indikatoren dafür können die bisherigen Weiterentwicklungen des Standards und Absichtserklärungen relevanter Entwicklungsbeteiligter bzw. Standardisierungsorganisationen sein.
- **Lizenzmodell und Lizenzkosten:** Unter welchen Lizenzbedingungen kann der Standard eingesetzt werden. Gibt es einmalige und/oder laufende Lizenzkosten? Wie elastisch sind die Lizenzkosten bei Größenveränderungen der Berechnungsgrundlage?
- **Interoperabilität** mit anderen (ggf. vorhandenen) Werkzeugen bspw. aufgrund von Schnittstellen und Protokollen
- **Kompatibilität** zu anderen relevanten Standards. Sind explizite Bezüge zu anderen Standards vorhanden und werden gepflegt?
- **Stabilität:** Ist es möglich den Standard stabil im Betrieb einzusetzen? Sind häufige aufwändige Anpassungen der eigenen Software an Änderungen des Standards notwendig? Ist zu erwarten, dass neue Standardversionen Abwärtskompatibel sind?

Die Kriterien betrachten auch verschiedene Aspekte der durch den Standard eröffneten Flexibilität. Eine Aufgabe eines Standards ist es auch den Lösungen bzw. Produkten zu ermöglichen verschiedene Szenarien realisieren zu können.



**Handlungsempfehlung: Gehen Sie bei der Auswahl von Standards systematisch vor.**

Nutzen Sie Entscheidungsmechanismen wie AHP (Analytic Hierarchy Process), um im vorhandenen multikriteriellen Problem- und Lösungsraum nicht den Überblick zu verlieren und um gewichtete Entscheidungen möglichst objektiv zu treffen.

Für die Auswahl eines Standards empfehlen wir Ihnen die folgenden Schritte zu berücksichtigen:

1. Problemstellung beschreiben: Wofür wird ein Standard gesucht?
2. Bedeutung der Kriterien für das Vorhaben klären und entsprechend Kriterien gewichten.
3. Auswahlalternativen ermitteln: Welche Standards lösen die Problemstellung?
4. Jede Auswahlalternative hinsichtlich jedes Kriteriums bewerten.
5. Entsprechend einem Verfahren zur multikriteriellen Auswahl die beste Alternative auswählen. Eine Sammlung möglicher Verfahren findet sich bspw. in [30].

## 4 Ausgewählte Cloud Standards

Die erhobenen Erfahrungen der Projekte wurden gezielt für die Standards TOSCA, OSGi, OCCI und OpenStack ausgewertet und jeweils getrennt dargestellt. Die jeweiligen Abschnitte zeigen die Beweggründe auf um für den eigenen Kontext eine geeignete Entscheidung mit angepassten Kriterien treffen zu können. Sie richten sich vor allem an technisch interessierte Leser und bieten Erfahrungswissen zur Bewertung und zur späteren möglichen Verwendung des jeweiligen Standards. Diese können in eigene Auswahlentscheidungen und Umsetzungen mit einbezogen werden und reduzieren daher den Aufwand.

### 4.1 TOSCA

#### 4.1.1 Allgemeine Beschreibung

TOSCA steht für „**Topology Orchestration Specification for Cloud Applications**“. Ziel von TOSCA ist die Gewährleistung der Portabilität von Cloud-Dienstleistungen. Das bedeutet, dass ermöglicht werden sollte, Cloud- Dienstleistungen bei einem beliebigen Cloud-Provider (sofern er TOSCA unterstützt) zu instanzieren bzw. frei von einem Cloud-Provider zu einem anderen zu übertragen. Der alte Java-Grundsatz „write once, run anywhere“ wird damit auch auf Cloud-Dienstleistungen übertragen. Dienstleistungs-Anbieter können mit Hilfe einer einfachen, durch TOSCA standardisierten Sprache die Topologie (Struktur) und Orchestrierung (das flexible Zusammenfügen mehrerer Dienste zu einem Ganzen) ihrer Cloud-Anwendung (IT-Dienstleistung des Typs SaaS) festlegen. Diese Beschreibung kann von allen, den TOSCA-Standard anwendenden, Hosting-Anbietern (IaaS und PaaS) verstanden und zur Konfiguration der Cloud-Anwendungsumgebung genutzt werden [31], [32]. Die TOSCA Beschreibung einer Cloud Anwendung umfasst dabei nicht die Beschreibung für Endanwender. Eine solche Beschreibung, z. B. für einen Cloud-Dienste-Katalog, kann mittels einer anderen Sprache erfolgen. Beispielsweise ist USDL (Unified Service Description Language) dafür geeignet, dort kann auch ein Link zur TOSCA Beschreibung integriert werden damit ein IaaS-Anbieter den Dienst automatisch in Betrieb nehmen kann. Mit Policy4TOSCA [33] können auch rechtliche Anforderungen annotiert werden.

**Anwendungsbeispiel:** Ein Customer-Relationship-Management (CRM) System kann mittels TOSCA beschrieben werden. Diese Beschreibung wird vom Hersteller des CRM Systems erstellt. Der Hersteller des CRM Systems kann dadurch einfach verschiedene Instanzen des Systems in Betrieb nehmen lassen. Dazu gibt er das maschinenlesbare TOSCA-Format an einen IaaS oder PaaS-Dienstleister weiter. Dieser konfiguriert, sofern er den Standard implementiert hat, automatisch die Systemumgebung und nimmt das System in Betrieb. Mit Policy4TOSCA kann bspw. Deutschland als Serverstandort gefordert werden. Für den Anwender des CRM-Systems ist dieser Prozess transparent, er sieht nur sein CRM-System und nimmt ggf. positiv wahr, dass seine Instanz schnell in Betrieb genommen wurde.

**Literaturempfehlungen:** Der Standard konnte bei den befragten Trusted Cloud Projekten bereits aufgrund der referenzierten Literatur [31], [32] eingesetzt werden. Zusätzliche Literaturempfehlungen werden daher nicht gegeben.

### 4.1.2 Projekterfahrungen

**Datenbasis:** Detaillierte Informationen zu dem TOSCA Standard konnte durch die standardisierte Umfrage bei vier Trusted Cloud Projekten erhoben werden.

**Einsatzgebiete:** Diese Projekte setzten den Standard zur „Automatisierung von Anwendungsmanagement; inklusive der Provisionierung“, zur „Standard-konformen Modellierung von Cloud-Diensten“, zur „Portabilität von Cloud-Diensten“, zur „Referenzimplementierung von Cloud Diensten“, zum „Standardkonformen Deployment“, zur „Paketierung und Deployment von Cloud-Services“, zur „Strukturierung der Beschreibung“ „von Cloud Services für fachlich und/oder technisch Verantwortliche im Cloud-Auswahlprozess“. Der Standard TOSCA bietet also neben dem ursprünglichen Zweck weitere Einsatzmöglichkeiten.

**Eignung:** TOSCA kann sowohl für Private-, Public- und Hybrid-Cloud Strukturen eingesetzt werden. Für Private und Public-Cloud sind auch konkrete Anwender des Standards bekannt. Allerdings wird der Standard aktuell verstärkt im Private-Cloud Bereich eingesetzt und konkurriert dadurch nur begrenzt mit kommerziellen proprietären De-Facto-Standards (bspw. durch Amazon Services).

**Ausblick:** TOSCA 1.0 wurde im November 2013 verabschiedet. Der Standard verwendet als maschinenlesbares Format XML. Es gibt aktuell Bestrebungen in der nächsten Version stattdessen YAML zu verwenden. Ein entsprechender Entwurf wurde bereits veröffentlicht [34]. Um einen Übergang zu erleichtern, soll es zur Konvertierung entsprechende Werkzeuge geben. Zudem wird zukünftig die Kompatibilität mit OpenStack Heat (<http://docs.openstack.org/developer/heat/>) weiter zunehmen. Gegenwärtig ist TOSCA zwar umfangreicher, jedoch kann bereits eine Teilfunktionalität nach einer automatisierbaren Übersetzung in Heat abgebildet werden.

**Auswahlalternativen:** Die Projekte haben im Rahmen ihrer Entscheidungsfindung folgende Alternativen verglichen:

- OpenStack (<http://www.openstack.org>)
- OpenStack Heat (<http://docs.openstack.org/developer/heat/>)
- Chef (<http://docs.chef.io>)
- Puppet (<http://puppetlabs.com>)
- Capistrano (<http://capistranorb.com>)
- Docker (<http://www.docker.com>)
- Open Shift Deployment (<http://www.openshift.com>)
- Heroku Deployment (<http://devcenter.heroku.com/categories/deployment>)
- OASIS Cloud Application Management for Platforms (CAMP) (<http://docs.oasis-open.org/camp/camp-spec/v1.1/cs01/camp-spec-v1.1-cs01.html>)
- ubuntu juju (<http://juju.ubuntu.com>)
- CloudFoundry (<http://www.cloudfoundry.org>)
- USDL(Unified Service Description Language) [35]
- GRC Stack der Cloud Security Alliance (<http://cloudsecurityalliance.org/research/grc-stack>)
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (<http://www.bsi.bund.de>): Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter
- EuroCloud StarAudit (<http://eurocloud-staraudit.eu>)
- Deployment mittels gepackter Java-Programme (jar-Dateien)
- Automatisierungsskripte

## 4.2 OSGi

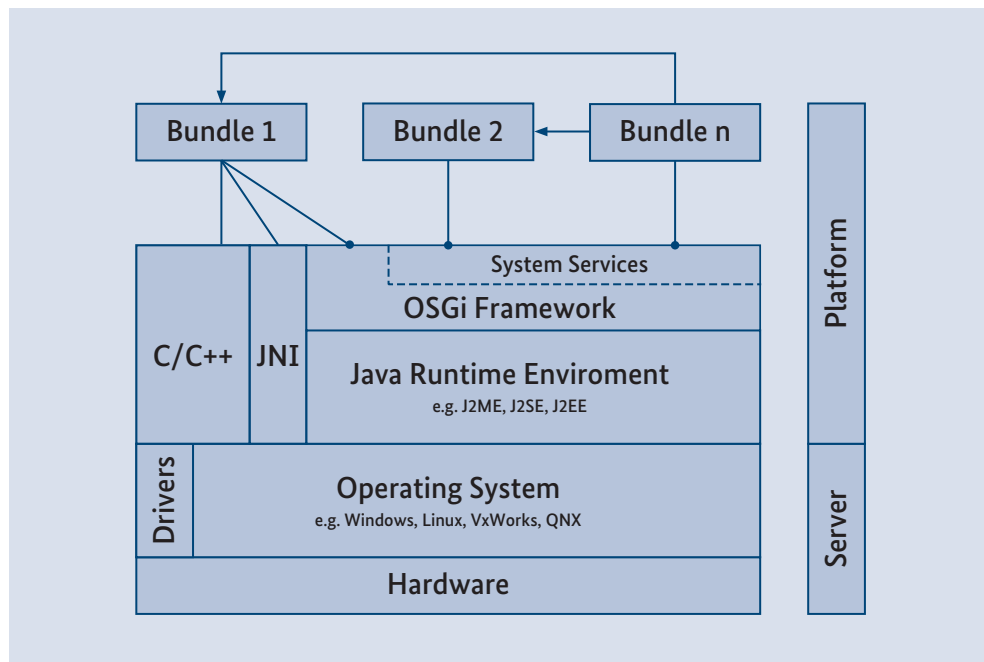


Abbildung 5: OSGi Übersicht

### 4.2.1 Allgemeine Beschreibung

Die OSGi Allianz<sup>6</sup> spezifiziert eine hardwareunabhängige und dynamische Softwareplattform. Mit ihrer Hilfe können Anwendungen und Dienste modularisiert und verwaltet werden. Eine wichtige Eigenschaft ist, dass einzelne Module unabhängig voneinander betrieben und gekoppelt werden können. Die Koppelung kann, wenn gefordert, neben der Verwendung der neusten Version eines Moduls (in OSGi als Bundle oder Service bezeichnet) auch ältere Versionen verwenden um die Kompatibilität sicherzustellen. OSGi basiert auf der Java-Technologie und setzt eine Java Virtual Maschine (JVM) voraus [36]. Der Einsatz ist dadurch bspw. sowohl auf eingebetteten Systemen (z. B. Kabelmodem) wie auf Applikationsservern möglich. Auf einer JVM aufbauend wird ein auszuwählendes OSGi Framework verwendet. Die Allianz selbst stellt jedoch für den produktiven Einsatz keine Framework-Implementierung<sup>7</sup> bereit. Bekannte quelloffene Implementierungen sind Eclipse Equinox [37] und Apache Felix [38]. Zudem gibt es Umgebungen die bereits einen Applikationsserver integriert haben. Dazu zählt bspw. Apache Karaf [39]. Mit Eclipse wird OSGi auch von einer integrierten Entwicklungsumgebung für Java unterstützt. Eines der bekanntesten Systeme zur Verwaltung von OSGi Modulen ist Maven und das Maven Bundle Plugin [40].

OSGi wurde nicht für die Cloud sondern eingebettete und ressourcenarme Systeme entwickelt. Der Einsatz des Standards ist aber für Cloud Anwendungen und deren Entwicklungen vorteilhaft. Eines der wichtigsten OSGi Prinzipien, die Modularisierung und Versionierung, unterstützt die Entwicklung und Wartung von Cloud Anwendungen. So können Anwendungen durch kleine Module zusammengestellt werden. Dies kann auch dynamisch erfolgen: Einzelne Module können zur Laufzeit durch neuere ergänzt oder ersetzt werden. Jede Instanz eines Modules wird in einem eigenen Container ausgeführt. Die Skalierbarkeit einer Anwendung wird dadurch gefördert. Zudem belasten nicht genutzte Module einen Anwendungsserver nicht. Sie benötigen weder Arbeitsspeicher noch Rechenzeit, sind aber weiterhin verfügbar und können bei Bedarf geladen werden.

<sup>6</sup> OSGi geht auf den früheren Namen „Open Services Gateway initiative“ zurück.

<sup>7</sup> Es gibt jedoch eine Referenzimplementierung.

Die Entscheidung OSGi einzusetzen fördert die Modularisierung und unterstützt so ein gutes Software-Design. Zudem werden Entwickler durch die Technologie gezwungen wesentliche Aspekte von modularisierter Softwareentwicklung wirklich einzuhalten.

**Anwendungsbeispiel:** Die Bereitstellung eines CRM-Systems als SaaS kann mittels OSGi-Modulen erfolgen. Einzelne Endanwender-Funktionen des Systems wie bspw. Stammdatenpflege, Mailings und statistische Auswertungen werden genauso wie Backendfunktionalitäten wie die Kundendatenbank als einzelne Module entwickelt. Der Dienstanbieter profitiert von einer flexibleren Kombination einzelner Module und einer effizienteren Nutzung der Ressourcen.

#### 4.2.2 Projekterfahrungen

**Datenbasis:** Detaillierte Informationen zu dem OSGi Standard konnte durch die standardisierte Umfrage bei sechs Trusted Cloud Projekten erhoben werden.

**Einsatzgebiete:** Die Projekte haben den Standard zu verschiedenen Zwecken eingesetzt. Genannt wurden die Schaffung eines „erweiterbare[n] Plugin System[s] [...] um verschiedenen Drittherstellern die Weiterentwicklung zu vereinfachen“, „Classloading“, „Basisfunktionalität“, „Realisierung einer modularen Softwarearchitektur“, leichte „Integration von Basismechanismen“, z. B. für sicheres Cloud Computing, Modularisierung, Unterstützung von verteilter Entwicklung und dynamischer Konfiguration und „Strukturierung der Beschreibung“ von Cloud Services. Der vielfältige Einsatz lässt sich auch dadurch erklären, dass OSGi eine Standardfamilie ist, also – beschränkt auf eine bestimmte Grundphilosophie – verschiedene Aspekte für IT-Applikationen standardisiert. Darüber hinaus gibt es sogar Einsatzbereiche für die innerhalb der OSGi Standardfamilie mehrere Standards geeignet sind und konkurrieren.

**Eignung:** OSGi kann sowohl für Private-, Public- und Hybrid-Cloud Strukturen eingesetzt werden. Für Private- und Public-Cloud sind bereits konkrete Anwender bekannt. Große Cloud PaaS-Dienstleister wie z. B. Amazon AWS unterstützen die Verwendung von OSGi Bundles mit ihren Diensten aktiv.

**Literatur:** OSGi in Action [41] ist als Einstiegsliteratur geeignet. Die beiden Schwesterwerke beleuchten den Einsatz von erweiterten APIs [42] und Infrastruktur-Fragestellungen [43]. Zusammen mit dem Standard [36] und weiteren Büchern zum Thema existiert damit eine gute Dokumentation. Zusätzlich ist viel Wissen im Web in Form von Tutorials verfügbar. Dennoch hat ein Trusted Cloud Projekt die Erfahrung gemacht, dass es „Druiden-Wissen“ gibt, das entweder mühsam durch eigenes Ausprobieren erarbeitet oder eingekauft (externe Entwickler und Berater) werden muss. Ein Beispiel dafür sind Performanceoptimierungen durch Konfigurationseinstellungen.

**Ausblick:** Der erste OSGi Standard wurde 2010 verabschiedet. Zunächst wurde der Standard in verschiedenen Domänen (wie z. B. Embedded Software) von zunehmend vielen Software-Neuentwicklungen adaptiert. Inzwischen ist er in einigen Bereichen wie bspw. modularisierter Software für eingebettete Systeme fast konkurrenzlos. Der Standard gilt somit als zukunftssicher. Die Standardisierungsorganisation möchte durch die Weiterentwicklung des Standards den Einsatz im Bereich von Unternehmenssoftware signifikant steigern. Zudem wird es in der Standardfamilie eine Beschreibung geben, wie OSGi in der Cloud eingesetzt werden kann (möglich in 2016, ggf. als Entwurf früher). Welche Aspekte darin aufgenommen werden ist noch nicht klar. Abhängig davon könnte OSGi verstärkt in Konkurrenz zu anderen existierenden Standards treten. Möglich ist dies beispielsweise für den Aspekt der Provisionierung.

- Unified Service Description Language (USDL) [35]
- GRC-Stack der Cloud Security Alliance (<https://cloudsecurityalliance.org/research/grc-stack/>)
- EuroCloud StarAudit (<https://eurocloud-staraudit.eu>)
- Einsatz von Micro-Services auf Basis des REST-Prinzips. Anwendung von Hypermedia (vgl. [44]). Dadurch lose Koppelung und dynamischer Austausch von Diensten.
- Ruby & C++, als Alternativen zum typischerweise Java-orientierten OSGi
- Proprietäre Eigenimplementierungen

## 4.3 OCCI

### 4.3.1 Allgemeine Beschreibung

Der Open Cloud Computing Interface (OCCI) Standard wurde von der Open Cloud Computing Initiative des Open Grid Forums (OGF) entwickelt. Er „definiert ein REST-basiertes Protokoll und eine Schnittstelle, die eine Reihe von Ressourcenverwaltungsaufgaben im Cloud Computing unterstützen soll“ [4, S. 86]. Ursprünglich für Infrastructure-as-a-Service (IaaS) bestimmt gibt es in der aktuellen Version 1.1 auch Unterstützung für Plattform-as-a-Service (PaaS) und Software-as-a-Service (SaaS) Betreibermodelle. Mit OCCI ist bspw. das Hinzufügen oder Entfernen von Cloud-Ressourcen und die Steuerung der Skalierungseigenschaften der verwendeten Ressourcen möglich. Der Standard ist modular aufgebaut und lässt sich somit auch erweitern. Die Version 1.1 besteht aus drei Dokumenten. Der OCCI Core [45] beinhaltet die Spezifikation der Kernelemente. Im Dokument OCCI Intrastruktur [46] werden Ressourcen des IaaS spezifiziert, gegliedert in die drei Hauptbereiche Rechenleistung, Netzwerk und Speicher. Der OCCI HTTP Rendering Standard [47] definiert das Interaktions- und Kommunikationsprotokoll, einschließlich Vorgaben für die Absicherung der Kommunikation. Eine Referenzimplementierung zu OCCI ist OpenStack.

**Anwendungsbeispiel:** Ein SaaS Anbieter verwendet PaaS oder IaaS Dienstleister um sein Angebot zu realisieren. Wenn er seinen PaaS/IaaS Bedarf mit Hilfe von OCCI steuert kann er flexibel auf Nachfrageschwankungen reagieren.

### 4.3.2 Projekterfahrungen

**Datenbasis:** Detaillierte Informationen zu dem OCCI Standard konnte durch die standardisierte Umfrage bei vier Trusted Cloud Projekten erhoben werden.

**Einsatzgebiete:** Die Projekte haben den Standard zu verschiedenen Zwecken eingesetzt. Genannt wurden die „Bereitstellung von Interfaces zur Steuerung von Ressourcenanfragen für VM [virtuelle Maschinen]“, „Interoperable Startup-Routinen“, „Beschreibung von Cloud Services für fachlich und/oder technisch Verantwortliche im Cloud Auswahlprozess“, „Strukturierung der Beschreibung [von Cloud Dienstleistungen]“, „Entwicklung flexibler, standardkonformen und portierbarer Komponenten“ und „Erzeugung von neuen Datenstrukturen während der Laufzeit“.

**Eignung:** OCCI strebt eine von proprietären Cloud Lösungen unabhängige und plattformübergreifende Standardisierung an.

Auswahlalternativen: Die Projekte haben im Rahmen ihrer Entscheidungsfindung folgende Alternativen verglichen:

- Unified Service Description Language (USDL) [35]
- GRC Stack der Cloud Security Alliance (<http://cloudsecurityalliance.org/research/grc-stack>)
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (<http://www.bsi.bund.de>): Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter
- EuroCloud StarAudit (<http://eurocloud-staraudit.eu>)
- Cloud Infrastructure Management Interface (CIMI) [48]
- Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) (<http://aws.amazon.com/de/ec2/>)
- OpenStack
- OpenNebula (<http://opennebula.org/>)
- jclouds (<http://jclouds.apache.org/>)

## 4.4 OpenStack

### 4.4.1 Allgemeine Beschreibung

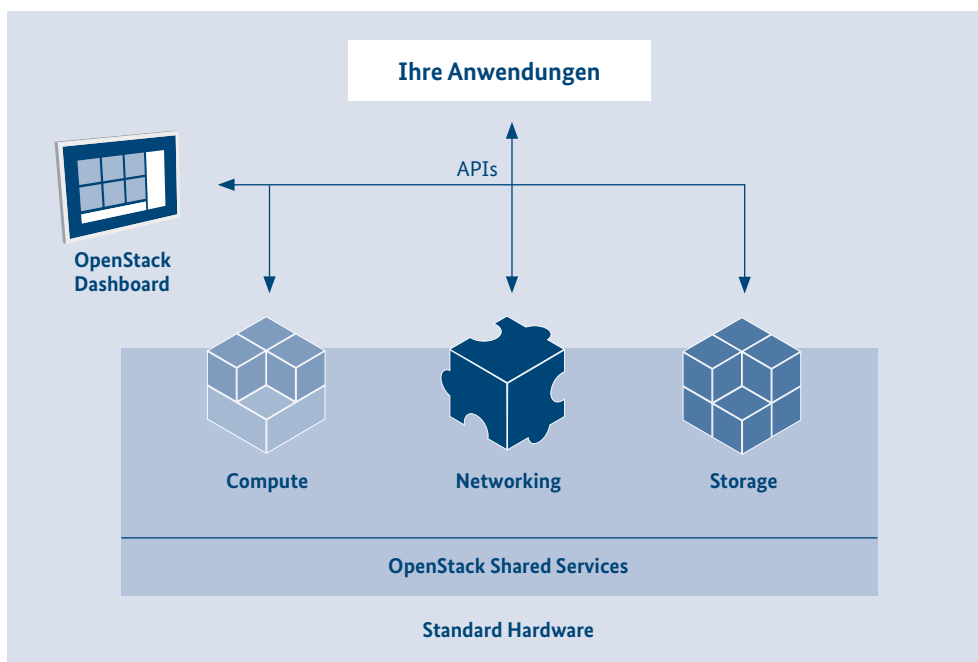


Abbildung 6: OpenStack Übersicht [49]

OpenStack versteht sich selbst als quelloffenes Betriebssystem für die Cloud. Als OCCI Referenzimplementierung bietet es Komponenten für die drei Hauptbereiche Rechenleistung, Netzwerk und Speicher. Entwickler können für OpenStack eigene Applikationen entwickeln, welche die OpenStack API nutzen um Ressourcen zu steuern bzw. deren Auslastung abzufragen (vgl. Abbildung 6). Zusätzlich bietet OpenStack den Applikationsentwicklern und Administratoren bestimmte gemeinsame Dienste an. Dazu gehört beispielsweise ein Identitätsprovider mit der Möglichkeit ein LDAP-Verzeichnis zu integrieren und verschiedene Authentifikationsverfahren (z. B. Benutzername und Passwort oder Token) zu verwenden. Ein anderes Beispiel ist ein Dienst zur Verwaltung von Abbildungen (Snapshots, Images) von Festplatten oder (virtuellen) Servern [50]. OpenStack ist auch eine Referenzimplementierung für OCCI [4, S. 88f.], [51].



**Anwendungsbeispiel:** Eine Werbekampagne löst eine kurzfristige Nachfrage nach weiteren Ressourcen für Ihre SaaS-Anwendung aus. Zur schnellen automatisierten Erzeugung neuer Serverinstanzen können dank OCCI automatisch Skalierungsmaßnahmen erfolgen und beispielsweise einzelne Dienstleistungen hinzugekauft werden.

#### 4.4.2 Projekterfahrungen

Datenbasis Detaillierte Informationen zu dem OpenStack Standard konnte durch die standardisierte Umfrage bei acht Trusted Cloud Projekten erhoben werden.

**Einsatzgebiete:** Die Projekte haben den Standard zu verschiedenen Zwecken eingesetzt. Genannt wurden die „Virtualisierung“, die „Bereitstellung von Infrastrukturmanagement Funktionalität“, „Nutzung als Basis für IaaS Funktionen“, „Öffnung eigener Anwendung für andere Anwendung [als Dienst]“, „Beschreibung von Cloud Services für fachlich und/oder technisch Verantwortliche im Cloud Auswahlprozess“, „Strukturierung der Beschreibung [von Cloud Dienstleistungen]“, „Interoperable IaaS Plattform“ und „Management und Interface zu Compute Cluster“.

**Eignung:** Die Eignung von OpenStack kann aktuell aufgrund der geringen Verbreitung für produktive Projekte außerhalb des Forschungsumfeldes nur schwer abgeschätzt werden. Für einen produktiven und gewinnbringenden Einsatz ist es wichtig, dass mehrere in Frage kommende Anbieter den Standard etablieren.

**Auswahlalternativen:** Die Projekte haben im Rahmen ihrer Entscheidungsfindung folgende Alternativen verglichen:

- Unified Service Description Language (USDL) [35]
- Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (<http://www.bsi.bund.de>): Sicherheitsempfehlungen für Cloud Computing Anbieter
- EuroCloud StarAudit (<http://eurocloud-staraudit.eu>)
- GRC Stack der Cloud Security Alliance (<http://cloudsecurityalliance.org/research/grc-stack>)
- Amazon WebServices (AWS) (<http://aws.amazon.com/de/>)
- Amazon Elastic Compute Cloud (EC2) (<http://aws.amazon.com/de/ec2/>)
- Eucalyptus: Open Source Private-Cloud Software (<https://www.eucalyptus.com/eucalyptus-cloud/iaas>)
- Apache CloudStack (<http://cloudstack.apache.org/>)
- OpenNebula (<http://opennebula.org/>)
- Nimbus (<http://www.nimbusproject.org/>)
- VMware (<http://www.vmware.com/de>) und VMware ESXi
- Oracle VirtualBox (<https://www.virtualbox.org/>)
- Proxmox (<http://www.proxmox.com/de>)

## 5 Fazit

Die geschickte Wahl von Standards kann entscheidend für den mittelfristigen wirtschaftlichen Erfolg sowie den technisch reibungslosen Betrieb und die Wartung aus Sicht eines Cloud-Anbieters sein. Die in diesem Dokument herausgehobenen Standards TOSCA, OSGi, OCCI und OpenStack stellen eine in den Trusted Cloud Projekten etablierte Zusammenstellung dar, die weite Teile der technischen Infrastruktur für einen Cloud-Betreiber abdecken.

Die aufgezeigten Handlungsempfehlungen und Hinweise erleichtern die kontextspezifisch notwendige Wahl von Standards. Typische Fallstricke können umgangen werden.

Das Kompendium Trusted Cloud<sup>8</sup> sowie das Buch Trusted Cloud Computing [52] liefern komplementäre Hilfestellungen zum Einsatz von Cloud Lösungen zu Bereichen wie IT-Sicherheit, Rechtsfragen und Technologie.

<sup>8</sup> Bei Drucklegung stand noch nicht genau fest, wo das Dokument veröffentlicht wird. Sie finden es unter <http://url.fzi.de/tcbf>

## 6 Glossar

Cloud	„Cloud Computing bezeichnet das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und [ggf.] Abrechnen von IT-Dienstleistungen über ein Netz. Angebot und Nutzung dieser Dienstleistungen erfolgen dabei ausschließlich über definierte technische Schnittstellen und Protokolle. Die Spannweite der im Rahmen von Cloud Computing angebotenen Dienstleistungen umfasst das komplette Spektrum der Informationstechnik und beinhaltet unter anderem Infrastruktur (z. B. Rechenleistung, Speicherplatz), Plattformen und Software.“ [53]
Private-Cloud	„Eine Private Cloud wird dediziert für eine bestimmte Firma betrieben, ist also fest einer Firma zugeordnet und nur Mitarbeitern dieser Firma zugänglich. Private Clouds entstehen meist durch Einsatz von Cloud-Technologien in existierenden unternehmenseigenen Rechenzentren oder durch die dedizierte Bereitstellung der Cloud durch einen Dienstleister.“ [54]
Public-Cloud	„Public Clouds sind jedem zugänglich, d.h. jede Firma oder Privatperson kann (virtualisierte) IT-Ressourcen in der Public Cloud reservieren und nutzen. Da die Nutzergruppe nicht beschränkt ist, können Skaleneffekte besonders gut ausgenutzt werden, wodurch Public-Cloud-Dienste im Vergleich zu den anderen Cloud-Typen oft besonders günstig sind. Bei vielen Anbietern kann ein Bereich innerhalb einer Public Cloud gegenüber anderen Nutzern abgegrenzt werden. Dieser Bereich wird dann als Virtual Private Cloud bezeichnet. Im Gegensatz zur einer Private Cloud ist diese Trennung nicht physikalisch, sondern wird durch Zugriffsbeschränkungen erreicht.“ [54]
Hybrid-Cloud	„Eine Hybrid Cloud bildet einen Zusammenschluss unterschiedlicher Cloud-Typen und anderer Rechenzentren, um unterschiedliche Anwendungsanforderungen abzudecken. Die verschiedenen Cloud-Typen unterscheiden sich bedingt durch die unterschiedlichen Nutzergruppen und die Art der Nutzertrennung maßgeblich in ihren Sicherheitseigenschaften und dem Grad der zugesicherten Privatsphäre. Diese Faktoren bestimmen meist, welche Cloud-Typen für konkrete Anwendungen einer Firma als Betriebsumgebung genutzt werden können. Es kann daher notwendig sein Anwendungslandschaften über mehrere Cloud-Typen zu verteilen, sodass kritische Anwendungen oder Anwendungskomponenten z. B. in einer Private Cloud betrieben werden, während weniger kritische Anwendungskomponenten auf IT-Ressourcen aus Public Clouds zurückgreifen. Legacy-Anwendungen, die in traditionellen Rechenzentren betrieben werden, müssen gleichermaßen integriert werden.“ [54]
Software-as-a-Service (SaaS)	Fertige, einsetzbare Applikationen. Die Nutzer beziehen und bezahlen ein Benutzungsrecht einer in der Cloud betriebenen und gewarteten Software.
Plattform-as-a-Service (PaaS)	Laufzeit- oder Entwicklungsumgebung. Die Nutzer teilen sich hier eine Installation (bspw. eines Webservers) mit verschiedenen anderen Nutzern. Aus Sicht der Nutzer stellt eine Umgebung grundlegende Funktionen und Schnittstellen bereit, wie ein Betriebssystem dessen Funktionen für die Realisierung eigener Anwendungen verwendet werden können.

Infrastructure-as-a-Service (IaaS)	Virtuelle Maschinen mit Rechenleistung, Arbeitsspeicher und persistentem Speicher. Nutzer haben keine eigene ihnen exklusiv zur Verfügung stehende Hardware. Durch die Virtualisierung ist es möglich auf einer physischen Maschine verschiedene virtuelle Maschinen für verschiedene Nutzer zu betreiben. Zudem kann eine virtuelle Maschine Komponenten verschiedener physischer Maschinen (z. B. ausgelagerten Speicher) mit einbeziehen.
Hosting	Betrieb eines IT-Dienstes und bereitstellen der dazu notwendigen Hardware und ggf. Plattform.
On-Premise	Eine Software wird von einem Kunden erworben und für die eigene Nutzung (und nur für diese) selbst betrieben. Es wird also auf eigener Hardware installiert. Die Lizenzkosten sind meist auch von der Anzahl der Installationen und der Hardware (z. B. Anzahl Prozessorkerne) abhängig.
Geschäftsmodell	Ein Geschäftsmodell beschreibt die Gesamtheit der Aktivitäten, die ein Unternehmen durchführt, wie und wann sie diese durchführt und dabei ihre Ressourcen entsprechend den Gegebenheiten der Branche einsetzt, um einen höheren Kundennutzen zu schaffen, sowie sich dabei selbst in die Lage zu versetzen am geschaffenen Mehrwert zu partizipieren. Vgl. [55]
Proprietär	"Das Adjektiv proprietär geht auf den lateinischen Begriff 'proprietas' zurück, der als Eigentum, Eigenheit übersetzt wird. [...] [Der Begriff findet] in der Fachsprache der Informatik Verwendung als Bezeichnung für herstellereigene Produkte oder Verfahren." [56]
Lock-In-Effekt	Effekt der Bindung an einen Anbieter oder eine Technologie wenn eine Änderung der gegenwärtigen Anbieter- bzw. Technologieentscheidung aufgrund hoher Wechselkosten unwirtschaftlich ist.

## 7 Quellen und Referenzen

- [1] H. Mohr, „Wissen als Humanressource“, in Humankapital und Wissen, D. G. Clar, J. Doré, und H. Mohr, Hrsg. Springer Berlin Heidelberg, 1997, S. 13–27.
- [2] W. Hoffmann-Riem, „Das Grundrecht auf Schutz der Vertraulichkeit und Integrität eigengenutzter informationstechnischer Systeme“, in Netzwelt - Wege, Werte, Wandel, D. Klumpp, H. Kubicek, A. Roßnagel, und W. Schulz, Hrsg. Springer Berlin Heidelberg, 2010, S. 165–178.
- [3] G. Wolters, „Orientierungswissen als Humanressource“, in Humankapital und Wissen, D. G. Clar, J. Doré, und H. Mohr, Hrsg. Springer Berlin Heidelberg, 1997, S. 33–51.
- [4] R. Bernnat, W. Zink, Bieber, Nicolai, J. Strach, S. Tai, und R. Fischer, „Das Normungs- und Standardisierungsumfeld von Cloud Computing - Eine Untersuchung aus europäischer und deutscher Sicht unter Einbeziehung des Technologieprogramms ‚Trusted Cloud‘ - Abschlussbericht zur Studie für das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)“, Booz & Company und FZI Forschungszentrum Informatik, Studie, Nov. 2011.
- [5] B. P. Rimal, E. Choi, und I. Lumb, „A Taxonomy and Survey of Cloud Computing Systems“, in Fifth International Joint Conference on INC, IMS and IDC, 2009. NCM '09, 2009, S. 44–51.
- [6] M. Waschke, Cloud Standards: Agreements That Hold Together Clouds. aPress, 2012.
- [7] J. Repschläger und R. Zarnekow, Studie: Cloud Computing in der IKT-Branche. Univerlag tuberlin, 2011.
- [8] T. Haselmann, „Cloud-Services in kleinen und mittleren Unternehmen: Nutzen, Vorgehen, Kosten“, Universitäts- und Landesbibliothek der Westfälischen Wilhelms-Universität, 2012.
- [9] D. M. Henneberger, D.-W.-I. J. Strebel, und F. Garzotto, „Ein Entscheidungsmodell für den Einsatz von Cloud Computing in Unternehmen“, HMD, Bd. 47, Nr. 5, S. 76–84, Okt. 2010.
- [10] F. Bonomi, R. Mito, J. Zhu, und S. Addepalli, „Fog computing and its role in the internet of things“, in Proceedings of the first edition of the MCC workshop on Mobile cloud computing, 2012, S. 13–16.
- [11] C. Mims, „Forget ‚the Cloud‘; ‚the Fog‘ Is Tech’s Future“, Wall Street Journal, 18-Mai-2014.
- [12] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Arbeitspapier – Cloud Computing und Open Source Software“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 5, Juni 2014.
- [13] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Arbeitspapier – Lizenzierungsbedarf beim Cloud Computing“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 2, Nov. 2012.
- [14] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Arbeitspapier - Modulare Zertifizierung von Cloud-Diensten“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 4, Feb. 2014.
- [15] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Arbeitspapier – Vertikaler Aufbau von Cloud-Diensten (Entwurf)“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 8, Feb. 2015.
- [16] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Leitfaden – Vertragsgestaltung beim Cloud Computing“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 3, März 2014.
- [17] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Thesenpapier - Datenschutzrechtliche Lösungen für Cloud Computing“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 1, Oktober 2012.

- [18] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Thesenpapier - Datenschutz-Zertifizierung durch private Stellen“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 6. Feb. 2015.
- [19] Arbeitsgruppe Rechtsrahmen des Cloud Computing, „Thesenpapier - Schweigepflicht bei der Auslagerung von IT-Dienstleistungen“, Kompetenzzentrum Trusted Cloud, Berlin, 7. Feb. 2015.
- [20] D. K. Bagban und R. Nebot, „Governance und Compliance im Cloud Computing“, HMD, Bd. 51, Nr. 3, S. 267–283, Juni 2014.
- [21] N. Lissen, C. Brünger, und S. Damhorst, „Normen und Standards im Cloud-Computing“, in IT-Services in der Cloud und ISAE 3402, Springer Berlin Heidelberg, 2014, S. 37–79.
- [22] T. Haeberlen und L. Dupré, „Cloud Computing – Benefits, risks and recommendations for information security“, European Network and Information Security Agency (ENISA), Dez. 2012.
- [23] G. C. Silva, L. M. Rose, und R. Calinescu, „A Systematic Review of Cloud Lock-In Solutions“, in Proceedings of the 2013 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science – Volume 02, Washington, DC, USA, 2013, S. 363–368.
- [24] B. Satzger, W. Hummer, C. Inzinger, P. Leitner, und S. Dustdar, „Winds of Change: From Vendor Lock-In to the Meta Cloud“, IEEE Internet Computing, Bd. 17, Nr. 1, S. 69–73, Jan. 2013.
- [25] S. Schröcker, „Kollisionsrechtliche Geltung des Bundesdatenschutzgesetzes bei transnationalen Verschmelzungen“, in Datenschutz und Universalsukzession bei Verschmelzungen nach dem Umwandlungsgesetz, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2006, S. 115–120.
- [26] S. Schröcker, „Datenübermittlung und Datenschutz bei transnationalen Verschmelzungen“, in Datenschutz und Universalsukzession bei Verschmelzungen nach dem Umwandlungsgesetz, Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, 2006, S. 277–293.
- [27] T. Weichert, „Cloud Computing und Datenschutz“, Datenschutz und Datensicherheit, Bd. 34, Nr. 10, S. 679–687, Okt. 2010.
- [28] A. Selzer, „Die Kontrollpflicht nach § 11 Abs. 2 Satz 4 BDSG im Zeitalter des Cloud Computing“, Datenschutz Datensich, Bd. 37, Nr. 4, S. 215–219, März 2013.
- [29] B. Greif, „Microsoft setzt internationalen Standard für Datenschutz in der Cloud um“, ZDNet.de, 17-Feb-2015. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.zdnet.de/88219378/microsoft-setzt-internationalen-standard-fuer-datenschutz-der-cloud-um/>. [Zugegriffen: 20-Feb-2015].
- [30] W. Wenger, „Entscheidungsfindung bei multiplen Zielsetzungen“, in Multikriterielle Tourenplanung, Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 5–37.
- [31] Utzinger, Peter, „Business Performance Optimization through Cloud“, gehalten auf der Software Engineering für die Cloud, Zürich, 25-Jan-2014.
- [32] Schmidt, Wolfgang, „Write once, run anywhere - TOSCA in der Cloud“, Blog der X-INTEGRATE Software & Consulting GmbH. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.x-integrate.com/x-in-cms.nsf/id/8W9D9A-write-once-run-anywhere--tosca-in-der-cloud-de>. [Zugegriffen: 17-Juni-2014].
- [33] T. Waizenegger, M. Wieland, T. Binz, U. Breitenbücher, F. Haupt, O. Kopp, F. Leymann, B. Mitschang, A. Nowak, und S. Wagner, „Policy4TOSCA: A Policy-Aware Cloud Service Provisioning Approach to Enable Secure Cloud Computing“, in On the Move to Meaningful Internet Systems: OTM 2013 Conferences, 2013, S. 360–376.
- [34] „TOSCA Simple Profile in YAML Version 1.0“. [Online]. Verfügbar unter: <http://docs.oasis-open.org/tosca/TOSCA-Simple-Profile-YAML/v1.0/TOSCA-Simple-Profile-YAML-v1.0.html>. [Zugegriffen: 22-Dez-2014].
- [35] A. Barros und D. Oberle, Hrsg., Handbook of Service Description - USDL and Its Methods. Wiesbaden: Springer, 2012.
- [36] OSGi Alliance, „OSGi Core Release 6“, Juni 2014.
- [37] „Equinox“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.eclipse.org/equinox/>. [Zugegriffen: 17-Juni-2014].

- [38] „Apache Felix – Welcome to Apache Felix“. [Online]. Verfügbar unter: <http://felix.apache.org/>. [Zugegriffen: 17-Juni-2014].
- [39] „Karaf 3.0.2“. [Online]. Verfügbar unter: <http://karaf.apache.org/>. [Zugegriffen: 22-Jan-2015].
- [40] „Maven 3.2“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.torsten-horn.de/techdocs/maven.htm>. [Zugegriffen: 22-Jan-2015].
- [41] R. S. Hall, K. Pauls, und S. McCulloch, OSGi in Action: Creating Modular Applications in Java. Greenwich Conn.: Manning, 2011.
- [42] A. D. C. Alves, OSGi in Depth. Shelter Island, NY: Manning, 2011.
- [43] H. Cummins und T. Ward, Enterprise Osgi in Action: With Examples Using Apache Aries, Auflage: Pap/Psc. Shelter Island, NY: Manning, 2013.
- [44] D. Schwabe und G. Rossi, „The object-oriented hypermedia design model“, Communications of the ACM, Bd. 38, Nr. 8, S. 45–46, 1995.
- [45] Open Grid Forum, „Open Cloud Computing Interface (OCCI) – Core Version 1.1“, Open Grid Forum, Standard, Juni 2011.
- [46] Open Grid Forum, „Open Cloud Computing Interface (OCCI) – Infrastructure Version 1.1“, Open Grid Forum, Standard, Juni 2011.
- [47] Open Grid Forum, „Open Cloud Computing Interface (OCCI) – RESTful HTTP Rendering Version 1.1“, Open Grid Forum, Standard, Juni 2011.
- [48] Distributed Management Task Force, Inc., „Cloud Infrastructure Management Interface (CIMI) Model and RESTful HTTP-based Protocol – An Interface for Managing Cloud Infrastructure“, Aug. 2012.
- [49] „Open Source Cloud Computing Software“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.openstack.org/software/>. [Zugegriffen: 16-Juni-2014].
- [50] „OpenStack Open Source Cloud Computing Software“. [Online]. Verfügbar unter: <http://www.openstack.org/>. [Zugegriffen: 10-Juni-2014].
- [51] „OCCI - OpenStack“. [Online]. Verfügbar unter: <https://wiki.openstack.org/wiki/Occi>. [Zugegriffen: 16-Juni-2014].
- [52] H. Krcmar, R. Reussner, und B. Rumpe, Hrsg., Trusted Cloud Computing, 1. Aufl. Heidelberg, New York, Dordrecht, London: Springer, 2014.
- [53] „BSI: Cloud Computing Grundlagen“. [Online]. Verfügbar unter: [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/CloudComputing/Grundlagen/Grundlagen\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/CloudComputing/Grundlagen/Grundlagen_node.html). [Zugegriffen: 17-Feb-2015].
- [54] „Definition Cloud Computing - Gabler Wirtschaftslexikon“. [Online]. Verfügbar unter: <http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/cloud-computing.html>. [Zugegriffen: 17-Feb-2015].
- [55] C. Zott, R. Amit, und L. Massa, „The Business Model: Recent Developments and Future Research“, Journal of Management, Bd. 37, Nr. 4, S. 1019–1042, Juli 2011.
- [56] S. Beth, Rechtsprobleme proprietärer Standards in der Softwareindustrie, Auflage: 1., Aufl. Göttingen: Cuvillier, E, 2005.

