O'REILLY®

Cloud Computing nach der Datenschutz-Grundverordnung

Amazon Web Services, Google, Microsoft & Clouds anderer Anbieter in der Praxis

Thorsten Hennrich

Cloud Computing nach der Datenschutz-Grundverordnung

Amazon Web Services, Google, Microsoft & Clouds anderer Anbieter in der Praxis

Thorsten Hennrich

O'REILLY®

Thorsten Hennrich, *thorsten@hennrich.legal*

Lektorat: Ariane Hesse
Lektoratsassistenz: Anja Weimer
Korrektorat: Sibylle Feldmann, *www.richtiger-text.de*
Satz: III-satz, *www.drei-satz.de*
Herstellung: Stefanie Weidner
Umschlaggestaltung: Karen Montgomery, Michael Oréal, *www.oreal.de*
Abbildungen: Kate Dullea, Michael Oréal, die Abbildungen werden mit Einwilligung von O'Reilly Media, Inc. verwendet.
Druck und Bindung: mediaprint solutions GmbH, 33100 Paderborn

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über *http://dnb.d-nb.de* abrufbar.

ISBN:
Print 978-3-96009-113-4
PDF 978-3-96010-315-8
ePub 978-3-96010-316-5
mobi 978-3-96010-317-2

1. Auflage 2023

Wieblinger Weg 17
69123 Heidelberg

Dieses Buch erscheint in Kooperation mit O'Reilly Media, Inc. unter dem Imprint »O'REILLY«.
O'REILLY ist ein Markenzeichen und eine eingetragene Marke von O'Reilly Media, Inc. und wird mit Einwilligung des Eigentümers verwendet.

Hinweis:
Dieses Buch wurde auf PEFC-zertifiziertem Papier aus nachhaltiger Waldwirtschaft gedruckt. Der Umwelt zuliebe verzichten wir zusätzlich auf die Einschweißfolie.

Schreiben Sie uns:
Falls Sie Anregungen, Wünsche und Kommentare haben, lassen Sie es uns wissen: *kommentar@oreilly.de*.

5 4 3 2 1 0

Inhalt

Vorwort

Die *Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO)* ist im Cloud Computing gerade in den letzten Jahren ein immer wichtigeres Thema geworden. Zahlreiche Cloud-Anbieter haben entsprechend reagiert und bewerben ihre Leistungen mittlerweile aktiv mit Datenschutzaspekten und einer »DSGVO-Compliance«. Doch worum geht es bei diesem Thema, und was gilt es hierbei insbesondere bei der Nutzung von Hyperscalern wie *Amazon Web Services* (AWS), *Google* und *Microsoft* zu beachten?

Als verständlicher Praxisleitfaden soll das vorliegende Buch eine schnelle Orientierung zu Fragen des Datenschutzes im Cloud Computing ermöglichen. Das Buch fokussiert hierfür auf die typischen Praxisfragen im geschäftlichen Bereich. Es soll daher bewusst keine allgemeine und technologieneutrale Einführung in das Thema Datenschutz sein (hierzu gibt es zahlreiche Fachliteratur). Neben den Grundlagen des Datenschutzes stehen vor allem diejenigen Aspekte im Fokus, die sich typischerweise bei der Nutzung von Hyperscalern wie *AWS*, *Google* und *Microsoft* ergeben und die sich auf die Clouds zahlreicher anderer Cloud-Anbieter entsprechend übertragen lassen.

Die Leserinnen und Leser sollen hierbei im Lifecycle einer Cloud-Nutzung (von der Anbieterauswahl und dem Abschluss von Auftragsverarbeitungsverträgen, Standardvertragsklauseln und dem richtigen Umgang mit Themen wie dem CLOUD Act über die Nutzungs- und Betriebsphase bis hin zu einem Anbieterwechsel und Aspekten einer Migration) effektiv mit *Frequently Asked Questions* (FAQs), *Checklisten*, *Infografiken* und weiteren Hinweisboxen dabei unterstützt werden, ihren Datenschutzpflichten nachzukommen und die richtigen Entscheidungen zu treffen. Denn bei Datenschutzverstößen sieht die *DSGVO* Bußgelder, Sanktionen und weitere Haftungsfolgen vor.

Das Buch richtet sich sowohl an IT-Entscheiderinnen und -Entscheider (wie Geschäftsführer, technische Leiter, Produktverantwortliche, Einkäufer) als auch an Projektmanager, Datenschutzbeauftragte, Compliance-Verantwortliche und alle sonstigen Personen in einem Unternehmen, die nicht nur die technischen und wirtschaftlichen Potenziale eines Cloud-Service nutzen wollen, sondern diesen auch

datenschutzkonform einsetzen möchten. Diese Zielgruppe wird ohne Vorkenntnisse sowohl im Datenschutzrecht als auch in Bezug auf das Cloud Computing »abgeholt«. Sie soll sich mit diesem Buch den typischen Praxisfragen, die so einfach wie möglich erläutert werden, nähern und sich damit in die wichtigsten Zusammenhänge und Rechtsgrundlagen für die Datenverarbeitung schnell einarbeiten können. Eine damit einhergehende Vereinfachung ist gewollt. Rechtswissenschaftliche Umschweife bleibt den Leserinnen und Lesern (soweit möglich) erspart.

Als Autor dieses Werks und technikaffiner Jurist sind mir »beide Welten« – rechtlich und technisch bestens bekannt. Zum einen als Rechtsanwalt im IT-und Datenschutzrecht, als Leiter der Rechtsabteilung eines Cloud-Anbieters sowie als langjähriger Geschäftsführer eines Cloud- und IT-Infrastruktur-Anbieters mit Rechenzentren in Frankfurt am Main und Amsterdam. In diesem Buch finden sich insgesamt über 20 Jahre umfassende Praxiserfahrung mit allen Aspekten und Rechtsfragen im Cloud Computing und IT-Outsourcing sowie mit IT- Betriebsszenarien an den größten Datennetzknoten der Welt wieder.

Anzumerken ist, dass das vorliegende Buch über die Vermittlung einer ersten Orientierung und eines Problembewusstseins im Datenschutz keine auf den Einzelfall bezogene weitergehende Beratung durch einen spezialisierten Rechtsanwalt ersetzen kann.

Ein großer Dank gebührt meinem Bruder Matthias Hennrich für seinen technischen Input durch sein langjähriges und großes Know-how im Bereich zahlreicher Cloud-Technologien. Für Ihre Geduld, Zeit und Beratung danke ich Nicole Lehmberg und meinen Eltern Hiltrud und Lothar Hennrich sowie meinem Bruder Dr. Stephan Hennrich. Ganz besonderer Dank gilt meiner Lektorin Ariane Hesse für die ausgezeichnete Betreuung dieses Buchs.

Über Feedback zu diesem Buch, Anregungen und Vorschläge für eine neue Auflage sowie Rückfragen zum Inhalt freue ich mich. Schreiben Sie mir bitte einfach eine E-Mail an: *thorsten@hennrich.legal*.

Frankfurt am Main, im September 2022

Dr. Thorsten Hennrich

KAPITEL 1
Einleitung

Amazon Web Services (AWS), *Google* und *Microsoft* gelten gegenwärtig als die beliebtesten und marktführenden Cloud-Anbieter. Die drei US-amerikanischen Unternehmen, die aufgrund der massiven Skalierbarkeit ihrer global verteilten Ressourcen auch als *Hyperscaler* bezeichnet werden, dominieren seit über einem Jahrzehnt den weiterhin rasant wachsenden und äußerst dynamischen Cloud-Markt. Sie sind bei vielen Nutzern erste Wahl, wenn es um die digitale Transformation in die Cloud geht. Daneben gibt es weltweit zahlreiche weitere spezialisierte Anbieter Cloud-basierter Lösungen in den Bereichen IT-Infrastruktur und Software.

Vor allem die Coronapandemie hat Leistungen aus der Cloud noch einmal einen besonderen Schub gegeben. Selbst Unternehmen, die bis dahin der Cloud gegenüber eher skeptisch eingestellt waren, wurden durch Lockdown und Homeoffice quasi von heute auf morgen dazu gezwungen, Workloads in die Cloud zu verlagern und Cloud-basierte Anwendungen einzusetzen.

Für die Nutzerinnen und Nutzer ist es meist nicht einfach, das überaus breite und vielfältige Leistungs- und Produktportfolio am Markt sowie die verschiedenen Abrechnungs- und Nutzungsvarianten zu überblicken und zu bewerten. Gleiches gilt für grundlegende Innovationen, Updates und Änderungen an den Leistungen der einzelnen Anbieter. Sie erfolgen mitunter im Wochenrhythmus und kennzeichnen seit vielen Jahren die hohe Dynamik der Cloud-Branche.

Zu diesen bereits an sich sehr komplexen und anspruchsvollen technischen und kommerziellen Entscheidungskriterien ist spätestens mit Einführung der *Datenschutz-Grundverordnung* (DSGVO) und der damit verbundenen Verschärfung des datenschutzrechtlichen Bußgeldrahmens ein weiteres Thema hinzugekommen, das Unternehmen jeder Größe betrifft und mittlerweile ebenfalls äußerst entscheidungsrelevant geworden ist: der *Datenschutz*.

1.1 Cloud Computing und Datenschutz im Spannungsfeld

Eine *datenschutzrechtliche Compliance* – also die *Einhaltung datenschutzrechtlicher Regelungen* – ist im Cloud Computing nicht immer einfach. Denn im Spannungsfeld mit dem Datenschutz »prallen zwei Welten aufeinander«, die unterschiedlicher nicht sein könnten:

- auf der einen Seite die technisch komplexe und vielfältige Welt von Public-, Private- und Multi-Cloud-Szenarien zahlreicher Anbieter, die vor Ländergrenzen und einzelnen Rechtsordnungen nicht haltmacht und in ihrer größten Ausprägung eine globale Verteilung sämtlicher IT-Ressourcen aufweisen kann, und
- auf der anderen Seite der auf EU-Recht und nationalen Rechtsordnungen basierende geltende Rechtsrahmen für Datenschutz, dessen Ziel und Zweck es ist, den Einzelnen vor einer missbräuchlichen Verwendung seiner *personenbezogenen Daten* (wie Name, E-Mail-Adresse, Telefonnummer, Geburtsdatum) und in seinem Recht auf *informationelle Selbstbestimmung* zu schützen.

In einer technisch komplexen Cloud-Welt ist es mehr denn je eine Herausforderung, den Schutz der informationellen Selbstbestimmung des Einzelnen über seine personenbezogenen Daten zu bewahren, damit dieser selbst darüber entscheiden kann, wie seine Daten erhoben, verarbeitet und gespeichert werden. Das erfordert nicht nur datenschutzrechtliches Know-how, sondern auch ein Verständnis der jeweiligen Cloud-Services.

Zugleich ist es mit Blick auf den Bußgeldrahmen der DSGVO keine Lösung, sich dem Thema Datenschutz einfach zu verschließen und zu hoffen, dass »schon nichts passieren wird«. Ein 50-Millionen-Euro-Bußgeld gegen Google oder ein 35-Millionen-Euro-Bußgeld gegen das Modehaus H&M zeigen, dass Bußgelder nach der DSGVO erheblich sein können. In vielen Fällen hat es auch kleinere Unternehmen getroffen, bei denen es sich nicht mal um ein Millionen-Bußgeld handeln muss, um bereits Wirkung zu zeigen. Und auch andere Folgen einer Datenschutzverletzung (wie z. B. eine Rufschädigung) gilt es zu verhindern.

Wie wichtig und weitreichend das Thema Datenschutz heutzutage ist, hat sich etwa im Juli 2020 am *Schrems-II-Urteil* des Europäischen Gerichtshofs (EuGH) gezeigt. Der EuGH kippte damit das *EU-U.S. Privacy Shield*, das bis dahin eine wichtige Grundlage für Datentransfers zwischen der EU und den USA bildete (hierzu später mehr in Abschnitt 12.5.2). Das Urteil hatte weitreichende Auswirkungen auf Datentransfers in Drittländer und betraf direkt oder indirekt quasi alle international tätigen Unternehmen.

1.2 Cloud Computing: flexible Nutzung von IT

Blicken wir aber zunächst auf das *Cloud Computing*, den im vergangenen Jahrzehnt zusammen mit *Machine Learning* und *künstlicher Intelligenz* wohl schillerndsten und meistverwendeten Begriff in der IT-Branche. Gerade in den Anfangsjahren überschlugen sich nur so die Superlative über das disruptive Potenzial der Materie. Die Rede war von nichts Geringerem als einer neuen Ära in der Informationstechnologie und der nächsten digitalen Revolution.

Der mit diesem wolkigen wie zugleich griffigen Schlagwort verknüpfte Wandel steht bis heute für eine grundlegende Abkehr von konventionellen IT-Bereitstellungs- und Nutzungsszenarien (wie dem Client-Server-Modell). Er hat das Geschäftsleben und die Informationsgesellschaft nachhaltig verändert, insbesondere die Beziehungen zwischen Anbieter und Kunde. Denn im Cloud Computing stehen sämtliche IT-Leistungen (von Hardware bis Software) jederzeit und an jedem Ort quasi wie »Strom aus der Steckdose«[1] vollkommen flexibel, bedarfsgerecht und standardisiert über das Internet zur Verfügung.

Ein Nutzer kann hierdurch Rechenleistung, Speicherkapazitäten und Software einfach nach Bedarf anmieten. Die Abrechnung erfolgt rein nutzungsbasiert (*on Demand*, *Pay per Use*, *as a Service*). Der Nutzer zahlt folglich nur noch für das, was er nutzt, und für die Dauer der Nutzung. Gerade bei einem nicht gleichmäßig wiederkehrenden Bedarf (z. B. bei Streaming-Diensten, einmaligen Einsatzzwecken oder den Lastspitzen eines Onlineshops während des Weihnachtsgeschäfts) können auf diesem Weg erhebliche Kosten eingespart werden. Zudem entstehen keine weiteren Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten, und es bleibt auch keine Hard- oder Software ungenutzt oder nicht voll ausgelastet zurück.

Zu den wirtschaftlichen Profiteuren zählen daher vor allem auch kleine und mittelständische Unternehmen. Durch eine nutzungsbasierte Bereitstellung und Abrechnung stehen ihnen innovative und marktführende Technologielösungen auf dem technisch neuesten Stand zur Verfügung, die im Rahmen klassischer Abrechnungsmodelle für sie bisher nicht erschwinglich waren. Sie können sich somit verstärkt auf ihr Kerngeschäft konzentrieren und die dortige Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit weiter verbessern.

Auch lassen sich Cloud-Ressourcen meist über administrative Verwaltungsoberflächen komfortabel bedienen und mit wenigen Mausklicks im Wege des *Self-Service* bzw. *Self-Provisioning* hinzubuchen oder reduzieren. Dies erleichtert vor allem die Arbeit von IT-Administratoren und lässt die Zeiten schwarzer Konsolenfenster zur Verwaltung von IT-Systemen zunehmend der Vergangenheit angehören. In der Coronapandemie konnten Unternehmen, die mit ihrer internen IT dahin gehend bereits gut aufgestellt waren und entsprechendes Know-how aufgebaut hatten, schnell reagieren und die für ein Homeoffice in der Cloud benötigten Ressourcen

1 *Carr*, The Big Switch, S. 20.

flexibel und unkompliziert hinzubuchen. In zahlreichen Unternehmen ist es meist auch nicht das Management, sondern es sind vor allem die IT-Abteilungen, die Cloud-Strategien vorantreiben.

Wirtschaftlichkeit und Innovation Das enorme wirtschaftliche Potenzial einer bedarfsbasierten Nutzung und Abrechnung ließ Cloud Computing vor allem ab dem Jahr 2009 in rasanter Geschwindigkeit und binnen kürzester Zeit zum weltweit maßgeblichen Trend in der Bereitstellung von Informationstechnologie avancieren. Und bis heute – über ein Jahrzehnt später – ist die Innovationsgeschwindigkeit der digitalen Welt der Datenwolken noch immer ungebremst. Im Zuge der fortschreitenden Digitalisierung ist sie sogar noch schneller und agiler, aber auch deutlich komplexer geworden. Zugleich optimieren Anbieter fortlaufend ihre bestehenden Bereitstellungs- und Abrechnungsmodelle, damit Unternehmen noch schneller und flexibler auf kurzfristig geänderte Anforderungen reagieren können.

Integraler Bestandteil von IT-Outsourcing-Szenarien Cloud-Strategien sind heutzutage integraler Bestandteil von IT-Outsourcing-Projekten jeder Größe. Cloud-Infrastrukturen und Cloud-Technologien bilden zudem die zentrale Grundlage für IoT-Applikationen im *Internet der Dinge* (*Internet of Things*), die Digitalisierung im Kontext von *Industrie 4.0* oder für die *künstliche Intelligenz*. Zum Einsatz gelangen vermehrt hybride Cloud-Architekturen oder komplexe Multi-Cloud-Szenarien aus verschiedenen Cloud-Stacks. In der Softwareentwicklung sorgt vor allem der Einsatz von Containern für mehr Flexibilität und Agilität. Unternehmen stellt dies in technischer und organisatorischer Hinsicht vor neue Herausforderungen, da sie im Rahmen ihrer Cloud-Orchestrierung die vernetzten Public- und Private-Cloud-Architekturen zu verwalten und Workloads entsprechend zu allokieren haben.

Cloud-Transformation Vielfältig sind auch die Gründe, die Unternehmen in die Cloud führen und die einen Cloud-Transformationsprozess sowie die dahinterstehende Migrationsstrategie kennzeichnen. Sie können von einem bloßen »Lift & Shift«-Szenario, bei dem eine bestehende Anwendung eins zu eins in die Cloud migriert wird, bis hin zur kompletten Entwicklung neuer Cloud-Architekturen und Anwendungen reichen. Oft geht es auch um die Modernisierung von Legacy-Infrastrukturen und die Nutzung moderner Tools in den Bereichen Datenanalyse und künstliche Intelligenz. Gerade kleine und mittelständische Unternehmen oder Freiberufler haben jedoch meist nicht die finanziellen Ressourcen sowie das Know-how, um sich eine performante, hochskalierbare und ausfallsichere Cloud-Infrastruktur nach den technisch neuesten Standards selbst aufzubauen. Der Rückgriff auf die Leistungen externer Cloud-Anbieter ist für sie daher regelmäßig ohne Alternative. Die mit bedarfsbasierten Nutzungs- und Abrechnungsmodellen (*Pay per Use*) verbundenen Einsparpotenziale und wirtschaftlichen Vorteile machen Cloud-basierte Lösungen aber auch für andere Marktteilnehmer wirtschaftlich attraktiv. Sie haben beispielsweise der den Schranken des Vergabe- und Haushaltsrechts unterliegenden öffentlichen Verwaltung ebenfalls neue und effiziente Wege bei der Nutzung von IT eröffnet.

1.3 Datenschutz, Datensicherheit und Compliance

Die Nutzung von Cloud-Technologien ist aber nicht nur ein technisches und wirtschaftliches Upgrade. Der Einsatz innovativer Technologien bringt auch rechtliche Fragestellungen und Compliance-Themen mit sich. Gerade im Cloud Computing entwickelte sich hierzu von Anfang an eine lebendige und intensive Diskussion, vor allem zu Datenschutz- und Datensicherheitsthemen. Rechtsfragen können aber auch andere Rechtsgebiete berühren und vom *IT-Vertragsrecht* bis hin zu spezifischen Aspekten des *Urheber-, Steuer-* oder *Berufsrechts* (etwa bei der Cloud-Nutzung durch Rechtsanwälte und andere Berufsgeheimnisträger) reichen.

Datenschutz Das Schlüsselthema im Cloud Computing – ob bei der Nutzung eines großen Hyperscalers wie AWS, Google und Microsoft oder bei dem Rückgriff auf die Leistungen eines spezialisierten kleineren Anbieters – ist seit Jahren der Datenschutz. Das vorliegende Buch soll hierzu einen praxisbezogenen Einstieg bieten. Denn zahlreiche Studien und Umfragen haben in den letzten Jahren immer wieder gezeigt, dass es vor allem Bedenken in Bezug auf Datenschutz und IT-Sicherheit sind, die vor jeder Cloud-Nutzung stehen. Zudem nimmt die DSGVO seit dem 25. Mai 2018 verantwortliche Stellen strenger in die Pflicht und hat hohe Bußgelder bei Datenschutzverstößen und weitere Haftungsfolgen mit sich gebracht. Cloud-Nutzern stellen sich daher häufig Fragen wie diese:

- Was habe ich bei der Auswahl eines Cloud-Anbieters zu berücksichtigen?
- Muss ich einen Auftragsverarbeitungsvertrag (*AV-Vertrag*) abschließen?
- Kann ich auch Cloud-Ressourcen außerhalb der EU nutzen, oder ist es »sicherer«, Datenverarbeitungsstandorte in der EU zu wählen?
- *Safe Harbor* & *Schrems I*, *Privacy Shield* & *Schrems II*, *SCCs* & *Schrems-II-Anforderungen* und jetzt auch noch ein *Trans-Atlantic Data Privacy Framework*: Ich blicke so langsam nicht mehr durch. Was muss ich denn nun machen, um Daten in die USA zu übermitteln?
- Was genau ist dieser *CLOUD Act*, und welche Bedeutung hat er für mich?
- Worauf muss ich als Verantwortlicher oder Datenschutzbeauftragter sonst noch achten, um Cloud-Services von AWS, Google, Microsoft oder einem anderen Anbieter zu nutzen?

Zu diesen und zahlreichen weiteren Aspekten möchte das vorliegende Buch im Lifecycle einer Cloud-Nutzung eine erste Orientierung ermöglichen. Die Leserinnen und Leser sollen hierbei effektiv mit *Frequently Asked Questions* (FAQs) und *Checklisten* dabei unterstützt werden, ein Problembewusstsein zu entwickeln, um dann die richtigen Entscheidungen treffen zu können.

KAPITEL 2

Cloud Computing: Einführung, Basics und wichtigste Begriffe

Dieses zweite Kapitel soll die Leserinnen und Leser mit den wichtigsten Grundlagen und Begriffen vertraut machen, die in der Cloud-Computing-Praxis regelmäßig auftauchen und die für den Datenschutz relevant sind. Einsteigerinnen und Einsteiger können hier jederzeit nachschlagen, sollte ein Cloud-spezifischer Begriff oder Zusammenhang an späterer Stelle weiterhin unklar sein. Aber auch für fortgeschrittene und mit der Thematik schon vertraute Leserinnen und Leser kann ein Blick in dieses Kapitel zur Wiederholung und für ein besseres Verständnis der Begriffe und Zusammenhänge erfahrungsgemäß hilfreich sein.

Zugleich ist es Ziel dieses Kapitels, ein einheitliches Begriffsverständnis von *Cloud Computing* zu schaffen. Gleiches gilt auch für Cloud-typische Begriffe wie *Public Cloud*, *Private Cloud*, *Multi Cloud*, *Hyperscaler*, *IaaS* oder *SaaS*. Denn es zeigt sich in Projektgesprächen und Verhandlungen immer wieder, dass beispielsweise eine Entscheiderin, ein Projektverantwortlicher, das IT-Spezialistenteam und hinzugezogene Anwälte zwar den gleichen Begriff verwenden, jedoch (sehr) unterschiedliche Vorstellungen davon haben, was sich dahinter verbirgt. Nicht selten bestehen zum Beispiel bereits unterschiedliche Vorstellungen davon, was »schon Cloud« und was »noch Hosting« ist. Sehr uneinheitlich wird oft auch die Trennlinie zwischen *IaaS* und *SaaS* gezogen. Derartige Erfahrungen in Unternehmen fast aller Branchen zeigen, wie wichtig es ist, dass alle Beteiligten die »gleiche Sprache« sprechen.

Daher wird zunächst ganz grundlegend der Frage nachgegangen, wofür *Cloud Computing* denn eigentlich steht und wie sich dieser Begriff definieren lässt. Für ein besseres Gesamtverständnis werden die wichtigsten technischen Hintergründe und Erscheinungsformen von Cloud Computing kurz dargestellt. Der Fokus liegt hierbei auf den praxisrelevanten Serviceebenen IaaS und SaaS sowie in organisatorischer Hinsicht auf den Bereitstellungsformen der Public und Private Cloud. Auch werfen wir einen ersten Blick auf die weltweiten Regionen und Rechenzentren der Hyperscaler AWS, Google und Microsoft. Mit diesem Hintergrundwissen im Gepäck sollten die Leserinnen und Leser für die folgenden Kapitel und die typischen Fragestellungen im Spannungsfeld von Cloud Computing und Datenschutz gut gerüstet sein.

2.1 Cumulus oder Stratus: Was ist Cloud Computing?

Um die grundlegende Frage, was *Cloud Computing* bzw. »die Cloud« eigentlich ist (und was nicht), kommt früher oder später keine Auseinandersetzung mit der Materie der Datenwolken herum. Denn ein Blick in die Praxis zeigt, dass Cloud Computing dort als griffige und sehr beliebte Kurzformel für ein überaus breites Spektrum an flexiblen, bedarfsgerechten und skalierbaren Formen der Bereitstellung und Nutzung von Informationstechnologien steht, die aus der *Wolke des Internets* als Dienst (*as a Service*, *Pay per Use*) erbracht werden.

Aus eben dieser *Wolke*, der als *Datenwolke* in der IT-Welt seit vielen Jahren aus schematischen Darstellungen bekannten und häufig verwendeten Metapher für das Internet und andere komplexe Netzwerkstrukturen, gehen die vielseitigen Konturen einer »Cloud« aber gerade nicht hervor. Vielmehr sind die hohe Abstraktheit dieser Metapher sowie die große Vielfalt an Cloud-Services der Grund, warum sich die Frage, was Cloud Computing denn eigentlich ist, nicht pauschal beantworten lässt.

IT-Outsourcing Cloud Computing in Form der Auslagerung von IT-Leistungen auf externe Dienstleister ist zunächst nichts anderes als *IT-Outsourcing* im ganz klassischen Sinn. Gegenstand von Cloud Computing können also sämtliche IT-Outsourcing-Konstellationen und mithin alle Prozesse, Ebenen und Tätigkeitsbereiche mit IT-Bezug sein. Auch wenn der Begriff IT-Outsourcing nicht ganz so modern und innovativ klingen mag, muss jede Betrachtung von Cloud Computing hier ansetzen und beginnen. Im Unterschied zum konventionellen IT-Outsourcing ist Cloud Computing jedoch vor allem durch flexible und nutzungsorientierte Abrechnungsmodelle gekennzeichnet. Es ist daher eine flexible und nutzungsorientierte Form des IT-Outsourcings.

Zu beachten ist allerdings, dass die hohe Beliebtheit der Cloud als Modebegriff und Schlagwort ein einheitliches Begriffsverständnis verwässert hat. So wird Cloud Computing im Alltag oftmals nicht nur mit flexiblen und bedarfsbasierten Formen der Bereitstellung und Nutzung von Informationstechnologie assoziiert, sondern steht in der allgemeinen Wahrnehmung in vielen Fällen als bloßes Synonym für Onlinespeicher oder für das Internet an sich. Teilweise wurde in Marketingkampagnen auch lediglich »alter Wein in neuen Schläuchen« verkauft, indem Produkte als Cloud-Services neu gelabelt wurden, um auf den Zug der Zeit aufzuspringen. Echten Cloud-Maßstäben für flexible und nutzungsabhängige Abrechnungsmodelle sowie modernen Bereitstellungsszenarien haben zahlreiche dieser »Cloud-Produkte« nicht entsprochen. In der Praxis sollte daher nicht immer davon ausgegangen werden, dass alles, was als »Cloud« bezeichnet wird, auch echtes Cloud Computing ist.

Um vor diesem Hintergrund den Nebel der Datenwolken ein wenig zu lichten, wird im Folgenden zunächst eine allgemeine Begriffsklärung von *Cloud Computing* vorgenommen. Im Anschluss wird zur besseren Veranschaulichung der Blick auf

die technischen Grundlagen und gegenwärtigen Erscheinungsformen von Cloud Computing (Service-Modelle sowie die Bereitstellungsformen der Public und Private Cloud) gerichtet.

2.2 Begriffsklärung und begriffliche Entwicklung

Cloud ist nicht gleich Cloud. Dies zeigt sich gerade in begrifflicher Hinsicht. Denn es gibt weder *das* Cloud Computing, noch hat sich weltweit eine einheitliche, allgemeingültige Definition dieses Begriffs herausgebildet. Dies liegt vor allem darin begründet, dass die Cloud-Service-Modelle (wie IaaS, PaaS und SaaS) und Bereitstellungsformen (vor allem Public und Private Cloud) zu verschieden sind und nichts weniger als das komplette Spektrum der Informationstechnik abdecken können. Alle in der Praxis wiederzufindenden Definitionen von Cloud Computing sind daher auch entsprechend »weit« gesteckt.

2.2.1 Die »NIST Definition of Cloud Computing«

Bekannt und seit vielen Jahren in zahlreichen Publikationen zum Cloud Computing wiederzufinden ist die *Definition of Cloud Computing* des US-amerikanischen *National Institute of Standards and Technology* (NIST)[1]. Auch das *Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik* (BSI) und Institutionen wie die *Europäische Agentur für Netz- und Informationssicherheit* (ENISA) haben für ihre eigenen Definitionen auf die sogenannte *NIST-Definition* zurückgegriffen. Cloud Computing ist hiernach (übersetzt ins Deutsche) wie folgt definiert:

> »Cloud Computing ist ein Modell, das jederzeit und von jedem Ort bequem und bedarfsgerecht über ein Netzwerk einen Zugriff auf einen geteilten Pool an konfigurierbaren Computing-Ressourcen (z.B. Netze, Server, Storage, Anwendungen und Dienste) ermöglicht, die schnell und mit minimalem Managementaufwand oder mit minimaler Serviceprovider-Interaktion bereitgestellt werden können.«

Ein Cloud-Service nach diesem Modell ist auf Basis der NIST-Definition dabei vor allem durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- *On-Demand-Self-Service*:
  Ein Nutzer kann die Bereitstellung bzw. Provisionierung der Ressourcen ohne weitere Interaktion mit dem Cloud-Anbieter selbst vornehmen.
- *Broad Network Access*:
  Die Leistungen sind nicht an ein bestimmtes IT-System gebunden, sondern über breitbandige Netze und verschiedene Geräte (wie Mobiltelefone, Tablets, Laptops und andere IT-Systeme) über Standardmechanismen zugänglich.

1 *Mell, Peter/Grance, Timothy*: The NIST Definition of Cloud Computing, Recommendations of the National Institute of Standards in Technology, U.S. Department of Commerce, Special Publication SP 800-145, abrufbar unter: *https://csrc.nist.gov/publications/detail/sp/800-145/final* (Stand: 9. September 2022).

- *Resource Pooling*:
  IT-Ressourcen werden in Pools zusammengefasst, um sie mehreren Nutzern auf Basis eines multimandantenfähigen Modells mit dynamischer und bedarfsgemäßer Zuordnung zur Verfügung stellen zu können. Mitunter kann dabei eine Art Ortsunabhängigkeit entstehen, da Nutzer den genauen Ressourcenstandort nicht kennen. Vertragliche Festlegungen sind aber auf einer höheren Abstraktionsebene möglich (z. B. Land, Region oder Rechenzentrum).
- *Rapid Elasticity*:
  Cloud-Services können schnell und elastisch bereitgestellt werden, in einigen Fällen auch automatisch, um sie je nach Bedarf (*on Demand*) zu skalieren. Aus Nutzersicht erscheinen die Ressourcen oft unbegrenzt, da sie in beliebiger Menge und zu jeder Zeit bereitgestellt werden können.
- *Measured Service*:
  Cloud-Systeme steuern und optimieren automatisch die Ressourcennutzung. Diese kann gemessen und überwacht werden, was sowohl für den Anbieter als auch für den Nutzer Transparenz schafft.

2.2.2 Definition des BSI

In Deutschland hat das BSI eine eigene Begriffsdefinition vorgenommen, um für alle Arbeiten rund um Cloud Computing eine einheitliche Grundlage zu haben. Die Definition des BSI baut auf der NIST-Definition auf, ist jedoch begrifflich etwas weiter gehalten:

> »Cloud Computing bezeichnet das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen über ein Netz. Angebot und Nutzung dieser Dienstleistungen erfolgen dabei ausschließlich über definierte technische Schnittstellen und Protokolle. Die Spannbreite 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.«[2]

2.2.3 Wie Cloud Computing in diesem Buch verstanden wird

Dieses Buch legt zum Verständnis des Begriffs *Cloud Computing* die Definition des BSI zugrunde. Im Kern geht es also um das *dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen*.

Das weitere und abstraktere Begriffsverständnis des BSI ermöglicht einen sachgerechten und flexiblen Umgang mit dem Begriff Cloud Computing. Auch nicht durchgängig hochflexible Pay-per-Use-Abrechnungsmodelle werden erfasst, wie

2 *Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnologie:* Was ist Cloud Computing?, abrufbar unter: *https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Informationen-und-Empfehlungen/Empfehlungen-nach-Angriffszielen/Cloud-Computing/Grundlagen/grundlagen_node.html* (Stand: 9. September 2022).

z. B. *Flatrates* oder feste Abnahmemodelle mit längeren Laufzeiten (*Commitments*), die bei wiederkehrendem Grundbedarf mit flexiblen Nutzungsformen kombiniert werden können.

> **Hinweis: Verständnis von Cloud Computing in diesem Buch**
>
> Cloud Computing ist das dynamisch an den Bedarf angepasste Anbieten, Nutzen und Abrechnen von IT-Dienstleistungen. Die Spannbreite 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.

Ein weites Begriffsverständnis lässt gleichzeitig mehr Raum für Entwicklung und technischen Fortschritt. So nimmt vor allem der Einsatz künstlicher Intelligenz auch im Cloud-Umfeld immer weiter zu. Künftig können selbstlernende Algorithmen gerade im Bereich der Auswertung von Nutzungsdaten sowie bei der automatischen Provisionierung von Ressourcen zu weiteren Verbesserungen beitragen. Ein großes wirtschaftliches Potenzial bietet beispielsweise eine *Predictive Maintenance* bei der Bereitstellung von Ressourcen. Hiernach werden IT-Komponenten zwar am Ende ihrer Laufzeit getauscht, jedoch noch bevor sie kaputtgehen. Übertragen lässt sich das aber beispielsweise auch auf Maschinenteile in der produzierenden Industrie oder auf Flugzeugtriebwerke. Ausfallzeiten können auf diesem Weg reduziert und Ersatzteile besser bestellt werden. Auch kann proaktiv gehandelt werden, anstelle reaktiv tätig zu werden, wenn Hardware bereits kaputtgegangen ist. Neue Technologien und neue innovative Anbieter werden das Cloud Computing auch künftig weiter vorantreiben.

2.3 Technische Grundlagen »in a Nutshell«

Zum besseren Verständnis der Hintergründe von *Cloud Computing* blicken wir im Folgenden zunächst auf die technischen Rahmenbedingungen und zentralen Basistechnologien. Als infrastrukturelle Basis machen sie Cloud Computing überhaupt erst möglich und fungieren sowohl für Anbieter als auch für Nutzer als *Cloud Enabler*.

2.3.1 Technische Rahmenbedingungen

Breitbandige Datennetze Sie bilden das Rückgrat des globalen Datenverkehrs und sorgen für schnelle Paketlaufzeiten und niedrige Latenzen selbst bei datenintensiven Einsatz- und Nutzungsszenarien. Für Cloud Computing sind sie daher unver-

zichtbare Grundvoraussetzung. Performante Glasfaserverbindungen ermöglichen vor allem standortübergreifende Hochverfügbarkeitslösungen von hoher Qualität und Leistung zwischen verschiedenen Rechenzentrumsstandorten (insbesondere zwischen den global verteilten Rechenzentren von Anbietern wie AWS, Google und Microsoft, wie in Abschnitt 2.7 dargestellt).

Parallel hierzu sorgt der Ausbau breitbandiger und mobiler Internetzugänge dafür, dass Nutzer einen schnellen Zugriff auf Ressourcen und Anwendungen in der Cloud erhalten. In den Metropolregionen ist der Ausbau schon weit fortgeschritten. In zahlreichen ländlichen Regionen besteht dagegen noch immer Handlungsbedarf.

Leistungsfähige Standardhardware Als Basis für skalierbare Ressourcenpools und flexible Nutzungsmodelle steht Cloud-Anbietern leistungsfähige Standardhardware zur Verfügung. Sie ist am Markt recht günstig verfügbar und kann daher in großen Mengen bereitgehalten werden. Durch eine technisch immer einfachere, bessere und schnellere Provisionierung kann der Ressourcenpool im Idealfall ohne jegliche Anbieterinteraktion durch den Nutzer selbst bereitgestellt und verwaltet werden (*Self-Service* bzw. *Self-Provisioning*).

Vielfältige Zugangsgeräte Den Anwendern wiederum stehen immer vielfältigere Zugangsgeräte zur Verfügung. Neben PCs, Notebooks, Tablets und Smartphones sind zur Nutzung von Cloud-Services heutzutage auch das Smart Grid des IoT (Internet of Things/Internet der Dinge) sowie Smart Speaker (wie beispielsweise Amazon Echo) als digitale Assistenten von Bedeutung.

Thin Clients Der Zugriff eines Nutzers auf sämtliche Ressourcen, Anwendungen und Daten in der Cloud erfolgt im Idealfall nur noch über Web und API (*Application Programming Interface*) bzw. über *Thin Clients* mittels Browser oder App. Diese IT-Geräte sind im Unterschied zu PCs und Notebooks auf diejenigen Ressourcen, Eingabemöglichkeiten und Anzeigefunktionen reduziert (wie Browser oder App), die Nutzer zum Zugriff auf die Ressourcen und Anwendungen in der Cloud benötigen.

2.3.2 Basistechnologien

Cloud Computing ist an sich keine neue Technologie. Zu den zentralen Basistechnologien zählen vielmehr langjährig etablierte Technologiekonzepte wie das *Grid Computing*, das *Application Service Providing* (ASP), *serviceorientierte Architekturen* (SOA) sowie die *Virtualisierung*. Die heutigen Rahmenbedingungen ermöglichen hierbei jedoch gänzlich neue Kombinationen und Weiterentwicklungen, vor allem die das Cloud Computing kennzeichnende Ergänzung um flexible und nutzungsbasierte Einsatz- und Abrechnungsmodelle (*Pay per Use*, *as a Service*).

Grid Computing

Ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zum Cloud Computing ist das *Grid Computing*. Dabei handelt es sich um eine Form des verteilten Rechnens, bei der zur Bildung eines leistungsstarken, dezentralen IT-Clusters auf die ungenutzten Rechenressourcen von über das Internet oder andere Netzwerke meist lose miteinander gekoppelten IT-Systeme zurückgegriffen wird.

Der Begriff *Grid Computing* ist darauf zurückzuführen, dass die Nutzung verteilter Rechenleistung mit der Nutzung eines Stromnetzes (*Power Grid*) vergleichbar sein soll. Denn aus Sicht eines Nutzers ist es unerheblich, woher die Rechenleistung (bzw. der Strom) kommt. Derartige Vergleiche finden sich auch im Cloud Computing, wo IT-Leistungen einem Nutzer jederzeit und an jedem Ort quasi wie »Strom aus der Steckdose« flexibel, bedarfsgerecht und standardisiert über das Internet zur Verfügung stehen (siehe zuvor Abschnitt 1.2).

Die Ursprünge des Grid Computing reichen bis in die 1990er-Jahre zurück. Computer-Grids gelangen aber bis heute zum Einsatz, vor allem in der Wissenschaft und Forschung sowie in einigen Unternehmen zur Bewältigung von rechenintensiven Aufgaben und großen Datenmengen.

Ein bekanntes und häufig angeführtes Beispiel für das Grid Computing ist das einstmals revolutionäre *SETI@home-Experiment* der kalifornischen Berkeley-Universität. Auf der Suche nach außerirdischer Intelligenz (*Search for Extraterrestrial Intelligence* – SETI) wurde zur Analyse der Daten von Radioteleskopen auf die ungenutzten IT-Ressourcen von Heim- oder Bürocomputern zurückgegriffen, die von Teilnehmern zur Verfügung gestellt wurden und hierfür von den Projektservern jeweils kleine Arbeitspakete erhalten haben. Die hohe und zugleich kostengünstige Rechenleistung des Projekts diente zahlreichen Forschungsprojekten als Vorbild.

Ein Beispiel für ein naturwissenschaftliches Forschungsprojekt ist der *Large Hadron Collider* (LHC) am Europäischen Kernforschungszentrum CERN nahe Genf. Dieser Teilchenbeschleuniger produziert gewaltige Mengen an Messdaten, die analysiert und verarbeitet werden müssen.

Im Cloud Computing findet sich aus dem Grid Computing vor allem die Idee der gemeinsamen Nutzung verteilter und miteinander gekoppelter IT-Ressourcen wieder. Deren gemeinsame Nutzung durch die Allgemeinheit ist jedoch an die Stelle der Rechenanforderungen wissenschaftlicher Forschungsprojekte oder einer Verarbeitung großer Datenmengen in Unternehmen getreten. Gerade in Public Clouds (etwa für die Nutzung von AWS-Compute-Ressourcen oder von Microsoft 365) sind die User auch nicht mehr organisatorisch miteinander verbunden. Und ging es im Grid Computing noch um die zentrale Verwaltung der Ressourcen durch die Beteiligten, können sich Nutzer im Cloud Computing die Ressourcen im Wege eines *Self-Provisioning* idealerweise selbst zuteilen.

Application Service Providing

Ein weiterer wichtiger Vorläufer des Cloud Computing ist das *Application Service Providing* (ASP). Es handelt sich um eine Unterform des *Server-based Computing* und gilt als Vorstufe von *Software as a Service* (SaaS). Im ASP werden sämtliche Applikationen auf leistungsstarken Servern zentral bereitgehalten. Der nutzerseitige Zugriff erfolgt über einen Remote-Zugang (etwa Terminalserver oder Remote-Desktop).

ASP und SaaS unterscheiden sich vor allem darin, dass Hardwareressourcen bei ASP klassischerweise dediziert zur exklusiven Nutzung bereitgestellt werden. Auf SaaS-Basis werden sie dagegen in *Public Clouds* von einer unbeschränkten Nutzerzahl gemeinsam genutzt. Ein zahlenmäßig beschränkter Nutzerkreis (wie Mitarbeitende eines Unternehmens) ist bei SaaS nur noch in *Private Clouds* wiederzufinden. Auch ist bei SaaS die Nutzung und Abrechnung deutlich flexibler. ASP ist in dieser Hinsicht quasi SaaS mit Festabnahme ohne On-Demand-Nutzungsmöglichkeit.

Serviceorientierte Architekturen (SOA)

Auch das Konzept der *serviceorientierten Architekturen* (SOA) gilt als wichtiges Fundament und Basistechnologie von Cloud Computing. Die verschiedenen SOA-Konzepte verfolgen eine Erfassung, Orchestrierung und prozessübergreifende Strukturierung und Nutzung vorhandener IT-Systeme und Anwendungen, meist auf Grundlage standardisierter Schnittstellen. Hierdurch soll eine bessere Auslastung, Flexibilisierung und Standardisierung der dahinterstehenden Geschäftsprozesse erreicht werden. Eine derart übergreifende Strukturierung und Nutzung von IT-Systemen und Anwendungen bildet auch im Cloud Computing die Grundlage für hohe Standardisierungsgrade und die Bereitstellung von IT-Diensten über standardisierte Schnittstellen.

Virtualisierung

Eine weitere zentrale Basistechnologie und wichtige Grundlage moderner Cloud-Architekturen ist die *Virtualisierung*. Die technischen Ansätze reichen bis in die Mainframe-Ära der 1970er-Jahre zurück. Die Virtualisierung ermöglicht durch eine abstrakte Sicht auf die physischen IT-Systemressourcen (also native Hardwarekomponenten wie CPU, RAM, Datenspeicher oder Netzwerkcontroller) eine gemeinsame Verwaltung und Nutzung dieser Ressourcen. In einem *virtuellen Cluster* sind dies die zusammengefassten Ressourcen mehrerer IT-Systeme. Auf Basis der gängigen Systemvirtualisierung durch einen sogenannten *Hypervisor* werden hierfür die nativen Hardwarekomponenten der IT-Systeme in Pools zusammengefasst und vollständig abstrahiert von der zugrunde liegenden Hardware den *virtuellen Maschinen* zur Verfügung gestellt. Die Virtualisierungssoftware (unterstützt durch spezielle Hardwarefunktionen) simuliert den virtuellen Maschinen dabei eine vollständige Hardwareumgebung, so als würden native Hardware und mithin ein echtes physisches IT-System zugrunde liegen.

Durch die Abstraktion der Hardware von sämtlichen darüberliegenden Ebenen können auf einem physischen IT-System mehrere virtuelle Maschinen betrieben werden. Effizienz und Wirkungsgrad werden hierdurch deutlich verbessert. Die physischen IT-Systeme wiederum können konsolidiert werden, was zu verringerten Anschaffungs-, Betriebs- und Wartungskosten sowie einem reduzierten Energieverbrauch führt.

Auch die Verwaltung der Hardware und der Betrieb der virtuellen Maschinen und damit die Verfügbarkeit der Applikation hängen nicht mehr an der Verfügbarkeit der Hardware. Im Wartungsfall kann eine Migration virtueller Maschinen auf andere Hardware im laufenden Betrieb erfolgen. Die notwendigen Daten werden den virtuellen Maschinen über einen der Cloud zugrunde liegenden hochverfügbaren Speicher bereitgestellt, der von jedem Hardwareserver aus zugänglich ist. Sicherungen von virtuellen Maschinen können einfach im Wege eines kompletten *Snapshots* erfolgen. Durch ein Klonen von virtuellen Maschinen können wiederum neue Umgebungen schnell und einfach bereitgestellt werden.

Kurz erklärt: Virtualisierung

Die Virtualisierung ermöglicht durch die Abstraktion der nativen Hardware von sämtlichen darüberliegenden Ebenen eine Zusammenfassung der zugrunde liegenden Hardwarekomponenten in Pools, sodass diese vollständig abstrahiert von der zugrunde liegenden Hardware verwaltet und genutzt werden können. Die Virtualisierungssoftware (unterstützt durch spezielle Hardwarefunktionen) simuliert den virtuellen Maschinen auf dieser Grundlage eine vollständige Hardwareumgebung, so als würde ein echtes dediziertes IT-System mit nativer Hardware zugrunde liegen.

Die Administration und Zuweisung der gepoolten Ressourcen erfolgt durch den *Hypervisor*, der die logische Trennung der virtuellen Maschinen sicherstellt und dabei insbesondere CPU-Leistung und Speicher anhand von Leistungsvorgaben verteilt. Zum Einsatz gelangen häufig intelligente Zuweisungstechniken wie ein *Thin Provisioning*, bei dem virtuellen Maschinen Ressourcen zugewiesen werden, die in Summe gar nicht als Hardware verfügbar sind. Es wird darauf spekuliert, dass nicht alle Systeme zeitgleich alle Ressourcen anfordern, was in der Praxis gut gelingt. Diese Überprovisionierung trägt maßgeblich zur Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems bei.

Neben der Hypervisor-basierten Systemvirtualisierung existieren zahlreiche weitere Virtualisierungstechniken (wie Speicher- und Netzwerkvirtualisierung, Virtualisierung innerhalb eines Betriebssystems, Desktopvirtualisierung oder Anwendungsvirtualisierung). Neben Vollvirtualisierungen sind auch sogenannte *Para-Virtualisierungen* möglich, deren Abstraktion jedoch weniger durchgängig ist. Be-

kannte und marktführende Anbieter von Virtualisierungslösungen sind etwa *VMware* oder *Citrix*. Es gibt aber auch zahlreiche kleinere Anbieter sowie Open-Source-Lösungen als Alternative zu proprietären Virtualisierungstechnologien (wie etwa KVM – allein oder oft auch als Hypervisor in der *OpenStack*-Lösung).

Containertechnologien

Aus modernem Cloud Computing sind auch *Containertechnologien* nicht mehr wegzudenken. Die *Containerisierung* gilt als die wohl bedeutendste Fortentwicklung in der Bereitstellung von IT-Systemen und Applikationen seit der Virtualisierung. Sie hat deren Ansatz weiter verschlankt und dadurch die Bereitstellung von Applikationen vereinfacht.

Im Unterschied zu virtuellen Maschinen, die virtuelle Hardware darstellen und somit die Installation eines Betriebssystems erfordern, enthalten Container lediglich diejenigen Daten, Programmbestandteile und Bibliotheken, die zur Ausführung der jeweiligen Applikation unmittelbar erforderlich sind. Wie Container auf einem Schiff werden Applikationen dadurch standardisiert verpackt und sind universell ausführbar. Da kein Betriebssystem gestartet werden muss, geht das besonders schnell und effizient, sodass Container zusammen mit der Verlagerung von Applikationsdaten auf zentrale Speichersysteme *stateless* werden. Im Container selbst werden keine notwendigen Daten dauerhaft gespeichert. Im Fall einer Fehlfunktion wird der Container nicht aufwendig durch einen Administrator repariert, sondern einfach gelöscht und neu ausgerollt. Moderne Applikationen (»born in the cloud«) greifen das auf und sind so gebaut, dass es auf einzelne containerisierte Bestandteile nicht ankommt. Somit kann fast grenzenlos skaliert werden, und höchste Verfügbarkeiten werden mit einfachen Mitteln erreichbar. Die derzeit wohl bekannteste Containertechnologie zur Isolierung von Anwendungen ist die Software *Docker*.

Kurz erklärt: Container

Container enthalten nur noch diejenigen Daten, die zur Ausführung einer Applikation unmittelbar erforderlich sind. Sie sind im Vergleich zu virtuellen Maschinen besonders effizient und verbrauchen weniger IT-Ressourcen.

Orchestrierungsanwendungen (z.B. Kubernetes) Container kommen heute nur noch selten einzeln vor, da sich Orchestrierungslösungen etabliert haben. Die wohl am weitesten verbreitete ist *Kubernetes*. Sie ermöglicht eine einfache Bereitstellung, Skalierung und Verwaltung selbst einer größeren Anzahl an Containern über verschiedene IT-Systeme hinweg. Hierfür werden die einer Anwendung zugrunde liegenden Container in logischen Einheiten zu Services (Diensten) gruppiert.