

Adaptive Digitale Enterprise Architekturen für Big Data und Cloud-Systeme

Alfred Zimmermann¹, Kurt Sandkuhl², Rainer Schmidt³,
Dierk Jugel¹, Matthias Wisotzki², Michael Möhring³

¹Hochschule Reutlingen, Fakultät Informatik, Reutlingen

²Universität Rostock, Fakultät Informatik und Elektrotechnik, Rostock

³Hochschule München, Fakultät Informatik und Mathematik, München

alfred.zimmermann@reutlingen-university.de

kurt.sandkuhl@uni-rostock.de

rainer.schmidt@hm.edu

dierk.jugel@reutlingen-university.de

matthias.wisotzki@uni-rostock.de

michael.moehring@htw-aalen.de

Abstract: Big Data und Cloud Systeme werden zunehmend von mobilen, benutzerzentrierten und agil veränderbaren Informationssystemen im Kontext von digitalen sozialen Netzwerken genutzt. Metaphern aus der Biologie für lebendige und selbstheilende Systeme und Umgebungen liefern die Basis für intelligente adaptive Informationssysteme und für zugehörige serviceorientierte digitale Unternehmensarchitekturen. Wir berichten über unsere Forschungsarbeiten über Strukturen und Mechanismen adaptiver digitaler Unternehmensarchitekturen für die Entwicklung und Evolution von serviceorientierten Ökosystemen und deren Technologien wie Big Data, Services & Cloud Computing, Web Services und Semantikunterstützung. Für unsere aktuellen Forschungsarbeiten nutzen wir praxisrelevante SmartLife-Szenarien für die Entwicklung, Wartung und Evolution zukunftsgerechter serviceorientierter Informationssysteme. Diese Systeme nutzen eine stark wachsende Zahl externer und interner Services und fokussieren auf die Besonderheiten der Weiterentwicklung der Informationssysteme für integrierte Big Data und Cloud Kontexte. Unser Forschungsansatz beschäftigt sich mit der systematischen und ganzheitlichen Modellbildung adaptiver digitaler Unternehmensarchitekturen - gemäß standardisierter Referenzmodelle und auf Standards aufsetzenden Referenzarchitekturen, die für besondere Einsatzszenarien auch bei kleineren Anwendungskontexten oder an neue Kontexte einfacher adaptiert werden können. Um Semantik-gestützte Analysen zur Entscheidungsunterstützung von System- und Unternehmensarchitekten zu ermöglichen, erweitern wir unser bisheriges Referenzmodell für IT-Unternehmensarchitekturen ESARC – Enterprise Services Architecture Reference Cube – um agile Mechanismen der Adaption und Konsistenzbehandlung sowie die zugehörigen Metamodelle und Ontologien für Digitale Enterprise Architekturen um neue Aspekte wie Big Data und Cloud Kontexte.

1 Einführung

Informationen, Daten und Wissen sind heute zentrale Bestandteile unserer täglichen Aktivitäten. Soziale Netzwerke, mobile Geräte wie Smart Devices und intelligente Autos zeigen Aktuelle Beispiele einer allgegenwärtigen informationsorientierten Vision, die wir in unserem Forschungsszenario SmartLife nennen. Nach [Hs04] nennen wir die Sammlung von adaptiven Service-orientierten Unternehmensarchitekturen zusammen mit den zugehörigen Business- und Software-Services für zugehörige Informationssysteme ein digitales Ökosystem. In unserem Verständnis der Vision zu digitalen Ökosystemen [Ti14] sind selbstoptimierende Systeme mit selbstheilenden Eigenschaften von verteilten Service-orientierten Umgebungen mit anpassungsfähigen Service-orientierten Unternehmensarchitekturen fest verankert. Die Entwicklung solcher Anwendungen integriert Web-Services, Cloud Computing und Big Data Management, sowie spezifische Frameworks und Methoden der Semantik-Unterstützung für neue System- und Software-Architekturen [Es13] und [Am11].

Betrachten wir zum Beispiel den Fahrer eines künftigen intelligenten Autos. Ein Warnlicht auf dem Armaturenbrett zeigt während einer Fahrt auf der Autobahn eine Ausnahmesituation an. Er wählt "untersuchen" und die SmartLife-Anwendung des Autos sucht den Fehlercode und zeigt an, welche Fahrzeugkomponente die Warnung ausgelöst hat. Das System sucht dann mehrere Online-Datenbanken ab, welche Informationen der Autohersteller als auch die Service-Historien anderer Fahrzeuge zum Ausnahmefall der signalisierten Komponente analysiert. Die SmartLife-Anwendung fasst die Ergebnisse zusammen und empfiehlt einen sofortigen Austausch der Komponente, sowie mehrere Anbieter und überprüft deren Inventar. Der Fahrer hat die Wahl, einen Servicetermin in der Werkstatt gleich zu vereinbaren oder diese Komponente in einem Online-Shop zu erwerben und selber auszutauschen. Dieses Anwendungsszenario ist ein Beispiel für eine servicebasierte und semantisch erweiterte Anwendung für SmartLife, die auf neue adaptive Digitale Enterprise Architekturen, Graph-Analytik, Big Data Management, Services und Cloud-Computing aufsetzt.

Die komplex miteinander verwobenen technologischen und wirtschaftlichen Dimensionen von Systemen zur Unterstützung der Mobilität, von sozialen Netzwerken, von fallbasiertem Geschäftsprozessmanagement und Dienstleistungen, dem Rechnen mit großen Daten in Cloud-Umgebungen wirken sich unmittelbar auf anpassungsfähige Service-orientierte System- und Unternehmensarchitekturen für SmartLife-Ökosysteme aus. Während die fachliche Perspektive stärker auf intelligent bewertbare und besser steuerbare Ansätze und Strukturen der Geschäftstransformation setzt, ist die technologische Perspektive moderner Informationssysteme vielfältiger. Wichtig ist nicht nur die Fähigkeit leistungsgerechte, prozessintegrierte und serviceorientierte Informationssysteme effizient zu entwickeln, sondern diese Fähigkeit auch durch kostenoptimierte Betriebsperspektiven mit Cloud-Services und Big Data zu ergänzen. Leistungsstarke smarte Unternehmen erweitern gegenwärtig ihre Fähigkeiten, um systematisch ihr Business-Operating-Modell [Ro06] mittels digitaler System- und Unternehmensarchitekturen als Teil der architektonischen IT-Governance [We04] im Sinn optimierter Kosten und Leistungen systematisch zu bewältigen.

In unserer aktuellen Forschung erweitern wir unsere erste Version der ESARC - Enterprise Services Architecture Reference Cube [Zi12], [Zi13b] hin zu einer adaptiven Digitalen Enterprise Architektur für Big Data und Cloud Kontexte. ESARC ist eine EA-

Referenzarchitektur und formuliert einen ganzheitlichen Klassifikationsrahmen (Framework) für die Analyse (Assessments), Bewertung, Optimierung, Neugestaltung und Transformation von Service-orientierten Unternehmensarchitekturen, der zugehörigen Systeme, der Fachlichkeit und Technologien. Unternehmensarchitekturen für Services & Cloud Computing definieren heute ein Einsatzfeld, das sich auf die Erschließung von Potenzialen und das Management von Veränderungen fokussiert, die sich durch die zunehmende Verbreitung von Big Data, Cloud- und Service-basierten Architekturen ergeben. Hier besteht verstärkt der Bedarf der Koordination zwischen Strategieranforderungen, neuen Geschäftsanforderungen, technologischen Veränderungen und einer Landschaft von Projekten, Bebauungsplänen und Kostenoptimierungen.

Neue komplexere Produkte und Dienstleistungen erfordern eine effiziente und leistungsstarke EA-Funktion. Dafür passend ausgewählte und parametrisierte EAM-Tools sollten durch ergänzende methodische Instrumente und ein geeignetes Wissen über Digitale Enterprise Architekturen bei allen fachlich und technologisch aufgestellten Beteiligten führen. Eine EA-Referenzarchitektur kann als Grundlage dieser neuen Positionierung von EAM in Unternehmen, aber auch als Handlungsgrundlage für die Weiterentwicklung von EAM-Werkzeugen und Methoden bei Herstellern und Partnern betrachtet werden. Eine derartige EA Referenzarchitektur muss konsequent auf die neuen Möglichkeiten von Big Data, Analytics und Architekturen für Services & Cloud Computing angepasst werden. Im vorliegenden Aufsatz wird der durch theoretische Vorarbeiten und praktische Szenarien erprobte Weg zu einer adaptiven Service-orientierten EA-Referenzarchitektur unter Berücksichtigung von Services & Cloud Computing beschrieben.

Unser Hauptbeitrag umfasst einen erweiterten Ansatz für EAM (Enterprise Architecture Management) durch die systematische Zusammensetzung und Integration von Architektur-Metamodellen, Ontologien, Views und Viewpoints für adaptive Digitale Enterprise Architekturen - in enger Ausrichtung auf Services & Cloud Computing und Big Data-Architekturen. Wir berichten über Erweiterungen unserer Forschungsarbeiten zu ESARC [Zi12], [Zi13b], [Es13b] und zur Semantik-gestützten Software-Wartung [Wi12], [Es13a] Evolution von Service-orientierten Anwendungen in Verbindung mit neuen Entwicklungen von EAM [Jo14] und Plattform- Ökosystemen [Ti14]. Wir integrieren gegenwärtig Perspektiven der adaptiven Software-Modelle [Sh11], [He06], [Sa06], [Yo02] und [Fe10] für flexibel veränderbare Unternehmensarchitekturen auch für KMUs und für die Unterstützung von Geschäftstransformationsprozessen durch EAM und erweitern diese Flexibilität um Aspekte der Datenkonsistenz [Bt11] und Big Data [Br13]. Zusätzlich zu dem Stand der Wissenschaft integrieren wir derzeit EAM-Metamodelle von Industriepartnern und aus EA-Tools.

Das folgende Kapitel 2 beschreibt unseren Ansatz für eine EA-Referenzarchitektur für SmartLife-Ökosysteme auf Basis des erweiterten ESARC. Kapitel 3 skizziert die synergetische Basis der EA-Modellintegration, grundlegende Adaptionenmechanismen und die Konsistenzbehandlung von EA-Modellen. Kapitel 4 beschäftigt sich mit Metamodellen und Ontologien als Grundlage einer entscheidungsunterstützenden formalen Semantik für die Analyse, Bewertung und Navigation zwischen den EA-Konzepten. Schließlich fassen wir im Kapitel 5 unsere Schlussfolgerungen, wesentliche EA-Trends und Pläne für die Zukunft zusammen.

2 Referenzarchitektur

In Bereichen, in denen Flexibilität und Agilität des Geschäfts flexibel unterstützt werden sollen, ist Services Computing [Zh07] der Ansatz der Wahl, um Fähigkeiten von verteilten Systemen zu organisieren und agil zu nutzen. Innovationsorientierte Unternehmen haben in den letzten Jahren Service-orientierten Architekturen eingeführt, um die Lücke zwischen Geschäft und IT zu schließen und gleichzeitig neue Potentiale wie Cloud Computing, Big Data, Analytics u. a. strategisch zu erschließen. Die Vorteile von Service-orientierten Architekturen [Ma06] wie Flexibilität, Prozessorientierung, Time-to-Market und agile Innovation sind prinzipiell anerkannt, jedoch leider noch nicht ganz gut beherrscht. Digitale Unternehmensarchitekturen oder klassisch EAM – Enterprise Architecture Management - adressieren die Gesamtsicht der Architekturen aus fachlicher und technologischer Sicht.

Der Kern unserer erweiterten EA-Referenzarchitektur ist ESARC - Enterprise Services Architecture Reference Cube [Zi12], [Zi13a], [Zi13b] (siehe Abbildung 1) präzisiert bestehende architektonische Standards und Frameworks für EAM - Enterprise Architecture Management [Ro06], [TG11] und [AM12] und erweitert diese Architekturstandards für Services Computing, Cloud Computing und Big Data. ESARC ist unser eigens entwickeltes Architektur-Referenzmodell für ein Service-orientiertes EAM, das einen ganzheitlichen Klassifikationsrahmen mit acht integrierten Architekturbereichen definiert. ESARC abstrahiert von einem konkreten Business-Szenario oder spezifischen Technologien, ist aber offen für konkrete architektonische Ausprägungen ausgelegt.

Das OASIS-Referenzmodell für Service Orientierte Architekturen [MK06] definiert einen abstrakten Rahmen für unsere Vorstellung von Referenzarchitekturen [Ba13], [Es08] und [OG11a]. Referenzmodelle sind konzeptionelle Modelle der funktionalen Zerlegung eines Systems in Modellelemente zusammen mit den Datenflüssen zwischen diesen Elementen. Das Referenzmodell für Service-orientierte Architektur von OASIS [MK06] definiert grundlegende generische Elemente und ihre Beziehungen einer Service-orientierten Architektur. Dieses Referenzmodell ist kein Standard, bietet aber eine gemeinsame Semantik für spezifischere Referenzarchitekturen. Referenzarchitekturen, in [Es08] und [OG11a], sind spezialisierte Modelle eines Referenzmodells. Referenzarchitekturen entstehen durch Abbildung von Referenzmodellen zu Software-Komponenten, die kooperativ die Funktionalität der Referenzmodelle implementieren. Oftmals wird diese Abbildung von Referenzmodellen zu Referenzarchitekturen durch Architekturmuster unterstützt. Referenzarchitekturen wenden darüber hinaus eine Sammlung von geeignet kombinierten Architekturstilen wie Client/Server, REST, Web-Services, u. a. an.

The Open Group Architecture Framework [TG11] und ArchiMate [AM12] liefern wesentliche Standards für erweiterte Service-orientierten Domänen (Abbildung 1) von ESARC [Zi13a], [Zi13b] wie: Architecture Governance, Architecture Management, Business & Information Architecture, Technology Architecture, Operation Architecture, Cloud Services Architecture und Security Architecture. ESARC bietet mit seinem Klassifikationsframework, Metamodellen und EA-Patterns eine kohärente Hilfe für zyklische Assessments, EA-Analytik, Optimierung und Neuausrichtung der multiperspektivischen Architekturqualität von adaptiven Digitalen Enterprise Architekturen.

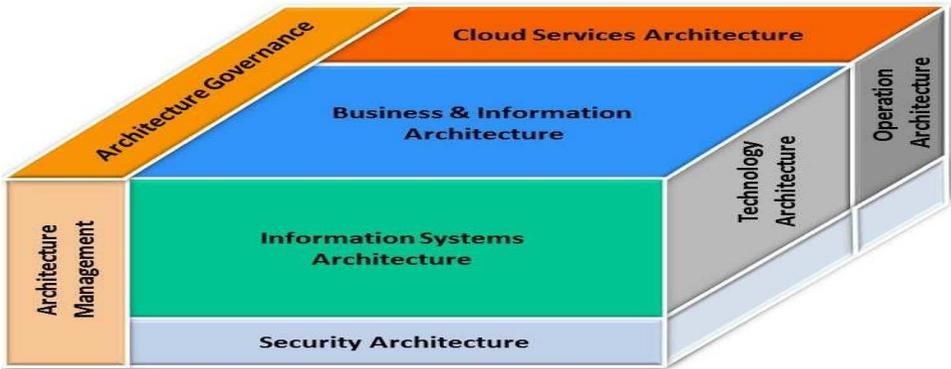


Abbildung 1: ESARC – Enterprise Services Architecture Reference Cube

Architecture Governance [Zi13a], [Zi13b] formuliert den Architektur-Governance-Zyklus [Ro06]. Er setzt den abstrakten Rahmen für konkrete Governance-Aktivitäten innerhalb des Unternehmens bzw. für die Entwicklung von Produktlinien durch grundlegende Management-Aktivitäten: Planen, Definieren, Umsetzen, Messen, Kontrollieren. Das zweite Ziel ist es, Compliance-Regeln für die Architektur-Governance zur Einhaltung interner und externer Standards zu setzen und zu überwachen. Unternehmensarchitekten und Software-Architekten verbindet ein anspruchsvoller Pfad, der von der Geschäfts- und IT-Strategie ausgeht und bis zur Definition und Überwachung der Architekturlandschaft von miteinander verknüpften Geschäftsbereichen, Produkten, Dienstleistungen, Geschäftsprozessen, Anwendungssystemen und Technologien führt. Architecture Governance setzt Regeln für die Übertragung von Verantwortung an handelnde Akteure, legt Strukturen und Verfahren für das Architecture Governance Board fest und definiert wesentliche Regeln für die Kommunikation. Folgende Begriffe für Architecture Governance wurden im Modell festgelegt: Service-Strategie, Lebenszyklus-Management für alle markanten Zustände von Architektur-Artefakten, Service-Sicherheit, Service-Tests und Überwachung, Serviceverträge, Service-Registries, Wiederverwendung von Services, Service-Verantwortlichkeiten, Service-Definition und Versionsverwaltung.

Die „Business and Information Reference Architecture – BIRA“ [Zi13a], [Zi13b] liefert die eindeutige Informationsquelle und einen umfassenden Wissensspeicher der fachlichen Konzepte, aus denen konkrete Unternehmensinitiativen und Systeme entwickeln werden. Operative fachliche und technologische Anforderungen müssen natürlicherweise noch durch jedes Umsetzungsprojekt ergänzt werden. Dieses Wissen ist modellbasiert und definiert ein integriertes Enterprise Business Modell, das auch Organisationsmodelle und Geschäftsprozesse umfasst. Die BIRA eröffnet eine Verbindung (inter-architectural dependency) zur Software-Architektur der Informationssysteme, zur Technology Architecture der IT-Infrastrukturen, zur Betriebsarchitektur, zur Cloud-Services Architecture und zur Sicherheitsarchitektur. Die BIRA ermöglicht ein abgestimmtes Business-IT Alignment durch mehrfach integrierte Modelle (intra-architectural dependency) und Angaben zur Business- und Informationsstrategie, beteiligte Organisationen und Einheiten, Geschäftsrollen, wesentliche Anforderungen ans Geschäft und für zugehörige Informationssysteme, wichtige Geschäftsprozesse, Geschäftsregeln, Geschäftsprodukte, Dienstleistungen und die damit verbundenen Steuerungs- und Kontrollinformationen.

Die „Information Systems Reference Architecture – ISRA“ [Zi13a], [Zi13b] ist die Software-Referenzarchitektur der Anwendung und enthält wesentliche anwendungsspezifische Typen von Services, die durch ein Schichtenmodell von aufeinander aufbauenden Schichten geordnet wurden. Die Kernfunktionalität der Domain-Services wurde mit Interaktionsservices und Geschäftsprozessservices der Kundenorganisation verbunden. Der Aufbau der ISRA (in Abbildung 2) berücksichtigt aktuelle Standards für Service-orientierte Referenzmodelle [MK06] und Referenzarchitekturen [Es08] und [AM12]. Um Big Data und Cloud Computing Technologien zu unterstützen, haben wir in Abbildung 2 einen einheitlichen Satz von 14 aufeinander aufbauenden Servicetypen kategorisiert.

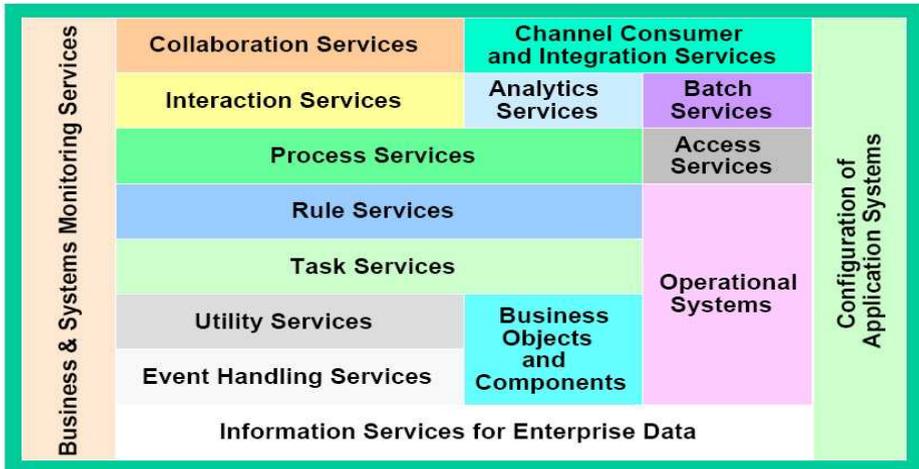


Abbildung 2: ESARC – Information Systems Reference Architecture

Informationsdienste für Unternehmensdaten [Zi13a], [Zi13b] sind datenzentrische elementare Komponenten, die den Zugang zu persistenten Geschäftsobjekten in der Regel über Datenbanken und andere Speicher realisieren. In der Nähe dieser Informationsdienste befinden sich Services zur Verwaltung der Datenkontexte, wie diese durch Grundmechanismen der Technologiearchitektur ermöglicht werden, wie beispielsweise Fehlerbehandlungsmechanismen, Transaktionsmechanismen für kurze und lange evtl. verteilte Transaktionen, Kompensationsdienste sowie weitere Mechanismen zur annähernden oder exakten Konsistenzbehandlung.

Process Services [Zi13a], [Zi13b] sind lang laufende Services, die Task Services und Information Services in Workflows zusammenbauen (orchestrieren), um die prozedurale Logik der Geschäftsprozesse zu implementieren. Prozessdienste können Prozessregeldienste (Process Rule Services) aktivieren, um den Teil der instabilen (d. h. veränderlichen) kausalen Entscheidungslogiken von Gateways auszuklammern und damit einfacher veränderbare (agile) Geschäftsprozesse zu ermöglichen. Prozessdienste werden von Interaktionsdiensten oder spezifischen Diagnostik-Services oder Monitoring-Services aktiviert. Prozess-Services verwalten oft verteilten Daten- und Anwendungszustände indirekt durch die Aktivierung von Task Services und/oder Informationsdiensten. Wenn Prozessdienste in der interaktiven Workflows teilnehmen, müssen sie lange Transaktionen unterstützen und eventuelle Ausnahmen / Fehler durch Kompensationslogiken behandeln.

Big Data [Be13] und [Sc14] ist ein neueres Verarbeitungskonzept, um Sammlungen von sehr großen Datenmengen unterschiedlicher Herkunft und Ausgangsstruktur in einer hohen Geschwindigkeit zu verarbeiten. Vor allem im Bereich der Technologieentwicklung und IT sowie im Marketing und Vertrieb liegen demnach die größten Nutzenpotenziale. Zur Analyse großer Datenmengen unterschiedlichster Struktur im Rahmen von Big Data eignen sich traditionelle Verarbeitungswerkzeuge kaum. SmartLife Anwendungen erfordern spezielle Umgebungen für Big Data. SmartLife Anwendungen, wie das Szenario in diesem Papier zeigte, werden typischerweise mehrere Online-Datenbanken gleichzeitig abfragen. Um solche Anfragen zu behandeln werden dezentrale Parallelarchitekturen, die Daten über mehrere Verarbeitungseinheiten verteilen, benötigt. Big Data Bearbeitungsfunktionen wie MapReduce [De04] werden benötigt, um diese Art von Anfragen und Daten für SmartLife -Anwendungen parallel zu bearbeiten. MapReduce, welches auf dem Hadoop-Framework verwendet wird, zerstückelt die Abfragen auf kleine Segmente und verteilt sie auf parallelen Knoten zur Bearbeitung. Die Ergebnisse werden dann von den parallelen Knoten gesammelt, verdichtet und weiterbearbeitet, z. B. analysiert.

Cloud-Architekturen (Integrationskomponenten in Abbildung 3) befinden sind noch in Entwicklung und sind noch nicht so weit, ihr volles Potenzial bei der Integration von Enterprise Architekturen mit Services Computing und Cloud Computing zu erreichen. Die „Cloud Services Reference Architecture“ stützt sich auf eine Referenzmodell-basierte Synthese von aktuellen Standards und Referenzarchitekturen aus [Li11] , [Be11] und [CS09]. Die heutige Entwicklung von Technologien und Standards für Cloud Computing wächst sehr schnell und bietet eine zunehmend gut standardisierte Basis für Cloud-Produkte und neue Service-Angebote.

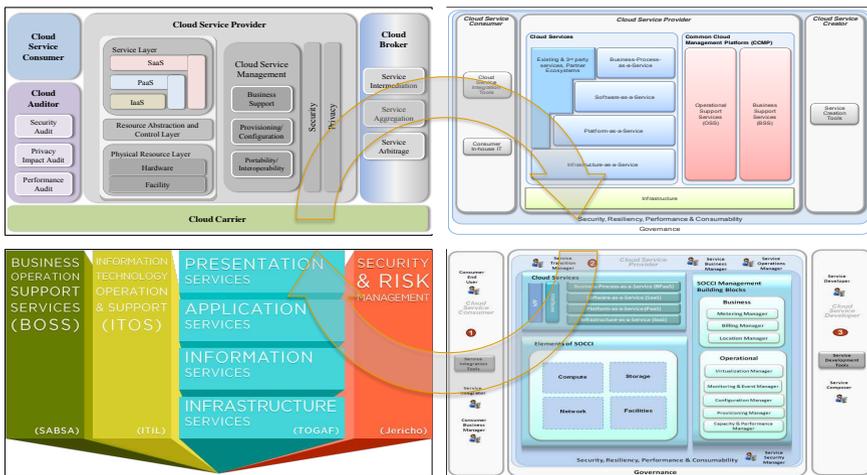


Abbildung 3: Integrating Cloud Computing Reference Architectures with SOCCI

Die NIST Cloud Computing Referenzarchitektur [Li11] definiert den Standard und damit das konzeptuelle Grundmodell für Cloud Computing aus der Perspektive folgender Rollen: Cloud Consumer, Cloud Provider, Cloud Auditor, und Cloud Broker. Der NIST-Standard definiert ferner folgende Bereitstellungsmodelle: Private Cloud, Community Cloud, Public Cloud, und Hybrid Cloud. Cloud Computing definiert wesentliche

Eigenschaften einer massiv parallelen virtualisierten Serverlandschaft: On-Demand-Self-Services, Broad Network Access, Resource Pooling, Rapid Elasticity, und Measured Services. Der grundlegende Teil der NIST-Referenzarchitektur formuliert folgende Cloud-Service-Modelle: IaaS - Infrastructure as a Service, PaaS - Platform as a Service , und SaaS - Software as a Service.

Einige Erweiterungen des NIST-Standards [Be11] liefern praktische Ergänzungen für die direktere Unterstützung moderner Business-Architekturen durch BPaaS - Business Process as a Service und ermöglichen durch ein durchgehendes Service-Konzept eine direkte Unterstützung von Service-orientierten Unternehmensarchitekturen. Die IBM Cloud Computing Reference Architecture erweitert die Standardisierung von NIST durch Best-Of-Industry Branchenwissen und Cloud-Produktspezifikationen auf Basis eigener Technologie-Stacks, Middleware, sowie Service-orientierte Entwicklungs- und Laufzeitplattformen [Be11]. Die IBM Cloud Computing -Referenzarchitektur [Be11] hat den grundlegenden NIST-Standard für Cloud Computing [Li11] mit der SOA-Referenzarchitektur [OG11a] der Open Group integriert: Alle Cloud- Services sind demnach SOA-Services, aber nicht alle SOA-Services sind auch Cloud-Services. Die Sicherheitsergänzungen aus den CSA Security Guidelines for Critical Areas of Focus in Cloud Computing [CS09] definiert eine auf Jericho-Sicherheitsmechanismen fokussierte Service-orientierte Referenzarchitektur für Cloud Computing und integriert die Managementperspektiven aus Standards wie ITIL und TOGAF [TG11].

Das SOCCI - Service-Oriented Cloud Computing Framework [OG11b] umfasst eine grundlegende Zusammenstellung für eine integrierte Reihe von Infrastrukturkomponenten IaaS für Cloud Computing. Im Grunde ist es die Synergie von Service-orientierten Architekturen und Cloud Computing Architekturen durch einen konsequenten As-a-Service - Mechanismus für alle Arten von Cloud-Services. Die grundlegenden Eigenschaften eines Service-orientierten Infrastruktur (SOI) sind: Business-Driven Infrastructure On-Demand, Operational Transparency, Service Measurement, und Consumer Provider Model. Das SOCCI - Service-Oriented Cloud Computing Framework ist die Erweiterung der in die SOA-Referenzarchitektur [OG11a] abgebildeten Service-orientierten Infrastruktur (SOI). Die SOI-Framework ist die Schicht über der Basisinfrastruktur und definiert wesentliche Elemente der SOCCI: Compute, Network, Storage, Facilities. SOCCI erweitert diese Grundelemente durch Basisbausteine (Building Blocks) zur flexiblen Unterstützung von Management und Betrieb von Cloud Infrastrukturen.

3 Adaptionenmechanismen

Die Integrationsmethode ESAMI – Enterprise Services Architecture Metamodel Integration – [Zi13a] wird gegenwärtig durch laufzeitaktive Adaptionenmechanismen erweitert. Um adaptive Enterprise Architekturen zu unterstützen, wurden in [Jo14] agil steuerbare Analyse-Metamodelle und zugehörige Architektur-Viewpoints eingeführt und auf folgende Qualitätskriterien zur Unterstützung der Agilität und Adaption von Architekturen ausgerichtet: Anpassbarkeit der Anwendungen, Genauigkeit der Daten, Verwendbarkeit der Anwendungssysteme, Service-Verfügbarkeit, Interoperabilität, Kosten und Nutzen. Plattform Ökosysteme werden in [Ti14] systematisch untersucht und mit den wichtigsten strategischen Treibern für die Systementwicklung und die Evolution der Ökosysteme verknüpft. Hauptkonzepte adaptiver Enterprise Architekturen für digitale

Ökosysteme basieren auf Mikroarchitekturen, die den Kontext von Internet-Systemen erfordern. Bevorzugte Mechanismen der Modularisierung von Systemen stützen sich auf Mechanismen zur Entkopplung von Subsystemen und auf die von Standardisierung von Schnittstellen. Architektur Governance-Modelle zeigen den Weg, um anpassungsfähige Ökosysteme zu ermöglichen und um die Evolution von Plattform und Systemen zusammenzuführen. Enterprise Architekturen für KMUs [Bl13] fokussieren auf sparsame und effiziente adaptive Funktionen der EA wie: Agilität, um die Ökosysteme an sich verändernde Umgebungen rasch und flexibel anzupassen, Strategie Planung und Entscheidungsunterstützung, kontinuierliches Ausrichtung des Geschäfts auf IT und umgekehrt (Business / IT-Alignment), Komplexitätsmanagement, Integration von Geschäftsprozessen, Vereinheitlichung der Daten und Datenintegration, Verknüpfung der Daten mit externen Partnern, sowie die kontinuierliche Wertsteigerung der IT. Der Schwerpunkt des ADaPPT [Sh11] EA-Ansatzes ist in erster Linie auf vier strategische EA Domain Elementen ausgerichtet: Menschen, Prozesse, Daten, und Technologien.

Um ein adäquates IT / Business Alignment für eine leistungsstarke Digitale Enterprise Architektur zu erreichen, sind drei Qualitätsperspektiven gemäß unserer Forschung wesentlich und daher durch geeignete Qualitätskriterien zu differenzieren: (i) IT-Systemeigenschaften: Leistung, Interoperabilität, Verfügbarkeit, Benutzerfreundlichkeit, Genauigkeit, Wartbarkeit und Eignung; (ii) Geschäftseigenschaften: Flexibilität, Effizienz, Wirksamkeit, Integration und Koordination, Entscheidungsunterstützung, Steuerung und Folgeaktivitäten, und Organisationskultur; und schließlich (iii) Governance-Qualitäten: Planung und Organisation, Akquisition und Implementation, Bereitstellung und Unterstützung, Monitoring und Evaluierung.

Aus der Sicht der Modellierung adaptiver Metamodelle für adaptive Digitale Enterprise Architekturen haben wir zusätzliche Anregungen aus dem „Adaptive Object Model Architectural Style“, von [Yo02] übernommen werden, um die Flexibilität der Systeme zu ermöglichen und Systemkonfiguration zur Laufzeit anpassen zu können. Dafür werden Geschäftsregeln explizit dargestellt und außerhalb des Programmcodes - und damit einfach veränderbar - abgelegt. Das Objektmodell im festen Code besteht lediglich aus einem Interpreter des Objektmodells der Nutzer. Das konfigurierbare Wissen ist außerhalb des Programms in den Regeln gespeichert. Dieser Semantik-gestützte Ansatz ermöglicht, dass Architekten und Entwickler – in ausbaubarer Form sogar Programme selbst - das adaptive Objektmodell flexibel und einfach zur Laufzeit anpassen können. Der Ansatz der „Core Patterns of Object-Oriented Meta-Architectures“ aus [Fe10] ermöglicht reflektive Architekturen, die in der Lage sind die Strukturen der Programme zur Laufzeit zu inspizieren und diese Strukturen und das Verhalten der Programme zur Laufzeit dynamisch anzupassen.

4 Schlussfolgerungen und Trends

Wir haben in diesem Beitrag über laufende Arbeiten zur Konzeption neuartiger adaptiver Digitaler Enterprise Architekturen für Big Data und Cloud Systeme berichtet. Dafür haben wir auf Basis unserer Vorarbeiten und des State of Art die Referenzarchitektur ESARC um adaptive Elemente erweitert, um insbesondere Transformationsprozesse für neue Geschäftsmodelle und Informationssysteme sowohl bei großen wie auch bei kleinsten Unternehmen agil durch EAM zu unterstützen. Dafür haben wir unsere Metamodell-basierte Integrationsmethode konsequent auf neue

Architekturstandards sowie auf den State of Art & Practice ausgerichtet und damit eine einfach zu handhabende Basis für weitere EA-Modellintegrationen geschaffen.

In unserer aktuellen Forschung legen wir ein großes Augenmerk auf die schnelle Anpassbarkeit der EA an neue Kontexte und erforschen daher wesentliche Adaptionsmechanismen für EA. Adaption bedeutet immer potentielle Inkonsistenz der Modelle und der EA-Information. Daher adressieren wir ebenfalls neue Aspekte der Konsistenzbehandlung und setzen hierfür Erfahrungen aus der Big Data Analytics und aus Vorarbeiten über Architekturen für Services & Cloud Computing ein. Der Weg zu intelligenten Systemen liefern uns Metamodelle und zugehörige Ontologien, um eine geeignete Form der EA-Wissensrepräsentation für neuartige und flexiblere Digitale Enterprise Architekturen zu ermöglichen.

Aus den skizzierten Lösungselementen folgen interessante weiterführende Themen für Service-orientierte EA-Referenzarchitekturen: Ausrichtung auf strategierelevante Kosten- und Optimierungsthemen, Unterstützung organisatorischer Neuordnungen und systematische Veränderungsprozesse, EAM für Innovationsmanagement und Risikomanagement, erweiterte Referenzmodelle und EA-Viewpoint-Models, Wissensrepräsentation und Semantikverarbeitung für EA, Visualisierung, Interaktion, Simulation und neue, schlanke und effiziente Verfahren und Mechanismen der Gestaltung, Nutzung und Entscheidungsunterstützung in EA-Kollaborationsprozessen.

Literatur

- [Am11] Allemang, D.; Hendler, J.: Semantic Web for the Working Ontologist – Effective Modeling in RDFS and OWL. Morgan Kaufmann, 2011.
- [AM12] ArchiMate 2.0 Specification. Open Group Standard, 2012.
- [Ba13] Bass, C.; Clements, P.; Kazman, R.: Software Architecture in Practice. Addison Wesley, 2013.
- [Be11] Behrendt, M.; Glaser, B.; Kopp, P.; Diekmann, R.; Breiter, G.; Pappé, S.; Kreger, H.; Arsanjani A.: Introduction and Architecture Overview – IBM Cloud Computing Reference Architecture 2.0. IBM 2011.
- [Bl13] Van Belle, J-P.; Giqwa, L.: The Potential of Enterprise Architectural Thinking for Small Enterprises: An Exploratory South African Study. International Journal of Advanced Research in Business, Vol. 1, No. 3, pp. 22-29, 2013-14.
- [Br13] J. J. Berman: Principles of Big Data. Morgan Kaufmann, 2013.
- [Bt11] Bertossi, L.: Database Repairing and Consistent Query Answering. Morgan & Claypool Publishers, 2011.
- [CS09] CSA Cloud Security Alliance: Security Guidance for Critical Areas of Focus in Cloud Computing V2.1. 2009.
- [De04] Dean, J.; Ghemawat, S.: MapReduce: Simplified Data Processing on Large Clusters. OSDI, pp. 1-13. 2004.
- [DF09] DoDAF Architecture Framework. Version 2.0, Volume 1, Department of Defense USA, 28 May 2009.

- [Em09] Emery, D. E.; Hilliard, R.: Every Architecture Description needs a Framework - Expressing Architecture Frameworks Using ISO/IEC 42010. IEEE/IFIP WICSA/ECSA 2009, pp. 31-40, 2009.
- [Es08] Estefan, J. A.; Laskey, K.; McCabe, F. G.; Thornton, D.: OASIS Reference Architecture for Service Oriented Architecture. Version 1.0, OASIS Public Review Draft 1, 23 April, 2008.
- [Es13a] El-Sheikh, E.; Reichherzer, T.; White, L.; Wilde, N.; Coffey, J.; Bagui, S.; Goehring, G.; Baskin, A.: Towards Enhanced Program Comprehension for Service Oriented Architecture (SOA) Systems. Journal of Software Engineering and Applications, Vol. 6 No. 9, 2013, pp. 435-445.
- [Es13b] El-Sheikh, E.; Bagui, S.; Firesmith, D. G.; Petrov, I.; Wilde, N.; Zimmermann, A.: Towards Semantic-Supported SmartLife System Architectures for Big Data Services in the Cloud. Proceedings of the Fifth International Conference on Advanced Service Computing - Service Computation 2013, May 27 – June 1, Valencia, Spain, pp. 59-64, 2013.
- [ES14] Essential Architecture Project. <http://www.enterprise-architecture.org>, last access: May, 9th, 2014.
- [Fe10] Ferreira, H. S.; Correia, F. F.; Yoder, J.; Aguiar, A.: Core Patterns of Object-Oriented Meta-Architecture. ACM-PLoP, October 16-18, 2010, Reno/Tahoe, Nevada, USA, 2010.
- [Go13] Goehring, G.; Reichherzer, T.; El-Sheikh, E.; Snider, D.; Wilde, N.; Bagui, S.; Coffey, J.; White, L.: A Knowledge-Based System Approach for Extracting Abstractions from Service Oriented Architecture Artifacts. IJARAI International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence, Vol. 2, No.3, pp. 44-52, 2013.
- [He06] Hendrickx, W.; Gorissen, D.; Dhaene, T.: GRID Enabled Sequential Design and Adaptive Metamodeling. IEEE Winter Simulation Conference, pp. 872-881, 2006.
- [Hs04] Heistacher, T.; Kurz, T.; Masuch, C.; Ferronato, P.; Vidal, M.; Corallo, A.; Briscoe, G.; Dini, P.: Pervasive Service Architecture for a Digital Business Ecosystem. ECOOP 2004, Oslo, Norway, June 14, 2004.
- [Jo14] Johnson, P.; Lagerström, R.; Ekstedt, M.; Österlind, M.: IT Management with Enterprise Architecture. KTH Stockholm, Sweden, 2014.
- [Li11] Liu, F.; Tong, J.; Mao, J.; Bohn, R.; Messina, J.; Badger, L.; Leaf, D.: NIST Cloud Computing Reference Architecture. US Dept. of Commerce NIST SP 500-292, 2011.
- [Ma06] Marks, E. A.; Bell, M.: Service Oriented Architecture (SOA): a planning and implementation guide for business and technology. John Wiley & Sons, 2006.
- [MF05] MODAF MOD Architectural Framework, Executive Summary, Version 1.0, 31 August, Ministry of Defense UK, 2005.
- [MK06] MacKenzie, C. M.; Laskey, K.; McCabe, F.; Brown, P. F.; Metz, R.: OASIS Reference Model for Service Oriented Architecture 1.0. OASIS Standard, 12 October 2006.
- [Mo13] Morgan, T. P.: Intel takes on all Hadoop disties to rule big data munching. The Register 2013. http://www.theregister.co.uk/2013/02/26/intel_rolls_up_hadoop_distribution/ last access: May, 9th, 2014.
- [NF07] NATO Architecture Framework. Version 3. 2007.
- [NG01] Noy, N. F.; McGuinness, D. L.: Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Ontology. Stanford University, USA, 2001.
- [OG10] Open Group: Service-Oriented Architecture Ontology. The Open Group, 2006.

- [OG11a] The Open Group: SOA Reference Architecture. Technical Standard, 2011, <https://www2.opengroup.org/ogsys/jsp/publications/PublicationDetails.jsp?catalogno=c119>, last access: May 9th, 2014.
- [OG11b] Open Group Standard: Service-Oriented Cloud Computing Infrastructure (SOCCI) Framework. The Open Group 2011.
- [Ro06] Ross, W.; Weill, P.; Robertson, D.: Enterprise Architecture as Strategy – Creating a Foundation for Business Execution. Harvard Business School Press, 2006.
- [Sa06] Saat, J.; Franke, U.; Lagerström, R.; Ekstedt, M.: Enterprise Architecture Meta Models for IT/Business Alignment Situations. EDOC Conference 2010, Vitoria, Brazil, 2010.
- [Sc14] Schmidt, R.; Möhring, M.; Maier, S.; Pietsch, J.; Härting, R. C.: Big Data as Strategic Enabler - Insights from Central European Enterprises. In: Abramowicz, W., Kokkinaki, A. (Hrsg.). 17th International Conference on Business Information Systems (BIS). Springer LNBP. Larnaca, Cyprus. (forthcoming), 2014.
- [Sh11] Shah, H.; Godler, P.: ADaPPT: Enterprise Architecture Thinking for Information Systems Development. IJCSI International Journal of Computer Science Issues, Vol. 8, Issue 1, January 2011.
- [TG11] TOGAF The Open Group Architecture Framework. Version 9.1, The Open Group, 2011.
- [Ti14] A. Tiwana, A.: Platform Ecosystems – Aligning Architecture Governance, and Strategy. Morgan Kaufmann, 2014.
- [We04] Weill, P.; Ross, J.W.: IT Governance. Harvard Business School Press, 2004.
- [Wi12] Wilde, N.; Coffey, J.; Reichherzer, T.; White, L.: Open SOALab: Case Study Artifacts for SOA Research and Education. Principles of Engineering Service-Oriented Systems, PESOS 2012, Zurich, Switzerland, pp. 59-60, June 4, 2012.
- [Yo02] Yoder, J. W.; Johnson, R.: The Adaptive Object-Model Architectural Style. IFIP-WICSA Conference 2002, Kluwer B.V. pp. 3-27, 2002.
- [Zh07] Zhao, J. L.; Tanniru, M.; Zhang, L. J.: Services computing as the foundation of enterprise agility - Overview of recent advances and introduction to the special issue. Information Systems Frontiers 9.1, 2007 pp. 1-8, 2007.
- [Zi12] Zimmermann, A.; Zimmermann, G.: Enterprise Architecture Ontology for Services Computing. In: Proc. SERVICE COMPUTATION 2012, Nice – France – July 22-27, 2012, ISBN 978-1-61208-215-8, pp. 64-69, 2012.
- [Zi13a] Zimmermann, A.; Sandkuhl, K.; Pretz, M.; Falkenthal, M.; Jugel, D.; Wißotzki, M.: Towards an Integrated Service-Oriented Reference Enterprise Architecture. European Software Engineering Conference ESEC 2013 and the ACM SIGSOFT Symposium on the Foundations of Software Engineering with WEA Workshop on Software Ecosystem Architectures, August 18-26, 2013, St. Petersburg, Russia, pp. 26-30, 2013.
- [Zi13b] Zimmermann, A.; Pretz, M.; Zimmermann, G.; Firesmith, D. G.; Petrov, I.; El-Sheikh, E.: Towards Service-oriented Enterprise Architectures for Big Data Applications in the Cloud. 17th IEEE International EDOC Conference (EDOCW 2013): The Enterprise Computing Conference with SoEA4EE, 9-13 September 2013, Vancouver, BC, Canada, pp. 130-135, 2013.