

ESGAD – Unternehmensspezifische IKT-Architekturentwicklung für Smart Grids

Jörn Trefke, Christan Dänekas, Sebastian Rohjans, Christine Rosinger, José González

OFFIS – Institut für Informatik
Escherweg 2
26212 Oldenburg
{vorname.nachname}@offis.de

Abstract: Der Strukturwandel in der Energiewirtschaft und insbesondere das in diesem Zusammenhang diskutierte Thema „Smart Grids“ stellt Unternehmen vor große Herausforderungen. Um diese zu adressieren werden Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) als ein zentrales Element angesehen. Dieser Beitrag präsentiert einen Baustein-basierten, integrierten Ansatz zur Entwicklung von IKT-Architekturen im Unternehmenskontext mit Smart-Grid-spezifischen Anforderungen. Hierunter fallen insbesondere Interoperabilitäts- und IT-Sicherheitsaspekte, die sich im hier vorgestellten ESGAD Ansatz wiederfinden. Dazu werden fünf Ansätze miteinander verknüpft: Eine Roadmap-basierte Technologieplanung, ein Energie-Referenzmodellkatalog, ein Use Case Management Repository, ein Semantic Service Integration Ansatz sowie eine Methode zur sicherheitsorientierten IKT-Architekturgestaltung. In diesem Zusammenhang wird ein Vorgehensmodell beschrieben und das dazugehörige integrierte ESGAD Metamodell vorgestellt. Darauf aufbauend wird der Gesamtansatz mit den bisherigen Ansätzen verglichen und zusammengefasst sowie ein Ausblick auf weitere Arbeiten gegeben.

1 Ausgangssituation und Problemstellung

Die Strukturen der elektrischen Energieversorgung sind, besonders in Deutschland im Rahmen der „Energiewende“¹, in einem langfristigen Wandlungsprozess begriffen, siehe [BW12]. Mit der Einführung von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in der Elektrizitätsversorgung soll mehr Effizienz, Verlässlichkeit und die verbesserte Einbindung regenerativer Stromerzeugung erreicht werden. Aktivitäten dieser Art werden international unter dem Begriff Smart Grids diskutiert². Im Rahmen dieses Beitrags wird unter „Smart Grid“ die Vision eines intelligenten Stromnetzes verstanden, in dem verschiedenste Erzeuger, Verbraucher sowie weitere Anlagen und Systeme mittels IKT integriert werden, um eine verbesserte, ökonomische, sichere und umweltverträgliche Steuerung, Führung und Überwachung des Netzes zu ermöglichen – siehe hierzu auch [Øs06]. Die Realisierung von Smart Grids und damit die Integration der System-

¹ Bezeichnet die Umgestaltung der Energieversorgung auf Basis erneuerbarer Energien.

² Siehe <http://www.smartgrids.eu>.

komponenten durch IKT durch Energieversorgungsunternehmen trägt maßgeblich zur Veränderung der bestehender IKT-Architekturen von Unternehmen der Energiewirtschaft bei. Dazu zählen etwa Versorgungsunternehmen, Netzbetreiber oder Messdienstleister. Die Umgestaltung des Energieversorgungssystems zu Smart Grids ist aufgrund der Kritikalität der Infrastruktur von strategischer Bedeutung für diese Unternehmen.

Aufgrund der steigenden Bedeutung von IKT entstehen auch neue Gefährdungen für die Informationssicherheit. Angriffe auf kritische Infrastrukturen stellen spätestens seit dem Stuxnet-Vorfall eine ernstzunehmende Bedrohung dar. Mehrere Faktoren vergrößern das Angriffspotenzial für das zukünftige Smart Grid: Die Zahl von Teilnehmern an energie- und marktwirtschaftlichen Transaktionen steigt und durch die Liberalisierung des Strommarktes gibt es mehr Datenübertragungen und Kommunikationsschnittstellen. Zusätzlich werden allgemeine IT und Sicherheitsmaßnahmen in Verbindung mit domänenspezifischen Anforderungen eingesetzt, die Risiken mit sich bringen. IT-Komponenten der Energiedomäne werden z. B. über offene Netze verbunden, oder der Einsatz handelsüblicher Virenscanners kann Echtzeitanwendungen blockieren [GK06].

Um möglichst nachhaltige und kosteneffiziente IKT-Architekturen zu implementieren sind somit geeignete Methoden einzusetzen. Bisherige Arbeiten im Bereich des Unternehmensarchitekturmanagements wie [Op09] beschreiben eher domänenneutrale, allgemeingültige Vorgehensweisen und erfordern daher einen großen Aufwand für die erforderliche unternehmensspezifische Anpassung. Dieser Forschungsbeitrag stellt daher eine aus domänenspezifischen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der Autoren integrierte Methodik zur Verfügung, welche die Entwicklung der IKT-Architektur für Unternehmen der elektrischen Energieversorgung unterstützt, und somit mit weniger Anpassungsaufwand verbunden sein soll. Insbesondere werden hierbei strategische und regulatorische Aspekte betrachtet sowie Informationssicherheit und die integrierte Komponententwicklung.

Der Beitrag beschreibt dazu in Abschnitt 2 zunächst die Grundlagen und verwandte Arbeiten für das Verständnis der IKT-Architecturentwicklung im Bereich Smart Grid. Dem schließt sich in Abschnitt 3 eine Beschreibung der jeweiligen Ansätze sowie deren Verknüpfung an, die den eigentlichen Forschungsbeitrag dieser Arbeit darstellt. Schließlich wird der vorliegende Beitrag in Abschnitt 4 resümiert und Ausblick auf weiteren Forschungsbedarf gegeben.

2 IKT-Architecturentwicklung im Smart Grid

Der Begriff der Architektur in diesem Beitrag folgt dem Verständnis von [Is11], wonach die Architektur eines Systems als „fundamental concepts or properties of a system in its environment embodied in its elements, relationships, and in the principles of its design and evolution“ definiert ist.

Die IKT-Architektur wird als die Menge aller IKT-Elemente (wie Anwendungen und Komponenten), der zugrunde liegenden Hardware/Infrastruktur (ohne stromversorgende Infrastruktur) und den Beziehungen untereinander (innerhalb der Kommunikationsinfra-

struktur) verstanden, die zur Bereitstellung und Nutzung von IT-Diensten innerhalb eines Unternehmens zur Erreichung von Geschäftszielen eingesetzt werden. Folglich ist, wie im linken Teil von Abbildung 1 dargestellt, die IKT-Architektur Teil der Unternehmensarchitektur (UA) und beruht auf der Geschäftsarchitektur, welche die geschäftlichen Anforderungen abbildet. Die IKT-Sicherheitsarchitektur (vgl. [Se12]) ist wiederum Teil der IKT-Architektur.

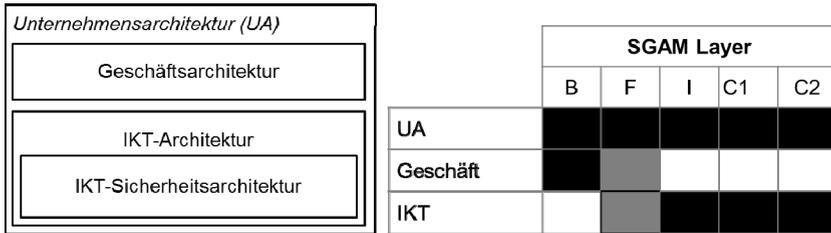


Abbildung 1: Unternehmensarchitektur - Begriffsbildung

Architekturbeschreibungen können ein Hilfsmittel zur Schaffung eines gemeinsamen Verständnisses und zur Kommunikation zwischen verschiedenen Beteiligten bei der Realisierung von Smart Grid Architekturen und zur Unterstützung von frühzeitigen Entwurfsentscheidungen darstellen [BCK03]. Sie liefern die Basis für detailliertere Diskussionen und Entwicklungen. Hierzu sollten Stakeholder-spezifische Architektur-Viewpoints gestaltet werden, die auf übergeordneten Smart Grid Architektur Viewpoints wie [CEN12] und Architekturentwicklungsansätzen wie [Op09] aufsetzen.

Als Ordnungsrahmen zur Ausprägung des in diesem Betrag dargelegten Ansatzes wird entsprechend das Smart Grid Architecture Model (SGAM) [CEN12] herangezogen, welches auf europäischer Ebene im Rahmen des Mandates M/490 der europäischen Kommission erarbeitet wurde. Die Entwicklung von Architekturen im Bereich der elektrischen Energieversorgung in Bezug auf Smart Grids zeichnet insbesondere durch die Integration netzdienlicher IKT aus, dem das SGAM insbesondere Rechnung trägt.

Zu den in Abbildung 2 dargestellten SGAM Konzepten zählen die physikalischen Domänen der Energiewandlung (Domains), die hierarchischen Ebenen des Stromnetzes (Zones) sowie Interoperabilitätsdimensionen (Interoperability Dimensions). Informationssicherheit wird als Querschnittsaspekt für jede Interoperabilitätsdimension betrachtet. Durch die Interoperabilitätsebenen verdeutlicht das SGAM die Notwendigkeit der integrierten Betrachtung von verschiedenen Architektursichten (Viewpoints nach [Is11]). Diese werden daher im weiteren Verlauf des Beitrags zur Klassifikation erneut herangezogen und im Folgenden inhaltlich erläutert. So bildet der *Business Layer* die geschäftliche Sichtweise auf strategische und taktische Ziele und Prozesse sowie regulatorische Vorgaben ab. Auf dem *Function Layer* werden IT-bezogene, implementierungsunabhängige Funktionen und Dienste beschrieben. Der *Information Layer* beinhaltet die Beschreibung der im Function Layer verwendeten Geschäftsobjekte und Datenmodelle. Der *Communication Layer* stellt die zum Datenaustausch verwendeten Protokolle und Verfahren zwischen Komponenten basierend auf Elementen des Information Layer dar. Schließlich repräsentiert der *Component Layer* die physische Verteilung der Komponenten.

ten und beinhaltet neben energietechnischer Infrastruktur und Anlagen auch entsprechende IKT-Infrastruktur und -Systeme. Der Bezug der SGAM Layer zur Geschäfts- und IKT-Architektur im Rahmen der Unternehmensarchitektur ist im rechten Teil von Abbildung 1 dargestellt.

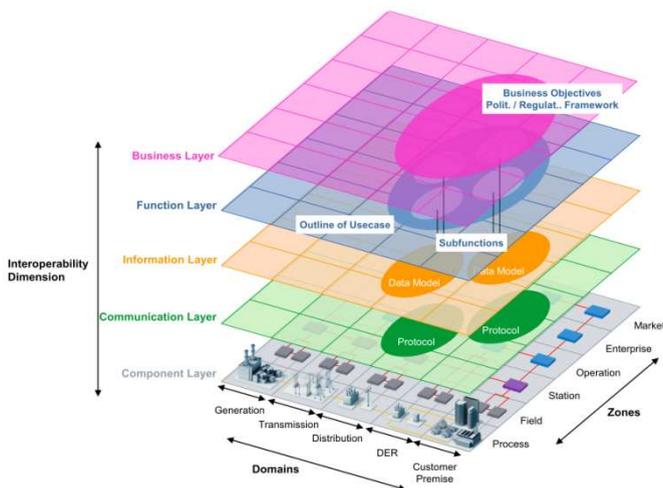


Abbildung 2: SGAM Übersicht

3 Entwicklungsmethodik und Integration der Bausteine

Aufbauend auf der zuvor beschriebenen Problemstellung und der Motivation für eine unternehmensspezifische IT-Architekturentwicklung für Smart Grids erfolgt hier die Vorstellung des Enterprise Smart Grid Architecture Development (ESGAD) Ansatzes. Dieser besteht aus verschiedenen Bausteinen, die im Sinne eines ganzheitlichen Ansatzes integriert werden. Bisherige Arbeiten dazu, die in [Tr12] dargelegt wurden, haben das Thema Informationssicherheit nicht berücksichtigt. Aufgrund der aufkommenden Bedeutung von durchgängiger Informationssicherheit in der Domäne, wird im Rahmen dieses Beitrages eine erweiterte Architekturentwicklungsmethode dargestellt, die dies phasenübergreifend berücksichtigt.

Abbildung 3 skizziert einerseits den unternehmensinternen Entwicklungsprozess und seine Phasen (links) sowie die außerhalb des Unternehmens liegenden Standardisierungsaktivitäten (rechts). Der interne Entwicklungsprozess gliedert sich in drei Phasen: Strategieentwicklung, Anforderungsmanagement und Systementwurf und Implementierung (hellgraue Rechtecke). Parallel zum unternehmensinternen Entwicklungsprozess sind auf Höhe der Phasen Anforderungsmanagement und Systementwurf und Implementierung ergänzende Standardisierungsaktivitäten aufgeführt. Innerhalb der einzelnen Phasen sind die verschiedenen Bausteine angedeutet (gestrichelte Linien). Der SITA-energy-Ansatz adressiert entsprechend des Querschnittscharakters alle Phasen. Der hier vorgeschlagene Ansatz soll Einflussfaktoren für IT-Architekturen Rechnung tragen und

eine, im Hinblick auf sich verändernde und unternehmensspezifische Anforderungen, adaptive Entwicklung der IT-Architektur ermöglichen. Adaptivität beinhaltet hier die Fähigkeit der ESGAD Methoden die Erstellung von IT-Architekturen, basierend auf unternehmensspezifischen Anforderungen, zu unterstützen.

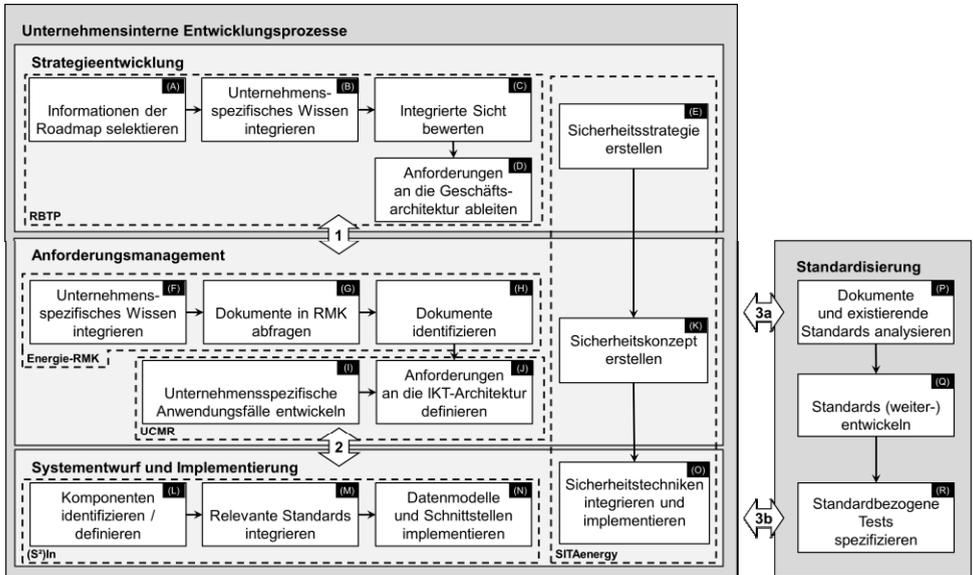


Abbildung 3: Vorgehensmodell und Bausteine des ESGAD Ansatzes

Korrespondierend zum ESGAD-Vorgehensmodell aus Abbildung 3 ist in Abbildung 4 das integrierte ESGAD-Metamodell³, bestehend aus den zuvor beschriebenen Bausteinen und entsprechend der Phasen des Entwicklungsprozesses gegliedert, dargestellt. Basierend auf den Phasen des Entwicklungsprozesses sind in Abbildung 4 links jeweils wesentliche Artefakte der Ansätze bzw. der Bausteine aufgeführt. In der Mitte von Abbildung 4 finden sich als Entwicklungspfad die verbindenden Architekturansprüche, die kontinuierlich von oben nach unten detailliert werden. Die rechte Seite von Abbildung 4 skizziert die Ergebnisartefakte des in diesem Beitrag beschriebenen ESGAD-Ansatzes. Als Ergebnis werden sowohl ESGAD-Artefakte als auch Standardisierungsartefakte bereitgestellt.

In den folgenden Abschnitten werden zunächst die einzelnen Bausteine kurz vorgestellt (Abschnitt 3.1). Anschließend erfolgt die ausführliche Darstellung der Phasen aus Abbildung 3 und der dortigen Aktivitäten (Abschnitt 3.2).

³ Ein Metamodell bezeichnet hier nach [Gutz94] das konzeptionelle Datenmodell aller Ergebnisse.

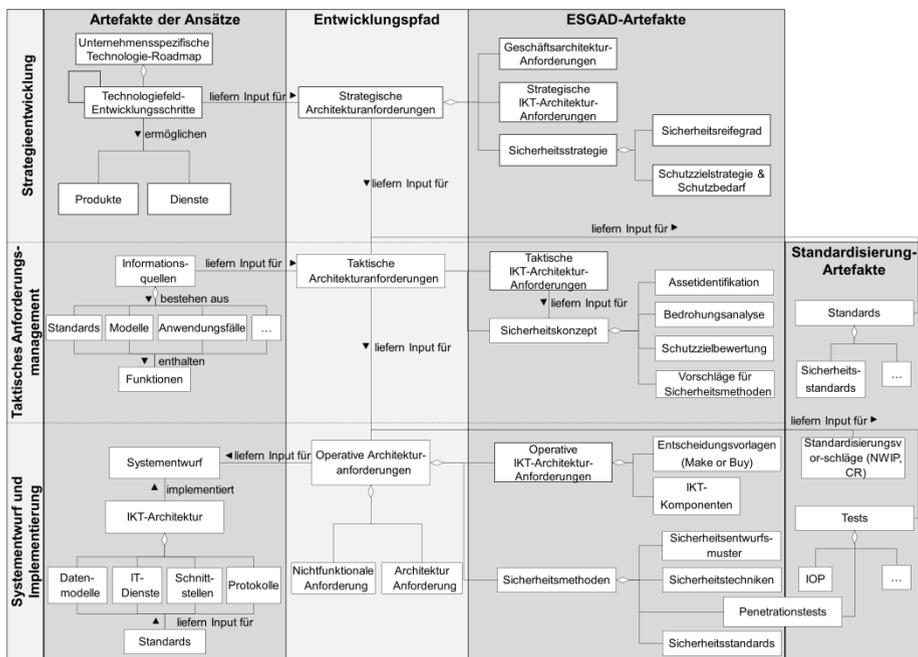


Abbildung 4: ESGAD integriertes Metamodell

3.1 ESGAD Bausteine

RBTP – Roadmap-basierte Technologieplanung für Energieversorger: Das Kernartefakt dieses ESGAD-Bausteins ist eine Roadmap, welche im Rahmen des Projektes Future Energy Grid (FEG) [Dä12] erarbeitet wurde und technologische Migrationspfade für die Entwicklung von Smart Grids in Deutschland bis zum Jahr 2030 entwirft. Unter Fokussierung der Rolle von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) werden 16 funktionale Technologiefelder (u. a. Netzautomatisierung und virtuelle Kraftwerkssysteme) sowie die Querschnittsaspekte Integrationstechniken, Datenmanagement und IT-Sicherheit beschrieben. Die Roadmap repräsentiert eine Top-Down Sicht auf die durch hohe Interdisziplinarität geprägte Entwicklung von IT-Infrastrukturen und Anwendungen für Smart Grids. Für die Nutzung im Unternehmenskontext müssen Unternehmen der Energiewirtschaft, wie z. B. die Versorgungsunternehmen, eine Bottom-Up Sicht des für sie relevanten Ausschnitts erstellen. Mit dem RBTP-Ansatz wird eine Integration dieser Planungsdimensionen angestrebt um die unternehmerische Technologieplanung zu unterstützen.

Energie-RMK – Ein Referenzmodellkatalog für die Energiewirtschaft: Das Konzept und die Methoden des Referenzmodellkatalogs für die Energiewirtschaft (Energie-RMK) fokussieren die Unterstützung der Anforderungsanalyse für die fachlich-funktionale Weiterentwicklung von energiewirtschaftsspezifischen Anwendungssystemen [Go12]. Hierzu werden Methoden zur Konstruktion, Nutzung und Wartung eines hybriden In-

formationsmodellspeichers bereitgestellt. Dieser unterstützt das katalog- und bibliotheksbasierte Speichern von relevanten Informationsmodellen, wie Referenz-Modelle, Standards und regulatorische Vorgaben, die sich vorwiegend auf die ARIS-Fachkonzeptebene beziehen. In diesem Zusammenhang werden verschiedene heterogene Informationsquellen mit Hilfe eines funktionalen Referenzmodells integriert, welches die energiewirtschaftsspezifischen Funktionen von Unternehmen der Energiewirtschaft marktrollenorientiert bereitstellt. Das Konzept des Energie-RMK basiert dabei auf dem Referenzmodellkatalog-Konzept von Fettke und Loos [FL01] und erweitert dies u. a. um domänenspezifische Inhalte und Methoden sowie die bibliothekbasierte Speicherung.

UCMR – Use Case Management Repository: Das Use Case Management Repository (UCMR), ursprünglich im Bereich der Standardisierung entwickelt, ist eine webbasierte Lösung zur zentralen, kollaborativen Erfassung und Verwaltung von Anwendungsfällen (Use Cases). Anwendungsfälle werden hierbei semi-formal auf Basis einer erweiterten Version der IEC Publicly Available Specification (PAS) 62559 [In08] Vorlage beschrieben. Dieser Ansatz ermöglicht es Abhängigkeiten zwischen Anwendungsfällen und weiteren Elementen wie Akteuren und Systemen in einer integrierten Datenbasis darzustellen.

Im Unternehmenskontext können Anwendungsfälle aus der Standardisierung (weiter-) entwickelt werden, um relevante Funktionen zu identifizieren und zu definieren. Aus diesen Ergebnissen können schließlich Anforderungen an die IKT abgeleitet werden, die für die Entwicklung unternehmensspezifischer Lösungen benötigt werden.

(S²)In – Semantic Service Integration: Dieser ESGAD-Baustein adressiert die semantische Integration von IT-Services ((S²)In) in Smart Grids, siehe u. a. [Tr12]. Um diese Integration zu realisieren, verfolgt der (S²)In-Ansatz das Ziel, eine Methode bereitzustellen, welche die Entwicklung und Umsetzung einer IKT-Architektur für Smart Grids ermöglicht. Aufgrund der hohen praktischen Relevanz dieses Bausteins, sind enge Bezüge zur Standardisierung und die Berücksichtigung von Sicherheitsmaßnahmen essentiell. Basierend auf operativen Anforderungen an IKT-Architekturen, welche sich in nicht-funktionale- und architektonische Anforderungen differenzieren lassen, werden Standards und Spezifikationen identifiziert, die unterschiedliche Teile der Architektur adressieren. Auf Basis der identifizierten Standards und Spezifikationen werden IT-Services und Informationen modelliert sowie mit domänenspezifischer Semantik angereichert. Durch diese semantischen Beschreibungen werden sowohl semantische Informationsmodelle als auch semantische Servicebeschreibungen erstellt. Abschließend werden diese beiden semantischen Elemente integriert, um entsprechende Interfaces zu implementieren. Standards und Spezifikationen dienen hier somit als Grundlage um Komponenten und Systeme der Zielarchitektur zu entwickeln.

SITAenergy – Secure IT-Architecture Development for the Energy Sector: Dieser ESGAD-Baustein steht für eine (Informations-)sichere IT-Architecturentwicklung im Energiesektor. Informationssicherheit wird hier als Querschnittsfunktion behandelt und realisiert damit das Prinzip „Security by design“. Dabei werden in allen Phasen der Architecturentwicklung Sicherheitsbetrachtungen durchgeführt, um ein optimales und angepasstes Sicherheitskonzept durchgängig in die Architektur zu integrieren. Erste

Arbeiten zu einer informationssicheren Architekturentwicklung für das Smart Grid wurden im Projekt eTelligence erarbeitet [Ap12].

3.2 ESGAD Phasen

Phase Strategieentwicklung: In der Phase Strategieentwicklung werden die strategischen Architekturanforderungen spezifiziert (siehe Abbildung 4). Die im Rahmen des RBTP-Ansatzes verwendete Roadmap (siehe [Dä12], S. 203) definiert Anforderungen an die durch Technologiefelder repräsentierten IKT-Infrastrukturen und Anwendungen zur Realisierung von Smart Grids in Deutschland. Das zugrunde liegende Modell entspricht einem Netzplan, auf welchem die Entwicklungsschritte der Technologiefelder als Meilensteine entlang einer Zeitachse aufgetragen werden. Dem Konzept eines Reifegradmodells folgend, reichen die Entwicklungsschritte als funktionale und nichtfunktionale Ausprägungen der Technologiefelder von zeitnah einsatzfähigen bis hin zu abstrahierten, visionären Entwicklungsständen. Die Entwicklungsschritte sind dabei untereinander durch Voraussetzungs-Beziehungen verbunden, d. h. es ist nachvollziehbar, welche Vorbedingungen für die Realisierung eines Entwicklungsschritts gelten. Damit die durch die Roadmap definierten Anforderungen von Unternehmen der Energiewirtschaft genutzt werden können, sind sie entsprechend des Bedarfs der Adressaten des Modells zu strukturieren.

Hierzu wird zunächst auf den Zusammenhang zwischen den Technologiefeldern und den Domänen der Energiewirtschaft zurückgegriffen. Dies ermöglicht die Konstruktion domänenspezifischer Sichten auf das Modell der Roadmap. Der individuelle Domänen-Bezug des Unternehmens bestimmt dabei die im Anwendungskontext relevanten Teile der Roadmap (Abbildung 3 Schritt A). Um diese im Kontext eines strategischen Anforderungsmanagements einsetzen zu können, ist das organisationsspezifische Wissen im weiteren Verlauf zu integrieren. Dieses liegt beispielsweise in Form spezifischer Modelle zur Konzeption und Dokumentation grundlegender Strukturen wie etwa Geschäftsprozessen, Projektportfolios oder Geschäftsanwendungen vor. Die Elemente dieser Modelle können wie die Entwicklungsschritte der Roadmap auf Anforderungen an Technologien, Prozesse sowie Infrastrukturen zurückgeführt werden⁴. Durch die Integration auf Anforderungsebene kann die Roadmap organisationsspezifisch instanziiert (Abbildung 3 Schritt B) werden. Eine Messung des Überdeckungsgrades auf Anforderungsebene im Sinne einer Lückenanalyse kann in der Folge beispielsweise Bereiche aufzeigen, in denen die Organisation die durch die Roadmap beschriebenen Entwicklungen nicht adressiert (Abbildung 3 Schritt C). Dies gestattet Rückschlüsse auf den Handlungsbedarf der Organisation bezüglich der Entwicklung und Verbesserung ihrer Geschäftsarchitektur und der korrespondierenden IKT-Architektur (Abbildung 3 Schritt D). Funktionale Anforderungen folgen dabei aus den 16 Technologiefeldern, deren Entwicklungsschritte innerhalb der Roadmap zueinander in Beziehung gesetzt und zeitlich eingeordnet werden.

Die zahlreichen Abhängigkeiten zwischen den Technologiefeldern verdeutlichen die hohe Bedeutung nichtfunktionaler Aspekte für die Realisierung von Smart Grids. Die

⁴ Die Integration auf Modellebene ist in [Tr12] weiterführend beschrieben.

Integration von nichtfunktionalen Anforderungen in die Strategieentwicklung wird im Folgenden anhand des Feldes Informationssicherheit verdeutlicht.

In der Phase Strategieentwicklung wird im Rahmen des ESGAD-Bausteins SITA-energy eine abstrakte Sicherheitsstrategie erstellt (Abbildung 3 Schritt E). Diese besteht dabei, wie in Abbildung 4 oben rechts als ESGAD-Artefakt dargestellt, aus Sicherheitsreife-graden und einer Schutzzielstrategie inklusive des identifizierten Schutzbedarfs. Die Schutzzielstrategie legt den Fokus auf einzelne Schutzziele, dabei ist der Anwendungskontext entscheidend. Auf der Automatisierungsebene, bspw. bei einem SCADA-System, spielt das Schutzziel Verfügbarkeit eine große Rolle. Bei der Verwaltung persönlicher Daten, ist das Schutzziel Vertraulichkeit von Bedeutung. In diesen beiden Anwendungsszenarien kann jedoch das jeweilige andere Schutzziel eine untergeordnete Rolle spielen, so dass durch die Bestimmung des Schutzbedarfs für einzelne Schutzziele eine Richtung bzgl. des Sicherheitsvorgehens vorgegeben werden kann. Innerhalb von [Dä12] werden zu diesem Zweck Sicherheitsreifegrade beschrieben, welche aus System-sicht für die Integration von Smart Grid Komponenten durch IKT erforderlich sind. Diese reichen von der Anwendung allgemeiner Sicherheitslösungen (niedriger Reife-grad) bis zu einem Security-by-Design-Vorgehen oder gar (teil-)automatischen Sicher-heitslösungen (hoher Reifeegrad).

In Bezug auf die Interoperabilitätsschichten des SGAM werden durch die Strategieent-wicklungsphase der Business-Layer sowie der Function-Layer adressiert. In der sich anschließenden Phase des Anforderungsmanagements werden die strategischen Archi-tekturenanforderungen zunehmend operationalisiert. So können funktionale Anforderungen an die Geschäftsarchitektur auf Funktionen innerhalb des Referenzmodellkatalogs (Energie-RMK) abgebildet werden. Auf diese Weise werden die Anforderungen durch Anreicherung mit den per Energie-RMK ermittelten Dokumenten zunehmend detailliert (Schnittstelle 1 Abbildung 3).

Phase Anforderungsmanagement: Aufbauend auf der Phase Strategieentwicklung und den dort erarbeiteten strategischen Architekturenanforderungen (siehe Abbildung 4) erfolgt in der Phase Anforderungsmanagement gemäß der Schnittstelle 1 (Abbildung 3) die Erstellung der taktischen Architekturenanforderungen (siehe Abbildung 4). Im Kontext des Anforderungsmanagements kommen insbesondere der Energie-RMK und der UCMR-Ansatz zum Einsatz. Durch die beiden Ansätze werden insbesondere regulatorische Vorgaben, Gesetze und Standards (Energie-RMK), sowie funktionale Beschreibungen und nicht-funktionale Anforderungen wie Antwortzeiten (UCMR) berücksichtigt.

Durch die Verknüpfung von aus dem RBTP-Ansatz abgeleiteten Anforderungen und unternehmensspezifischem Wissen (bspw. in Form von Prozessmodellen) (Abbildung 3 Schritt F) können potentiell relevante Informationsquellen abgefragt (Abbildung 3 Schritt G) und nach entsprechender Analyse für die weitere Ableitung von detaillierteren Anforderungen genutzt werden (Abbildung 3 Schritt H). Die Verknüpfung erfolgt dabei durch Zuordnung von Funktionsbeschreibungen unternehmensspezifischer Modelle zum funktionalen Referenzmodell des Energie-RMK. Auf Basis solch eines Mappings kön-nen dann individuell für das Unternehmen potentiell relevante Informationsquellen iden-tifiziert werden.

Weiterhin können unternehmensspezifische Anwendungsfälle entsprechend des UCMR-Ansatzes entwickelt werden, um die IKT-Funktionen technologieunabhängig zu beschreiben (Abbildung 3 Schritt I). Anhand der unternehmensspezifischen Anwendungsfälle, sowie aus den im Referenzmodellkatalog identifizierten relevanten Quellen, können Anforderungen an die IKT-Architektur definiert werden. Für die Verbindung zwischen Anforderungsmanagement und Systementwurf sind im Wesentlichen funktionale Anforderungen, sowie weitere Anforderungen bezüglich Informations- und Kommunikationselementen von Belang. Identifizierte Anforderungen werden im Rahmen des (S²)In-Ansatzes entsprechend detailliert (Abbildung 3 Schnittstelle 2).

Darüber hinaus besitzt diese Phase eine Schnittstelle zur Phase Standardisierung (Abbildung 3 Schnittstelle 3a). Die diversen, in das Smart Grid involvierten Systeme (beispielsweise Hardware, Software oder Unternehmen), müssen interoperabel sein, um miteinander interagieren zu können. Standards auf verschiedenen Ebenen können dazu dienen, Interoperabilität zwischen den verschiedenen Akteuren herzustellen. Dabei kann es sich beispielsweise um Geschäftsprozesse auf geschäftlicher Ebene, Schnittstellen auf Anwendungsebene, um standardisierte Informationsobjekte auf Datenebene oder in Bezug auf Technologie um standardisierte Kommunikationsprotokolle handeln. In diesem Ansatz wird der Einbezug von Standards daher als relevant betrachtet und erfordert eine entsprechende Berücksichtigung im Anforderungsmanagement. Generische Anwendungsfälle aus der Standardisierung können hier zur Entwicklung unternehmensspezifischer Anwendungsfälle herangezogen werden und entsprechende Anforderungen daraus können für die Implementierung identifiziert werden. Auf der anderen Seite können unternehmensspezifische Anwendungsfälle wieder in den Standardisierungsprozess zurückgeführt werden, um eine kontinuierliche (Weiter-)Entwicklung von aktuellen Standards entsprechend der Smart Grid Anforderungen ermöglichen zu können.

Innerhalb des ESGAD-Bausteins SITAenergy wird in der Phase Anforderungsmanagement ein Sicherheitskonzept erstellt (siehe Abbildung 3 Schritt K). Dieses leitet sich dabei aus den taktischen Architekturansprüchen und dort speziell aus der Sicherheitsstrategie ab und gliedert sich in mehrere aufeinander folgende Schritte (siehe Abbildung 4). Zunächst werden Assets, also schützenswerte Systeme oder Kommunikationsverbindungen, identifiziert, z. B. eine Windkraftanlage oder deren Kommunikationsbeziehung zum Messdienstleister. Anhand der Assets wird im Anschluss eine Bedrohungsanalyse inklusive Schutzzielbewertung durchgeführt. Im Beispielder Windkraftanlage wäre die Integrität der Daten besonders hoch zu priorisieren, die Vertraulichkeit hat einen normalen Schutzbedarf und die Verfügbarkeit eine geringe Priorität. Darauf aufbauend und ableitend werden danach Sicherheitsmethoden vorgeschlagen, wie z. B. die Empfehlung von Verschlüsselungsmethoden, siehe auch [Ap12], die anschließend in der nächsten Phase weiterverarbeitet werden.

In Bezug auf die SGAM Interoperabilitätssichten adressiert der Energie-RMK Ansatz durch seinen funktionalen Schwerpunkt und die Integration von Informationsquellen, die fachliche Funktionen beschreiben, im Wesentlichen die SGAM Interoperabilitätssichten Business und Function. Ergänzend wird durch die Klassifikation von Informationsquellen u. a. nach den IEC SIA Integrationssichten (Integration von Marktpartnern, von An-

wendungen und von Feldgeräten) sowie verschiedenen Sichten (wie Daten) die Perspektiven Information und Communication teilweise betrachtet.

Phase Entwurf und Implementierung: Der letzte Baustein des ESGAD-Ansatzes, der (S2)In-Ansatz, adressiert den Systementwurf und die Implementierung einer IKT-Architektur und basiert auf den Artefakten des taktischen Anforderungsmanagements. Aus den dort erhobenen taktischen Architektur Anforderungen folgen operative Anforderungen an eine IKT-Architektur (siehe Abbildung 4). Diese operativen Anforderungen sind unterteilt in nicht-funktionale und architektonische Anforderungen. Die beiden Anforderungstypen unterscheiden sich im Wesentlichen darin, dass die nicht-funktionalen Anforderungen quantifizierbar sind und somit eine implementierte Architektur gegen sie getestet werden kann (z. B. Anforderungen an Performanz, Sicherheit, etc.), wohingegen die architektonischen Anforderungen grundlegende Funktionalitäten der IKT-Architektur adressieren (z. B. Internet-Fähigkeit, Verwendung von Semantic Web Technologien, Abwärtskompatibilität oder Einhaltung regulatorischer Vorgaben).

Ausgehend von den Anforderungen wird ein Systementwurf erstellt, der wiederum durch die Implementierung der Zielarchitektur realisiert wird. Die IKT-Architektur umfasst dabei verschiedene Komponenten. Diese Komponenten werden gemäß den architektonischen Anforderungen im Systementwurf geplant und dementsprechend implementiert. Im Hinblick auf den praktischen Einsatz sollte jede Komponente auf Basis etablierter Standards umgesetzt werden. Eine IKT-Architektur besteht hier aus folgenden Komponenten (siehe auch Abbildung 4 links):

- *Datenmodelle* bilden die grundlegende gemeinsame Semantik der Architektur (wie bspw. das IEC 61970/61968 Common Information Model).
- *IT-Services* können im Rahmen der Architektur auf verschiedenen Anwendungsebenen angesiedelt werden, sodass von Business Services bis zu Datenservices alle IT-Dienste betrachtet werden, die für den Informationsaustausch nötig sind.
- *Schnittstellen* zwischen einzelnen Komponenten und System der IKT-Architektur werden gemäß existierender Spezifikationen beschrieben. Sie ermöglichen die Entwicklung einer flexiblen IKT-Architektur mit einem hohen Grad an Interoperabilität (wie bspw. die Datenschnittstelle der OPC Unified Architecture).
- *Protokolle* bilden die letzte Komponente und bezeichnen Technologien, die für die Kommunikation, also den Informationsaustausch, verwendet werden (z. B. TCP/IP).

Ergebnisse und Erfahrungen, die aus der Entwicklung der IKT-Architektur gewonnen werden, werden im optimalen Fall wieder in die Standardisierung eingebracht, um eine stetige Verbesserung und Erweiterung der Standards zu unterstützen. Insbesondere in einem dynamischen System wie dem Smart Grid, ändern sich Anforderungen z. B. an

Datenmodelle relativ schnell und müssen somit auch zeitnah in entsprechenden Standards berücksichtigt werden.

Der ESGAD-Baustein SITAenergy entwickelt aus dem Sicherheitskonzept aus der vorherigen Phase in der Phase Entwurf und Implementierung Sicherheitsmethoden (Abbildung 3 Schritt O). Zunächst wird dazu aus dem Sicherheitskonzept ein Sicherheitsentwurf erarbeitet und im Anschluss die Sicherheitsmethoden implementiert. Sicherheitsmethoden bestehen in diesem Fall, wie in Abbildung 4 dargestellt, aus Sicherheitsentwurfsmustern (z. B. das Entwurfsmuster „Secure Channels“, das einen vertraulichen Datenaustausch über offene Netze realisiert [Sc06]), Sicherheitsstandards (z. B. ISO/IEC 27000 oder IEC 62351) oder Sicherheitstechniken (beispielsweise bestimmte kryptografische Verfahren, wie RSA, oder Kommunikationsverschlüsselung über TLS). Um das System nach der Implementierung zu härten, besteht die Möglichkeit Penetrationstests zu entwickeln und mit diesen dann das System auf Sicherheitsschwachstellen zu überprüfen, vgl. [Ap12].

Phase Standardisierung: Der Standardisierung kommt im Kontext von Smart Grids eine besondere Bedeutung zu: Durch die steigende Anzahl verschiedener Akteure und Systeme im Smart Grid, werden verstärkt Informationen ausgetauscht. Ohne interoperable Kommunikationsmöglichkeiten erfordert dies große Integrationsaufwände für unterschiedliche Systeme. IT-Standards, die eben diese Kommunikation definieren und beispielsweise die Datenformate system- und unternehmensübergreifend festlegen, werden daher als ein probates Mittel zur Sicherstellung von Interoperabilität gesehen. Außerdem werden Sicherheitsstandards, die genau diese Kommunikationswege absichern, als auch solche, die allgemeine Vorgehensmodelle für das Informationsmanagement beschreiben, in der Smart Grid-Domäne verwendet und auch weiterentwickelt (siehe Abbildung 4, Standardisierungsvorschläge). Daher betrachtet der ESGAD Ansatz die Entwicklung von Standards als unternehmensexternen Prozess und beschreibt entsprechende Schnittstellen zur unternehmensinternen IT-Architecturentwicklung (Abbildung 3 Schnittstellen 3a und 3b).

Die Aktivitäten zur Standardisierung können anhand der Schnittstellen der Phasen Anforderungsmanagement (Abbildung 3 Schnittstelle 3a) und Systementwurf und Implementierung (Abbildung 3 Schnittstelle 3b) unterschieden werden. Im ersten Fall sind auf Fach- und DV-Konzeptebene entsprechende Standards und Spezifikationen zu analysieren und im Hinblick auf deren Anwendbarkeit im Unternehmenskontext zu untersuchen oder alternativ Lücken zu identifizieren (Abbildung 3 Schritt P). Die Analyse existierender Dokumente bzw. Standards kann u. a. in die Entwicklung generischer, wohlstrukturierter Anwendungsfälle münden, welche Funktionalitäten abstrakt beschreiben und zudem typische Anwendungsfälle für Standards darstellen können. In diesem Zusammenhang können sie beispielsweise auch für die Weiterentwicklung von Standards eingesetzt werden (Abbildung 3 Schritt Q). Generische Anwendungsfälle können weiterhin im Unternehmenskontext als Ausgangspunkt herangezogen werden, um daraus unternehmensspezifische Anwendungsfälle abzuleiten. Darüber hinaus soll die Spezifikation von Tests für implementierte Komponenten zur Sicherstellung verschiedener Anforderungen, wie bspw. Interoperabilität und Informationssicherheit (Penetrationstests bekannter Schwachstellen), erfolgen (Abbildung 3 Schritt R). Entsprechend strukturierte

Anwendungsfälle eignen sich in diesem Fall zur Spezifikation von Tests. Tests können wiederum im Systementwurf berücksichtigt werden und als Grundlage für die Prüfung von Interoperabilität und der Einhaltung von Sicherheitszielen dienen.

4 Fazit und Ausblick

Im Rahmen dieses Beitrages wurde das SGAM als Basis zukünftiger Architektur-Viewpoints für Smart Grid Architekturen eingeführt und die Entwicklung einer Methode zur Anwendung von SGAM für Unternehmen motiviert. Darauf aufbauend wurde der ESGAD-Ansatz als Methode zur adaptiven unternehmensspezifischen IT-Architektur-entwicklung für Smart Grids vorgestellt. ESGAD setzt sich dabei aus integrierten Bausteinen zusammen, wobei jeder Baustein einen anderen Detaillierungsgrad im Rahmen der IT-Architecturentwicklung von Smart Grids im Unternehmen fokussiert. Im Kern adressieren diese drei Phasen: Strategieentwicklung, Anforderungsmanagement, sowie Entwurf und Implementierung. Ergänzend wird die Standardisierung, aufgrund der zentralen Bedeutung von Interoperabilität im Rahmen von Smart Grids, als unternehmensexterne Phase berücksichtigt. Zusätzlich wurde die oft vernachlässigte nicht-funktionale Anforderung der Informationssicherheit in die IT-Architekturgestaltung in alle Phasen des ESGAD-Ansatzes explizit einbezogen. Damit erweitert dieser Beitrag bisherige Vorarbeiten zum ESGAD-Ansatz wie [Tr12] und stellt eine ganzheitliche und erweiterte Beschreibung des Vorgehensmodells sowie ein integriertes gemeinsames Metamodell bereit.

Anforderung						
● betrachtet						
◐ teilweise						
○ eher nicht						
	RBTP	Energie-RMK	UCMR	(S²)In	SITA-energy	ESGAD
SGAM IOP Layer						
Business	●	●	◐	○	◐	●
Function	●	●	●	●	◐	●
Information	○	◐	◐	●	◐	●
Communication	○	◐	◐	●	◐	●
Component	○	○	◐	◐	◐	◐
Nicht-Funktionale Anforderungen						
IT-Sicherheit	◐	○	○	○	●	●
Weitere	●	◐	◐	●	◐	◐

Tabelle 1: Abdeckung der SGAM IOP Layer und weiterer nicht-funktionaler Anforderungen

Tabelle 1 veranschaulicht zusammenfassend die Abdeckung der SGAM Interoperabilitätsdimensionen und weiterer nicht-funktionaler Anforderungen durch die vorgestellten Bausteine und den ESGAD-Ansatz. Die Abdeckungsanalyse differenziert dabei, ob der jeweilige Ansatz die jeweilige Anforderung „betrachtet“, „teilweise betrachtet“ oder „eher nicht betrachtet“. Einschränkend ist anzufügen, dass die Bewertung keinen absoluten Charakter hat, sondern primär den Fokus des einzelnen Ansatzes darstellt. Ergebnis

der Analyse ist, dass keiner der Ansätze der einzelnen Bausteine alle Anforderungen komplett abdeckt. Durch die Integration in ESGAD erfolgt eine angemessene ganzheitliche Abdeckung durch die Wiederverwendung bestehender Ansätze. Hierdurch wird eine strukturierte adaptive IKT-Architecturentwicklung unterstützt. Die ganzheitliche Betrachtung der IKT erlaubt es, die Beziehungen zwischen Geschäft und IKT besser zu verstehen und ist damit Grundlage die Ausrichtung von Geschäft und IKT verbessern zu können. Die hier bereitgestellte strukturierte Methode, basierend auf vorhandenen Informationsquellen und damit erprobtem Domänenwissen, erlaubt eine effizientere Architecturentwicklung im Vergleich zu ad hoc Ansätzen. Aufgrund des IKT-Hintergrunds der hier kombinierten Ansätze werden der SGAM Component Layer und folglich physische Anlagen der Stromversorgung lediglich rudimentär betrachtet, eine Erweiterung um ingenieurtechnische Ansätze ist nötig.

Der ESGAD-Ansatz schafft einerseits die Brücke zwischen abstrakten generischen Anforderungen und deren spezifischer Umsetzung in Unternehmen, erfordert andererseits allerdings ein tieferes Verständnis und eine Begleitung durch entsprechende Experten. Die Anwendung des ESGAD-Ansatzes setzt generelles Wissen über Smart Grids sowie bezogen auf jeden Baustein entsprechendes methodisches Know-How voraus. Hierbei ist die Ausgestaltung jeder ESGAD-Phase stark unternehmensabhängig.

Weiterhin kombiniert der vorgestellte ESGAD-Ansatz bisherige Arbeiten unterschiedlichen Reifegrades, wie die bereits umfangreich evaluierten Ansätze zum Energie-RMK und (S²)In, mit noch in der Entwicklung und Evaluation befindlichen Ansätzen wie RBTP, UCMR und SITAenergy. Einzelne Bausteine bzw. Teile konnten bisher im Rahmen von Forschungs- (SITAenergy/RBTP/(S²)In), Industrie- (Energie-RMK) und Standardisierungsprojekten (UCMR) erprobt werden (siehe u. a. [Ap12], [Däl2], und [Go12]). Hier erwies sich insgesamt das formale und strukturierte Vorgehen trotz des nötigen Formalisierungsaufwandes bei Architekten und Nutzern als nützlich. Durch diese Kombination, und insbesondere der expliziten Betrachtung von Informationssicherheit, wird eine ganzheitliche IKT-Architecturentwicklung ermöglicht.

Eine eingehende Evaluation des integrierten ESGAD-Ansatzes ist für die Zukunft geplant. Hierzu muss zum einen noch untersucht werden, inwiefern eine Verfeinerung bzw. Profilierung des Meta-Modells notwendig ist und zum anderen bedarf es noch einer weiteren Detaillierung der organisationsspezifischen Anpassung der einzelnen Phasen des Vorgehensmodells und entsprechender Untersuchungen hinsichtlich Inkrementen und Iterationen bei der Anwendung des Vorgehens.

Literaturverzeichnis

- [Ap12] Appelrath, Hans-Jürgen; Beenken, Petra; Bischofs, Ludger; Uslar, Mathias (eds.): IT-Architecturentwicklung im Smart Grid: Perspektiven für eine sichere markt- und standardbasierte Integration erneuerbarer Energien. 1. ed. Heidelberg : Springer Gabler, 2012
- [BCK03] Bass, Len; Clements, Paul; Kazman, Rick: Software Architecture in Practice. 2nd. ed. Amsterdam : Addison-Wesley Longman, 2003

- [BW12] Buhl, Hans Ulrich; Weinhold, Michael: Die Energiewende. In: Wirtschaftsinformatik 54 (2012), Nr. 4, pp. 173–176
- [CEN12] CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group Smart Grid Reference Architecture, 2012
- [Dä12] Dänekas, Christian; König, A.; Mayer, C.; Rohjans, S.; Bischoff, S.; Breuer, A.; Drzisga, T.; Hecht, J. et al.; Appelrath, H.-Jürgen; Kagermann, Henning; Mayer, Christoph (eds.): Future Energy Grid - Migration to the Internet of Energy, 2012
- [FL01] Fettke, Peter; Loos, Peter: Der Referenzmodellkatalog – Ein Instrument des Wissensmanagements Ausgangssituation und Problemstellung Der Referenzmodellkatalog als Instrument des Wissensmanagements Beschreibung. In: Wirtschaftsinformatik (2001)
- [GK06] Gresser, C.; Kubik, S.: IT-Sicherheit für Leittechnik. In: kes Nr. 1 (2006), p. 76ff
- [Go12] González, José M.: Ein Referenzmodellkatalog für die Energiewirtschaft, Universität Oldenburg, 2012
- [Gr08] The GridWise Architecture Council: GridWise Interoperability Context- Setting Framework, 2008
- [Gu94] Gutzwiller, T: Das CC RIM-Referenzmodell für den Entwurf von betrieblichen, transaktionsorientierten Informationssystemen, Hochschule St. Gallen für Wirtschafts-, Rechts- und Sozialwissenschaften, 1994
- [In08] International Electrotechnical Commission (IEC): IEC/PAS 62559 ed1.0 - Intelligrid Methodology for developing requirements for Energy Systems, 2008
- [Is11] ISO/IEC/IEEE: ISO/IEC/IEEE 42010 ed1.0: Systems and software engineering - Architecture description (2011)
- [Se12] Seewald, Maik: Sicherheitsarchitektur für Substations. In: ew - das magazin für die energie wirtschaft 10 (2012), pp. 52–55
- [Op09] The Open Group: TOGAF Version 9 - The Open Group Architecture Framework (TOGAF). 9. ed., 2009 — ISBN 978-90-8753-230-7
- [Øs06] Østergaard, Jacob: European SmartGrids Technology Platform-Vision and Strategy for Europes Electricity Networks of the Future. Luxembourg, Office for Official Publications of the European Communities (2006)
- [Sc06] Schumacher, Markus; Fernandez-Buglioni, Eduardo; Hybertson, Duane; Buschmann, Frank; Sommerlad, Peter: Security patterns: integrating security and systems engineering : John Wiley & Sons, 2006 — ISBN 978-0470858844
- [Tr12] Trefke, Jörn; Dänekas, Christian; Rohjans, Sebastian; González, José M.: Adaptive Architecture Development for Smart Grids Based on Integrated Building Blocks. In: 3rd IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT) Europe Conference, 2012