ARCHITEKTURENTWICKLUNG IM SMART GRID

Dieter Draxler

Dieter Draxler, „Architekturentwicklung im Smart Grid“, Josef Ressel Center for User-Centric Privacy, Security and Control, Technical Report 2017-02, 2017.

Zusammenfassung Die Energiebranche unterliegt derzeit einem Wandel. Elektrische Energie wird vermehrt aus erneuerbaren Energiequellen gewonnen. Elektrofahrzeuge sind im Vormarsch. Dadurch entstehen für die Energiebranche neue Herausforderungen. Netzbetreiber sind gefordert die bestehende Infrastruktur zu erweitern. Die Stromerzeugung durch z.B. Windkraft- oder Photovolatikanlagen ist u.a. durch die vorherrschenden Wetterbedingungen sehr dynamisch. Es entstehen immer mehr dezentrale Einspeisepunkte. Daher ist die Erweiterung im Bereich der Verteilnetzebene um Informations- und Kommunikationstechnische Infrastruktur notwendig. Das bestehende Stromnetz entwickelt sich zu einem intelligenten Stromnetz, dem Smart Grid. Es besteht im wesentlichen aus einer Vielzahl an Energie verbrauchenden und Energie erzeugenden Systemen, welche untereinander kommunizieren (System-of-Systems, SoS). Derartig komplexe Systeme erfordern eine umfangreiche Planung und Entwicklung einer geeigneten Architektur. In dieser sollen sämtliche Aspekte des Smart Grids abgebildet werden können. Die hier vorgestellte Arbeit gibt einen Überblick über die Entwicklung einer Architektur für das Smart Grid. Ziel der Entwicklung der Architektur ist die Schaffung eines gemeinsamen Standards zur Entwicklung und Realisierung von Smart Grids. Eine Notwendigkeit ist die Entwicklung eines Frameworks, basierend auf bereits bestehenden und neu entwickelten Standards. Dieses dient als Ansammlung von Elementen und beinhaltet sämtliche funktionale und technischen Aspekte, welche für die Entwicklung einer Architektur notwendig sind. Unter Verwendung einer Domain Specific Language kann das Framework beschrieben werden. Auf Basis dessen erfolgt die Entwicklung einer Architektur für das Smart Grid. Als Referenzarchitektur dient sie in weiterer Folge als Blaupause für die Entwicklung individueller, auf die eigenen Bedürfnisse angepassten, Smart Grid Architektur Lösungen.

Dieter Draxler
Salzburg University of Applied Sciences, Josef Ressel Center for User-Centric Smart Grid Privacy, Security and Control, UrsteinSüd 1,5412 Puch bei Hallein,Austria. e-mail: dieter.draxler@fh-salzburg.ac.at

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis **ii**

1 Einleitung **1**
1.1 Smart Grid Architekturentwicklung - Motivation und Zielsetzung 1
1.2 Begriffe 4
1.2.1 Architektur 5
1.2.2 Architektur Framework 5
1.2.3 Referenzarchitektur 6
1.2.4 Viewpoints 6
1.2.5 Interoperabilität 6

2 Architekturbeschreibung **7**
2.1 Standardisierung im Kontext von Smart Grids 7
2.2 SGAM Domänen 8
2.3 SGAM Ebene 9
2.4 SGAM Interoperabilitätsebenen 10
2.5 SGAM Framework 12
2.6 SGAM Toolbox 12

3 Architekturentwicklung **14**
3.1 Architekturentwicklung im Kontext des SGAM-Frameworks 14
3.1.1 System Analyse 14
3.1.2 System Architektur Entwicklung 16

4 Referenzarchitektur **19**
4.1 ENTSO E-Roll Model 19
4.2 NIST Logical Reference Model 20
4.3 Smart Grid Referenzarchitektur 21

5 Diskussion **22**

Literatur **23**

Abbildungsverzeichnis

1.1 Schematische Darstellung eines Smart Grid Systems 1
1.2 Ablauf der Architekturentwicklung in der Domäne der Bauarchitektur und des Smart Grids 3
1.3 Framework zur Beschreibung von Architekturen. 4

2.1 Interaktion von Rollen unterschiedlicher Smart Grid Domänen unter Verwendung von sicherer Kommunikationswege 8
2.2 EU Erweiterung des NIST Modells 9
2.3 Smart Grid Ebene - Domänen und hirarchische Zonen 10
2.4 Interoperabilitätslevel 10
2.5 SGAM Framework 12
2.6 Metamodell der DSL 13

3.1 Akteure Netzbetreiber und Konsument mit ihren Zielen 14
3.2 Akteure Netzbetreiber und Konsument im Business Layer 15
3.3 Physische Komponenten mit ihren Schnittstellen und Kommunikationswegen 16
3.4 Protokolle und Kommunikationswege der Smart Meter Infrastruktur 17
3.5 Komponenten der Smart Meter Infrastruktur 18

4.1 Das ENTSO-E Role Modell 19
4.2 Das NIST-LRM Modell 20
4.3 Übertragung des NIST-LRM und des ENTSO-E Role Models auf die SGAM-Layer 21

1 Einleitung

1.1 Smart Grid Architekturentwicklung - Motivation und Zielsetzung

Erneuerbare Energien sind auf dem Vormarsch. Immer mehr Strom wird durch z.B. Solar- oder Windenergie erzeugt. Derartige Systeme werden auch als *Distributed Energy Ressources (DER)*, also Energieressourcen die verteilt im Stromnetz auftreten, bezeichnet. Kennzeichen derartiger Systeme ist ihr dynamisches Verhalten hinsichtlich der Stromerzeugung. Die Stromerzeugung durch Photovoltaik- oder Windkraftanlagen ist sehr von den vorherrschenden Wetterbedingungen abhängig. Die dadurch entstehende unregelmäßige und dezentrale Einspeisung des erzeugten Stroms führt zu Schwankungen im Stromnetz. Das Stromnetz gerät aus dem Gleichgewicht. Das Verhältnis zwischen Verbrauch und Erzeugung ist nicht gegeben. Dies erfordert die Erweiterung der Verteilernetzebene um Informations- und Kommunikationstechnische Infrastruktur (IKT-Infrastruktur). Aus der bestehenden Stromnetz-Infrastruktur wird ein intelligentes Stromnetz, das Smart Grid [1].

Nach [2] ist ein Smart Grid ein elektrisches Netzwerk, das alle Teilnehmer und die von ihnen getätigten Aktionen sowie deren Verhalten kosteneffizient integriert. Weiters erlaubt es den Nutzern auch ihren eigens produzierten Strom einzuspeisen und zu verkaufen. Neben Erzeugern und Verbrauchern gibt es auch Stromspeicher wie z.B. Speicherkraftwerke und Elektrofahrzeuge. In Abbildung 1.1 ist schematisch ein Smart Grid mit Verbrauchern, Erzeugern und Speichern dargestellt.

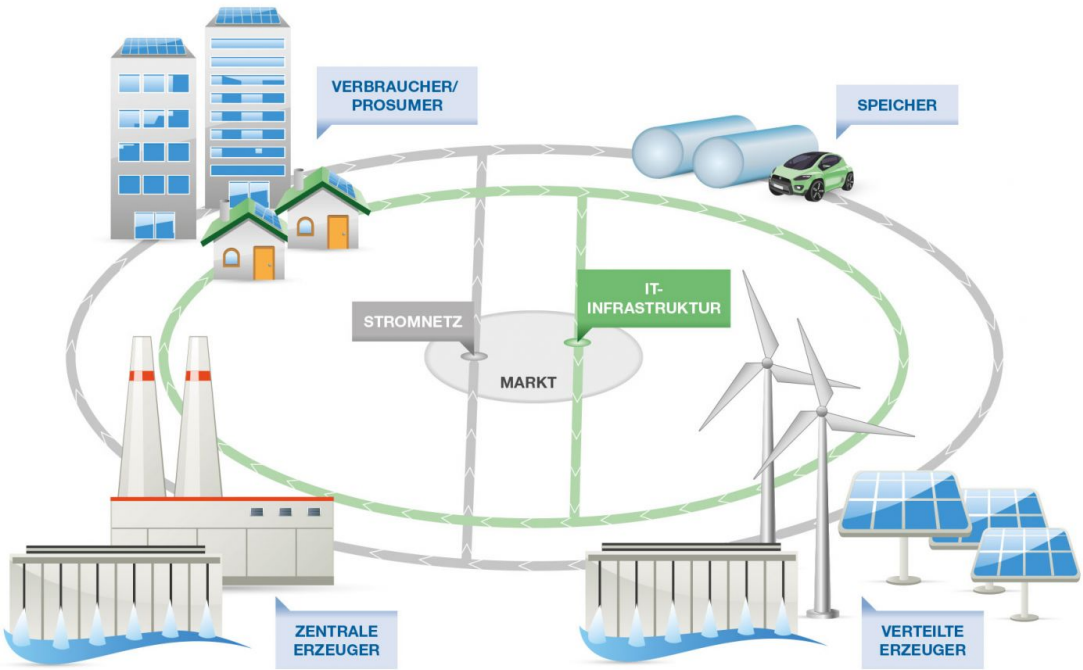

Abbildung 1.1: Schematischer Darstellung eines Smart Grid Systems [3].

Bei Betrachtung aus Sicht der Architekturentwicklung ist ein Smart Grid ein System bestehend aus mehreren Einzelsystemen (System-of-Systems, SoS). Einzelsysteme können Einspeisepunkte wie z.B. große bis kleine Kraftwerke, Photovoltaik oder Windkraftanlagen sein. Die Einspeisung kann sowohl von öffentlicher Seite als auch von privater Seite erfolgen. Verbraucher können z.B. Industriebetriebe, private Haushalte aber auch Elektrofahrzeuge sein. Zusätzlich zu Einspeisung und Verbrauchern kommen noch die für den Betrieb notwendige Stromnetz-Infrastruktur (z.B. Trafostationen, Stromleitungen), Speicher und die IT-Infrastruktur hinzu. Ein weiterer sehr relevanter Bereich ist der Strommarkt. Der Stromhandel innerhalb eines Smart Grids spielt auch eine große Rolle.

Die Umstellung zu Smart Grids erfordert auch ein Umdenken in der Entwicklung derartiger Systeme. Das Smart Grid ist mit einem sehr dynamischen Charakter behaftet. Verbraucher, wie z.B. Elektrofahrzeuge, können jederzeit vom Netz gehen oder hinzukommen. Erzeuger haben, wie schon beschrieben, ebenfalls ein sehr dynamisches Einspeiseverhalten. Diese Dynamik wirkt sich wiederum auf die Ausgeglichenheit des Stromnetzes aus.

Die Überführung der derzeitigen Infrastruktur in ein hochmodernes, intelligentes und komplexes Stromnetz erfordert daher die Entwicklung eines geeigneten Frameworks zur standardisierten Architekturentwicklung. Ein standardisiertes Framework ist aber auch auf Grund der in einem Stromnetz beteiligten Stakeholder, welche aus unterschiedlichsten Domänen stammen, notwendig. Sogenannte Domänenexperten kommen z.B. aus den Bereichen der Energietechnik, Informationstechnik oder Wirtschaft. Somit treffen in der Planungs- und Umsetzungsphase Experten aus unterschiedlichen Domänen aufeinander. Netzbetreiber haben ein ausgeprägtes Wissen über die Domäne der Stromnetze. Informationstechniker bewegen sich in der Domäne der System- und Informationstechnik. Wirtschaftsexperten verfügen über Wissen im Bereich des Energiemarktes. Die Zusammenarbeit von Experten unterschiedlicher Domänen erfordert daher die Entwicklung einer geeigneten Sprache, welche von allen Beteiligten verstanden und angewendet werden kann. Schlussendlich sollen auch Experten, welche nicht aus der Softwarebranche stammen, damit arbeiten können. Die Entwicklung einer sogenannten „*Domain Specific Language (DSL)*“ ist notwendig.

Die Autoren in [4] behandeln die Integration von sicherheitsrelevanten Aspekten in der Designphase. Ein wichtiger Aspekt hierbei ist auch die Entwicklung einer DSL auf Basis eines bereits bestehenden Architektur Frameworks. Das der Arbeit zu Grunde gelegte Framework ist das Smart Grid Architecture Model (SGAM). Mit Hilfe des SGAM-Frameworks wird es den unterschiedlichsten Domänenexperten ermöglicht, gemeinsam ein sowohl technisch als auch wirtschaftlich effizient arbeitendes intelligentes Stromnetz zu entwickeln.

In der Wissenschaft wird derzeit ein großer Fokus auf die Entwicklung einer geeigneten DSL sowie der Erstellung von Referenzarchitekturen, basierend auf dem SGAM-Framework, gelegt [1], [4], [5]. Die Entwicklung konkreter Lösungen unter zu Hilfenahme eines bestimmten Frameworks ist aber nichts Neues. Bei Betrachtung der Architektur im Bauwesen wird sofort klar, dass es sich hier um ähnliche Konzepte handelt. Ausgehend von einem bestimmten Framework (z.B. normgerechte Zeichnung, einheitliche Darstellung

von Symbolen, etc.) wird mittels geeigneter Werkzeuge (z.B. CAD) und entsprechenden Viewpoints (z.B. Ansichten für Wasser- oder Elektroinstallationen) eine Beschreibung für den Bau eines Gebäudes erstellt. Aus dieser Beschreibung lassen sich anschließend Blaupausen (z.B. Musterhaus im Musterhauspark) erstellen. Diese Musterhäuser können dann in weiterer Folge individualisiert werden [6].

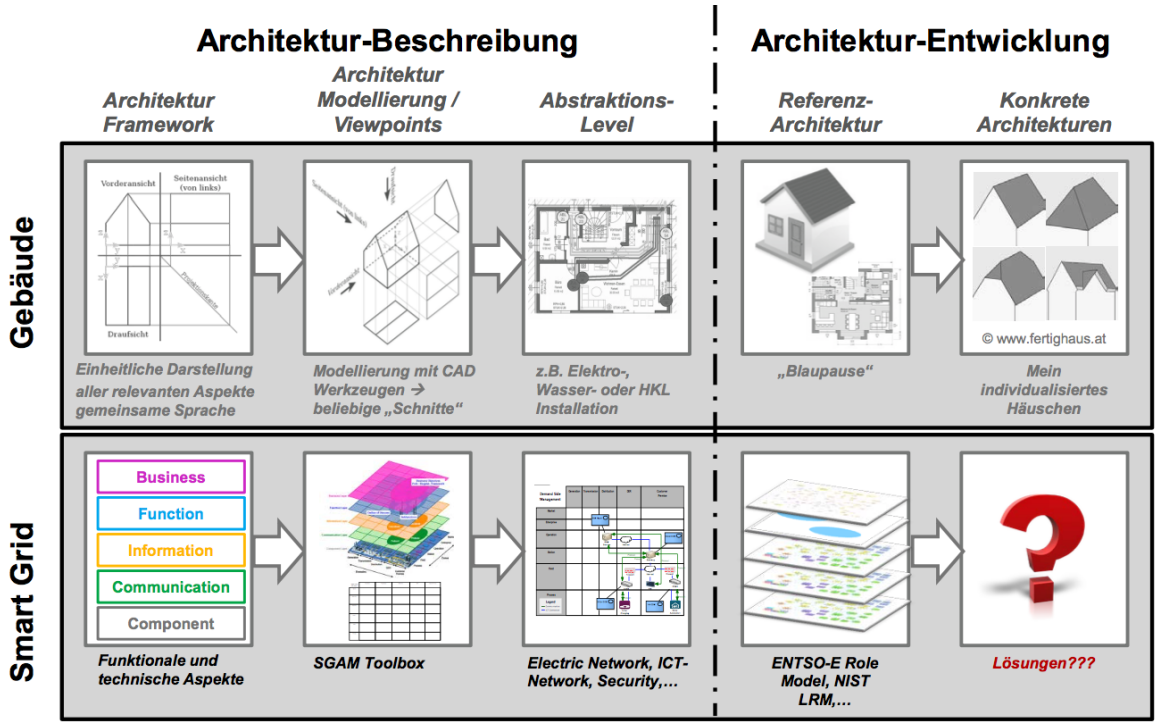

Abbildung 1.2: Ablauf der Architekturentwicklung in der Domäne der Bauarchitektur und des Smart Grids [6, S. 91].

Auf diese Art und Weise kann auch die Entwicklung von Architekturen im Kontext des Smart Grids betrachtet werden. Zur Erstellung von Architekturen ist es notwendig, die funktionalen und technischen Aspekte in einem Framework zusammenzufassen. Durch die unterschiedlichen Stakeholder entstehen unterschiedliche Sichten auf das System, was zur Definition von unterschiedlichen Viewpoints führt. Daher wird für die Beschreibung der Architektur, wie im Bauwesen, ein Werkzeug benötigt. Die SGAM-Toolbox stellt die für die Modellierung von Smart Grid Architekturen notwendigen Elemente und Werkzeuge zur Verfügung. Sie implementiert die vom SGAM Framework gelieferte DSL. Damit sind alle Werkzeuge vorhanden um eine Referenzarchitektur, also eine Blaupause eines Smart Grids, zu erstellen. Aus dieser können in Zukunft individualisiert Lösungen umgesetzt werden.

In dieser Arbeit wird der Fokus auf die Architekturentwicklung in einem Smart Grid gelegt. Ausgehend von der Festlegung der relevanten Begriffe wird ein Einblick in die Entwicklung des SGAM Frameworks sowie die Anwendung des Frameworks zur Erstellung von geeigneten Referenzarchitekturen gegeben.

1.2 Begriffe

Bei der Zusammenarbeit von unterschiedlichen Beteiligten ist es erforderlich, dass diese auf einheitliche Begriffe zurückgreifen. In der Literatur gibt es zu den unterschiedlichen Begriffen unterschiedliche Definitionen. So wird z.B. SGAM als Modell bezeichnet, obwohl es sich hierbei vielmehr um ein Framework handelt. Auch der Begriff Viewpoints, welcher die Sichtweisen auf ein System beschreibt, wird oft unterschiedlich verwendet. So findet sich anstatt des Begriffs Viewpoints auch des öfteren der Begriff Views. Da es sich hierbei jedoch um unterschiedliche Begriffe handelt, können diese nicht gleich verwendet werden. Ein Viewpoint ist die Sichtweise eines Stakeholders auf ein System. Die unterschiedlichen Views entstehen auf Basis eines Viewpoints und beinhalten die für den Stakeholder relevanten Informationen. Für ein standardisiertes Framework stellt daher eine standardisierte Taxonomie einen essentiellen Bestandteil dar. In der ISO 1471-2000 [7] ist hierfür ein Framework für die Erstellung von Architekturbeschreibungen entwickelt worden. Das Framework ist in Abbildung 1.3 dargesellt.

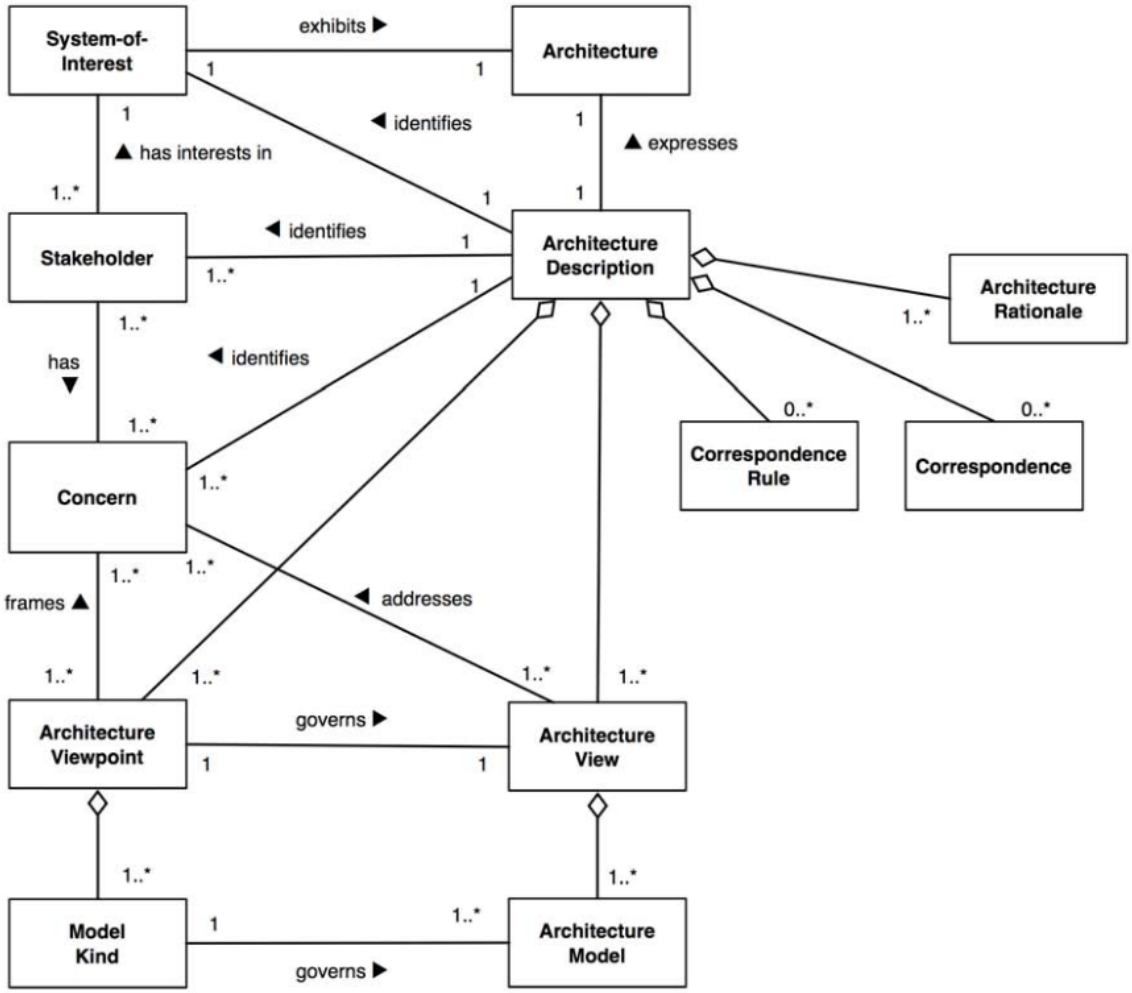

Abbildung 1.3: Framework zur Beschreibung von Architekturen [7, S. 5].

Nachfolgend werden einige in dieser Arbeit verwendeten Begriffe und deren Bedeutung erläutert und festgelegt.

1.2.1 Architektur

Der Begriff Architektur entstammt dem lateinischen Wort architectura (Duden). Im Griechischen setzt sich der Begriff aus den Begriffen *arche* (Anfang, Ursprung, Grundlage) und dem Begriff *techne* (Handwerk) zusammen. Damit könnte Architektur als „*Erstes Handwerk*“ oder auch „*Grundlegendes Handwerk*“ bezeichnet werden.

In der IKT kann prinzipiell eine Unterscheidung in System- und Softwarearchitektur erfolgen. Wobei Systemarchitektur die Kombination aus Softwarearchitektur und der benötigten Hardware bezeichnet [8]. Nach [7] ist Architektur im IKT-Bereich die grundlegende Ausgestaltung eines Systems durch Komponenten und deren Beziehungen. Diese stehen sowohl untereinander als auch mit ihrer Umgebung in Verbindung. Sie beinhaltet auch die Prinzipien, die das Design, die Entwicklung und die Weiterentwicklung beschreiben.

Architektur ist Abstraktion
Um komplexe Systeme auf einer gemeinsamen Basis darstellen zu können, müssen diese auf einer höheren Ebene in abstrahierter Art und Weise beschrieben werden. Im Wesentlichen heißt das, dass Architektur Systeme auf die wesentlichen Bausteine reduziert werden. In [9] wird Architektur als Abstraktion zur Reduzierung von Komplexität beschrieben.

Architektur als Bauplan
Ebenfalls in [9] wird der Begriff Architektur als Bauplan für Software-Systeme beschrieben. Wie in den Ingenieurdisziplinen dient in der IKT eine Architektur als Plan für die Entwicklung und Weitereintwicklung von neuen und bestehenden Systemen. Der Plan beschreibt die wesentlichen Komponenten und deren Beziehungen. In der Arbeit wird von dem Begriff Architektur als Abstraktion und Bauplan für komplexe Systeme ausgegangen.

1.2.2 Architektur Framework

Bei einem Architektur Framework handelt sich um keine konkrete Architektur sondern um das notwendige Rahmenwerk für die Entwicklung einer Architektur. Das wohl bekannteste Framework ist das *Zachman Framework for Enterprise Architecture* [10]. Hierbei handelt es sich um ein Framework welches alle möglichen Aspekte beinhaltet, um die Komplexität eins Unternehmens darstellen zu können.

Für die standardisierte Entwicklung und Darstellung von Smart Grid Architekturen ist ebenfalls ein geeignetes Framework notwendig. Dieses soll die notwendigen Elemente für die Entwicklung der konkreten Architektur bereitstellen. Dazu zählen unter anderem auch Vorgaben hinsichtlich der zu verwendenden Tools, welche für die Architekturentwicklung notwendig sind. Das heißt, in einem Framework sollen alle funktionalen und technischen Aspekte einer Architektur abgedeckt werden. So wird z.B. festgelegt, welche Arten von Requirements für die Erstellung von Smart Grid Architekturen zu berücksichtigen sind. Aber auch die Dokumente, die bei der Erstellung von Use-Cases verwendet werden müssen, sind im Framework definiert.

In dieser Arbeit wird der Begriff Framework daher als standardisiertes Regelwerk, welches sämtliche für die Erstellung von Smart Grid Architekturen notwendigen Werkzeuge, Standards, Dokumentenvorlagen etc. beinhaltet, gesehen.

1.2.3 Referenzarchitektur

Im Bereich der IKT sind damit Beschreibungen für „beste Lösungen“ gemeint. Aus einer Referenzarchitektur lassen sich Architekturen nach den in der Referenzarchitektur festgelegten Rahmenbedingungen und Strukturen erstellen. Sie dient somit als Blaupause für die Entwicklung von konkreten Architekturen.
Konformität zu einer Referenzarchitektur bedeutet, dass eine Architektur, die Elemente und Interaktionen der Referenzarchitektur verwendet [11]. In dieser Arbeit wird Referenzarchitektur als Blaupause für die Entwicklung abgewandelter Architekturen gesehen.

1.2.4 Viewpoints

In komplexen Systemen kommen die beteiligten Stakeholder aus den unterschiedlichsten Domänen. Die Sichten auf ein System sind daher verschieden. Als Beispiel wird hier wiederum auf den in Abbildung 1.2 dargestellte Vergleich mit der Bauarchitektur verwiesen. Viewpoints im Sinne von Smart Grids sind Ansichten für die unterschiedlichen Stakeholder. Diese beinhalten nur die für den jeweiligen Stakeholder relevante Information. Dies können z.b. die Neztwerktopologie, die Topologie des elektrischen Netzes oder die Sicht auf die Schnittstellen und deren Security Requirements sein.

1.2.5 Interoperabilität

Interoperabilität beschreibt die Fähigkeit von Systemen untereinander Informationen auszutauschen. Die Informationen werden von den Systemen in weiterer Folge für die Abwicklung eines Vorgangs verwendet [2]. Dies trifft auch auf das Smart Grid zu. Ein Beispiel wäre hier der Informationsaustausch zwischen Smart Metern und dem Netzbetreiber. Für die Ermittlung der aktuellen Netzauslastung übermitteln die Smart Meter alle 15 min die Verbrauchsdaten an den Netzbetreiber.

2 Architekturbeschreibung

Ziel der Entwicklung einer Architektur für das Smart Grid ist, einen gemeinsamen Standard zu entwickeln, auf dessen Basis in Zukunft Smart Grids geplant und realisiert werden können. Das setzt u.a. die Erhebung von bisher vorhandenen Standards sowie die Entwicklung neuer Standards voraus. Ergebnis des Entwicklungsprozesses ist ein auf den Standards basiertes Framework zur Entwicklung von Referenzarchitekturen. Aus der Referenzarchitektur lassen sich in weiterer Folge konkrete Lösungen instanziieren.

2.1 Standardisierung im Kontext von Smart Grids

Um ein System wie das Smart Grid betreiben zu können, müssen Standards geschaffen werden. Ziel ist es eine breite Akzeptanz zu erreichen. Hierfür müssen auch bestehende Standards aus unterschiedlichen Domänen berücksichtigt werden. Für das derzeitige Stromnetz wurden u.a. Standards im Bereich der Elektrotechnik geschaffen. Der für diese Standards zuständige Ausschuss ist das sogenannte „*European Comittee for Electrotechnical Standardization (CENELEC)*“.

Da es sich bei einem Smart Grid um ein SoS handelt, müssen entsprechende Standards hinsichtlich der Kommunikation berücksichtigt werden. Standards diesem Bereich sind ebenfalls schon vorhanden. Das zuständige Komitee ist das „*European Telecommunications Standards Institute (ETSI)*“.

Zusammen mit dem „*European Committee for Standardization (CEN)*“ wurde aus diesen Standardisierungsgremien die „*Smart Grid Coordination Group (SG-CG)*“ gebildet [2]. Sie wurde mit dem Mandat M/490 EN beauftragt. Ziel dieses Mandats ist die Entwicklung neuer und die Verbesserung bestehender Standards, sowie die Aufdeckung von Lücken in der Standardisierungslandschaft des Smart Grids [12]. Vier Arbeitsgruppen arbeiteten daran ein Framework zu schaffen, um die Standardisierungslandschaft in einem geeigneten Modell darstellen zu können. Das Ergebnis war das *Smart Grid Architecture Model (SGAM)*.

2.2 SGAM Domänen

Ausgangspunkt für die Entwicklung von SGAM war das amerikanische Domänenmodell des *National Institutes of Standards and Technology (NIST)*. Das Modell ist in Abbildung 2.3 dargestellt.

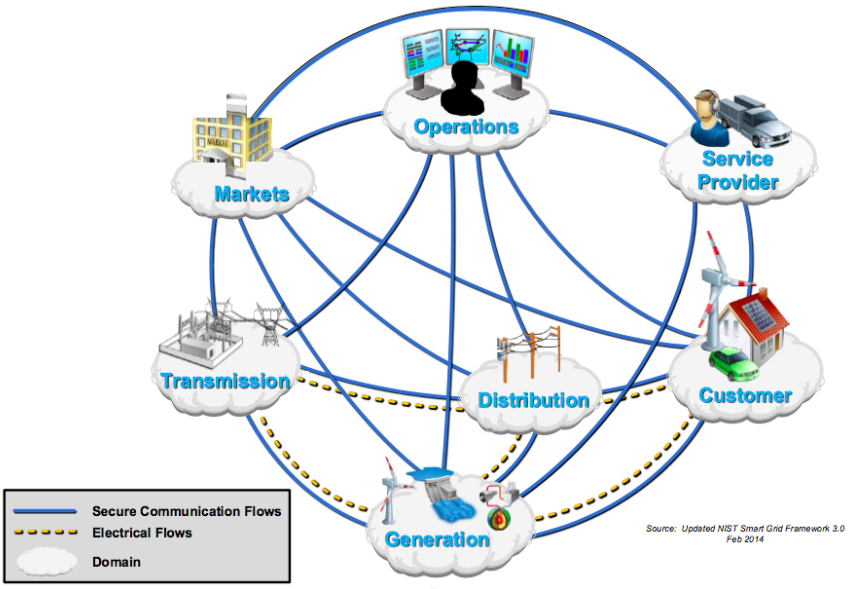

Abbildung 2.1: Interaktion von Rollen unterschiedlicher Smart Grid Domänen unter Verwendung sicherer Kommunikationswege [13, S. 128].

Es zeigt die in einem Stromnetz vorkommenden unterschiedlichen Domänen sowie deren Zusammenhänge auf kommunikationstechnischer und elektrischer Ebene. Zur Weiterverwendung für das europäische Modell musste es angepasst werden. Die Domäne der verteilten Energieressourcen (Distributed Energy Resources, DER) wurde mit aufgenommen. Das abgewandelte Modell ist in Abbildung 2.2 zusehen.

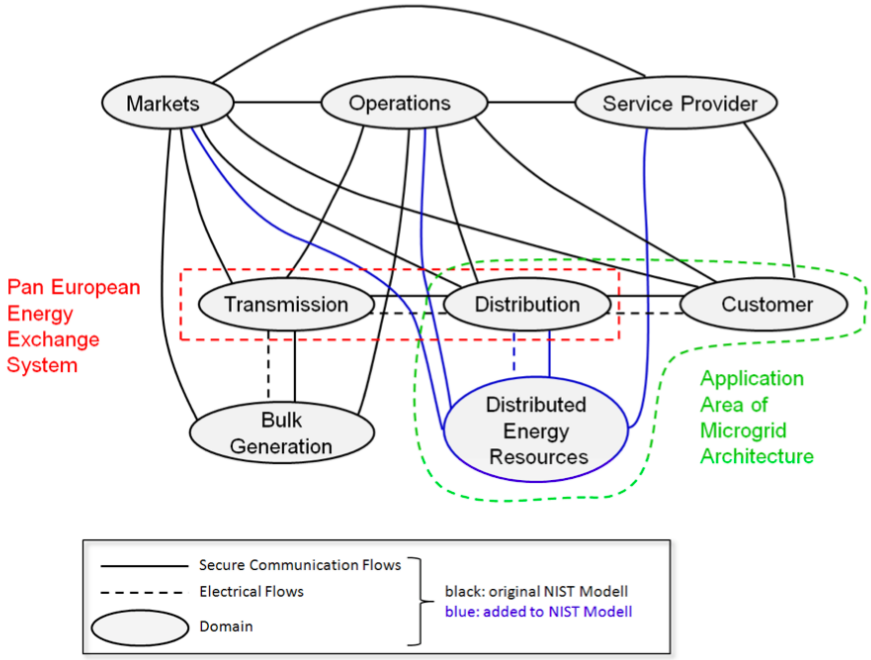

Abbildung 2.2: EU Erweiterung des NIST Modells [2, S. 21].

Dieses Modell ist der erste Baustein von SGAM. Damit ist es möglich, die unterschiedlichen Domänen in einem Smart Grid darzustellen. In [2] sind die einzelnen Domänen detailliert beschrieben. Eine kurze Beschreibung wird in nachfolgender Auflistung gegeben:

Energieerzeugung - Bulk Generation
Energieerzeugung in großen Mengen durch Kraftwerke.

Energieübertragung- Transmission
Verteilung der erzeugten Energie über lange Strecken.

Energieverteilung - Distribution
Verteilung der erzeugten Energie im Verteilnetz bis zum Kunden.

DER - Distributed Energy Ressources
Energieerzeuger welche geringe Mengen (3kW bis 10 000kW) an Strom erzeugen.

Kunden - Customer
Kunden als Nutzer der elektrischen Energie aber auch als Erzeuger von Energie.

2.3 SGAM Ebene

Zusätzlich zu den Domänen wurde eine zweite Dimension eingeführt. Die sogenannten Zonen repräsentieren die Kontrollebenen der einzelnen Domänen. Sie wurden von der *SCADA Automatisierungs Pyramide* abgeleitet [1]. Im Wesentlichen bilden sie die unterschiedlichen Funktionen in einem Smart Grid ab. Die Verschmelzung der Zonen mit den Domänen ergibt eine 2-dimensionale Sicht auf das Smart Grid (siehe Abbildung 2.3).

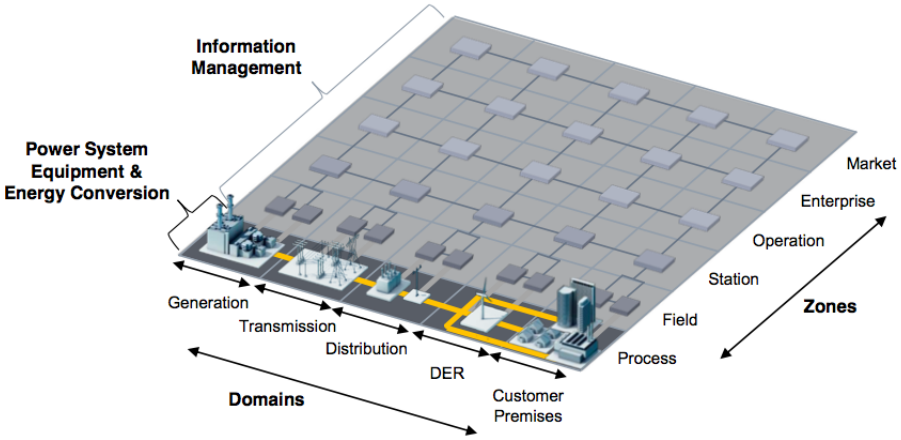

Abbildung 2.3: Smart Grid Ebene - Domänen und hirarchische Zonen [2, S. 28].

2.4 SGAM Interoperabilitätsebenen

Wie schon in Abschnitt 1.1 dargestellt ist das Smart Grid ein System bestehend aus einer Vielzahl an Applikationen und Anlagen. Daher ist eine der wichtigsten Anforderungen an ein Smart Grid die Interoperabilität zwischen den unterschiedlichen Systemen [14]. Diese Interoperabilität hat das *GridWise Architecture Council (GWAC)* in Form des Interoperabilitäts-Stacks dargestellt (siehe Abbildung 2.4).

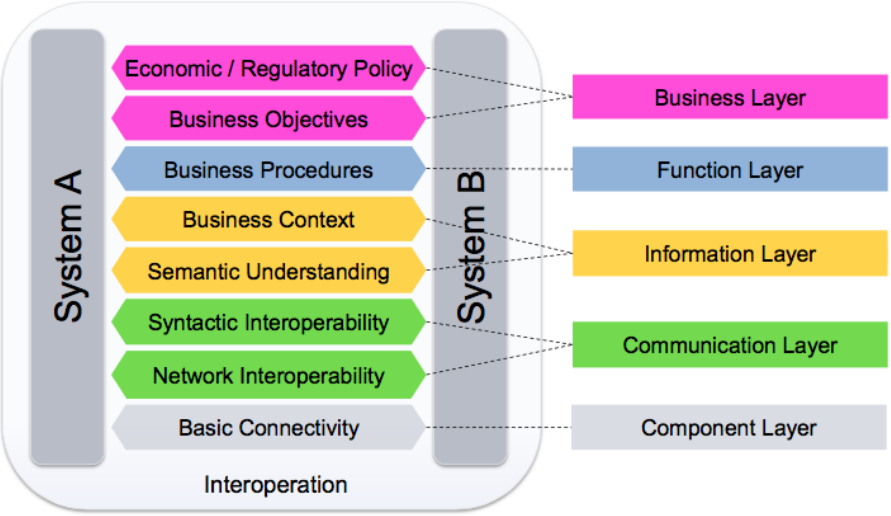

Abbildung 2.4: Interoperabilitätslevel [15, S. 5].

Der Interoperabilitäts-Stack stellt nach [14] die Grundlage für das Requirements-Engineering im Bereich der Vorerfassung und des Managements dar. Für die Verwendung im Kontext des Smart Grids wurde der Stack auf fünf Ebenen zusammengefasst. Diese erweitern das SGAM-Framework um eine dritte Dimension, die sogenannte Interoperabiltiäts-Dimension. Nachfolgend sind die einzelnen Layer dieser Dimension überblicksmäßig aufgelistet. Eine detailliertere Beschreibung ist in [2] zu finden.

Business Layer

Der Layer stellt die Sicht für marktwirtschaftlich interessierte Stakeholder dar. Ent-

scheidungen z.B. im Bereich des Strommarktes werden über diesen Layer unterstützt. Auch behördliche Bestimmungen müssen hier berücksichtigt werden.

Function Layer
In dieser Schicht wird die Beschreibung aus Use Cases abgleitet. Sie beschreibt die Funktionen, Services und deren Beziehungen aus Sicht der Architektur.

Information Layer
Diese Schicht beschreibt die zwischen den Systemen ausgetauschte Information sowie das darunter liegende Datenmodell.

Communication Layer
Die für den technischen Informationsaustausch notwendigen Mechanismen und Protokolle werden in diesem Layer beschrieben.

Component Layer
Darin werden alle physischen Komponenten beschrieben, die sich im Smart Grid befinden (z.B. System-Akteure, Netzkomponenten, Anwendungen).

2.5 SGAM Framework

Durch das Vereinen der drei Dimensionen, den Domänen, den Zonen und der Interoperabilität, wurde das SGAM Framework von der SG-CG erstellt. Das Framework ist in Abbildung 2.5 dargestellt.

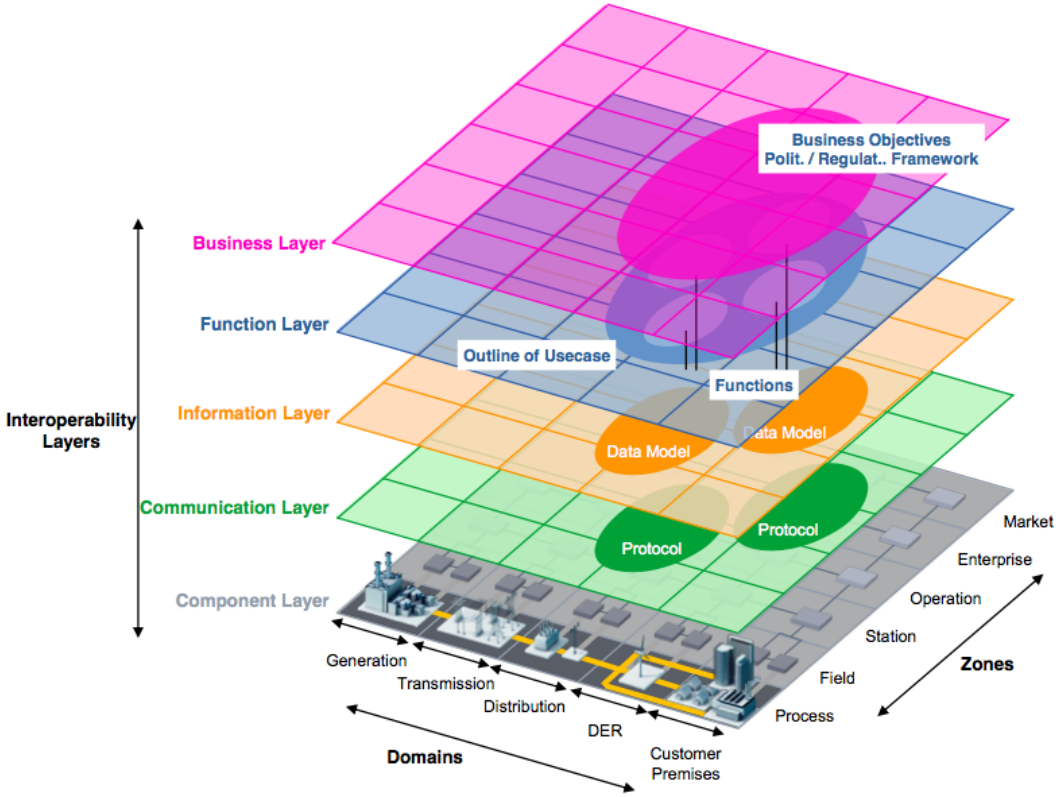

Abbildung 2.5: SGAM Framework [2, S. 30].

Wie schon in Abschnitt 2.1 erläutert, diente es ursprünglich der Auffindung von Lücken in der Standardisierungslandschaft im Bereich des Smart Grids. Es stellte sich jedoch heraus, dass dieses Framework auch für die Entwicklung von Smart Grid Architekturen verwendet werden kann. Um jedoch im Kontext von SGAM Architekturen entwickeln zu können, war die Spezifikation einer geeigneten Sprache sowie deren Implementierung in einem geeigneten Werkzeug notwendig.

2.6 SGAM Toolbox

Für die Modellierung einer Referenzarchitektur ist eine für die Domäne zugeschnittene Sprache notwendig (Domain Specific Language, DSL). Im Kontext von SGAM wurde hierfür am *Josef Ressel Center for User-Centric Smart Grid Privacy, Security and Control* eine für Smart Grid Architekturen geeignete DSL entwickelt. In Abbildung 2.6 ist das Framework der DSL dargestellt.

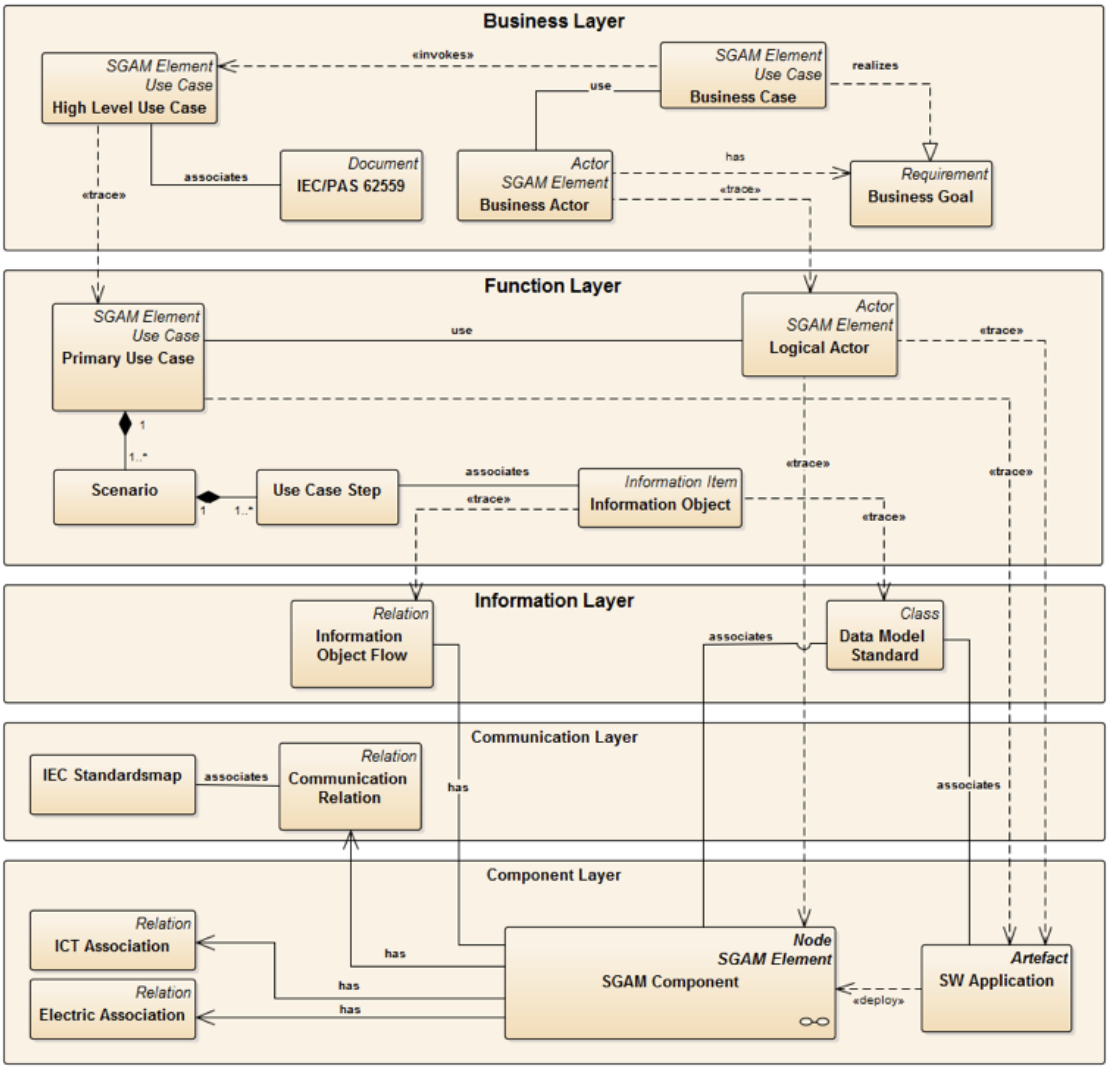

Abbildung 2.6: Metamodell der DSL [1].

Die DSL wurde nachfolgend in der SGAM-Toolbox implementiert. Mittels der Toolbox ist es möglich die Architektur–Analyse und die Architektur–Beschreibung eines Smart Grid Systems auf Basis des SGAM Frameworks durchzuführen. Dazu bietet sie unterschiedliche Komponenten an, welche auf den unterschiedlichen SGAM Layern angeordnete werden können. Die Toolbox ist als Erweiterung für die Modellierungssoftware Enterprise Architect unter www.en-trust.at erhältlich.

3 Architekturentwicklung

Das SGAM Framework, welches im vorangegangenen Abschnitt schrittweise aufgebaut wurde, dient nun als Sammlung von Grundbausteinen für die Entwicklung einer Referenzarchitektur. Zum Einen müssen Use-Cases analysiert und dokumentiert werden. Zum Anderen müssen auf Basis der Use-Cases die Technologien festgelegt werden. Die Modellierung erfolgt unter Verwendung der SGAM-Toolbox.

3.1 Architekturentwicklung im Kontext des SGAM-Frameworks

In [4] beschreiben die Autoren wie die Architektur eines Smart Grids im Kontext des SGAM-Frameworks und unter Verwendung der SGAM-Toolbox realisiert werden kann. Ausgangspunkt für die Entwicklung ist der Ansatz des „*Model Driven Architecture (MDA)*“. MDA liefert die unterschiedlichen Aspekte aus dem „*Computational Independent Model (CIM)*“ sowie dem „*Platform Independent Model (PIM)*“. Das CIM stellt die funktionale Beschreibung eines Systems dar. Das PIM stellt das Modell dar, welches unabhängig von der später eingesetzten Technologie ist, aber aus der zuvor durchgeführten System–Analyse hervorgeht. Im Kontext des SGAM-Frameworks kann das CIM auf die oberen beiden Ebenen, dem Business- und dem Funktionslayer abgebildet werden. Das PIM entspricht den unteren drei Layern, also dem Informations-, Kommunikations- und Komponenten Layer. Nachfolgend wird auf die Aspekte der System–Analyse und der System–Architektur–Entwicklung eingegangen. Zusätzlich werden Beispiele zu den einzelnen Schritten in der Darstellung des SGAM-Frameworks gegeben.

3.1.1 System Analyse

Die System Analyse ist in den oberen beiden SGAM Layern angesiedelt und entspricht damit dem CIM. Im Business Layer beschäftigt sie sich mit der Erfassung der involvierten Akteure und deren Ziele. In Abbildung 3.1 sind beispielhaft die Akteure Netzbetreiber und Konsument sowie deren Ziele dargestellt.

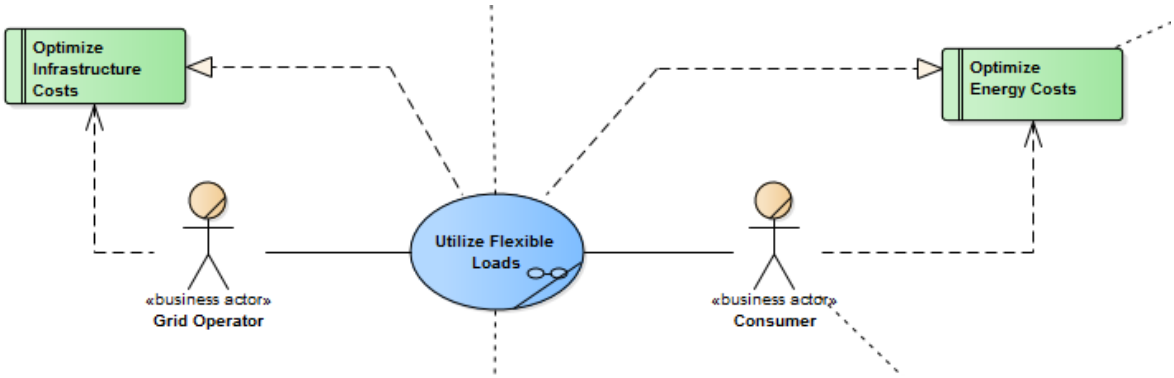

Abbildung 3.1: Akteure Netzbetreiber und Konsument mit ihren Zielen, in abgeänderter Form nach [16].

SGAM–Businesslayer

Auf der Businessebene im SGAM Kontext könnte dies wie in Abbildung 3.2 dargestellt werden.

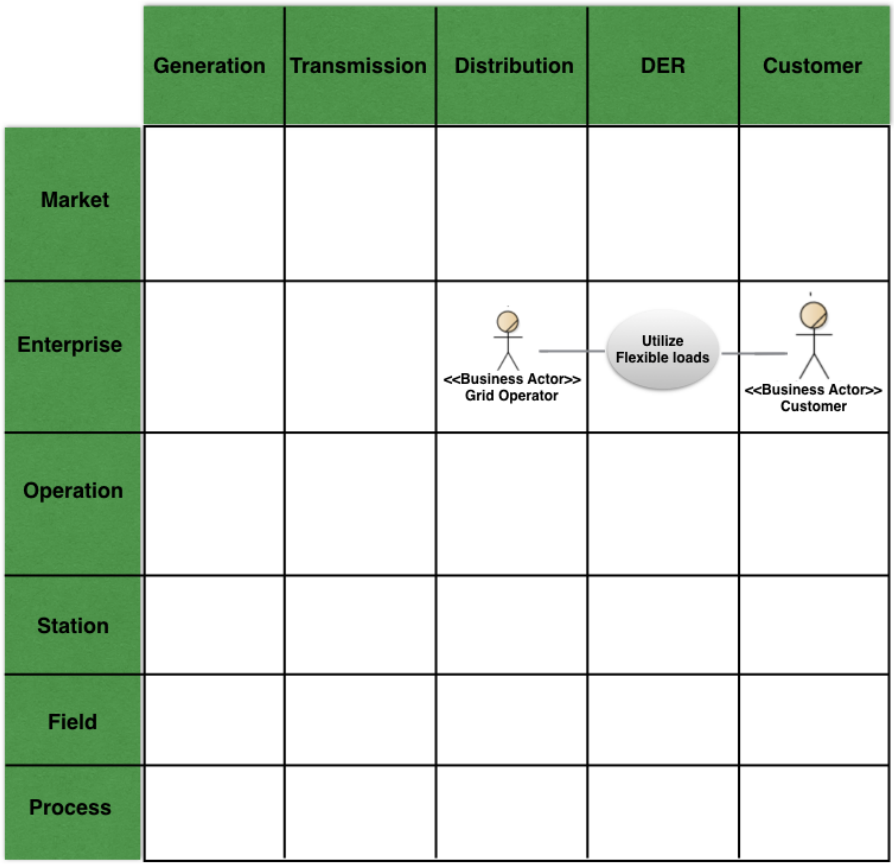

Abbildung 3.2: Akteure Netzbetreiber und Konsument im Business Layer, in abgeänderter Form nach [16].

Der *Grid Operator* kann ein oder mehrere Netze betreiben. Der *Consumer* nutzt die vom Netzbetreiber im Netz zur Verfügung gestellte elektrische Energie. In der grauen Ellipse wird der Business Case mit dem Titel „Utilize flexible Loads“ dargestellt. In [16] beschreibt dieser Use Case den Einsatz von flexiblen Lasten. Der Netzbetreiber kann z.B. durch das Weg- bzw. Hinzuschalten von Verbrauchern die Netzstabilität verbessern und Investitionen in die Infrastruktur zu einem späteren Zeitpunkt realisieren. Der Kunde könnte vom Netzbetreiber für seine Flexibilität z.B. einen Bonus auf die nächste Stromrechnung erhalten. Auf dieser Ebene kann somit der Elektrizätsmarkt abgebildet.

SGAM–Funktionslayer

Nach der Definition der Business Cases erfolgt die Transformation des Business-Models in das logische Modell. Das Ergebnis dieser Transformation sind die High Level Use Cases (HLUC). Die Beschreibung der HLUCs kann mittels dem IEC/PAS 62559 Use Case Template erfolgen [17]. Aus den Business Akteuren werden Logische Akteure generiert, welche als Akteure in den HLUCs agieren. In [1] werden diese, bezogen auf den vorangegangenen Business Case der Flexibilität als „*Distribution System Management (DSM)*“, „*Advanced Metering Infrastructure Headend*“ und „*Smart Meter*“ identifiziert. Nach Identifikation der HLUCs

können diese in der nächsten Phase verfeinert werden. Die Beschreibung von Primary Use Cases ist das Ergebnis daraus. Dies kann in Form von z.b. UML-Diagrammen erfolgen.

3.1.2 System Architektur Entwicklung

Im vorangegangen Abschnitt wurde beschrieben, wie mögliche Akteure (Business und Logik) sowie die zugehörigen Use Cases erfasst werden können. In diesem Abschnitt wird erläutert wie aus der System Analyse eine konkrete Architektur entwickelt werden kann. Der Schritt der System Architektur Entwicklung umfasst dabei die untersten drei Schichten des SGAM-Frameworks, den Informationslayer, den Kommunikationslayer und den Komponentenlayer.

Bei der Transformation erfolgt zunächst die Umformung der logischen Akteure in die physikalischen Komponenten. Zusätzlich können die Kommunikationswege und Schnittstellen modelliert werden. Somit ergibt sich für jede Komponente eine Blackbox mit ihren Schnittstellen [1]. Als Beispiel wird hier die Entwicklung der Smart Meter Infrastruktur aus [16] erläutert.

Informationslayer

In der Informationschicht werden, wie in Abbildung 3.3 dargestellt, die physischen Komponenten und ihre Schnittstellen festgelegt. Innerhalb dieser Schicht ist auch eine Beschreibung der einzelnen Schnittstellen sowie deren Zuordnung zu den logischen Schnittstellenkategorien möglich. Im NIST-LRM spiegelt sich dies durch die Akteure und deren Schnittstellendefinitionen sowie der Zuordnung ebenfalls zu Schnittstellenkategorien wider.

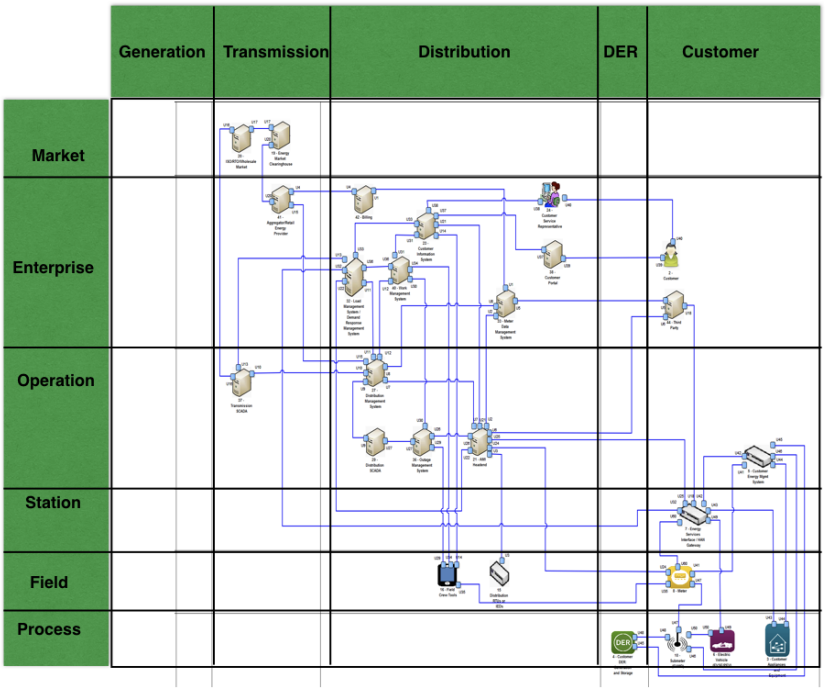

Abbildung 3.3: Physische Komponenten mit ihren Schnittstellen und Kommunikationswegen, in abgeänderter Form nach [16].

Kommunikationslayer

In der Kommunikationschicht werden, wie in Abschnitt 2.4 beschrieben, Protokolle und Mechanismen für den Informationsaustausch beschrieben. In Abbildung 3.4 ist die Kommunikationsschicht aus [16] in abgeänderter Form dargestellt, wobei die grünen Linien darstellen, welche Systeme über welches Protokoll kommunizieren.

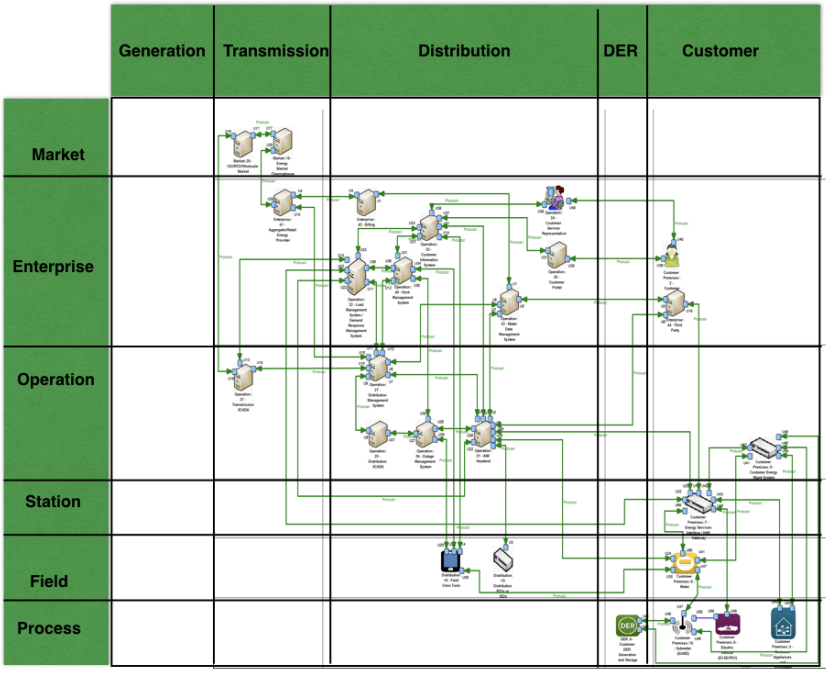

Abbildung 3.4: Protokolle und Kommunikationswege der Smart Meter Infrastruktur, in abgeänderter Form nach [16].

Komponentenlayer

Schlussendlich werden im untersten Layer, die physischen Komponenten dargestellt und beschrieben. In Abbildung 3.5 ist die Komponentenschicht aus [16] in abgeänderter Form dargestellt. Sie zeigt die Smart Meter Infrastruktur als Netzwerktopologie mit allen beteiligten Komponenten

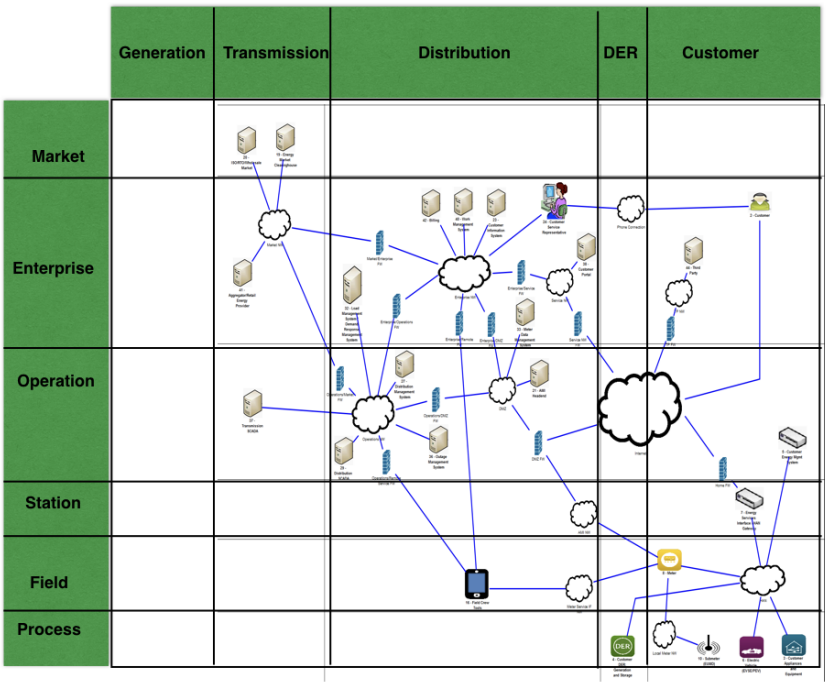

Abbildung 3.5: Komponenten der Smart Meter Infrastruktur, in abgeänderter Form nach [16].

4 Referenzarchitektur

Eine Referenzarchitektur stellt eine Blaupause für die Entwicklung individueller Lösungen dar. Im Falle von SGAM lassen sich daraus weitere Modelle für ein Smart Grid instanzieren. Durch Anpassungen kann daraus ein auf die eigenen Bedürfnisse zugeschnittene Architektur entwickelt werden. Die im nachfolgenden Abschnitt dargestellte Referenzarchitektur für das Smart Grid wurde, um eine breite Akzeptanz zu erreichen, aus bereits etablierten Modellen erstellt.

4.1 ENTSO E-Roll Model

Auf der Businessebene wird der Elektrizitätsmarkt mit seinen Akteuren abgebildet. Im Verfahren zur Erstellung einer Referenzarchitektur könnte daher auf dieser Ebene das „*Harmonized Electricity Market Role Model*“ der ENTSO-E integriert werden [1]. Es handelt sich dabei um ein sehr umfangreiches Modell zur Abbildung des Elektrizätsmarktes und stellt Definitionen für die Rollen und Domänen zur Verfügung [18]. Das ENTSO-E Role Model ist in Abbildung 4.2 zur Veranschaulichung des Umfanges dargestellt. Um sich dieses genauer ansehen zu können, gibt es auf der Homepage der Verfasser ein für den Browser erstelltes Modell [1].

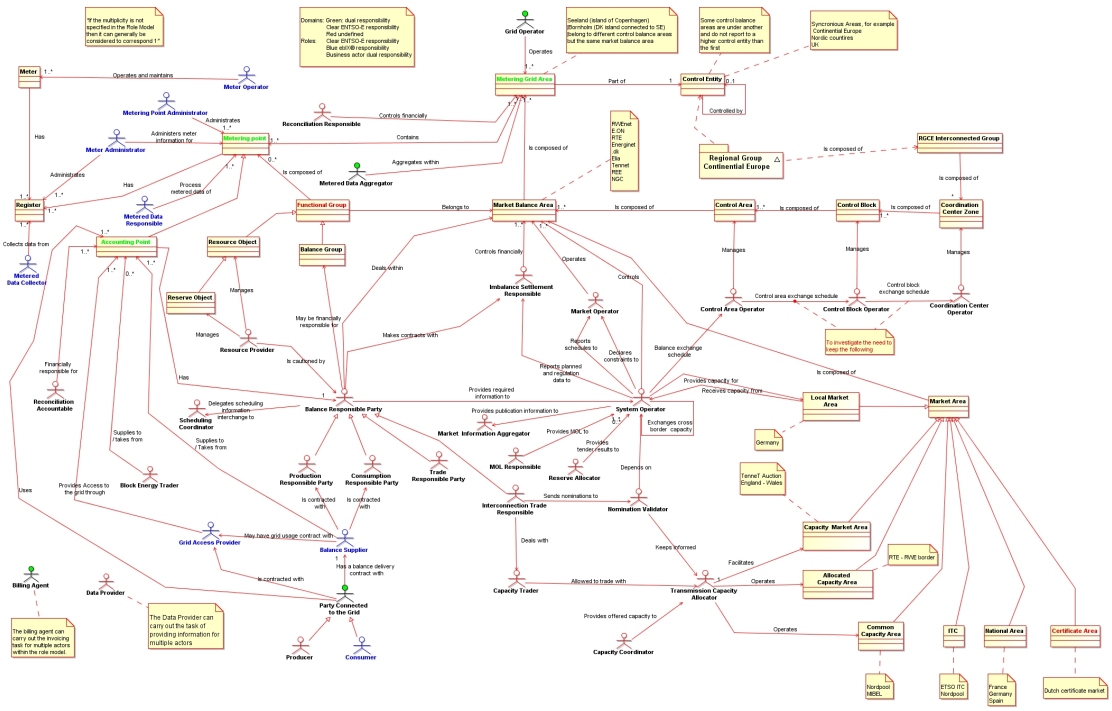

Abbildung 4.1: Das ENTSO-E Role Modell [18, S. 14].

Für die unteren Ebenen wird auf das NIST Logical Reference Model zurückgegriffen. Über dieses wird im nächsten Abschnitt ein Überblick gegeben.

[1] www.entsoe.eu

4.2 NIST Logical Reference Model

Das NIST Logical Reference Model (NIST-LRM) wurde entwickelt um die Abbildung der Security Requirements eines Smart Grids zu ermöglichen [19]. Darin wurden eine Vielzahl an Akteuren, Schnittstellen und Kommunikationswegen definiert. In Abbildung 2.3 ist das NIST-LRM in abgeänderter Form dargestellt.

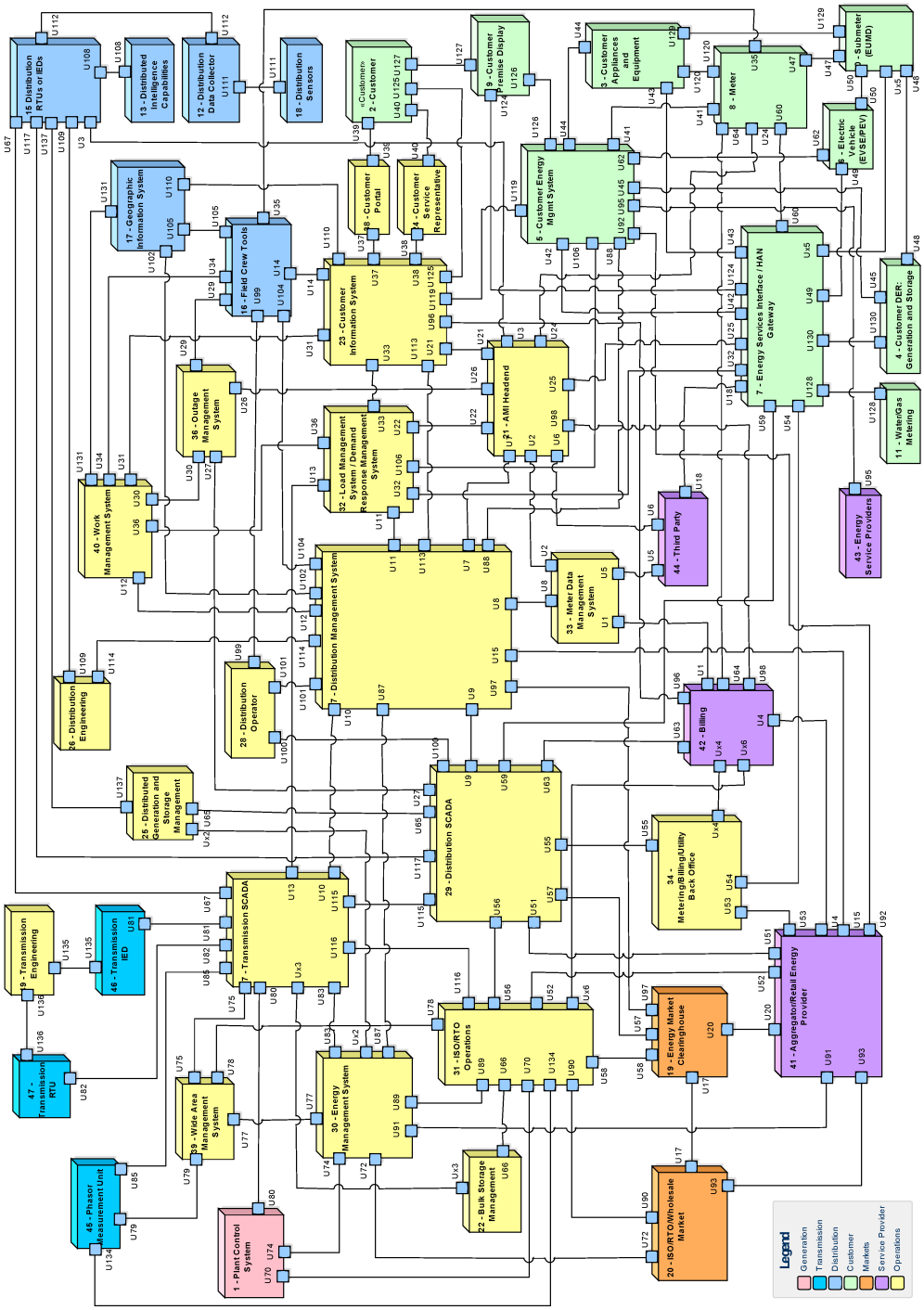

Abbildung 4.2: Das NIST-LRM Modell [6, S. 8].

Die Entwicklung des Referenzmodells erfolgte entsprechend dem NIST-LRM beigelegten Leitfaden zur Erstellung von Referenzarchitekturen. In nachfolgender Liste ist der Ablauf in verkürzter Form dargestellt.

1. **Use Case Analyse**
   Um die unterschiedlichen Akteure in einem Smart Grid identifizieren zu können, werden im ersten Schritt Use Cases definiert und analysiert.

2. **Zuordnung zu den NIST Domänen**
   In einem zweiten Schritte erfolgt eine genaue Beschreibung der Akteure und die Zuordnung zu den in Abbildung 2.3 gezeigten Domänen

3. **Schnittstellen und Kommunikationswege**
   Wichtig für die weitere Analyse ist die Identifikation der Schnittstellen der Akteure sowie deren Kommunikationsverbindungen zu anderen Akteuren.

In weiterer Folge kann das entwickelte Referenzmodell NIST als Blaupause für die Architekturentwicklung unterschiedlichster Szenarien in einem Smart Grid dienen. Für die Entwicklung eines Smart Grid Referenzmodells im Kontext von SGAM liefert das NIST-LRM eine Vielzahl an Parametern (z.B. Smart Grid Akteure und Schnittstellen) [1].

4.3 Smart Grid Referenzarchitektur

Die Übertragung der Modelle ENTSO-E Role und des NIST-LRM auf die Layer von SGAM ergibt die Referenzarchitektur für ein Smart Grid. Dabei kann das ENSO-E Role Modell auf den Business-Layer übertragen werden.Eine direkte Umlegung der aus dem NIST-LRM identifizierten Akteure ist jedoch nicht so einfach möglich. Im NIST-LRM erfolgt keine Trennung der Akteure bezogen auf die Businessschicht, Funktionsschicht und Komponenschicht. Diese befinden sich alle auf einem Layer und repräsentieren vielmehr SGAM Komponenten als logische Akteure. Die Übertragung des NIST-LRM auf SGAM ist daher nur auf die unteren drei Schichten möglich. Im Bereich der Use-Case Analyse und der Schnittstellen Definition kann das NIST-LRM jedoch sehr gut transformiert werden [1].
In Abbildung 4.3 ist die Zuordnung der zuvor beschriebenen Modelle, auf die einzelnen Layer des SGAM-Frameworks, schematisch dargestellt.

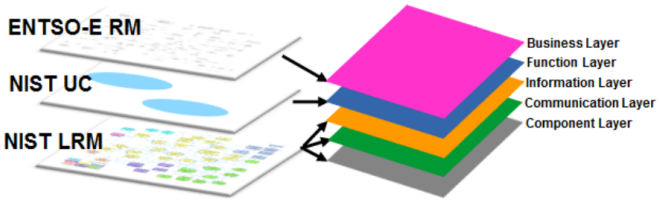

Abbildung 4.3: Übertragung des NIST-LRM und des ENTSO-E Role Models auf die SGAM-Layer [16].

Das dadurch entwickelte Referenzmodell kann in weiterer Folge als Blaupause für die Entwicklung von Smart Grid Systemen dienen. Es kann an beliebiger Stelle abgeändert und den lokalen sowie persönlichen Bedürfnissen und Anforderungen angepasst werden. Es bildet sämtliche Domänen, deren Funktionen in den unterschiedlichen Bereichen und deren Interoperabilität auf Basis der unterschiedlichen Layer ab.

5 Diskussion

Die Zunahme zum Einen an Anlagen, welche Strom aus erneuerbaren Energien erzeugen, zum Anderen an Elektrofahrzeugen, erfordert eine Umgestaltung bzw. Erweiterung des bisher betriebenen Stromnetzes. Das Gleichgewicht zwischen Verbrauch und Erzeugung kann nur mit „intelligenter“ Technik gehalten werden. Smart Grids, in welchen Verbraucher und Erzeuger untereinander kommunizieren, können diese Aufgabe erfüllen. Sie reagieren auf den flexiblen Strommarkt genauso wie auf die Ungleichheit von Verbrauch und Erzeugung.

Die Entwicklung eines Systems in welchem eine Vielzahl von Systemen verortet sind, stellt aber auch die IKT vor eine große und spannende Herausforderung. Der Entwurf von Smart Grids erfordert die Entwicklung eines für die Planung standardisierten Architektur Frameworks. Um eine breite Akzeptanz zu erreichen, ist die Einbeziehung von vorhandenen Standardisierungsgremien unabdingbar. Ein derart entwickeltes Framework, wie es das SGAM-Framework darstellt, erlaubt die Erstellung einer neuen Referenzarchitektur z.B. durch Übertragung von bereits bestehenden Modellen (z.B. NIST-LRM, ENTSO-E Role Model). Das Ergebnis kann in weiterer Folge als Blaupause für die Planung von Smart Grid Systemen dienen [1].

Die Übertragung von derzeit bestehenden Modellen auf das SGAM-Framework ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Anpassungen an die Erfordernisse des SGAM-Frameworks sind notwendig. So bildet das NIST-Domänen Modell nicht alle relevanten Domänen ab. Die Einführung der DER–Domäne ist für die Verwendung im europäischen Kontext notwendig [2].

Des Weiteren ist das NIST-LRM zwar geeignet um Smart Grid Architekturen abzubilden, jedoch liefert es nur eine flache Darstellung des Systems. Auf dieser Ebene sind alle beteiligten Akteure dargestellt. Im Kontext von SGAM werden jedoch Business-Elemente, logische Elemente und architekturelle Elemente unterschieden. Die Autoren in [1] stellten fest, dass die Akteure des NIST-LRM vielmehr SGAM-Komponenten entsprechen. Daher können diese als solches nur in den unteren drei Ebenen modelliert werden.

Zusätzlich werden im NIST-LRM lediglich grob beschriebene Use-Cases gelistet. Eine Verfeinerung der HLUCs, wie es im SGAM-Framework vorgesehen ist, gibt es im NIST-LRM nicht. Das NIST-LRM integriert jedoch Schnittstellen, Schnittstellenkategorien und Security-Anforderungen. Da diese ursprünglich im SGAM nicht vorgesehen waren, wurde das SGAM-Framework um diese erweitert [4].

Die Entwicklung eines ausgereiften Referenzarchitekturmodells ermöglicht in naher Zukunft eine ganzheitliche Sicht auf ein Smart Grid als Architektur zu modellieren. Dies inkludiert u.a. die abstrahierte Darstellung von Märkten, Infrastruktur, Security und Privacy relevanten Aspekte. Die Abstraktion des Systems ermöglicht es zudem auch Stakeholdern aus unterschiedlichen Fachdomänen, gemeinsam an einer für die Zukunft ausgereiften Lösung zu arbeiten.

Literaturverzeichnis

[1] C. Neureiter *et al.*, "A standards-based approach for domain specific modelling of smart grid system architecture," in *Proceedings of the 11th International Conference on System of Systems Engineering*, 2016, pp. 12–16.

[2] Smart Grid Coordination Group, "Smart grid reference architecutre," CEN-CENELEC-ETSI Smart Grid Coordination Group, Tech. Rep., 2012.

[3] Smartgrids Austria, "Schematische Darstellung eines Smart Grids und dessen Komponenten." [Online]. Available: http://www.smartgrids.at/smart-grids.html [Accessed: 05.02.2017].

[4] C. Neureiter, D. Engel, and M. Uslar, "Domain specific and model based systems engineering in the smart grid as prerequisite for security by design," *Electronics*, vol. 5, no. 24, pp. 1–42, 2016. doi: 10.3390/electronics5020024

[5] C. Neureiter *et al.*, "Towards consistent smart grid architecture tool support: From use cases to visualization," in *IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies, Europe*, Oct 2014, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISGTEurope.2014.7028834

[6] C. Neureiter, "Elektrische Netze (Smart Grid Anwendung)," Präsentation LV Energieinformatik Grundlagen (Nr. SMBB4SGAIL), 2016.

[7] IEEE Architecture Working Group, "IEEE Std 1471-2000, Recommended practice for architectural description of software-intensive systems," IEEE, Tech. Rep., 2000.

[8] L. Bass, P. Clements, and R. Kazman, *Software Architecture in Practice*, 3rd ed. Addison-Wesley Professional, 2012.

[9] S. Dustdar, H. Gall, and M. Hauswirth, *Software-Architekturen für Verteilte Systeme*. Berlin: Springer, 2003.

[10] Zachmann International Enterprise Archtecture, "The Concise Definition of The Zachman Framework by: John A. Zachman." [Online]. Available: https://www.zachman.com/about-the-zachman-framework [Accessed: 08.02.2017].

[11] H.-J. Appelrath, P. Beenken, and M. Uslar, *IT-Architekturentwicklung im Smart Grid*. Springer Gabler, 2012.

[12] Smart Grid Mandate - , "M/490 en smart grid mandate - standardization mandate to european standardisation organisations (esos) to support european smart grid deployment," European Commission, Tech. Rep., 2011.

[13] National Institute of Standards and Technology, "Nist framework and roadmap for smart grid interoperability standards, release 3.0," Smart Grid and Cyber-Physical Systems Program Office and Energy and Environment Division, Engineering Laboratory, Tech. Rep., 2014.

[14] M. Uslar *et al.*, *Standardization in Smart Grid*. Springer, 2013.

[15] GridWise Architecture Council, *GridWise Interoperability Context - Setting Framework*. GridWise Architecture Council, 2008.

[16] C. Neureiter, "The Smart Grid Logical Reference Model (LRM)," online. [Online]. Available: https://www.en-trust.at/NISTIR/ [Accessed: 10.02.2017].

[17] International Electrotechnical Commission, *IEC 62559-2 Use Case Methodology – Part 2: Definition of the Templates for Use Cases, Actor List and Requirements List*. Geneva, Switzerland: IEC, 2015.

[18] European Network of Transmission System Operators for Electricity, "The harmonised electriciy market role model," 2015.

[19] The Smart Grid Interoperability Panel-Cyber Security Working Group, "Guidelines for smart grid cyber security," National Institute of Standards and Technology (NIST), Technical Report NISTIR 7628 1–3, 2010.