

Architekturmodelle und Datenkonzepte im multimodalen Energiesystem

Deliverable 9.3 für Task 3.1 / AP 9 im Kopernikus-Projekt
Energiewende-Navigationssystem (ENavi)

Sascha Holzhauer (Universität Kassel)

Juni 2018

Friedrich Krebs (Universität Kassel)

Timo Fischer (Fraunhofer IEE)

Reinhard Mackensen (Fraunhofer IEE)

Inhalt

Inhalt.....	1
1 Einleitung	3
2 Sektorkopplung und das multimodale Energiesystem	4
3 Standardisierte Architekturbeschreibung für Smart Grids.....	6
3.1 Domänen	7
3.2 Zonen	8
3.3 Interoperabilitätsebenen.....	9
3.4 Abstraktionsgrade	10
3.5 SGAM Framework.....	11
4 Referenzmodelle und Standardisierungen	12
4.1 Rollenmodell der Marktkommunikation im deutschen Energiemarkt (Strom und Gas) 13	
4.1.1 Zusammenhang und Übersicht	13
4.1.2 Grafische Darstellung	14
4.2 NIST Logical Reference Model	15
4.3 Existierende technische Standards.....	16

5	Rollen und Use Cases	16
5.1	Herleitung der relevanten Rollen, Gebiete und Objekte	17
5.1.1	Rollen.....	17
5.1.2	Gebiete	19
5.1.3	Objekte	20
5.2	Anwendungsfallanalyse mit SGAM.....	20
5.2.1	Definition einer Ordnung von Geschäfts- und Anwendungsfällen	21
5.2.2	Komplementäre und alternative Anwendungsfälle	22
5.2.3	Vorlagen für Anwendungsfälle.....	22
6	Relevante Anwendungsfälle	23
6.1	Klassifizierung existierender Anwendungsfälle	24
6.1.1	Neue Kommunikationskanäle	24
6.1.2	Automatische Steuerung von Lasten und Erzeugern.....	25
6.1.3	Vertragsabschlüsse, Handel, An- und Abmeldung.....	26
6.1.4	User-Feedback.....	26
6.2	Identifikation der bedeutsamen Anwendungsfall-Cluster mit Forschungsbedarf....	27
6.3	Anwendungsfallanalyse am Beispiel Flexibilisierung im Stromsektor durch einen direkten Markt.....	31
6.3.1	Übersicht	32
6.3.2	Geschäftsfall: Flexible Lasten Erzeugen	32
6.3.3	High-Level Anwendungsfall: Direkter Markt	33
6.3.4	Primärer Anwendungsfall: Hochfrequenter, direkter Markt.....	34
7	Ausblick	35
7.1	Technologieentwicklung.....	35
7.2	Weiteres Vorgehen.....	37
8	Literaturverzeichnis	38

1 Einleitung

Dieser Bericht fasst die Ergebnisse der Sichtung und Bewertung existierender Beschreibungen und Architekturen des Systems Energie/IKT sowie Vorschläge zu nötigen Erweiterungen gemäß Task 3.1 „Architekturmodelle des Energiesystems“ und zu bestehenden und zukünftigen Datenflüssen gemäß Task 3.2. „Kommunikationsarchitekturen“ zusammen. Dazu werden zunächst eine Beschreibung sowie eine Analyse der relevanten Architekturbestandteile und der beteiligten Rollen und Akteure durchgeführt. Darauf aufbauend wird dann ein Überblick existierender Anwendungsfälle von IKT im Kontext Smart Grid gegeben und exemplarisch einzelne Fälle detaillierter analysiert.

Wir starten in Abschnitt 2 mit der Skizzierung der energietechnischen Zusammenhänge eines zukünftigen multimodalen Energiesystems und der daraus folgenden Notwendigkeit einer konsequenten Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien im Energiebereich.

Die folgenden Abschnitte 3 bis 5 befassen sich mit vorhandenen und zukünftig notwendigen IKT Architekturanteilen im Energiesystem. Die Dokumentation und Analyse existierender Architekturen erfordert zunächst ein geeignetes Beschreibungsframework. Ein solches Framework ist dabei nicht als Architekturbeschreibung zu verstehen, sondern als methodische Beschreibungssprache für die Entwicklung von Smart Grid Architekturen. Der europaweit genutzte Ansatz in diesem Bereich ist das Smart Grid Architectural Model (SGAM), das in Abschnitt 3 beschrieben wird. Der nächste Schritt der Architekturentwicklung zielt auf die Sichtung von Referenzarchitekturen ab. Diese Referenzmodelle sind als empfohlene und standardisierte Best-Practice-Lösungen für Architekturen im Energiesystem zu verstehen. Bei der Entwicklung konkreter Architekturen werden die Referenzmodelle in der Art von Blaupausen bei der Spezifizierung zu Grunde gelegt. In Abschnitt 4 werden die wichtigsten, existierenden Referenzmodelle dargestellt, mit einem abschließenden Verweis auf die umfangreichen Standardisierungskataloge im Bereich der Daten- und Kommunikationsnormierungen. Abschließend werden in Abschnitt 5 Rollen und Use Cases eingeführt und gezeigt, wie diese Konzepte in eine strukturierte Anwendungsfallanalyse mit SGAM eingehen.

Abschnitt 6 präsentiert Ergebnisse einer Analyse existierender Anwendungsfälle von IKT im Energiebereich. Ausgangspunkt ist eine Klassifizierung vorhandener Use Cases nach Anwendungsbereichen. Im zweiten Teil des Abschnitts wird eine detaillierte Anwendungsfallanalyse ausgewählter Use Cases durchgeführt. Die Beschreibung orientiert sich an der Methodik der Smart Grid Coordination Group (SGCG) zur Anwendung des SGAM, die zuvor eingeführt wird. Ziel ist es, die IKT Architekturen für die Problembereiche entlang des SGAM Frameworks und in Bezug auf die Referenzmodelle in einem angemessenen Detailierungsgrad zu beschreiben und zu analysieren.

Abschließend wird in Abschnitt 7 ein Ausblick auf wichtig erscheinende zukünftig relevante technologische Entwicklungen gegeben.

2 Sektorkopplung und das multimodale Energiesystem

Wirft man einen Blick auf das Energiesystem Deutschlands und den geplanten Ausbau erneuerbarer Energien so wird deutlich, dass die Basis des künftigen Energiesystems auf dezentralen, wetterabhängigen und stromerzeugenden Einheiten bestehen wird, die über die Stromnetze mit Verbrauchern gekoppelt sind. In der Vergangenheit sind die Sektoren Elektrizität, Wärme, Gas, Transport und industrielle Prozesse separat betrachtet worden. Ein multimodales Energiesystem verbindet nun diese Sektoren und stellt so die Möglichkeit bereit, Strom durch wetterabhängige Erzeuger günstig zu produzieren und den Bedarf vollständig zu decken.

Aufgrund der ökonomisch günstigen Möglichkeit, Strom mittels Windenergieanlagen und Photovoltaikparks zu erzeugen, ergibt sich ein Ausbaukorridor dieser Erzeuger, deren Kapazität heute schon über der maximalen Abnahmelast auf der Stromseite liegen. Durch die Tatsache, dass diese Quellen von Witterungseinflüssen bestimmt werden, können schon heute Situationen auftreten, in denen mehr elektrische Energie vorhanden ist, als benötigt wird. Andererseits sind nach wie vor Situationen denkbar, zu denen die Stromproduktion nahezu vollständig zum Erliegen kommt (Dunkelflaute). Notwendig sind somit einerseits flexible Abnehmer, die dann elektrische Energie verbrauchen, wenn diese vorhanden ist (Flexibilität), andererseits muss sichergestellt sein, dass auch dann Energie produziert wird, wenn die erneuerbaren Erzeuger Wind und PV nicht zur Verfügung stehen (Stromspeicherung oder Rückspeisung). Ergänzend dazu ist eine Leitungsinfrastruktur

notwendig, die Strom oder andere, leitungsgebundene Energieträger vom Produzenten zu Verbraucher transportiert.

Die Speicherung elektrischer Energie wird zwar durch etablierte Technologien wie Pumpspeicherkraftwerke und Batteriemodule und weitere Lösungen ermöglicht, jedoch eignen sich diese Lösungen nur für bestimmte Fragestellungen. So ist die Integration von Batteriespeichern in die Primärreserve der Übertragungsnetzbetreiber möglich und trotz der hohen Preise für die Installation solcher Speicher für diesen Anwendungsfall auch ökonomisch sinnvoll, eine längerfristige Speicherung von elektrischer Energie in Batteriespeichern würde jedoch jeden Kostenrahmen sprengen. Auch Pumpspeicher mit einem längeren Wirkhorizont sind aufgrund der geringen, weiteren Ausbaupotenziale und der Tatsache, dass diese Anlagen in Zukunftsszenarien über lange Zeiträume stillstehen würden, nicht realistisch abbildbar.

Der Schlüssel liegt vielmehr in der Verknüpfung der Sektoren des Energiesystems und einer Nutzung der Charakteristik dieser unterschiedlichen Bereiche. So ist eine Nutzung von Überschussstrom in Wärmeanwendungen mit geringem Aufwand umsetzbar. Die so erzeugte Wärme kann einfach gespeichert werden und auch über Fernwärmeleitungen über kurze und mittlere Entfernungen transportiert werden. Ebenso können durch sogenannte Power-to-X Technologien, also Verfahren, Strom in Zwischenprodukte wie erneuerbares Gas zu wandeln, das beispielsweise in Brennstoffzellen oder Wärmeanwendungen direkt Verwendung findet, weiter zu Kraftstoffen verarbeitet wird oder auch durch Rückverstromung dem elektrischen System wieder zu Verfügung gestellt wird, die Brücke zwischen den Sektoren darstellen.

Aus dieser Multimodalität ergeben sich zwei Hauptkonsequenzen. Einerseits wird der Gesamtstromverbrauch durch die Einbeziehung der weiteren Sektoren wesentlich höher liegen – Expertenmeinungen gehen von einer Verdoppelung bis zu einer Verdreifachung bei einer kompletten Umsetzung aus – andererseits erfordert die Verbindung der Sektoren einen hohen Koordinierungsaufwand, der nur durch eine konsequente Nutzung von Informations- und Kommunikationstechnologien möglich wird. Während diese IKT Mechanismen in der Vergangenheit als Ergänzung bzw. Erweiterung der herkömmlichen Strukturen und Vorgehensweisen zu sehen waren, so stellen diese künftig eine Grundvoraussetzung dar, die gesetzten Ziele hinsichtlich des Einsatzes erneuerbarer

Energien zu erreichen. Die fortschreitende Durchdringung des Energiesystems mit IKT oder dessen Digitalisierung ist damit zum einen Voraussetzung für eine erfolgreiche Energiewende und ermöglicht zum anderen Synergien, welche vorher nicht denkbar waren.

3 Standardisierte Architekturbeschreibung für Smart Grids

Das Smart Grid Architectural Model (SGAM) ist ein Framework zur standardisierten Architekturentwicklung (Smart Grid Coordination Group 2012). SGAM wurde erarbeitet, um die kontinuierliche Entwicklung von Standards für Anwendungsfälle in Smart Grids in Europa voranzutreiben. Ziel ist die Bereitstellung einer gemeinsamen Referenzsprache für die im Energiesystem relevanten Domänenexperten aus den Bereichen der Energietechnik, Informationstechnik und Wirtschaft. Dabei integriert das Modell explizit die Geschäfts-, die funktionale, die Informations- und die Kommunikationsperspektive sowie die Komponentensicht als fünf Ebenen, auf denen die Komponenten des Energiesystems in sechs hierarchischen Zonen (Markt, Unternehmen, Verfahren, Station, Feld, Prozess) und fünf Domänen (Erzeugung, Übertragung, Verteilung, verteilte Energieressourcen, Prosumer-Standorte) angeordnet werden können (Abbildung 1). Während die Zonen in Hinblick auf Informationsmanagement definiert sind, beschreiben die Domänen den elektrischen Prozess von der Erzeugung bis zum Verbrauch.

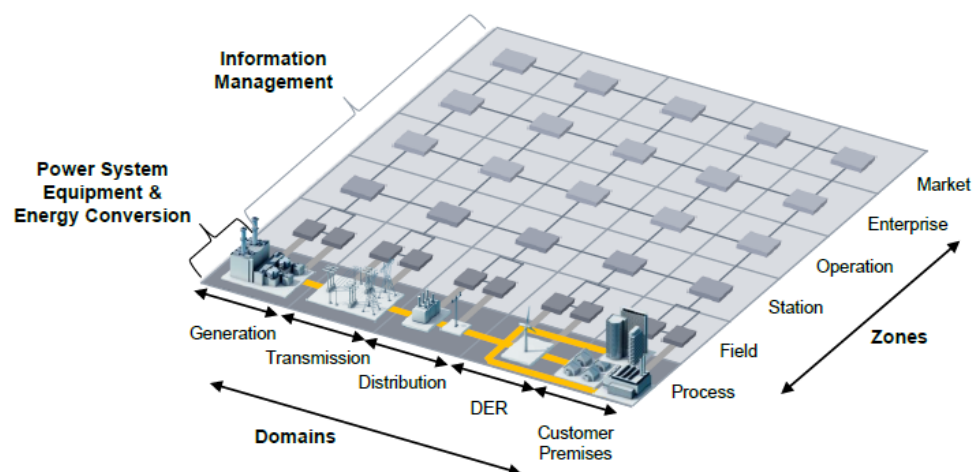


Abbildung 1. Domänen und Zonenhierarchie (Smart Grid Coordination Group 2012, S. 28)

Im Folgenden werden diese drei Dimensionen - Domänen, Zonen und Perspektiven, auch Interoperabilitätsebenen genannt - dargestellt und erörtert. Anschließend wird die Rolle des Abstraktionsgrades in der Anwendung des Frameworks beleuchtet.

3.1 Domänen

Ausgangspunkt für die Definition der Domänen im SGAM ist das European Conceptual Model (siehe Abbildung 2), das ebenfalls als Grundlage in Smart Grid Coordination Group (2012) definiert wurde. Es erweitert das NIST Domänenmodell (Greer et al. 2014, 125ff) um die Domäne der verteilten Energieressourcen (Distributed Energy Resources, DER). Das europäische Konzeptmodell stellt die in das Stromsystem involvierten Bereiche als Domänen und deren Interaktionen über Kommunikationstechnik oder Energieflüsse dar.

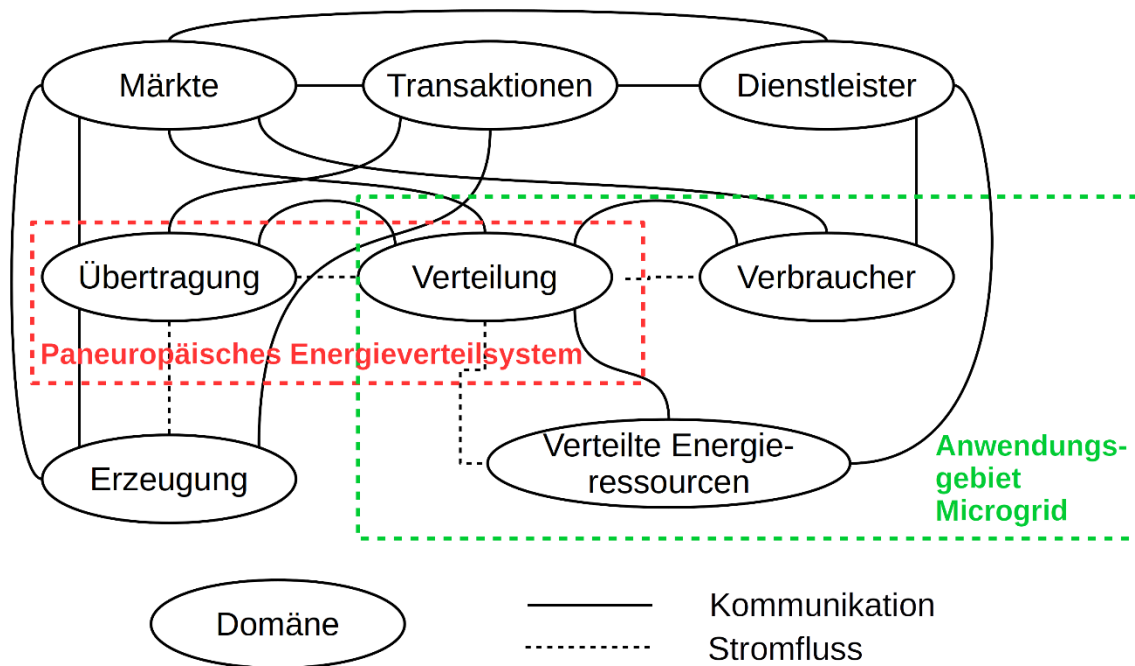


Abbildung 2. Europäisches Konzeptmodell nach (Smart Grid Coordination Group 2012, S. 21). Übersetzung: Autor.

Im Rahmen des Architekturmodells SGAM werden die Domänen von der Erzeugung über die Verteilung bis zum Verbrauch angeordnet. Im Bereich **Massenenergieerzeugung** (Bulk Generation) werden fossile oder atomare Großkraftwerke, Wasserkraftwerke, große Windparks und bedeutende Solarkraftwerke verortet, die in der Regel direkt an das Übertragungsnetz angeschlossen sind.

Die Domäne **Übertragung** (Transmission) kennzeichnet die Infrastruktur sowie das Management zur Energieübertragung über weite Strecken, also im Stromsystem das Höchstspannungsnetz. Die **Verteilung** (Distribution) umfasst die Infrastruktur und Organisation der Verteilnetze, die die Energie zum Endverbraucher transportieren.

Verteilte Energieressourcen (Distributed Energy Resources) umfassen kleine und mittlere Stromerzeuger zwischen 3 kW und 10 MW, teilweise im Fall von Windkraftparks auch über

100 MW, die direkt an das öffentliche Verteilnetz angeschlossen sind und in der Regel vom Verteilnetzbetreiber gesteuert werden.

Die Domäne der **Prosumer-Standorte** (Customer Premises) bezeichnet schließlich die Endkunden und umfasst private, industrielle und kommerzielle Standorte, an denen sowohl Energie verbraucht als auch erzeugt werden kann. Hierzu zählen auch kleine PV-Anlagen, Elektroautos, Batterien und Mikroturbinen.

3.2 Zonen

Quer zu den Domänen werden im SGAM Zonen eingeführt, die die verschiedenen Stufen der technischen Steuerung innerhalb einer Domäne hierarchisch repräsentieren. Die Einteilung der Zonen folgt den Prinzipien der informationstechnischen und räumlichen Aggregation sowie der funktionalen Trennung: Zum einen werden in der Regel anfallende Daten von einer Zone zur nächsten vor der Weiterleitung aggregiert, um die Datentransfermengen zu verringern und die weitere Verarbeitung zu vereinfachen. Zum anderen umfasst eine höhere Zone ein weiter gefasstes, räumliches Gebiet als die darunterliegenden. So ist ein Marktgebiet in der Regel größer als das Tätigkeitsgebiet eines Unternehmens. Das dritte Prinzip ist schließlich die funktionale Trennung in der Form, dass auf unterschiedlichen Zonen unterschiedliche Funktionen angesiedelt sind. Während beispielsweise die Stromzählung in der Prozess- oder Stationszone verortet ist, findet das Lastmanagement in der operativen Zone statt. Im Folgenden werden die einzelnen Zonen erläutert.

Die **Prozesszone** umfasst die physikalischen und chemischen Energietransformationsprozesse inklusive der physikalischen Gerätschaften wie Generatoren, Transformatoren, Schalter, Kabel sowie Sensoren und Aktoren.

Die **Feldzone** umfasst Equipment zum Schutz, zur Überwachung und zur Steuerung der elektrischen Prozesse. Hierzu gehören Sicherungen und intelligente, elektronische Geräte zur Datenverarbeitung.

Die **Stationszone** repräsentiert die regionale Aggregation der Feldzone, z.B. in Hinblick auf Datenverarbeitung, funktionale Aggregation, Automatisierung, lokale SCADA-Systeme und Kraftwerksüberwachung.

Die **operative Zone** beherbergt systemweite Steuerung in den unterschiedlichen Domänen wie Vertriebssteuerungssystem (DMS), Energiemanagementsystem (EMS), Mikrogrid-Managementsystem, VPP-Steuersystem oder Elektroauto-Flottenladesystem.

Die **Unternehmenszone** umfasst geschäftliche und organisatorische Prozesse, Dienstleistungen und Infrastrukturen für Unternehmen wie Energieversorger, Energiehändler oder Dienstleister. Beispiele sind Logistik, Personalmanagement, Ausbildung, Kundendienst, Abrechnung oder Beschaffungswesen.

Die **Marktzone** bezeichnet alle möglichen Marktoperationen entlang der Energiewertschöpfungskette wie Energiehandel, Großhandelsmärkte sowie das Endkundengeschäft.

3.3 Interoperabilitätsebenen

Interoperabilität beschreibt die Fähigkeit mindestens zweier Geräte, Komponenten oder Systeme, durch den Austausch und die Verarbeitung von Informationen eine definierte Funktion auf kooperative Weise zu erfüllen. Das Energiesystem besteht aus vielfältigen technischen Geräten, Softwarekomponenten und Subsystemen, die vernetzt sind und eine Vielzahl von Funktionen erfüllen. Dies verstärkt sich weiter, sofern das Energiesystem immer mehr Smart Grid-Ansätze integriert.

Für jede Interoperabilitätsebene muss das Zusammenspiel der vom Anwendungsfall betroffenen Komponenten vollständig definiert sein. Nur wenn alle Interoperabilitätsebenen mit Schnittstellen, Spezifikationen und Standards beschrieben sind, ist ein Anwendungsfall konsistent, denn jede Ebene beschreibt einen anderen, essentiellen Aspekt des Informationsaustauschs. Abbildung 3 stellt die acht Interoperabilitätskategorien vor, die in GridWise Architecture Council (2008) definiert wurden, und wie diese zu fünf überschaubaren Ebenen in SGAM zusammengefasst wurden, die nachfolgend erläutert werden.

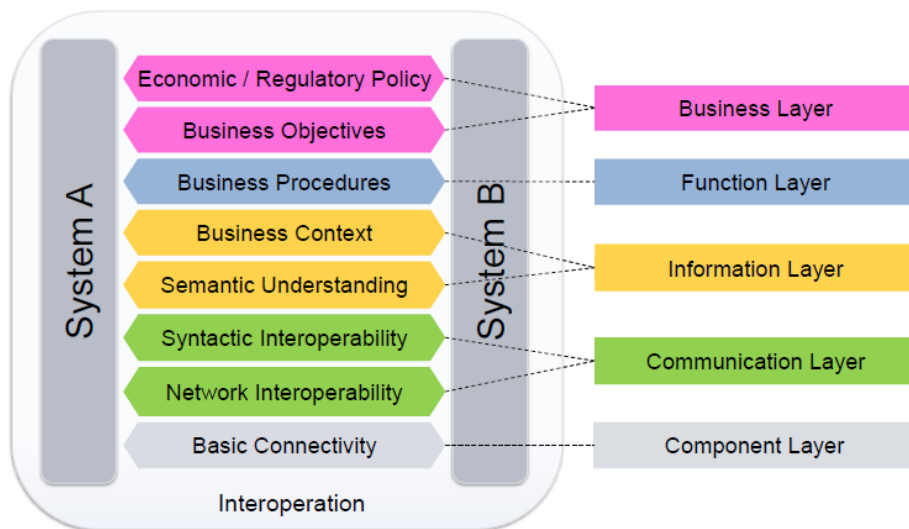


Abbildung 3. Interoperabilitätsebenen im SGAM (Smart Grid Coordination Group 2012, S. 26)

Die Beschreibung eines Anwendungsfalls konzentriert sich zunächst auf die **Business-Ebene**, wo Rollen mitsamt ihren Wechselwirkungen beschrieben werden. Hier spielen Ziele, regulatorische Gesichtspunkte als auch Marktprozesse eine Rolle.

Auf der **funktionalen Ebene** werden Funktionen und Services unabhängig von Akteuren und Implementationen dargestellt. Für das ENavi Arbeitspaket Digitalisierung&IKT wird dann besonders die **Informationsebene** relevant, wo Datenmodelle beschrieben werden. Auf der **Kommunikationsebene** wird schließlich der Datenaustausch mit entsprechenden Standards modelliert.

Die Basis bildet die **Komponentenebene**, wo die physikalische Verordnungsstruktur der einzelnen Elemente des Energiesystems in Domänen und Zonen abgebildet wird. Die Elemente können Akteure, Anwendungen, Infrastruktur des Strom- sowie der Kommunikationsnetze, Geräte zum Schutz und zur Datenübertragung sowie Server umfassen.

Eine detaillierte Beschreibung lässt sich in Smart Grid Coordination Group (2012) finden.

3.4 Abstraktionsgrade

Die Beziehungen, Prozesse und Datenbewegungen können pro Ebene in sehr unterschiedlichen Abstraktionsgraden betrachtet werden (Abbildung 4). Hier liegt der Schwerpunkt auf Digitalisierung und IKT und damit auf den Ebenen Information und Kommunikation. Auf der Informationsebene ist zu erwarten, dass die Datenflüsse mit Identifikation der relevanten Standards (zweithöchster Abstraktionsgrad), und bei besonders zentralen Anwendungsfällen die Informationsobjekte (dritthöchster Abstraktionsgrad) beschrieben werden. Analog dazu werden auf der Kommunikationsebene Kommunikationsereignisse und zugehörige Standards, sowie teilweise Kommunikationsdienste betrachtet werden.

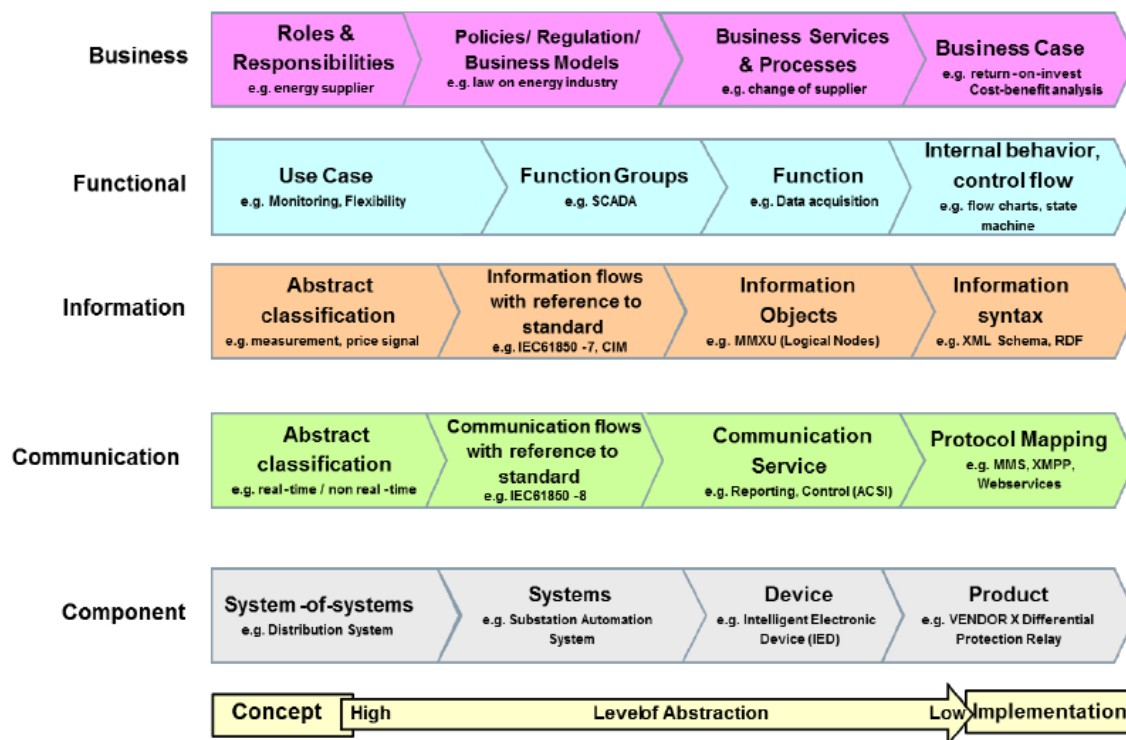


Abbildung 4. Abstraktionsgrade der einzelnen Interoperabilitätsebenen des SGAM (Smart Grid Coordination Group 2014, S. 16)

Um diesen Detailgrad zu realisieren sind auch auf der Komponenten-, der funktionalen sowie auf der Businesssebene entsprechend detaillierte Beschreibungen notwendig. So werden auf der obersten Ebene Business Cases analysiert werden, wenn auch vornehmlich aus einer Systemperspektive heraus. Auf der funktionalen Ebene werden Funktionsgruppen und Funktionen betrachtet, während auf der Komponentenebene die jeweiligen Geräte identifiziert werden müssen, zwischen denen Daten ausgetauscht werden.

3.5 SGAM Framework

Zur besseren Orientierung wird hier das SGAM Framework in seinen drei Dimensionen - Domänen, Zonen und Interoperabilitätsebenen - als 3D-Grafik (Abbildung 5) dargestellt. Ein bestimmter Anwendungsfall wird jedoch pro Interoperabilitätsebene als zweidimensionales Diagramm dargestellt.

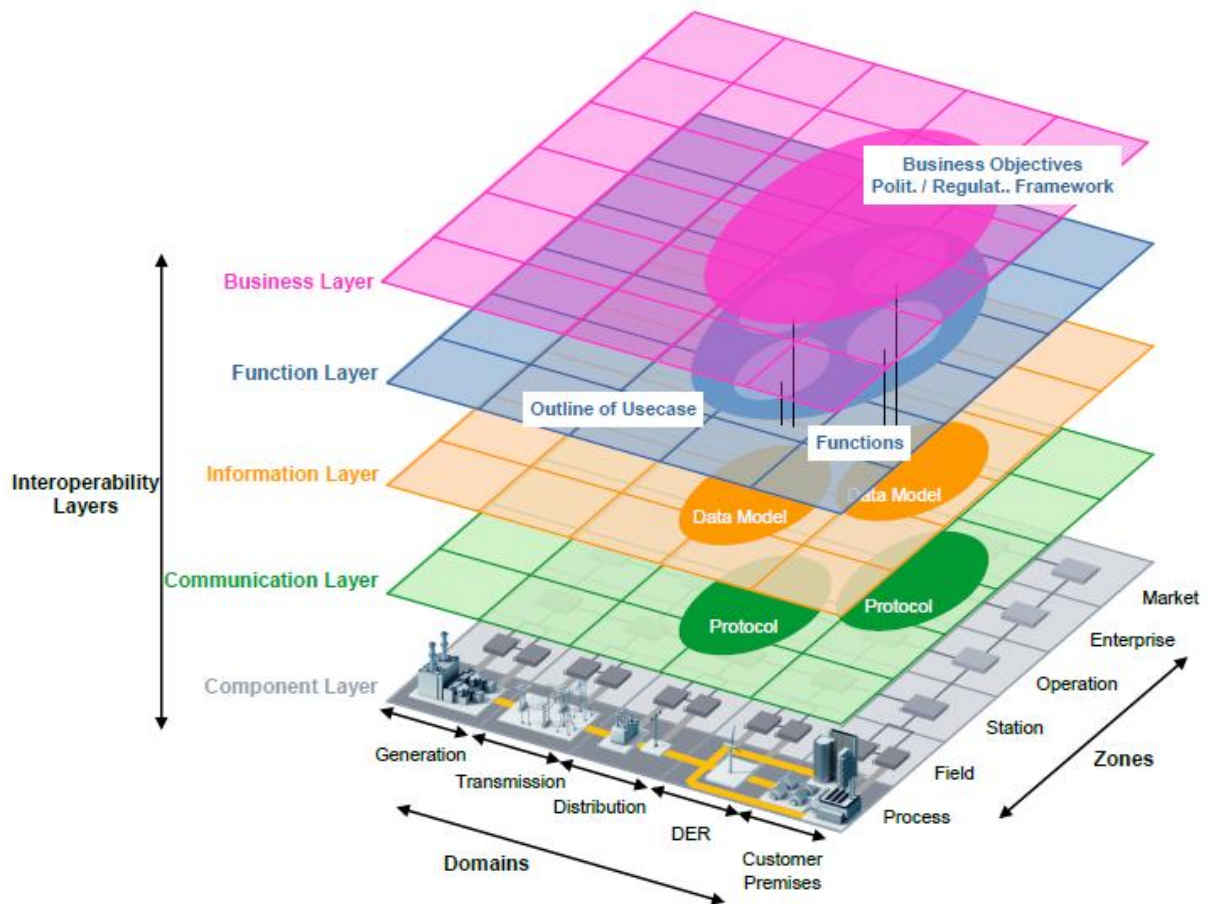


Abbildung 5. SGAM Framework (Smart Grid Coordination Group 2012, S. 30)

4 Referenzmodelle und Standardisierungen

SGAM liefert ein Framework zur Beschreibung von Architekturen. Die Entwicklung und Spezifizierung einer konkreten Architektur startet von einem Rollenmodell (Neureiter et al. 2016a; Neureiter et al. 2016b). Solche Rollenmodelle des Energiebereichs sind auf der Businesssebene des SGAM verortet. Für den deutschen Energiemarkt existiert ein Rollenmodell der Marktkommunikation in den Sektoren Strom und Gas, das vom Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) entwickelt wird. Das BDEW Rollenmodell wird in Abschnitt 4.1 eingeführt.

Auf den unteren, technischen Ebenen des SGAM liefert das NIST Logical Reference Model (LRM) einen guten Überblick über die in den SGAM Domänen existierenden Geräte, Systeme und Softwareanwendungen. Das NIST LRM wird in Abschnitt 4.2 beschrieben.

Abschließen wird in Abschnitt 4.3 eine Übersicht existierender Standards für die Komponenten des Smart Grids, die von der Smart Grid Standards Group der International Electrotechnical Commission (IEC) gepflegt wird, gegeben.

4.1 Rollenmodell der Marktkommunikation im deutschen Energiemarkt (Strom und Gas)

4.1.1 Zusammenhang und Übersicht

Ein Rollenmodell ist eine formale Beschreibung der Rollen und Domänen, die der Interaktion in einem Anwendungsbereich (z.B. Strommarkt) zu Grunde liegen. Rollen repräsentieren hierbei Aufgaben und Verantwortlichkeiten eines Akteurs (am Strommarkt). Akteure sind natürliche bzw. juristische Personen. Ein Akteur kann verschiedene Rollen einnehmen, eine Rolle kann jedoch nicht auf verschiedene Akteure aufgeteilt werden.

Eine Domäne bezeichnet den Wirkungsbereich einer Rolle. Hierbei kann es sich um räumliche Gebiete (z.B. Regelzonen) oder andere (virtuelle) Objekte handeln (z.B. Bilanzkreise), die durch spezifische, strukturelle Attribute bezüglich Energieerzeugung, -verbrauch oder -handel identifiziert werden.

Ziel des Rollenmodells des Energiemarkts ist die umfassende Beschreibung der für die Rollen erforderlichen Kommunikation und deren Domänen. Das Rollenmodell der Kommunikation im Energiemarkt wird in der Unified Modelling Language (UML) beschrieben.

UML ist eine grafische Modellierungssprache zur Spezifikation, zur Konstruktion und vor allem zur Dokumentation von Softwarekomponenten und Systemen im Allgemeinen. UML definiert dabei Bezeichner für die bei einer Modellierung wichtigen Begriffe und legt die zwischen diesen Begriffen möglichen Beziehungen fest. Weiterhin definiert UML grafische Notationen für diese Begriffe und für mit den Begriffen formulierte Modelle statischer Strukturen und dynamischer Abläufe. UML Diagramme visualisieren verschiedene Sichten auf solche Modelle oder Ausschnitte davon. In Kombination der Beschreibung und der graphischen Darstellung ermöglicht die UML, Marktprozesse zu analysieren, strukturiert und technisch zu modellieren und zu dokumentieren.

Auf europäischer Ebene wird ein harmonisiertes Rollenmodell des Strommarktes (European Network of Transmission System Operators for Electricity - ENTSO-E 2015) durch das

European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E, <http://www.entsoe.eu/>) in Zusammenarbeit mit der European Federation of Energy Traders (EFET, <http://www.efet.org>) und dem European Forum for Energy Business Information eXchange (EBIX®), <http://www.ebix.org>) entwickelt. Ein analoges Rollenmodell existiert für den europäischen Gasmarkt (European Association for the Streamlining of Energy Exchange - Gas 2016)

Zu beachten ist, dass die ENTSO-E und EASEE-gas Rollenmodelle nicht als Strommarkt- bzw. Gasmarktmodelle verstanden werden sollen, sondern als eine standardisierte Beschreibung der Kommunikation im System Strommarkt/Gasmarkt mit Fokus auf elektronischen Datenaustausch.

Für Deutschland hat der BDEW ein einheitliches Rollenmodell der Kommunikation im deutschen Energie- und Gasmarkt erstellt, das das ENTSO-E und das EASEE-gas für Deutschland ausspezifiziert (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. 2016). Das BDEW Rollenmodell beachtet die für die Marktkommunikation relevanten gesetzlichen, regulatorischen und technischen Vorgaben. Darüber hinaus wird das Rollenmodell in Richtung einer Roadmap (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) 2017) weiterentwickelt.

4.1.2 Grafische Darstellung

Abschließend wird hier das Modell der Marktkommunikation des BDEW als UML Diagramm gezeigt (siehe Abbildung 6). Für detaillierte Beschreibungen der Rollen, Gebiete und Domänen sei auf das BDEW-Dokument (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. 2016, S. 9–13) verwiesen. Die im Kontext dieses Berichts zentralen Rollen, Gebiete und Domänen werden in Abschnitt 5 dargestellt.

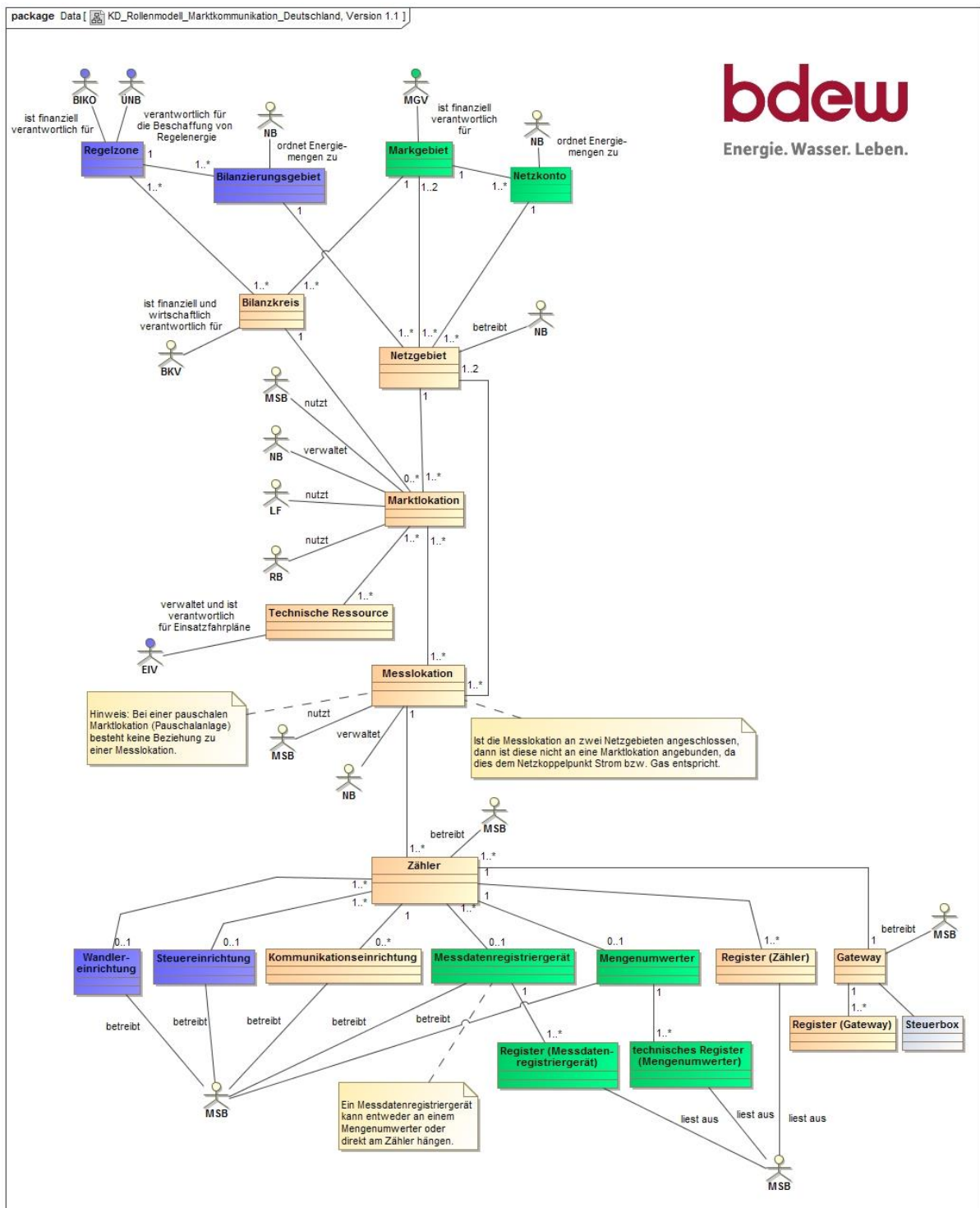


Abbildung 6. BDEW Rollenmodell der Marktkommunikation (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. 2016, S. 14)

4.2 NIST Logical Reference Model

Für die untere Ebene des SGAM liefert das NIST LRM ein umfangreiches Referenzmodell mit besonderem Fokus auf Sicherheitsaspekte. Das Modell betrachtet Akteure innerhalb der verschiedenen Domains. Akteure sind hier Geräte oder Softwaresysteme, die den Betrieb

von Smart Grid Anwendungen ermöglichen. Das NIST LRM stellt einen strukturierten Überblick der sicherheitsrelevanten Use Cases und Standardisierungen zur Verfügung. Allerdings strukturiert das NIST LRM nur nach den NIST Domains. Daher ist die Einordnung in das europäische SGAM nicht offensichtlich, da die Interoperabilitätsebenen und die Zonen nicht erfasst werden. Ebenso wird die Domäne der Distributed Energy Resources im NIST LRM nicht ausgewiesen.

Das komplette NIST Referenzmodell mit ausführlicher Beschreibung der involvierten Use Cases findet sich in The Smart Grid Interoperability Panel-Cyber Security Working Group (2010).

4.3 Existierende technische Standards

Eine nach den SGAM Domänen und Zonen strukturierte Übersicht vorhandener technischer Standards wird vom IEC gepflegt. Die umfassende Bibliothek wird als interaktive Website auf <http://smartgridstandardsmap.com> bereitgestellt.

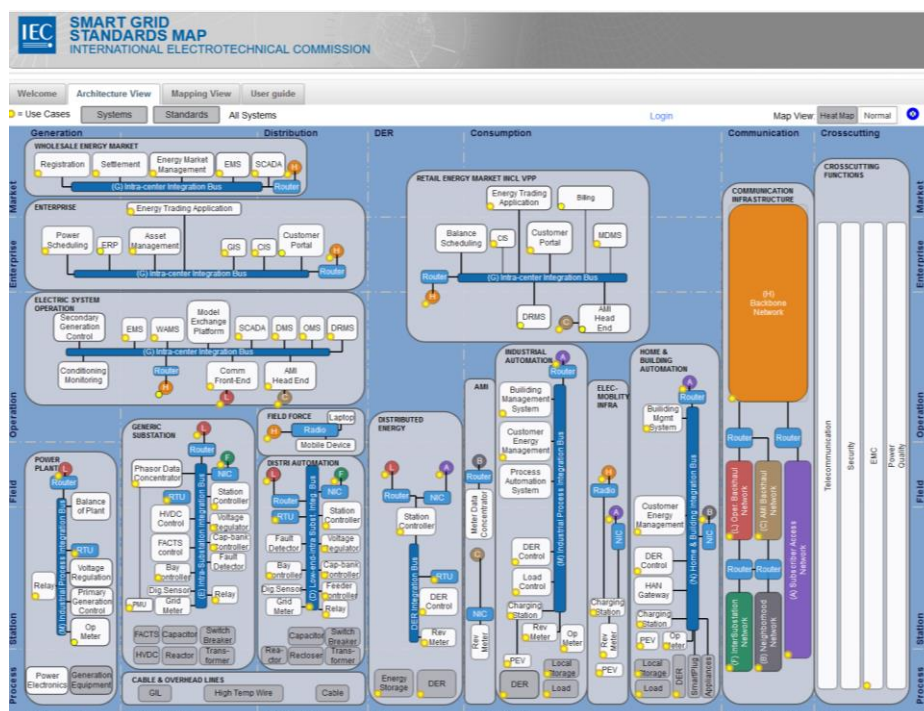


Abbildung 7. IEC SMART GRID STANDARDS MAP, Architecture View (International Electrotechnical Commission (IEC) 2015).

5 Rollen und Use Cases

Kapitel 5 stellt relevante Rollen und Anwendungsfälle dar, die für die weitere Arbeit in AP9 von besonderer Bedeutung sind. Dazu werden zunächst Rollen, Gebiete und Objekte

definiert. Es folgt dann die Definition einer Ordnung von Anwendungsfällen und Vorlagen für deren Beschreibung, bevor diese auf die als relevant identifizierten Geschäfts- und Anwendungsfälle angewandt wird. Zentral ist hier die Übersicht in Abschnitt 6.3.

5.1 Herleitung der relevanten Rollen, Gebiete und Objekte

Basierend auf dem Rollenmodell des BDEW (siehe Abschnitt 4.1) und unter Berücksichtigung der Rollen im erweiterten Referenzmodell der ENTSO-E (European Network of Transmission System Operators for Electricity 2015) werden hier die für die weitere Arbeit relevanten Rollen gelistet und erläutert. Ergänzt wird die Ausführung um Gebiete und Objekte, die im Energiesystem eine Rolle spielen.

5.1.1 Rollen

Tabelle 1. Rollen und ihre Erläuterungen

Rolle	Abk.	Definition
Abrechnungsstelle	AS	Verantwortlich für die finanzielle Abrechnung
Bilanz- koordinator	BIKO	Der Bilanzkoordinator ist für die Bilanzkreisabrechnung und damit für den finanziellen Ausgleich zwischen den Bilanzkreisverantwortlichen für die zu viel bzw. zu wenig gelieferte Energie verantwortlich
Bilanzkreis- verantwortlicher	BKV	Der Bilanzkreisverantwortliche ist in Marktgebieten oder Regelzonen für den energetischen und finanziellen Ausgleich seiner Bilanzkreise verantwortlich.
Einsatzverantwortlicher	EIV	Der Einsatzverantwortliche ist verantwortlich für den Einsatz einer technischen Ressource und die Übermittlung ihrer Fahrpläne.
Erzeuger	EZ	Erzeugt Energie.
Letztverbraucher	LV	Verbraucht Energie.
Lieferant	LF	Der Lieferant ist verantwortlich für die Belieferung von Marktlokationen, die Energie verbrauchen, und die

		Abnahme von Energie von Marktlokationen, die Energie erzeugen. Der Lieferant ist finanziell verantwortlich für den Ausgleich zwischen den bilanzierten und gemessenen Energiemengen von den nach Standardlastprofil bilanzierten Marktlokationen.
Marktbetreiber	MB	Bestimmt den Marktenergiepreis der Regelzone (?) nach Berücksichtigung technischer Einschränkungen.
Marktgebietsverantwortlicher	MGV	Der Marktgebietsverantwortliche ist verantwortlich für die Bilanzkreisabrechnung sowie für die Beschaffung und die Steuerung des Einsatzes der Regelenergie. Der Marktgebietsverantwortliche ist Betreiber des virtuellen Handelspunktes.
Marktinformationsdienst	MID	Aggregiert und verbreitet Marktinformationen von verschiedenen Marktteilnehmern.
Marktteilnehmer	MT	Kann sich am Handel an einer Strombörse beteiligen.
Messstellenbetreiber	MSB	Der Messstellenbetreiber ist verantwortlich für den Einbau, den Betrieb und die Wartung von Geräten, die an der Messlokation für die Ermittlung und Übermittlung von Messwerten notwendig sind. Darüber hinaus ist der Messstellenbetreiber verantwortlich für die Ablesung von Geräten, welche an einer Messlokation zur Ermittlung und Übermittlung von Messwerten notwendig sind.
Netzanschluss-nehmer	NAN	Besitzt Zugang zum Netz.
Netzbetreiber	NB	Der Netzbetreiber ist verantwortlich für die Durchleitung und Verteilung von Elektrizität oder Gas sowie für den Betrieb, die Wartung und den Ausbau seines Netzes. Der Netzbetreiber hat an seinem Netzgebiet Marktlokationen und Messlokationen direkt angeschlossen. Der Netzbetreiber verwaltet die Stammdaten dieser

		<p>Lokationen und erstellt abrechnungs- und bilanzierungsrelevante Bewegungsdaten zu diesen. Zusätzlich ist der Netzbetreiber verantwortlich für die Verwaltung der diesen Objekten zugeordneten Rollen. Der Netzbetreiber aggregiert und allokiert die Bewegungsdaten als Basis für die Bilanzkreisabrechnung.</p> <p>Zusatzinformation: Auch Betreiber von Fernleitungsnetzen fallen unter die Rolle Netzbetreiber.</p>
Registerbetreiber	RB	Der Registerbetreiber betreibt ein Register zur Erfassung von energiewirtschaftlichen Daten.

5.1.2 Gebiete

Tabelle 2. Gebiete und ihre Erläuterungen

Gebiet	Abk.	Definition
Bilanzierungsgebiet	BG	<p>Ein Bilanzierungsgebiet besteht aus einem oder mehreren Netzgebieten und liegt in einer Regelzone. Für ein Bilanzierungsgebiet gibt es ein Bilanzierungsverfahren.</p> <p>Zusatzinformation: In einem Bilanzierungsgebiet werden Energiemengen von einem oder mehreren Netzgebieten rechnerisch zusammengefasst.</p>
Marktgebiet	MG	Zusammenfassung gleichgelagerter und nachgelagerter Netze, in denen Gasmengen am virtuellen Handlungspunkt zwischen Bilanzkreisen übertragen werden.
Netzgebiet	NG	<p>Ein Netzgebiet ist ein zähltechnisch abgegrenztes Gebiet, das in einem Marktgebiet bzw. einer Regelzone liegt und mehrere Druckstufen oder Spannungsebenen umfassen kann.</p> <p>Zusatzinformation: Gas: Bei Marktgebietsüberlappungen kann ein Netzgebiet in zwei Marktgebieten liegen. Auch ein Übertragungs- oder Ferngasnetz gliedert sich in ein oder</p>

		mehrere Netzgebiete.
Regelzone	RZ	Eine Regelzone ist ein abgegrenztes Gebiet, das aus einem oder mehreren Netzgebieten besteht und in dem es einen Verantwortlichen für die Spannungs- und Frequenzhaltung gibt und in dem Ein- und Ausspeisungen im Gleichgewicht gehalten werden.

5.1.3 Objekte

Tabelle 3. Objekte und ihre Erläuterungen

Objekte	Definition	Sparte
Bilanzkreis	Ein Bilanzkreis ist ein virtuelles Objekt zur Zuordnung von Energiemengen. Zusatzinformation: Ein Bilanzkreis dient insbesondere der Bilanzierung von Energiemengen.	Strom Gas
Marktlotation	In einer Marktlotation wird Energie entweder erzeugt oder verbraucht. Das Objekt ist mit mindestens einer Leitung mit einem Netz verbunden.	Strom Gas
Gateway	Definition gemäß FNN-Regelwerken, BSI-Vorgaben und DVGW-Regelwerken.	Strom Gas
Kommunikations-einrichtung	Definition gemäß FNN-Regelwerken, BSI-Vorgaben und DVGW-Regelwerken.	Strom Gas
Mengenumwerter	Definition gemäß DVGW-Regelwerken.	Gas

5.2 Anwendungsfallanalyse mit SGAM

Anwendungsfälle sind ein angemessenes Werkzeug für die Analyse und Weiterentwicklung des Energiesystems. Das Smart Grid Architectural Model (SGAM) eignet sich explizit für die Darstellung von Anwendungsfällen im Energiesystem (Smart Grid Coordination Group 2014). Jeder Anwendungsfall kann auf den jeweiligen Interoperabilitätsebenen beschrieben und analysiert werden. Beteiligte Rollen werden auf der Businesssebene verortet, Funktionen auf der funktionalen Ebene, und involvierte Geräte wie Generatoren oder Server, aber auch Softwarekomponenten auf der Komponentenebene. Erst dann werden unterstützte

Datenmodelle auf der Informationsebene angeordnet und anschließend Datenflüsse mit Protokollen auf der Kommunikationsebene des SGAM-Architekturmodells dargestellt.

Zunächst wird eine Ordnung von Geschäfts- und Anwendungsfällen unterschiedlichen Abstraktionsgrades definiert und eine Vorlage zur Beschreibung unterschiedlicher Anwendungsfälle erarbeitet.

5.2.1 Definition einer Ordnung von Geschäfts- und Anwendungsfällen

Die folgende Differenzierung verschiedener Typen von Use Cases folgt der Klassifizierung, wie sie in der SGAM Toolbox angewendet wird (Neureiter 2014), welche sich an der SGCG Methodik in Smart Grid Coordination Group (2014) orientiert.

Use Case Concepts beschreiben grundlegende Ideen und beinhalten die Rollen und Verantwortlichkeiten, die für das jeweilige Konzept relevant sind. Sie umfassen meist auch Informationen zum Hintergrund bzw. zur Motivation zur Definition des Anwendungsfalles.

Business Cases beschreiben eine Strategie zur Erreichung bestimmter Geschäftsziele (business goals), oftmals aus Unternehmensicht, aber auch aus der Systemperspektive. Bedeutend sind hier die Interaktionen zwischen definierten Rollen. Achtung: Nicht gleichzusetzen mit Business Use Cases, die konkrete Geschäftsprozesse auf der Business-Ebene beschreiben, hier aber eher mit Primary Use Cases gleichgesetzt werden.

High Level Use Cases stellen eine bestimmte, generelle Funktion mit generischen Akteuren dar, zur Umsetzung von Business Cases. Die Art der Umsetzung wird hier nicht vorgegeben, und die Beschreibung ist unabhängig von einer bestimmten Architektur bzw. eines bestimmten (Sub-) Systems.

Primary Use Cases beschreiben die Umsetzung von High Level Use Cases in einem bestimmten System bzw. einer bestimmten Architektur und werden auch als *Spezifizierung* bezeichnet. Sie sind eher technischer Natur. Primary Use Cases können auf Secondary Use Cases zurückgreifen, die auch für mehrere Primary Use Cases Anwendung finden können. Neben Primary Use Cases sind noch *System Use Cases* bekannt, auch als *Technical Use Case* oder *Device Use Case* bezeichnet. Diese können als detailliert, aber weniger systemabhängig angesehen werden. Die Unterscheidung ist aber unscharf, weshalb hier nur die Bezeichnung Primary Use Cases verwendet wird.

Secondary Use Cases werden genutzt, um Kernfunktionalitäten darzustellen, die auch in mehreren Primary Use Cases Anwendung finden können.

Weiterhin sind unter Umständen **Scenarios** und **Steps** relevant. Während Scenarios unterschiedliche, mögliche Pfade innerhalb eines Use Cases meint, sind Steps einzelne Aktivitäten, die innerhalb eines Szenarios sequentiell ablaufen.

Use Case Cluster fassen mehrere Anwendungsfälle zusammen, oftmals zu einem bestimmten Business Case.

5.2.2 Komplementäre und alternative Anwendungsfälle

Um ein Use Case Konzept umzusetzen, kann die Definition mehrerer, komplementärer Business Cases nötig sein, und es können alternative Business Cases in Betracht kommen. Komplementär sind beispielsweise die Erzeugung flexibler Lasten und die Nutzung flexibler Lasten. Alternativ sind die zentrale Optimierung des Stromsystems oder der Einsatz dezentraler, autonom agierender Agenten zur Steuerung. Was für Business Cases gilt, ist auch entsprechend für High Level Use Cases und Primary Use Cases möglich.

5.2.3 Vorlagen für Anwendungsfälle

Für die Beschreibung von Anwendungsfällen sind in Smart Grid Coordination Group (2014) nach Art des Anwendungsfalls verschiedene Vorlagen definiert, die für die tabellarische Beschreibung sinnvolle Einträge umfassen. Tabelle 4 fasst diese Vorlagen zusammen.

Tabelle 4. Vorlagen für die Beschreibung von Anwendungsfälle nach (Smart Grid Coordination Group 2014)

kurz	generell	Detailliert
<ul style="list-style-type: none"> • Use Case Concepts • Business Cases 	<ul style="list-style-type: none"> • High-level Use Cases • Primary Use Cases • Secondary Use Cases 	<ul style="list-style-type: none"> • Primary Use Cases • Secondary Use Cases
<ul style="list-style-type: none"> • Name • Betreffende Domänen und Zonen nach SGAM • Beschreibung, Hintergrund • Rollen • Diagramme 		

	<ul style="list-style-type: none"> • Beziehung zu übergeordnetem Use Case • Perspektive • Ziel(e) • Anwendungsgebiet
	<ul style="list-style-type: none"> • Schritt-für-Schritt-Analyse • Informationsaustausch • Voraussetzungen

Dem Namen folgt die Einordnung in das Smart Grid Architectural Model anhand der betroffenen Domänen und Zonen sowie eine Zusammenfassung des Anwendungsfalls und die Erläuterung des Hintergrundes bzw. seiner Bedeutung. Die beteiligten Rollen werden dann als Kürzel aufgelistet, während zugehörige Diagramme der Tabelle nachgestellt sind. Dabei wird der Anwendungsfall auf relevanten Interoperabilitätsebenen in SGAM aufgezeigt.

6 Relevante Anwendungsfälle

Die IKT Architektur im deutschen Energiesystem ist ein historisch gewachsenes Netzwerk von unterschiedlichen technischen Komponenten (z.B. Umspannwerke auf verschiedenen Spannungsebenen oder Messdatenerfassungsgeräte), die nach vielfältigen Standards mit zentralen IT Komponenten der Betriebsplanung und -steuerung (z.B. Netzleitsysteme der Übertragungsnetzbetreiber) kommunizieren. Ziel dieses Abschnittes ist es, aus der Vielzahl der existierenden IKT Anwendungsfälle im Energiebereich solche zu identifizieren, die in dem in Abschnitt 2 umrissenen Kontext des zukünftigen multimodalen Energiesystems eine zentrale Bedeutung haben oder bekommen werden und noch Forschungsbedarf aufweisen. Kriterien für die Auswahl sind die Bedeutung für die Digitalisierung des Energiesystems, bisherige Beachtung in Forschungsprojekten, Anschlussfähigkeit an die ENavi-weiten Szenarien und Entwicklungspfade, als auch an die Kompetenzen der Projektpartner sowie insbesondere die Zugehörigkeit zu einem der Schwerpunktthemen von ENavi.

Wir starten mit einer überblicksartigen Klassifizierung der gesichteten Beschreibungen von Anwendungsfällen aus dem nationalen und europäischen Kontext in Abschnitt 6.1. Im Vergleich mit der umfassenden Liste generischer Use Cases im Smart Grid nach SGAM lassen

sich blinde Flecken identifizieren, die in der bisherigen Analyse vernachlässigt wurden. Diese werden in ihrer Bedeutung für das zukünftige Energiesystem diskutiert, um die Wichtigkeit einer Use Case Analyse in ENavi abzuschätzen. Im dritten Abschnitt wird dann exemplarisch eine konkrete Anwendungsfallanalyse gemäß der oben eingeführten SGAM Methodik durchgeführt.

6.1 Klassifizierung existierender Anwendungsfälle

Zur Einordnung der bestehenden Forschung zum Themenkomplex der Digitalisierung des Energiesystems und zur Identifikation der für das Projekt ENavi relevanten Use Cases wurde zunächst eine Liste öffentlich zugänglicher Use-Cases aus vergangenen nationalen und europäischen Projekten untersucht, strukturiert und bewertet. Die vollständige Tabelle ist als Excel-Datei auf dem ENavi--Confluence-System verfügbar.

Die gesichteten Use-Cases (sowie weitere, dem Projektteam bekannte Use-Cases, für die es keine öffentlich zugängliche Quelle gibt) lassen sich in folgende Klassen neuer Entwicklungen einteilen, die zwangsläufig nicht vollständig disjunkt sind.

6.1.1 Neue Kommunikationskanäle

Die meisten Use-Cases in der Klasse neuer Kommunikationskanäle beziehen sich auf das Durchreichen von Preissignalen des Markts hinunter zu kleineren Einheiten des Energiesystems und der Weiterleitung von Verbrauchsinformationen hoch zu größeren

Einheiten wie dem Netzbetrieb oder virtuellen Kraftwerken. Das Durchreichen aggregierter Preissignale an kleinere Einheiten kann von einem übergeordneten Aggregator eingesetzt werden, um eine indirekte, für ihn dienliche Reaktion der angeschlossenen Systeme anzureizen. Beispielsweise kann ein Energieversorger seinen Endkunden Tarife anbieten, die ihm einen günstigeren Einkauf ermöglichen, oder virtuelle Kraftwerke mit angeschlossenen Verbrauchseinheiten können einen neuen, indirekten Optimierungsfreiheitsgrad erschließen. Technische Basis für diese Use-Cases sind die effizientere Verarbeitung größerer Datenmengen (insb. zeitaufgelöste Verbrauchs- und Erzeugungsmessung und damit verbundene Rechnungsstellung bei zunehmend kleineren Einheiten) und ein höherer Grad an dezentraler Intelligenz bei den angeschlossenen Einheiten.

In der Rückrichtung beziehen sich Use-Cases auf die Weiterleitung von Messdaten und Fahrplänen an übergeordnete Einheiten. Diese können direkt von der übergeordneten Einheit zu einem besseren Verständnis des Systemzustands verwendet werden oder weiterverarbeitet werden, um Dritten bessere Zukunftsprognosen, z.B. für erneuerbare Energieerzeugung, zu liefern. Technisch werden diese Use-Cases von der Entwicklung im Sensorik-Bereich getrieben.

6.1.2 Automatische Steuerung von Lasten und Erzeugern

Die Klasse der automatischen Steuerung von Anlagen erweitert die Klasse der neuen Informationskanäle darum, dass die gesendeten Informationen einen direkten Schaltbefehl darstellen, und daher eine weitreichendere Zustimmung des betroffenen Anlagenbetreibers und höhere Sicherheitsanforderungen verlangen. Im einfachsten Fall handelt es sich dabei um Fernschaltungen durch den Betreiber der jeweiligen Anlage selbst (z.B. Heizungssteuerung in Wohngebäuden per Handy-App) oder innerhalb der IKT-Struktur eines Eigentümers (Spitzenlastoptimierung für leistungsgemessene Stromkunden, Umschaltung einer industriellen Liegenschaft auf zeitweisen Inselbetrieb bei Netzausfall). Die aus IKT-Sicht interessanteren Use-Cases liegen allerdings im Bereich der Steuerung von Anlagen durch Externe. Hier kann die Steuerung der Anlagen durch Randbedingungen des Betreibers an den Anlagenzustand, die nicht verletzt werden dürfen (z.B. Batterieentladung nicht unter 20%) oder sonstige vertragliche Absprachen (Zeitfenster für Abschaltung von Anlagen, maximale Anzahl und Dauer von Abschaltungen) eingeschränkt sein. Aus IKT-Sicht sind diesen Use-Cases die Anforderung an die Authentifizierung bei der Ausführung von

Schaltbefehlen und die Nachweisbarkeit der durchgeführten Schalthandlung gemein. Für ein zukünftiges Energiesystem ist es zudem wünschenswert, die zugehörigen Vertragsabschlüsse zu standardisieren und zu automatisieren¹.

6.1.3 Vertragsabschlüsse, Handel, An- und Abmeldung

Diese Klasse von Use-Cases zeichnet sich durch eine Flexibilisierung verbindlicher „Verträge“ durch IKT aus. Hierunter fallen die vereinfachte Beteiligung von Einheiten an (ggf. lokalisierten) Flexibilitäts- und Regelenergiemärkten sowie die Partizipation zunehmend kleinerer Einheiten an Strommärkten mit zunehmend höherer Zeitauflösung. Neben dem flexibilisierten Handel fallen auch Use-Cases unter diese Kategorie, die sich mit der Flexibilisierung von An- und Abmeldungen beschäftigen. Diese An- und Abmeldungen können sich auf (juristische) Personen beziehen (z.B. Wechsel des Energieversorgers), aber umfassen auch technische Anlagen wie das Anmelden neuer PV-Anlagen oder das flexible An- und Abmelden von Elektrofahrzeugen an einer Ladestation.

Neben dem höheren Flexibilisierungsgrad zeichnen sich diese Use-Cases dadurch aus, dass eine weitgehend automatisierte Vertragsbeziehung zwischen Parteien zu Stande kommt. Dafür sind Mechanismen zu automatisierten, verbindlichen Zusagen (-> evtl. Blockchain) sowie zur fälschungssicheren Authentifizierung der Partner notwendig.

6.1.4 User-Feedback

Unter der Klasse User-Feedback verstehen wir die Darstellung von Daten in leicht verständlicher Form für verschiedene Nutzer eines Systems und Rückmeldungen über den Zustand des Systems, die keine automatisierten Reaktionen nach sich ziehen. Viele der untersuchten Use-Cases zielen dabei darauf, dem Energie-Endkunden Informationen über seine Energieverbräuche zu liefern, ggf. inklusive eines Vergleichs mit einer Referenzgruppe, um ein energiesparendes Verhalten anzureizen oder Geräte mit unerwartet großen Verbräuchen zu identifizieren. Weiterentwicklungen dieses Feedbacks können zudem konkrete Handlungsanweisungen vorschlagen, die von kurzfristiger Lüftung bis zu Investitionen in Gebäudedämmung reichen können.

¹ Das in den USA verbreitete OpenADR Protokoll verweist beispielsweise in vielen Registern auf „wie im Vertrag festgelegt“ und beinhaltet daher oft nicht alle Informationen, die für Automatisierung notwendig sind.

Neben Rückmeldungen im Normalbetrieb fallen unter diese Klasse auch Alarmer im Fall von Fehlfunktionen. Solche Störungen des Betriebs können z.B. „Fenster steht offen“ im Privatbereich oder „hohe technische/nichttechnische Verluste in einem Netzabschnitt“ im energiewirtschaftlichen Bereich sein. Je nach Art des Alarms können diese auch systemübergreifend an Geräte übermittelt werden, die nicht in die eigentlichen IKT-Komponenten des Energiesystems eingebunden sind (SMS, E-Mail).

Das technische/wirtschaftliche Novum dieser Klasse an Use-Cases besteht im Wesentlichen nicht aus der vermittelten Information, sondern aus ihrer Bereitstellung für neue Zielgruppen und dem Mechanismus der Bereitstellung. Technisch können solche Feedback-Systeme lokal beim Nutzer, zentral bei einem Anbieter oder als Cloud-System realisiert werden, was jeweils eigene Vor- und Nachteile bzgl. Datenschutz, Datenverfügbarkeit und Updatemechanismen der Feedback-Logik impliziert.

6.2 Identifikation der bedeutsamen Anwendungsfall-Cluster mit Forschungsbedarf

Die gesammelten, verfügbaren Anwendungsfälle wurden denjenigen High-Level Use Cases, und damit auch den übergeordneten Clustern zugeordnet, welche die Smart Grid Coordination Group definiert hat (Smart Grid Coordination Group, 2014b). Abbildung 8(TODO) zeigt zunächst die Anzahl der gefundenen Anwendungsfälle aus den Forschungsprojekten nach Kategorien, zu denen die Cluster wie in Tabelle 5 zusammenfasst wurden.

Tabelle 5: Kategorien und zugeordnete Use Case Cluster nach SGAM

Kategorie	Cluster
AMI	(AMI) Billing, (AMI) Collect events and status information, (AMI) Configure events, statuses and actions, (AMI) Customer information provision, Exchange of metered data, (AMI) Installation & configuration, Monitor AMI (Advanced Metering Infrastructure) event
Commercial	Billing, (AMI) Energy market events, Flexibility markets, Grid reliability using market-based mechanisms, Manage commercial relationship for electricity supply, Market Settlements, Operate wholesale electricity market, Provide and collect contractual Measurements, Trading front office operation

Cross-sectional	Access Control (Substation Remote Access Example), Connect an active actor to the grid, Customer, Generation Transverse, System and security Management
Grid operation	Blackout management, Controlling the grid (locally/ remotely) manually or automatically, Grid stability, Managing power quality, Monitoring the grid flows, Protecting the grid assets, Reconfiguring the network in case of fault
Load and generation dispatch	Demand and production (generation) flexibility, Generation Operation Scheduling, Operate DER(s), Secure adequacy of Supply, Weather condition, forecasting & observation
Maintenance	Generation Maintenance, Maintaining grid assets

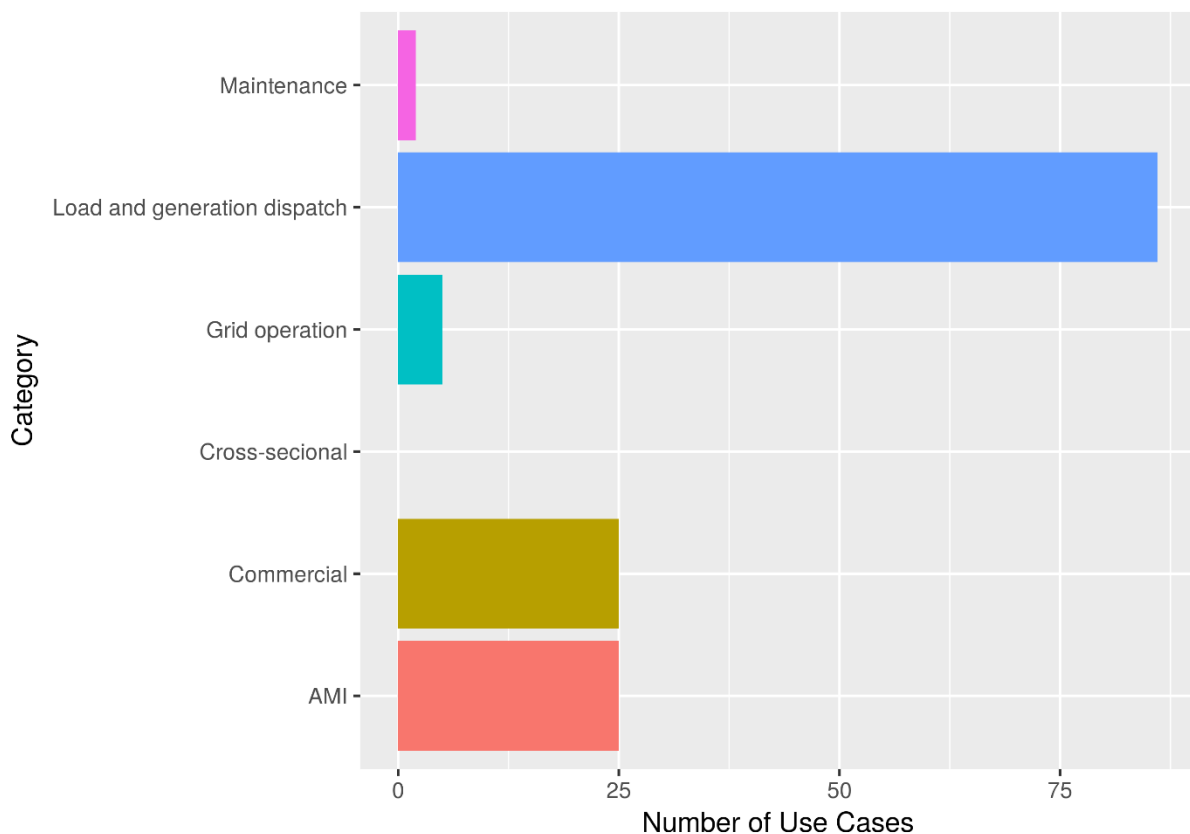


Abbildung 8: Anzahl der gesammelten Anwendungsfälle, die der jeweiligen Kategorie nach Smart Grid Coordination Group (2014b) zugeordnet wurden.

Den beiden Kategorien Maintenance und Grid operation, die sich mit der Pflege und Kontrolle der Stromnetze befassen, wurde erwartungsgemäß relativ wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Verhältnismäßig wenige Akteure sind beteiligt, und Veränderungen bezüglich IKT

haben hier voraussichtlich relative geringe Auswirkungen auf andere Bereiche des Energiesystems.

Der relativ kompakte Bereich der Advanced Metering Infrastructure (AMI) ist mit 25 Anwendungsfällen vertreten und spiegelt die Bedeutung insbesondere für die Digitalisierung gut wieder, der die Forschung gerecht wird. Die Bereiche „Load and Generation Dispatch“ sowie „Commercial“ sind deutlich weiter gefasst und rechtfertigen eine genauere Betrachtung der Use Case Cluster in diesen Kategorien.

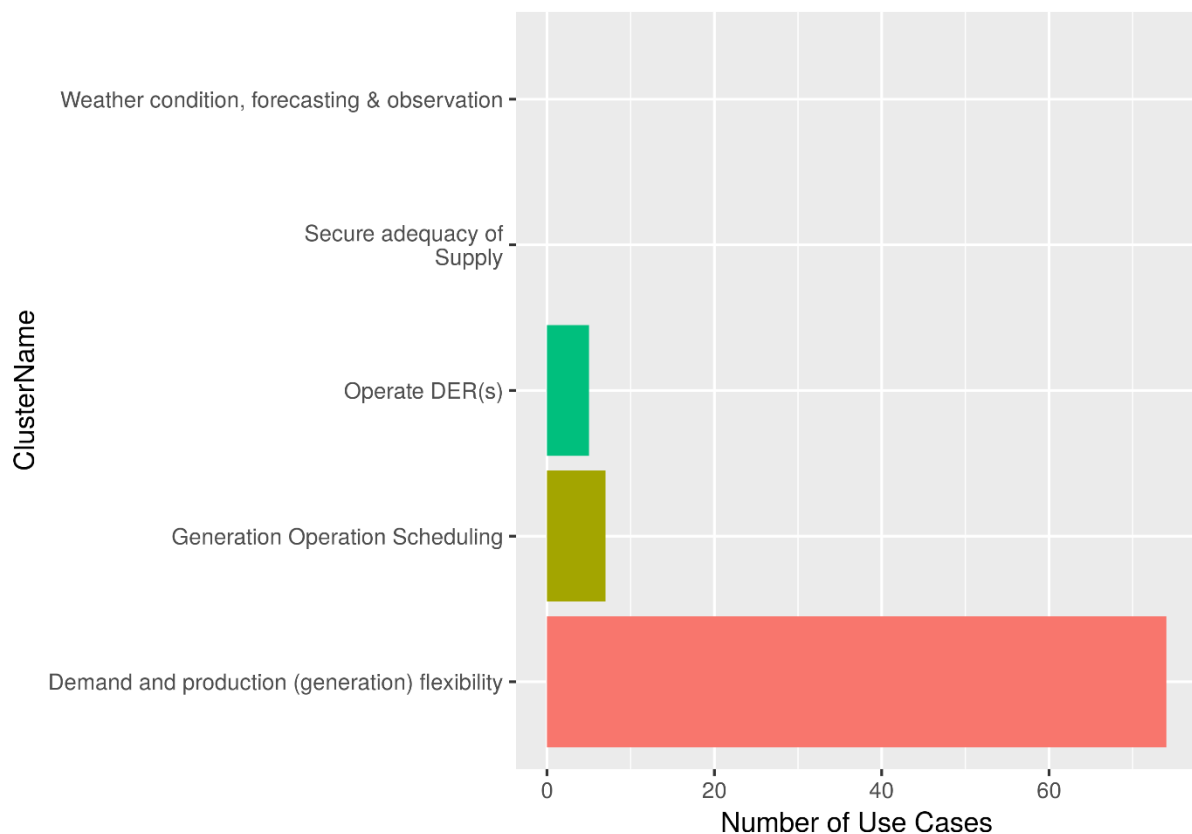


Abbildung 9: Anzahl der Anwendungsfälle pro Use Case Cluster in der Kategorie "Load and Generation Dispatch".

Für die erste Kategorie zeigt Abbildung 9, dass die überwiegende Mehrheit der Anwendungsfälle auf das Cluster „Demand and production flexibility“ fällt, welches in Abbildung 10 aufgeschlüsselt ist. Hier ist ersichtlich, dass alle High-Level Use Cases abgedeckt werden, jedoch das lokale Management verteilter Ressourcen, die Erhöhung des Eigenverbrauches sowie Erzeugungsprognose besonders häufig untersucht wurden.

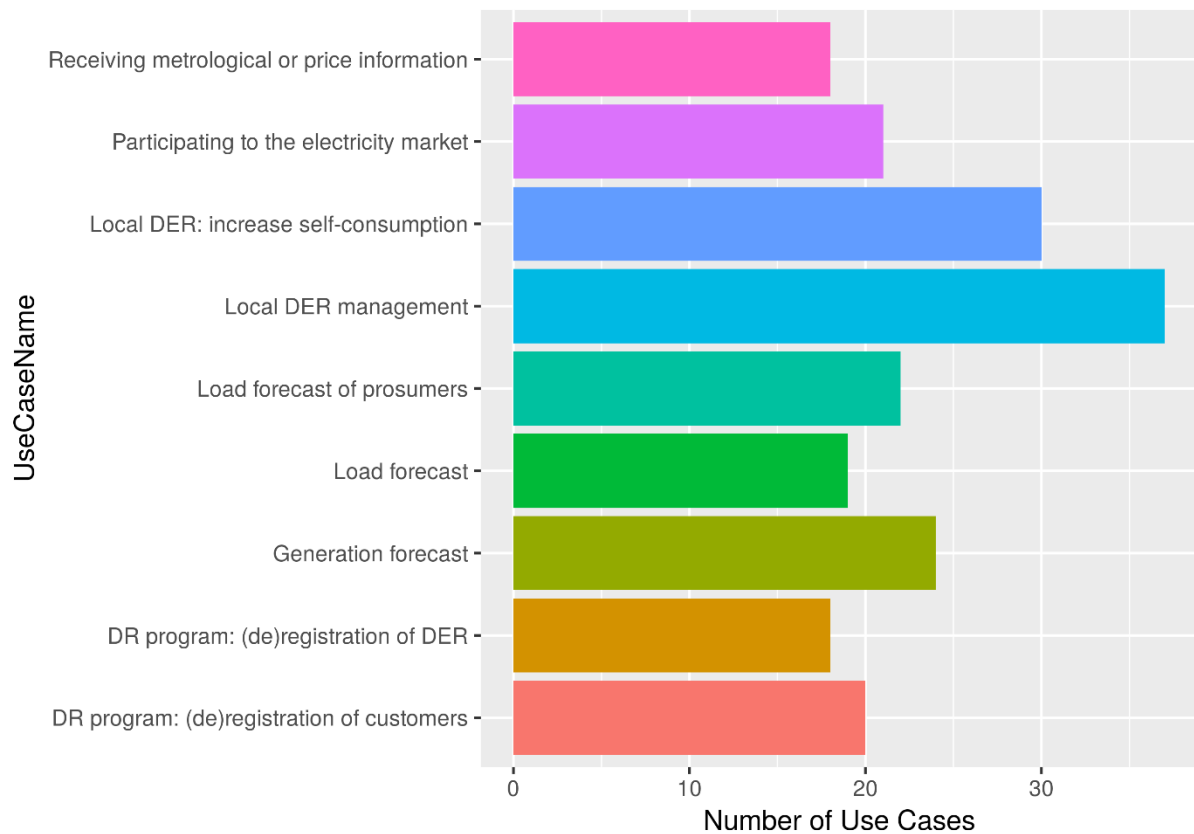


Abbildung 10: Anzahl der Anwendungsfälle pro High-Level Use Case im Cluster „Demand and production flexibility“ (Kategorie „Load and Generation Dispatch“).

Innerhalb der Kategorie "Load and Generation Dispatch" ist die Nichtberücksichtigung der Cluster um Wetterbedingungen und Prognose sowie Sicherstellen einer adäquaten Erzeugung beachtlich. In der Kategorie „Commercial“ ist das Fehlen von Anwendungsfällen zu den Use Case Clustern Flexibilitätsmärkte und Marktabwicklung zu erwähnen (Abbildung 11).



Abbildung 11: Anzahl der Anwendungsfälle nach Use Case Cluster in der Kategorie "Commercial".

Gänzlich unberücksichtigt ist die Kategorie „cross-sectional“ mit den Use-Case-Clustern Access Control, Connect an active actor to the grid, Consumer, Generation Transverse, and System and security Management. Bereiche wie Zugangskontrolle, Dienstleisterwechsel und eine übergreifende Benutzer- und Rechteverwaltung finden sich darunter und sind jedoch Schlüsselthemen eines zunehmend digitalen Energiesystems und sollten stärkere Beachtung finden.

6.3 Anwendungsfallanalyse am Beispiel Flexibilisierung im Stromsektor durch einen direkten Markt

Die Analyse neuer Marktstrukturen zur Flexibilisierung im Stromsektor findet sich zwar in Ansätzen unter den gesammelten Anwendungsfällen betrachteter Forschungsprojekte, wurde jedoch unserer Kenntnis nach noch nicht näher unter IKT-Gesichtspunkten praktisch realisiert und entsprechend untersucht. Die Bedeutungen performanter, sicherer, und zuverlässiger Kommunikationsstrukturen eines hochfrequenten Direktmarktes machen diesen zu einem wichtigen und zentralen Anwendungsfall, der in Beziehung zu einer Vielzahl weiterer, wichtiger Use Cases steht. Beispiele sind übergreifende Benutzer- und

Rechteverwaltung, Datensicherheit, Sicherstellen einer adäquaten Versorgung und Marktabwicklung.

Nach einem hierarchisch gegliederten Überblick auf die betrachteten Anwendungsfälle wird zunächst der übergeordnete Geschäftsfall und anschließend die High-Level Anwendungsfälle dokumentiert, mit denen sich der Geschäftsfall realisieren lässt. Besonderes Augenmerk liegt hier bei den involvierten Rollen, den IKT-relevanten Aspekten sowie den verknüpften Forschungsfragen. Der Anwendungsfall des hochfrequenten, direkten Marktes wird dann als primärer Use Case detaillierter dargestellt.

6.3.1 Übersicht

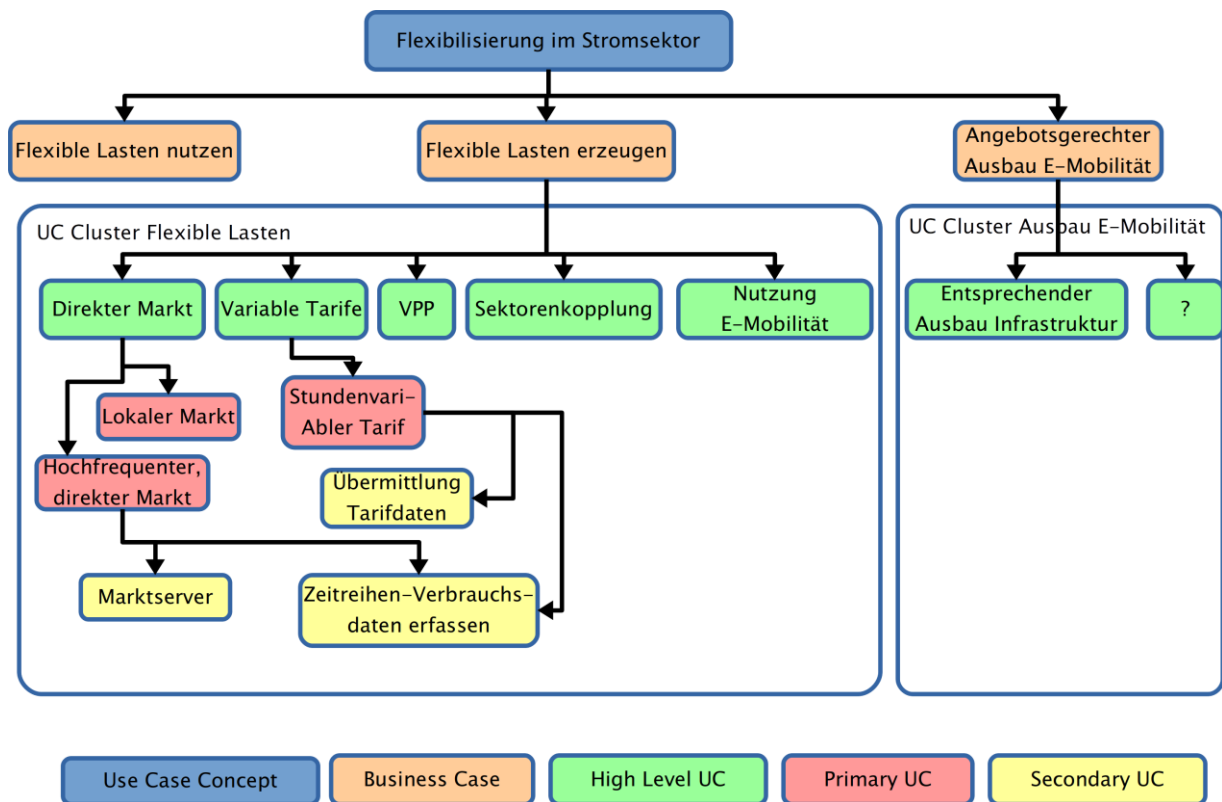


Abbildung 12. Hierarchisch angeordnete Anwendungsfälle zum Konzept "Flexibilisierung im Stromsektor".

6.3.2 Geschäftsfall: Flexible Lasten Erzeugen

Tabelle 6. Beschreibung des Geschäftsfalls Flexible Lasten erzeugen

Name	Flexible Lasten erzeugen
SGAM-Domänen	Erzeugung, Übertragung, Verteilung, verteilte Energieressourcen, Prosumer
SGAM-Zonen	Markt, Unternehmen, Verfahren, Station, Feld, Prozess

Beschreibung	Anpassungen elektrischer Verbraucher an die Erzeugungssituation können zu einer insgesamt geringeren, benötigten Anlageninstallation auf Erzeugungsseite führen.
Hintergrund	Im zukünftigen Energiesystem werden Leistungsfluktuationen durch Wind und PV dominieren. Insbesondere im Extremfall eines voll-erneuerbaren Stromsystems stehen diesen als flexible Erzeuger nur geringe Mengen Bioenergie und mit großen Wirkungsgradverlusten (Power-to-Gas) behaftete Gaskraftwerke entgegen.
Betroffene Rollen	LV, MB, EIV, LF, NB, MSB, RB, BKV
ENavi: Betroffene Schwerpunkte	<ul style="list-style-type: none"> • SP1 (Transformation des Stromsektors) • SP2 (Wärme. intelligente Steuerung) • SP3 (Dekarbonisierung des Verkehrs)
ENavi: Forschungsfragen	<ul style="list-style-type: none"> • Wie kommen Preissignale bei neuen Verbrauchern an? Welche Konzepte sind sinnvoll? • Wie ist das Kosten/Nutzen Verhältnis zur Aktivierung von Flexibilitäten? • Welche Effekte führen zu einem Abweichen vom zentralen Optimum?

6.3.3 High-Level Anwendungsfall: Direkter Markt

Tabelle 7. Beschreibung des High Level Use Cases Direkter Markt

Name	Direkter Strommarkt
SGAM-Domänen	Verteilung, verteilte Energieressourcen, Prosumer
SGAM-Zonen	Markt, Unternehmen, Verfahren, Station, Feld, Prozess
Beschreibung	Auf einem direkten Markt kann Energie hochfrequenter gehandelt werden und damit Verbräuche kurzfristiger an die tatsächliche Erzeugung angepasst werden.
Hintergrund	Um den Energieverbrauch an die Erzeugung anzupassen, sollen Preissignale entsprechend gesetzt werden.
Betroffene Rollen	EIV, LF, NB, MSB, RB
ENavi: Betroffene Schwerpunkte	SP1 (Transformation des Stromsektors) SP2 (Wärme. intelligente Steuerung)
ENavi: Forschungsfragen	Welches Marktdesign ist optimal? Welche regulatorischen Änderungen sind notwendig? Wie ist der Trade-off zwischen Systemdienlichkeit und Nutzen der einzelnen Marktteilnehmer?
Anwendungsgebiet	Strom- und Wärmesystem in Deutschland
Übergeordneter Use Case	Business Case "Flexible Lasten erzeugen"

Beziehung zu übergeordnetem Use Case	Dient zur Bereitstellung flexibler Lasten
--------------------------------------	---

6.3.4 Primärer Anwendungsfall: Hochfrequenter, direkter Markt

Tabelle 8. Beschreibung der primären Anwendungsfalls Hochfrequenter, direkter Markt

Name	Hochfrequenter, direkter Markt
SGAM-Domänen	Verteilung, verteilte Energieressourcen, Prosumer
SGAM-Zonen	Markt, Unternehmen, Verfahren, Station, Feld, Prozess
Beschreibung	Auf einem direkten Markt kann Energie hochfrequenter gehandelt werden, und damit können Verbräuche über aktuelle Preissignale kurzfristiger an die tatsächliche Erzeugung angepasst werden.
Hintergrund	Effizientes Demand Side Management erfordert aktuelle Preissignale.
Betroffene Rollen	EIV, LF, NB, MSB, RB
ENavi: Betroffene Schwerpunkte	SP1 (Transformation des Stromsektors) SP2 (Wärme. intelligente Steuerung) SP3 (Dekarbonisierung des Verkehrs)
ENavi: Forschungsfragen	Welche Handelsfrequenz ist unter bestimmten Annahmen/Szenarien optimal? Welchen Einfluss haben unterschiedliche Portfolios and Marktprodukten? Welche Anpassungen sind im Bereich IKT notwendig? Welchen zusätzlichen Bedarf gibt es an Datenmodellen und Protokollen?
Anwendungsgebiet	Stromsystem in Deutschland
Übergeordneter Use Case	Direkter Strommarkt
Beziehung zu übergeordnetem Use Case	Konkrete Realisierung eines direkten Marktes
ENavi: Beteiligte Projektpartner	Uni Kassel, IEE, ISE

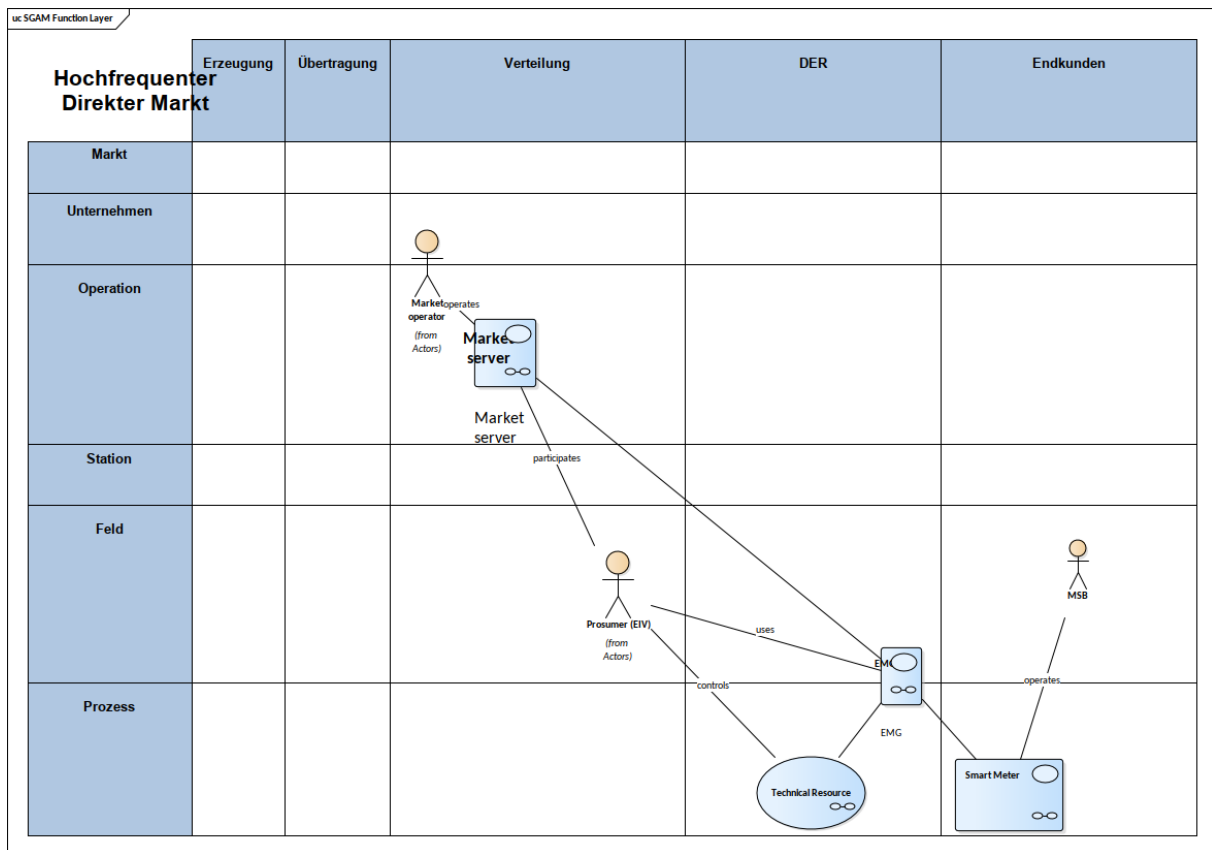


Abbildung 13. Verortung des Anwendungsfalls "Hochfrequenter, direkter Markt" auf der funktionalen Ebene des SGAM

7 Ausblick

7.1 Technologieentwicklung

Ergänzend zum allgemein akzeptierten Zielzustand eines intermodalen Energiesystems haben wir aus unserer Sicht wesentliche, derzeitige und abzusehende Technologieentwicklungen zusammengestellt. Diese Zusammenstellung soll die Auswahl von aus Forschungssicht interessanten Anwendungsfällen neben den bereits dargestellten für eine nähere Untersuchung unterstützen.

Eine grundlegende Voraussetzung nahezu aller zu untersuchenden Anwendungsfälle ist eine **Datenübertragung** mit ausreichenden Volumina und Antwortgeschwindigkeiten. Bezüglich der zu übertragenden Datenvolumina kann davon ausgegangen werden, dass die technischen Möglichkeiten zur Übertragung bereits mit heutiger Technologie gegeben sind, und sich durch abzusehende, neue Kommunikationsstandards wie 5G weiter verbessern werden. Einschränkungen der Datenübertragungskapazität können aus ökonomischen

Gründen entstehen, wie im Privatbereich aus der schlechten Verfügbarkeit von Breitbandanschlüssen in ländlichen Regionen bekannt.

Eng mit der Datenübertragung verbunden ist die Entwicklung der **Sensortechnik**. Zunehmend kostengünstige und in großen Stückzahlen verfügbare Sensorik erlaubt das Aufnehmen zusätzlicher Informationen über den Systemzustand, wie beispielsweise Temperaturmessungen an Stromkabeln, Anwesenheitssensorik in Gebäuden und zeitaufgelöste Verbrauchsmessungen (-> Smart Metering). Diese führen direkt zu einem erhöhten Datenaufkommen.

Indirekt führt eine erhöhte Datenverfügbarkeit zu einem **höheren Automatisierungsgrad** im Energiesystem, indem zum einen die Vielzahl an potentiell verfügbaren Sensordaten zu abgeleiteten Größen verarbeitet werden (z.B. Live-Messungen von Aufdach-PV-Anlagen zu verbesserten Einspeiseprognosen). Neben automatischen Berechnungen mit klaren Regeln, z.B. die Aggregation von Leistungsdaten und Abrechnung von Zählerdaten, sind dabei automatisierte Anwendungen zu erwarten, bei denen die Zusammenhänge nicht eindeutig sind, z.B. Fehlererkennung, Erzeugungs- oder Verbrauchsprognosen. Wir erwarten, dass **lernende Systeme**, z.B. das durch die Verbreitung von GPU-Computing stark gewachsene Feld des Deep Learning, in Zukunft eine Rolle im Energiesystem spielen können.

Im Bereich der Datenhaltung findet aktuell eine rasante Entwicklung bei **verteilten Datenbankkonzepten** (Distributed Ledgers) statt. Bekannteste Vertreter sind die Blockchain-Technologien Bitcoin und Ethereum, die für verbindliche Zahlungstransaktionen (Cryptocurrency) und Vertragsabschlüsse (Smart Contracts) verwendet werden. Wesentliche Eigenschaft dieser Datenbanksysteme sind die Elimination eines zentralen Administrators durch Verteilung von Datenhaltung und –synchronisation auf viele im Prinzip gleichberechtigte Akteure und die damit verbundene Öffentlichkeit der Einträge. Während die Bitcoin-Technologie aufgrund ihres inhärenten Energieverbrauchs offensichtlich nicht geeignet für den Einsatz im Energiesystem ist, könnten Weiterentwicklungen mit effizienteren Verifikationsmechanismen, wie sie z.B. von Tangle/IOTA versprochen werden, relevant für den Einsatz im Energiesystem werden. Wegen der hohen Bedeutung eines stabilen Energiesystems sehen wir die Bitcoin-inspirierte Idee, dass Energieversorger in der

Zukunft aus dem System gedrängt werden könnten², als unwahrscheinlich. Unter der Prämisse, dass es im Energiesystem immer Verantwortliche für die Systemstabilität mit entsprechend hohen Eingriffsbefugnissen geben wird, ist eine verteilte Blockchain-Datenbank mit systemrelevanten Einträgen eher auf Ebene gleichberechtigter Akteure zu erwarten, die ohnehin schon Verantwortung für die Systemstabilität tragen.

Aus aktueller Marktlage noch exotisch anmutend, aber mit enormem Potential als disruptive Technologie für die gesamte IKT-Struktur, ist die Entwicklung von **Quantencomputern**. Theoretische Algorithmen für Quantencomputer, die auf analogen oder digitalen Rechnerarchitekturen nicht funktionieren würden, sind seit Jahrzehnten bekannt, und beinhalten insbesondere effiziente Algorithmen zur Faktorisierung großer Primzahlen (Shor-Algorithmus). Die Anwendung dieser Algorithmen wurde bislang dadurch verhindert, dass Quantencomputer nicht verfügbar sind. Jedoch sind auf diesem Gebiet in den letzten Jahren erhebliche Fortschritte erzielt worden. So arbeitet beispielsweise die IBM Q Initiative³ an der Entwicklung eines kommerziell verfügbaren Quantencomputers. Zahlreiche digitale Sicherheitsverfahren, die auf der Komplexität von Primzahlfaktorisation beruhen, werden mit der Verfügbarkeit von Quantencomputern angreifbar und müssen neu überdacht werden. Diese beinhalten insbesondere die RSA-Verschlüsselung und –Authentifizierung mit öffentlichen und privaten Schlüsseln.

7.2 Weiteres Vorgehen

Das weitere Vorgehen im Arbeitspaket Digitalisierung & IKT konzentriert sich auf die Spezifizierung der identifizierten Anwendungsfälle zunächst auf der Informations- und danach auf der Kommunikationsebene. Zu beachten ist dabei, dass es sich um einen iterativen Prozess handelt und Erkenntnisse bezüglich des Informationsaustauschs und der dadurch begründeten Steuerungsmöglichkeiten Auswirkungen auf die Bedeutung und die Ausgestaltung der Anwendungsfälle haben, die dann erneut zunächst auf der funktionalen Ebene und hiernach auf der Informations- und Kommunikationsebene angepasst werden müssen.

² Bitcoin war die erste Kryptowährung auf Basis von Blockchain und ist ursprünglich mit dem Gedanken angetreten, Banken als Intermediäre überflüssig machen zu können.

³ <https://www.research.ibm.com/ibm-q/>

8 Literaturverzeichnis

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (2016): Rollenmodell für die Marktkommunikation im deutschen Energiemarkt. Strom und Gas. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.bdew.de/internet.nsf/id/marktrollenmodell-und-grundlagen-marktkommunikation-de>.

Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V. (BDEW) (2017): BDEW-Roadmap Daten- und Marktkommunikation. Positionspapier. Berlin. Online verfügbar unter https://www.bdew.de/internet.nsf/id/-DE_Geschaeftsprozesse, zuletzt geprüft am 18.10.2017.

European Association for the Streamlining of Energy Exchange - Gas (2016): Harmonised Gas Role Model Specification. Paris. Online verfügbar unter <https://easee-gas.eu/news/easee-gas-publishes-gas-role-model-specification>, zuletzt geprüft am 05.10.2017.

European Network of Transmission System Operators for Electricity (2015): The Harmonized Electricity Market Role Model. Version 2015-01. Online verfügbar unter https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edilibrary/work%20products/harmonised_electricity_role_model/Pages/default.aspx, zuletzt geprüft am 05.10.2017.

European Network of Transmission System Operators for Electricity - ENTSO-E (2015): The harmonised electricity market role model. Version 2015-01. Online verfügbar unter https://www.entsoe.eu/publications/electronic-data-interchange-edilibrary/work%20products/harmonised_electricity_role_model/Pages/default.aspx, zuletzt geprüft am 05.10.2017.

Greer, Christopher; Wollman, David A.; Prochaska, Dean E.; Boynton, Paul A.; Mazer, Jeffrey A.; Nguyen, Cuong T. et al. (2014): NIST Framework and Roadmap for Smart Grid Interoperability Standards, Release 3.0. In: *Special Publication (NIST SP) - 1108r3*. Online verfügbar unter <https://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1108r3>.

GridWise Architecture Council (2008): GridWise Interoperability Context-Setting Framework. Online verfügbar unter www.gridwiseac.org/pdfs.

International Electrotechnical Commission (IEC) (2015): IEC - Smart Grid Standards Map. Online verfügbar unter <http://smartgridstandardsmap.com/>, zuletzt aktualisiert am 29.06.2015, zuletzt geprüft am 02.10.2017.

Neureiter, C.; Uslar, M.; Engel, D.; Lastro, G. (2016a): A standards-based approach for domain specific modelling of smart grid system architectures. In: 2016 11th System of Systems Engineering Conference (SoSE), S. 1–6.

Neureiter, Christian (2014): Introduction to the „SGAM Toolbox“. Online verfügbar unter <http://www.en-trust.at/wp-content/uploads/Introduction-to-SGAM-Toolbox1.pdf>.

Neureiter, Christian; Engel, Dominik; Uslar, Mathias (2016b): Domain Specific and Model Based Systems Engineering in the Smart Grid as Prerequisite for Security by Design (Electronics, 5).

Smart Grid Coordination Group (2012): Smart Grid Reference Architecture. SG-CG/M490/C. CEN-CENELEC-ETSI.

Smart Grid Coordination Group (2014): SGAM usage and examples - SGAM User Manual Applying, testing & refining the Smart Grid Architecture Model (SGAM). SG-CG/M490/K. CEN-CENELEC-ETSI.

Smart Grid Coordination Group (2014b): Smart Grid Set of Standards. SG-CG/M490/G. CEN-CENELEC-ETSI.

Technologieplattform Smart Grids Austria (2015): Technologieroadmap Smart Grids Austria. Online verfügbar unter <http://www.smartgrids.at/downloads.html>, zuletzt geprüft am 26.10.2017.

The Smart Grid Interoperability Panel-Cyber Security Working Group (2010): Guidelines for Smart Grid Cybersecurity (1-3). Online verfügbar unter <https://csrc.nist.gov/publications/detail/nistir/7628/rev-1/final>, zuletzt geprüft am 24.10.2017.