

# Integration und Nutzung von Flexibilitätpotentialen innerhalb der Smart Meter Gateway Infrastruktur

Masterarbeit

von

Nils Kroener

Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen

Matrikelnummer: 1675943

Institut für Angewandte Informatik und Formale  
Beschreibungsverfahren (AIFB)

KIT-Fakultät für Wirtschaftswissenschaften

Prüfer: Prof. Dr. Hartmut Schmeck

Zweiter Prüfer: Prof. Dr. Andreas Oberweis

Betreuer: Kevin Foerderer, M.Sc.

Dr. Birger Becker

Eingereicht am: 13. Dezember 2019

# Zusammenfassung

Nachdem das zweite Smart Meter Gateway (SMGW) vom Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) zertifiziert wurde, zeigt sich die Regulierungsbehörde zuversichtlich, dass noch 2019 der gesetzlich vorgeschriebene Rollout intelligenter Messsysteme beginnen kann. SMGWs bilden als Mediatoren verschiedener Netzbereiche eine Kommunikationsinfrastruktur, die in der Transition vom traditionellen Stromnetz zum Smart Grid essenziell ist. Trotzdem werden SMGWs aufgrund von Zertifizierungsproblemen bisher wenig in der aktuellen Forschung zur Flexibilität im Stromnetz eingesetzt. Das Ziel dieser Arbeit ist daher, die Integrationsfähigkeit von Flexibilität innerhalb der SMGW-Infrastruktur zu evaluieren und über einen Prototyp Flexibilität zu nutzen. Neben der eigentlichen Umsetzung des Prototyps wird dafür zunächst das regulatorische Rahmenwerk und aktuelle Industriebestreben betrachtet. Über die Entwicklung hinaus wird analysiert, welche Rückschlüsse aus der technischen auf die wirtschaftliche Sicht, exemplarisch für einen Betreiber eines virtuellen Kraftwerkes, gezogen werden können.

In jedem Flexibilitätsmodell ist die Kommunikation von Flexibilität eine Notwendigkeit. Für Unternehmen, die Flexibilität nutzen möchten, ist der transparente Kanal die vom SMGW angebotene Funktion, zwischen WAN und HAN eine bidirektionale Verbindung aufbauen zu lassen. Das Unternehmen kommuniziert in der Rolle des aktiven externen Marktteilnehmers (EMT), an den hinsichtlich des Informationssicherheitsmanagements hohe Anforderungen gesetzt sind. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen wurde ein Prototyp entwickelt, der die Kommunikation über das SMGW umsetzt. Der Prototyp optimiert eine Ladesäulensteuerung, die mittels globaler Parameter, gesendet über den transparenten Kanal vom aktiven EMT, restringiert wird. In dem Testaufbau sind in Zertifizierung befindliche SMGWs sowie ein marktreifes, zertifiziertes Smart Meter Gateway Administrator (GWA) System genutzt. Weiter sind die Systeme des aktiven EMTs und der Steuerbox eigens entwickelt.

Es wird aufgezeigt, dass der GWA eine kritische Rolle in der Produktumsetzung eines Unternehmens, welches Flexibilität in der SMGW-Infrastruktur nutzen möchte, darstellt. Um diese Abhängigkeit zu reduzieren, wird die Nutzung des transparenten Kanal nach HAN-Kommunikationsszenario 3 empfohlen. Weiter stellt der transparente Kanal eine Möglichkeit dar, um auf Zählerdaten der Kunden zuzugreifen. Mit einer Einwilligung des Kunden kann ein Unternehmen an alle dem Letztverbraucher zugeordneten Zählerdaten gelangen. Weiter ist die aktuelle Ausgestaltung der Steuerungsfunktion über das SMGW, welche nicht Teil der gesetzlichen Regulierung ist, kritisch evaluiert. Das Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE entwickelt ein Konzept, indem Anlagen per direkter Lastkontrolle über vier bitstabilen Relais gesteuert werden. In dieser Arbeit wurde mit dem entwickelten Prototyp gezeigt, dass die direkte Kommunikation in hardwarespezifischen Protokollen für komplexere Flexibilitätsmodelle besser geeignet ist.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Flexibilität in der Energiewirtschaft</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>Intelligente Messsysteme in Deutschland</b>	<b>6</b>
3.1	Berechtigte Rollen im Umgang mit dem SMGW . . . . .	7
3.2	Regulierung des Messwesens in Deutschland . . . . .	8
3.2.1	Schutzprofile und technische Richtlinien . . . . .	11
3.2.2	Eich- und Messwesen . . . . .	13
3.2.3	Marktkommunikation . . . . .	14
3.2.4	Interoperabilität . . . . .	15
3.3	Mehrwertdienste . . . . .	15
3.3.1	lokales Steuerungssystem in der SMGW-Infrastruktur . . . . .	20
3.3.2	Unternehmen in der Marktrolle des aktiven EMT . . . . .	22
<b>4</b>	<b>Stand der Wissenschaft und Technik</b>	<b>24</b>
4.1	SINTEG-Förderprogramm . . . . .	24
4.2	Literatur . . . . .	26
4.3	Marktübersicht . . . . .	27
<b>5</b>	<b>Prototyp zur Nutzung von Flexibilität in der SMGW-Infrastruktur</b>	<b>29</b>
5.1	Zielsetzung für die Entwicklung . . . . .	29
5.2	Erprobung des transparenten Kanals . . . . .	30
5.2.1	Aufbau der Testinfrastruktur im Living Lab smartEnergy . . . . .	30
5.2.2	Zertifikate und SM-Test-PKI . . . . .	31
5.2.3	Parametrisierung der SMGWs . . . . .	31
5.2.4	Entwicklung der Kommunikationsanwendung . . . . .	33
5.2.5	Ergebnisse und Bewertung der Umsetzung des transparenten Kanals	33
5.2.6	CLS-Managementsysteme . . . . .	35
5.3	Softwarearchitektur des Prototypen . . . . .	36

---

5.3.1	Softwareimplementierung des aktiven EMTs . . . . .	36
5.3.2	Softwareimplementierung der Steuerbox . . . . .	37
5.3.3	Gesamtbetrachtung des Prototypen . . . . .	40
<b>6</b>	<b>Bewertung und weiterführende Analyse zur Umsetzung</b>	<b>42</b>
6.1	Einordnung in den Innovationsprozess . . . . .	42
6.2	Bewertung der Kommunikation über den transparenten Kanal . . . . .	43
6.3	Wirtschaftliche Implikationen für einen Betreiber eines virtuellen Kraftwerks	45
<b>7</b>	<b>Schlussbetrachtung</b>	<b>50</b>
<b>A</b>	<b>HAN-Kommunikationsprofil</b>	<b>53</b>
<b>B</b>	<b>WAN-Kommunikationsprofil</b>	<b>55</b>
<b>C</b>	<b>Proxy-Profil</b>	<b>58</b>
<b>D</b>	<b>Konfiguration des MQTT-Brokers der Steuerbox</b>	<b>58</b>

## Abkürzungsverzeichnis

**BMWi** Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

**BNetzA** Bundesnetzagentur.

**BSI** Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik.

**CLS** Controllable Local System.

**DR** Demand-Response.

**ECC** Elliptic Curve Cryptography.

**EMT** Externer Marktteilnehmer.

**ENTSO-E** European Network of Transmission System Operators for Electricity.

**EnWG** Energiewirtschaftsgesetz.

**FNN** Forum Netztechnik/Netzbetrieb.

**FZI** Forschungszentrum Informatik.

**GDEW** Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende.

**GWA** Smart Meter Gateway Administrator.

**HAN** Home Area Network (Heimnetz).

**HKS** HAN-Kommunikationsszenario.

**HoLL** House of Living Lab.

**iMSys** intelligente Messsystem.

**LF** Lieferant.

**LMN** Lokales Metrologisches Netz.

**MessEG** Mess- und Eichgesetz.

**MSB** Messstellenbetreiber.

**MsbG** Messstellenbetriebsgesetz.

**PPC** Power Plus Communications AG.

**PTB** Physikalisch-Technische Bundesanstalt.

**SINTEG** Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende.

**SMGW** Smart Meter Gateway.

**SM-PKI** Smart Meter Public Key Infrastruktur.

**ÜNB** Übertragungsnetzbetreiber.

**VDE** Verein deutscher Elektrotechniker.

**VNB** Verteilnetzbetreiber.

**WAN** Wide Area Network (Weitverkehrsnetz).

## Abbildungsverzeichnis

1	Die Einsatzumgebung des SMGWs, entnommen aus [19] . . . . .	7
2	Rolloutpfad nach Pflichteinbaukriterium und Preisobergrenzen, entnommen aus [17] . . . . .	10
3	Übersicht der Tarifierungsfälle (TAF), entnommen aus [17] . . . . .	12
4	Kommunikation im HKS3, entnommen aus [17] . . . . .	17
5	Kommunikation im HKS4, entnommen aus [17] . . . . .	18
6	Kommunikation im HKS5, entnommen aus [17] . . . . .	19
7	Übersicht der Systeme des Prototyps . . . . .	30
8	Kommunikationsinfrastruktur mit CLS-Managementsystem . . . . .	35
9	Übersicht der Topic-Struktur des MQTT-Brokers der Steuerbox . . . . .	37
10	Ansicht der Kundenschnittstelle zum Starten des Ladevorgangs . . . . .	39
11	Ansicht der Kundenschnittstelle während des Ladevorgangs . . . . .	40
12	Gesamtübersicht der Implementierung des Prototyps . . . . .	41

---

## Tabellenverzeichnis

1	Umgesetzte HKS nach SMGW-Hersteller <sup>1</sup> . . . . .	34
---	--	----

# 1 Einleitung

Im Rahmen der deutschen Energiewende kommt es zu einer tiefgreifenden, strukturellen Veränderung der Energiewirtschaft. Im Zentrum des Wandels steht eine nachhaltige Energieversorgung. Zur Reduzierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgt der Umstieg auf regenerative Energieträger. Da die Erzeugung erneuerbarer Energien klein skaliert erfolgen kann, wird immer mehr Strom dezentral im Verteilnetz erzeugt. Die Erzeugung aus PV-Anlagen oder Windrädern, als wichtigste regenerative Erzeugungsformen, ist jedoch volatil und somit nicht immer abrufbar. Dies erschwert es, Erzeugung und Verbrauch in Ausgleich zu bringen. Dieser Ausgleich ist zur Sicherstellung der Netzstabilität eine notwendige wichtige Anforderung bei der Transition zur nachhaltigen Energieversorgung. Aufgrund der fluktuierenden Erzeugung bedarf es mehr Flexibilität, um den Verbrauch und die Erzeugung anzugleichen. Weiterhin wirkt sich diese Transition auch auf die Datenhaltung und Datenübertragung im Energienetz aus. Wurde vormals in wenigen, zentralen Kraftwerken der Strom erzeugt, welcher nur in eine Richtung, hin zum Haushalt, floss, kommt es heute vielmehr zu einem bidirektionalen Austausch zwischen allen Netzbereichen. Die dafür notwendige Koordination erhöht auch die informationstechnischen Anforderungen an das Stromnetz.

Das Smart Grid ermöglicht neue informations- und energietechnische Innovationen, welche die notwendige Flexibilität bereitstellen. Als Beispiel dienen virtuelle Kraftwerke, die mehrere Stromerzeuger und steuerbare Verbraucher aggregiert an den Markt bringen. Um den gestiegenen Anforderungen an das Stromnetz gerecht zu werden und die beschriebenen Innovationen zu ermöglichen, wurde 2016 das Gesetz zur Digitalisierung der Energiewende beschlossen, welches unter Anderem das Messstellenbetriebsgesetz verabschiedet. Im Mittelpunkt steht das Smart Meter Gateway, welches eine Kommunikationsplattform zwischen verschiedenen Netzbereichen darstellt. Es werden nach Vorgabe des Messstellenbetriebsgesetz Smart Meter Gateways entwickelt, zertifiziert und in Zukunft ausgerollt. Die Systeme gewährleisten Datensicherheit und einen Schutz der Privatsphäre des Kunden. Sie ermöglichen gleichzeitig auch über die Kommunikationsinfrastruktur die Nutzung neuer Geschäftsmodelle im Bereich des Smart Grid und angrenzenden Bereichen wie Smart Mobility. Eine große Anzahl der Anwendungsfälle in diesen Bereichen erfordert die Steuerung von Anlagen. Während die Kommunikation für die Anlagensteuerung laut Gesetz durch das Smart Meter Gateway unterstützt werden muss, ist die Steuerung an sich nicht Teil der Regulierung. Das Smart Meter Gateway selbst ist also keine Steuereinheit. Zum Steuern werden dedizierte Systeme wie eine Steuerbox benötigt.

Die Einführung von Smart Meter Gateways, die im Verbund mit modernen Messeinrichtungen als Zählleinheit das intelligente Messsystem darstellen, soll die Transition zum Smart Grid ermöglichen. Das Smart Grid wiederum ist Grundlage hin zur nachhaltigen Energieversorgung. Die Einführung der Systeme hat weitreichende Änderungen in der

Marktstruktur, den Geschäftsprozessen sowie eingesetzter Technologie zur Folge. Daher ist es wichtig, frühzeitig das Potential und die Einsatzfähigkeit der intelligenten Messsysteme im Sinne der Etablierung eines Smart Grids zu evaluieren. Die vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie beauftragte jährliche Studie „Barometer Digitalisierung der Energiewende“ hat zum Ziel die Umsetzungsgeschwindigkeit des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende zu überwachen [28]. Sie kommt zum Schluss, dass erst wenige intelligente Messsysteme in Forschungsprojekten eingesetzt sind. Zwar sind aufgrund fehlender Zertifizierung noch keine Smart Meter Gateways am Markt verfügbar, jedoch gibt es in der Zertifizierung befindliche Systeme, in die bereits jahrelange Entwicklungsarbeit geflossen ist und für realitätsnahe Tests zur Verfügung stehen. Da das Smart Meter Gateway als Kommunikationseinheit ein wichtiger Enabler für Flexibilität ist und einen wichtigen Bestandteil der zukünftigen Energieinfrastruktur bildet, fehlt der Einbezug dieser Systeme in der Forschung. Die vorliegende Arbeit verfolgt den Ansatz möglichst marktnah entwickelte Geräte in die Forschung einzubinden.

Das Ziel dieser Arbeit ist grundlegend zu erörtern, wie Flexibilität in die SMGW-Infrastruktur aus Systemsicht integriert und weiter aus technischer Sicht genutzt werden kann. Dafür werden vier Forschungsfragen formuliert:

1. Ermöglichen die aktuell entwickelten Smart Meter Gateways die Integration von Flexibilität gemäß den Vorgaben der technischen Richtlinien?
2. In welcher Form nutzen aktuell entwickelte Industriestandards einer Steuerbox Flexibilitätspotentiale?
3. Kann in einem Proof-Of-Concept die Nutzung von Flexibilität umgesetzt werden?
4. Welche Rückschlüsse lassen sich ziehen und welche Potenziale ermöglichen sich ausgehend aus dem Proof-Of-Concept?

Die ersten beiden Fragen beinhalten die kritische Bewertung des Status-Quo der Regulierung intelligenter Messsysteme. Es wird besonders der im Kontext der Anlagensteuerung wichtige transparente Kanal betrachtet. Da die Steuerung über Smart Meter Gateways nicht im gesetzlich geregelten Umfang einbezogen wird, werden aktuell entwickelte Industriekonzepte erörtert. Hier ist vor allem das Forum Netzbetrieb/Netztechnik im VDE herauszustellen. Die ersten beiden Fragen bilden das Fundament für die weitere, technisch detaillierte Betrachtung. Im Rahmen der dritten Forschungsfrage wird ein Prototyp entwickelt, welcher die Steuerung einer Ladesäule mittels Kommunikationsanbindung über ein Smart Meter Gateway umsetzt. Die Steuerung wird lokal optimiert unter Berücksichtigung globaler Restriktionen. Die Restriktionen werden vom Backend über das Smart Meter Gateway an die lokale Steuereinheit kommuniziert. Zur Kommunikation werden

in Zertifizierung befindliche Smart Meter Gateways sowie marktreife Systeme eines zertifizierten Smart Meter Gateway Administrators genutzt. Aus der technisch detaillierten Analyse heraus soll der Betrachtungsumfang weiter gefasst werden und Rückschlüsse, die aus der Umsetzung gewonnen werden konnten, analysiert werden. So werden Hürden bei der Integration von Flexibilität aus technischer Sicht diskutiert und die Implikationen auf Anwendungsfälle zur Flexibilitätserbringung aufgezeigt. Weiter werden die Auswirkungen der Einführung intelligenter Messsysteme auf das Geschäftsmodell eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerks analysiert.

Die Arbeit gliedert sich wie folgt. Im Kapitel 2 wird der Begriff der Flexibilität definiert und für diese Arbeit eingegrenzt. Die regulatorischen Grundlagen zu intelligenten Messsystemen werden in Kapitel 3 erörtert. Weiter erfolgt die Einordnung aktueller Forschung und Technik im Kapitel 4. Das Kapitel 5 zeigt die Entwicklung des Prototyps. Die Bewertung des Prototyps erfolgt anschließend zusammen mit der erweiterten Betrachtung auf wirtschaftliche Implikationen in Kapitel 6. Abschließend erfolgt das Fazit in Kapitel 7.

## 2 Flexibilität in der Energiewirtschaft

Die Nutzung von intelligenten Messsystemen zur Nutzung von Flexibilität benötigt zwei Grundlagen als wichtiges Fundament, auf dem der Prototyp aufgebaut wird. Die beiden Grundlagen sind mit der Technologie der intelligenten Messsysteme sowie dem Begriff der Flexibilität genannt. In diesem Kapitel soll daher zunächst der Begriff Flexibilität definiert und für diese Arbeit eingegrenzt werden. In der Literatur sind viele verschiedene Ansätze zur Flexibilität in Energienetzen zu finden. Oftmals hängt die Definition und der Betrachtungsumfang vom unterliegenden betrachteten System ab oder es wird Flexibilität spezifisch für den Anwendungsfall definiert [4, 44]. In [45] wird eine holistische Definition von Flexibilität formuliert:

*„The flexibility of an energy system is the collection of valid combinations of system in-puts and their state dependent outputs in terms of all energy carriers, i. e., all combinations that provide all mandatory energy services in a manner ensuring system stability“*

Flexibilität im Energiesystem sind also alle möglichen validen Kombinationen aus Systemeingaben und den zustandsabhängigen Ausgaben bezüglich aller Energieträger. Valide Kombinationen sind solche, die alle notwendigen Energiedienste bei gesicherter Systemstabilität erfüllen. Die eigentliche physische Flexibilitätserbringung umfasst nicht nur Demand-Side-Management, also die Veränderung der Nachfrage in zeitlicher und räumlicher Dimension [44], sondern ebenfalls die verteilte Erzeugung. Die Erbringung der Flexibilität kann generell überall im Energienetz erfolgen. Für diese Arbeit soll sich auf die Nachfrageseite, durch verteilte Erzeugung auch Prosumerseite genannt, beschränkt werden. Weitere zentrale Charakteristika sind, dass man für die Erbringung der Flexibilität immer eine (abstrakte) Modellierung sowie die Kommunikation der (abstrakten) Flexibilität benötigt. Folgende vier Fälle lassen die Flexibilitätserbringung und notwendige Kommunikation von Flexibilität gliedern [45]:

### Physische Demand-Response

Physische Demand-Response (DR) ist charakterisiert durch die direkte Kontrolle des Lastgangs. Dafür werden direkte Kontrollsignale wie etwa ein Fahrplan versendet.

### Direktvermarktung von Demand-Response

Bei der Direktvermarktung von DR wird Flexibilität explizit abstrakt modelliert. Ein Energiemanagementsystem wählt auf Grundlage eines solchen Modells eine zieloptimierte valide Flexibilitätslösung, wobei es eine große Anzahl an Konzepten zur Ausgestaltung der Lösungsfindung und Modellierung der Flexibilität in der Literatur gibt.

### Indirekte Vermarktung von Demand-Response

Die indirekte Vermarktung von DR nutzt einen Anreiz, um implizit Flexibilität

zu erbringen. Der Unterschied ist, dass die implizite Flexibilität nicht modelliert wird, sondern mit dem Anreiz ein gewünschtes, nicht explizit modelliertes Verhalten verursacht.

### **Dezentrale Vermarktung von Demand-Response**

Die dezentrale Vermarktung verzichtet komplett auf zentrale Institutionen wie Aggregatoren, Koordinatoren oder eine Informationsinfrastruktur. Über peer-to-peer Kommunikation und verteilte Mechanismen wird das System und die Flexibilitätserbringung koordiniert.

In jedem der vier Szenarien ist eine Kommunikation zwischen den Teilnehmern des Gesamtsystems unabdingbar. Während die ersten drei Fälle eine Kommunikationsinfrastruktur benötigen, ist die dezentrale Vermarktung hinsichtlich der Kommunikation ein Sonderfall. Die Kommunikation ist somit notwendiger Enabler der eigentlichen Flexibilitätserbringung. Während die Definition, Einordnung und Eingrenzung von Flexibilität grundlegend für die Arbeit ist, soll weniger auf die Ausgestaltung eines Flexibilitätskonzepts eingegangen werden, sondern auf die Kommunikation in einem solchen fokussiert werden. Allerdings ist es unabdingbar, um Potenzial und Einsatzzwecke der Kommunikationsplattform intelligenter Messsysteme zu evaluieren, auch die Flexibilitätserbringung als Ganzes zu betrachten.

### 3 Intelligente Messsysteme in Deutschland

Das sogenannte intelligente Messsystem (iMSys) wird aus zwei Komponenten gebildet: der modernen Messeinrichtung sowie dem Smart Meter Gateway (SMGW). Die moderne Messeinrichtung misst den tatsächlichen zur Nutzungszeit zugewiesenen Elektrizitätsverbrauch, das SMGW stellt eine Kommunikationseinheit zur Verteilung der Messdaten dar. Es bindet eine oder mehrere moderne Messeinrichtungen, aber auch andere technische Einheiten wie etwa EEG-Anlagen, sicher in die Kommunikationsinfrastruktur ein. iMSys sind durch das Messstellenbetriebsgesetz (MsbG) definiert und unterliegen den Regularien des Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) sowie weiteren Regulatoren und Industrieverbänden, auf die im Kapitel 3.2.4 genauer eingegangen wird. Ziel der Ausgestaltung der Systeme sind die Wahrung der Datensicherheit, des Datenschutzes sowie der Interoperabilität [2]. Die Einführung von iMSys beinhaltet neben der neuen Technologie auch neue Marktrollen. Die Aufgaben des iMSys sind erstens der Empfang, Verarbeitung und Versand von Messwerten an berechnete sogenannte Externer Marktteilnehmer (EMT), zweitens die Visualisierung von Messdaten für Letztverbraucher und Service-Techniker sowie drittens die Umsetzung von Mehrwertdiensten wie Smart-Grid-Funktionalitäten. Solche Smart-Grid-Funktionalitäten erfordern meistens die Weiterleitung von Steuer- und Schaltanweisungen an steuerbare Systeme, die in der SMGW-Infrastruktur Controllable Local System (CLS) genannt sind [19]. Das BSI definiert im Zusammenhang der Mehrwertdienste fünf weitere Einsatzgebiete: Smart Metering, Smart Grid, Smart Mobility, Smart Home und Smart Services [18].

Zur Umsetzung der Funktionen arbeitet das SMGW als Mediator zwischen drei definierten Netzwerken. Die Abbildung 1 zeigt die Einsatzumgebung des SMGWs. Nachfolgend wird auf die drei Netzbereiche eingegangen.

**Home Area Network (Heimnetz) (HAN):** Das HAN ist das Kommunikationsnetz des Letztverbrauchers. Das SMGW kommuniziert ggf. mit einem oder mehreren CLS und stellt Daten für den Letztverbraucher bzw. den Service-Techniker bereit.

**Lokales Metrologisches Netz (LMN):** Im LMN kommuniziert das SMGW mit angebundenen modernen Messeinrichtungen. Die Zählerwerte werden im LMN an das SMGW versendet.

**Wide Area Network (Weitverkehrsnetz) (WAN):** Das SMGW kommuniziert im WAN mit autorisierten EMTs und einem Smart Meter Gateway Administrator (GWA).

Hinzuzufügen ist, dass das SMGW intern ebenfalls mit dem Sicherheitsmodul kommuniziert, welches kryptografische Operationen ausführt sowie einen sicheren Schlüssel- und Zertifikatsspeicher darstellt.

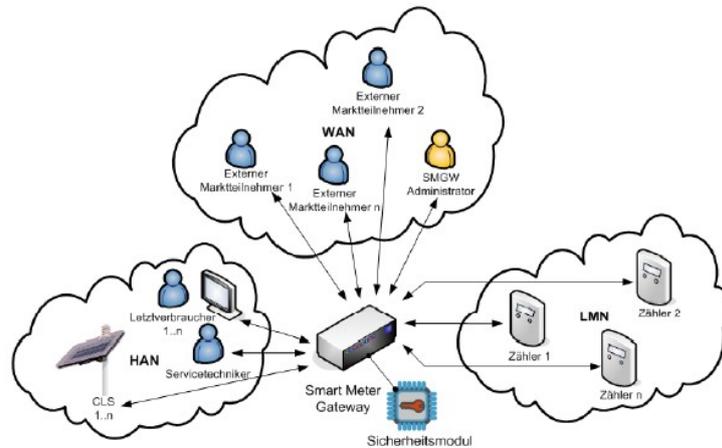


Abbildung 1: Die Einsatzumgebung des SMGWs, entnommen aus [19]

Weiterführend sollen die bereits genannten Rollen der SMGW-Infrastruktur erklärt werden. Nachfolgend wird auf das Thema Regulatorik eingegangen, um dann gezielter auf die Themen Mehrwertdienste und aktiver EMT einzugehen, die als wichtige Basis für die Integration von Flexibilität in die SMGW-Infrastruktur dienen.

### 3.1 Berechtigte Rollen im Umgang mit dem SMGW

Es wurden bereits einige der definierten Rollen im Umgang mit SMGWs genannt. Nachfolgend werden nochmals alle der in [19] eingeführten berechtigten Rollen am SMGW eingeführt und erklärt.

#### Smart Meter Gateway Administrator (GWA)

Dem GWA kommt in der SMGW-Infrastruktur eine gesonderte Rolle als vertrauenswürdiger Kommunikationspartner des SMGW zu. Nur der GWA ist berechtigt, das SMGW zu konfigurieren und administrative Funktionen wie ein Software-Update durchzuführen.

#### Externer Marktteilnehmer (EMT)

Alle weiteren Kommunikationspartner des SMGWs im WAN, die nicht der GWA sind, kommunizieren in der Rolle des externen Marktteilnehmer mit dem SMGW. Es wird zwischen aktiven und passiven EMT unterschieden. Der passive EMT empfängt lediglich Messwerte, während der aktive EMT neben dem Messwertempfang

ebenfalls dazu berechtigt ist über das SMGW mit Endgeräten im HAN zu kommunizieren.

### **Letztverbraucher**

Der Letztverbraucher ist Verbraucher bzw. Erzeuger der gemessenen elektrischen Energie bzw. Stoffmenge, die von der modernen Messeinrichtung gemessen wird. Er ist der Eigentümer der Messwerte und kann diese an einer vorgesehenen Schnittstelle am SMGW abrufen.

**Service-Techniker** Der Service-Techniker hat über die HAN-Schnittstelle lokalen Zugriff auf das SMGW, um Diagnosen und Wartungen durchzuführen.

Die berechtigten Rollen im Umgang mit iMSys sind nicht zu verwechseln mit den definierten Marktrollen der Energiewirtschaft. Die wichtigsten sind mit dem Verteilnetzbetreiber (VNB), Übertragungsnetzbetreiber (ÜNB), Lieferant (LF) und Messstellenbetreiber (MSB) genannt. Verteilnetzbetreiber sind in der Regel zugleich Messstellenbetreiber. Der Messstellenbetreiber ist wiederum in der Regel der zuständige GWA, während die anderen Marktrollen in der Rolle eines EMT mit dem SMGW kommunizieren.

## **3.2 Regulierung des Messwesens in Deutschland**

In diesem Kapitel werden die Regularien und Spezifikationen dargestellt, die die Smart Meter Infrastruktur in Deutschland wesentlich beeinflussen. Im ersten Schritt werden die gesetzlichen Grundlagen samt der Umwelt aus politischen und wirtschaftlichen Institutionen skizziert, die an der Regulation beteiligt sind.

Das europäische Parlament und der deutsche Bundestag sind als Gesetzgebungsorgane in Europa bzw. Deutschland zuständig für die Gestaltung und Verabschiedung der Gesetze. Im Jahr 2009 wurde vom europäischen Parlament die EU Richtlinie 2009/72 EC beschlossen. Die Richtlinie enthält vielfältige Änderungen zum Elektrizitätsbinnenmarkt in Europa und betrifft so auch den Elektrizitätsmarkt Deutschlands. Die EU-Richtlinie muss ins nationale Gesetz der Mitgliedstaaten umgewandelt werden. In der Richtlinie wird zum Ausbau der Energieinfrastruktur die Einführung intelligenter Messsysteme bzw. Netze empfohlen. Die Einführung kann einer vorherigen wirtschaftlichen Betrachtung unterliegen, anhand derer eine Bewertung der langfristigen Kosten und Vorteile für den Markt erfolgt. Ist diese Bewertung im Sinne einer Einführung, so müssen mindestens 80% der Verbraucher bis 2020 mit intelligenten Messsystemen ausgestattet sein. In Deutschland wurde für die Bewertung Ernst & Young beauftragt. Die 2013 veröffentlichte Studie stellt fest, dass bei einer flächendeckende Einführung einer Smart Meter Infrastruktur in Deutschland aus volkswirtschaftlicher Sicht die Vorteile überwiegen [31]. In der Folge wurde im Jahr 2016 vom deutschen Bundestag das Gesetz zur Digitalisierung der Ener-

giewende (GDEW) verabschiedet, welches auch die Maßnahmen zur Energieinfrastruktur aus der EU Richtlinien ins nationale Recht umsetzt. Das GDEW beschließt verschiedene Änderungen bereits existierender Gesetze, beinhaltet im Kern aber die Einführung des neuen MsbG. Das MsbG regelt den Betrieb von Messstellen. Es definiert intelligente Messsysteme und Marktrollen im Messstellenbetrieb und regelt auch Sicherheitsanforderungen hinsichtlich von Privatsphäre und Sicherheit der Kommunikation. Des Weiteren werden Mindestanforderungen an den Funktionsumfang und Kostenrahmen des Messstellenbetriebs festgesetzt.

Es soll detailliert auf die wichtigsten Punkte des MsbG als gesetzliche Grundlage, welche weitreichende Anforderungen an die SMGW Infrastruktur stellt, eingegangen werden. Nach allgemeinen Begriffsbestimmungen definiert das MsbG in Teil 2 des Gesetzes die Marktrollen des Messstellenbetreibers samt zuständigen Aufgaben, die im wesentlichen den Einbau, Betrieb und Wartung der Messstelle sowie Messeinrichtungen beinhaltet. Generell hat der sogenannte grundzuständige Messstellenbetreiber die Pflicht die Aufgaben zu erfüllen [2, §3]. Grundzuständige Messstellenbetreiber sind in der Regel die jeweiligen Netzbetreiber [2, §4]. Der Netzbetreiber kann die Grundzuständigkeit aber auch an ein Drittunternehmen abgeben [2, §41]. Erforderlich ist für das Drittunternehmen eine Genehmigung der Bundesnetzagentur als Regulierungsbehörde sowie eine Zertifizierung als GWA durch eine berechtigte Zertifizierungsstelle [2, §41]. Der Anschlussnutzer hat darüber hinaus die Wahl anstatt seines grundzuständigen Messbetreibers einen sogenannten wettbewerblichen Messstellenbetreiber für den Messstellenbetrieb zu beauftragen.

Weiter wird das intelligente Messsystem definiert. Messstellen dürfen nur mit Messsystemen ausgestattet werden, die die in [2, §21] gelisteten Anforderungen erfüllen sowie nach [2, §22] die Schutzprofile und technischen Richtlinien des BSI erfüllen. Das MsbG legitimiert die weitere funktionelle Ausgestaltung der SMGWs in den technischen Richtlinien, auf die im weiteren Verlauf umfassend eingegangen wird. Die Grundfunktionen eines SMGWs jedoch werden schon im MsbG definiert. So muss nach [2, §21] ein iMSys Messwerte erheben, verarbeiten und übersenden können. Zusätzlich muss es die Messwerte auch für den Letztverbraucher visualisieren können. Zur Kommunikation der Messwerte muss eine sichere Verbindung genutzt werden. Des Weiteren muss das iMSys offen für weitere Anwendungen und Dienste sein, welche gegebenenfalls priorisierbar anwendbar sein müssen. Ebenfalls wird die Mehrspartenfähigkeit für Gas spezifiziert [2, §20].

Für den Einbau der iMSys ist der jeweiligen Messstellenbetreiber zuständig. Der Einbau ist verpflichtend für Messstellen von Letztverbrauchern, die einen Jahresverbrauch von über 6000 kWh haben oder bei denen eine Vereinbarung nach §14a des Energiewirtschaftsgesetz (EnWG) [3] besteht. Auch Anlagenbetreiber mit installierter Leistung über 7 kWp müssen verpflichtend ausgestattet werden. Optional ist die Ausstattung einer Messstelle mit iMSys bei Letztverbrauchern mit Verbrauch unter 6000 kWh sowie Anlagenbetreiber von Anlagen mit installierter Leistung zwischen 1 bis einschließlich 7

kWp. Der Rollout der iMSys ist jedoch nur dann verpflichtend, wenn drei zertifizierte iMSys am Markt verfügbar sind sowie diese wirtschaftlich vertretbar eingebaut werden können. Wirtschaftlich vertretbar heißt, dass die im MsbG definierten Preisobergrenzen je Anschlussnutzergruppe eingehalten werden [2, §31]. Die Preisobergrenzen sind weiter zeitlich gebunden. Wettbewerbliche Messstellenbetreiber sind dabei nicht an die Preisobergrenzen gebunden. Abbildung 2 zeigt den Rolloutplan samt Preise für die jeweiligen Kundengruppen. Erst wenn eine Marktanalyse des BSI die technische und wirtschaftliche Vertretbarkeit bescheinigt, kann und muss der Rollout beginnen. Da es bei der Zertifizierung der SMGW zu Verzögerung kommt, kann die technische Vertretbarkeit noch nicht erfüllt werden. Aktuell sind zwei von drei benötigten SMGW zertifiziert.

Teil 3 des MsbG regelt die Datenkommunikation. Es definiert berechnete Marktrollen

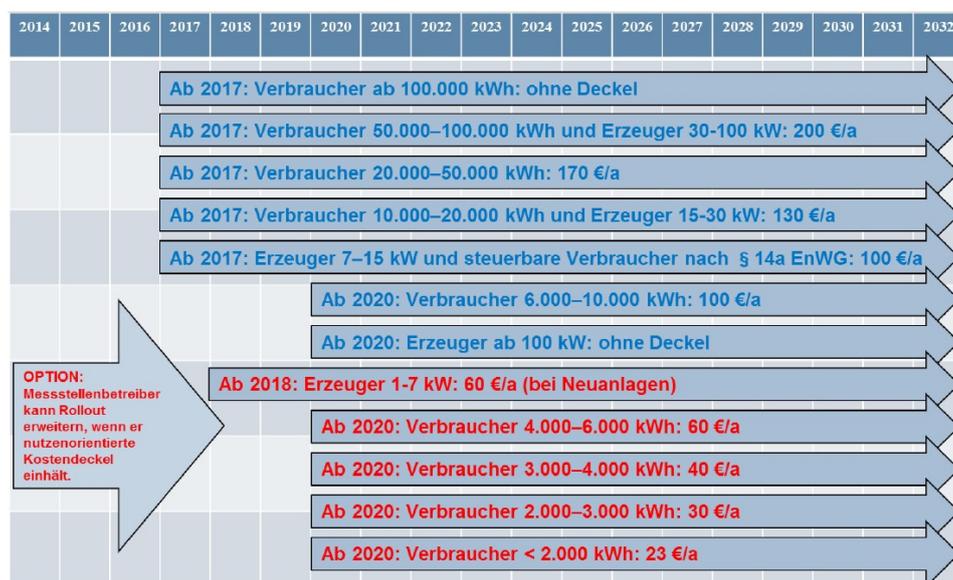


Abbildung 2: Rolloutpfad nach Pflichteinbaukriterium und Preisobergrenzen, entnommen aus [17]

für den Datenempfang, die Rolle des GWAs sowie Rechte und Pflichten in der Nutzung der Messwerte je nach Marktrolle. So werden je Marktrolle rollenabhängige Funktionen definiert, für dessen Zweck Messwerte verwendet werden dürfen. Solange der Kunde keine rechtlich geltende Einwilligung gibt, beschränkt dies die Nutzung der Messwerte [2, §66 - 70]. Weiter wird die dezentrale, sternförmige Marktkommunikation als Zielmodell benannt, welcher der Regulierung der Bundesnetzagentur obliegt.

Im vierten und letztem Teil werden der Bundesnetzagentur weitere Verordnungsermächtigungen und Aufsichtspflichten erteilt, welche ebenfalls einen Bericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) zum 30. Dezember 2023 beinhaltet. Auf Grundlage diesen Berichts soll eine Evaluierung und etwaige Rechtsanpassung erfolgen [2,

§77].

Das MsbG regelt bereits sehr weitreichend die Funktionen, Berechtigungen und Pflichten im Messstellenbetrieb und insbesondere von iMSys. Auch Sicherheitsanforderungen zum Schutz von personenbezogenen Daten werden definiert. Weiter werden Institutionen zur Regulierung befähigt, auf die im Nachfolgenden eingegangen werden soll. Dem BSI wird die Pflicht zur Ausarbeitung der Schutzprofile und technischen Richtlinien übertragen, auf welche im Kapitel 3.2.1 eingegangen wird. Die Bundesnetzagentur ist als Regulierungsbehörde für Netzwettbewerb weitreichend befähigt. Weiter werden an mehreren Stellen des MsbG Referenzen zum Mess- und Eichrecht gegeben, wofür in Deutschland die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) verantwortlich ist. Neben dem gesetzlichen Rahmen soll ebenfalls auf die Interessenvertretung durch die Industrie und die Bestrebungen zur Normierung zwecks Interoperabilität eingegangen werden, wofür das Forum Netztechnik/Netzbetrieb (FNN) im Verein deutscher Elektrotechniker (VDE) maßgeblich beteiligt ist. Neben den genannten Institutionen ist auf europäischer Ebene das European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E) als Verbund europäischer Übertragungsnetzbetreiber als gesetzlichen Regelssetzer zu nennen. Die Netzwerkcodes des ENTSO-E haben zum Ziel den europäischen Energiemarkt zu harmonisieren, integrieren und effizienter zu gestalten. Auf die Netzwerkcodes soll nachrangig eingegangen werden, zur Vollständigkeit sind sie dennoch genannt.

### 3.2.1 Schutzprofile und technische Richtlinien

Die technische Richtlinie TR03109 wird vom BSI erstellt. Ausgehend aus dem Messstellenbetriebsgesetz definiert sie die Anforderungen an Funktionalität, Sicherheit und Interoperabilität in der SMGW-Infrastruktur. Die Richtlinien umfassen insgesamt sechs Themenbereiche. Teil 1 beschreibt die Anforderungen an Funktionalität, Interoperabilität und Sicherheit. Zudem gibt es ein gesondertes Dokument zur Testspezifikation [19]. Teil 2 beschreibt die Funktionalität des Sicherheitsmoduls, auch für diesen Teil wird gesondert ein Dokument zur Testspezifikation erstellt, welches jedoch noch in der Vorbereitung ist [10]. Teil 3 verweist auf die technische Richtlinie TR03116, welche kryptographische Vorgaben, die die Einzelkomponenten in der SMGW-Infrastruktur nutzen müssen, beschreibt [11]. Teil 4 beschreibt die Smart Meter Public Key Infrastruktur (SM-PKI) [15]. Part 5 ist noch in der Erarbeitung und wird Anforderungen an einen Kommunikationsadapter definieren, um auch Zähler, die nicht kompatibel für den Betrieb mit einem SMGW sind, in die Infrastruktur eingegliedert zu können. Teil 6 beschreibt die Rolle des GWA [13]. Da der erste Teil von besonderer Bedeutung für die Nutzung von Flexibilität mittels SMGWs ist, soll auf dieses Dokument genauer eingegangen werden.

Die in den Richtlinien beschriebene Funktionalität wird gegliedert in sogenannte Anwendungsfälle je Netzbereich. Zur Erbringung der Anwendung werden weiter Kommunikati-

onsszenarien spezifiziert, wobei jedes Kommunikationsszenario spezielle geforderte Eigenschaften und Anforderungen definiert. Ein WAN-Anwendungsfall ist zum Beispiel „Administration und Konfiguration“, welcher unter Nutzung des WAN-Kommunikationsszenario „Management“ ausgeführt wird. Besonders herausgestellt werden sollen hier die Tarifierungsfälle, die wesentlich die Messwerterfassung beschreiben. Tarifierungsfälle werden syntaktisch intern genutzt und stellen ein Regelwerk dar, welches die Messgröße, den Messzeitpunkt und gegebenenfalls das Messintervall, das Versandintervall sowie berechnete Empfänger spezifiziert. Insgesamt sind die folgenden 13 Tarifierungsfälle formuliert. Um eine Anwendung über ein Kommunikationsszenario auszuführen,

Anwendungsfall	Auslöser im Regelwerk
TAF1: Datensparsame Tarife	Internes Ereignis: Zeitpunkt
TAF7: Zählerstandgangmessung	
TAF8: Erfassung von Extremwerten	
TAF2: Zeitvariable Tarife	
TAF3: Lastvariable Tarife	Internes Ereignis: Grenzwert
TAF4: Verbrauchsvariable Tarife	
TAF12: Prepaid Tarif (informativ)	
TAF5: Ereignisvariable Tarife	Internes oder externes Ereignis
TAF10: Abruf von Netzzustandsdaten	
TAF11: Steuerung von unterbrechbaren Verbrauchseinrichtungen und Erzeugungsanlagen (informativ)	Externes Ereignis
TAF9: Abruf der Ist-Einspeisung	
TAF6: Ablesung von Messwerten im Bedarfsfall	

Abbildung 3: Übersicht der Tarifierungsfälle (TAF), entnommen aus [17]

muss das SMGW vom GWA mittels Konfigurationsprofilen parametrisiert werden. WAN- bzw. HAN-Kommunikationsprofile legen die Parameter für die Kommunikation mit dem SMGW in den entsprechenden Netzbereichen fest. Zählerprofile beschreiben die Einbindung von modernen Messeinrichtungen samt Messwerterfassung. Die Weiterleitung von Messwerten wird in Auswertungsprofilen spezifiziert, die die beschriebenen Tarifierungsfälle umsetzen. Proxy-Profile verknüpfen WAN- und HAN-Kommunikationsprofile, um einen transparenten Kommunikationskanal zwischen HAN und WAN zu ermöglichen. Neben den technischen Anforderungen sind die Anforderungen an die Sicherheit von Bedeutung. So beschreibt Teil 4 der TR03109 die SM-PKI. [15] definiert die grundlegende Architektur, während [14] die SM-PKI detailliert ausgestaltet. Den Vertrauensanker der SM-PKI stellt die Root-CA dar. Das BSI ist Inhaber der Wurzelzertifizierungsstelle, der Betrieb wird jedoch vom Dienstleister T-Systems durchgeführt [7]. Zur Endnutzerzertifizierung dienen die Organisationseinheiten der Sub-CAs, die von der Root-CA autorisiert sind. Die Root-CA stellt somit die Zertifikate der Sub-CAs aus, die Sub-CAs wiederum die Endnutzerzertifikate. Die Endnutzer EMT und GWA benötigen jeweils ein Zertifikatstripel bestehend aus TLS-Zertifikat, Verschlüsselungszertifikat und Signaturzertifikat. Die eigentliche Public-Key-Infrastruktur, die die TR03109-4 umsetzt, wird in der Certificate Policy der Smart Metering PKI beschrieben [14]. In dieser werden unter anderem

betriebliche, organisatorische, physikalische und technische Sicherheitsanforderungen an die Teilnahme innerhalb der PKI beschrieben.

Zusätzlich zu den technischen Richtlinien werden für die Sicherheitsvorgaben sogenannte Schutzprofile erstellt. Das BSI-CC-PP-0073 beschreibt die Sicherheitsarchitektur für das SMGW, während BSI-CC-PP-0077 gesondert die sicherheitstechnischen Anforderungen an das Sicherheitsmodul vorgibt [8, 9].

Am Markt angebotene SMGWs müssen sowohl die technischen Richtlinien als die Schutzprofile erfüllen. Während für den funktionellen Umfang der TR03109 eine Selbsterklärung reicht, brauchen Hersteller für ihr Produkt eine Zertifizierung zur Erfüllung der Schutzprofile vom BSI. Aufgrund der hohen Anforderung an die Datensicherheit bei gleichzeitig umfassender Funktionalität verzögert sich der Zertifizierungsprozess der SMGWs. In Folge hat das BSI den zu implementierenden funktionalen Umfang reduziert und zur Wahrung der Interoperabilität ein Geräteprofil „SMGW\_G1\_Basis“ erstellt, welches alle SMGWs erfüllen müssen. In diesem Profil wird der funktionelle Umfang der TR03109 reduziert. So müssen noch vier Tarifierungsfälle umgesetzt werden: 1, 2, 6 und 7. Das vorgestellte Geräteprofil definiert den Funktionsumfang der SMGWs der 1. Generation. In Zukunft sollen weitere Geräteprofile definiert werden, die der funktionellen Weiterentwicklung der SMGWs gerecht wird. Es ist ebenfalls angedacht Geräteprofile zu entwickeln, die auf verschiedene Einsatzgebiete zugeschnitten werden [20].

Das SMGW dient als Kommunikationsplattform nicht nur dem Messdatenmanagement. Im Sinne der Digitalisierung der Energiewende soll es weitere Einsatzbereiche in die SMGW-Architektur mit einbeziehen. Das BSI veröffentlichte dazu seine Standardisierungsstrategie für die sektorübergreifende Digitalisierung im Sinne des GDEW. Diese Strategie enthält eine Roadmap zur weiteren regulatorischen Tätigkeit des BSI [18].

### 3.2.2 Eich- und Messwesen

Als nationales Institut für Metrologie ist die PTB für jegliche messtechnische Infrastruktur zuständig, womit ebenfalls die SMGW-Infrastruktur und besonders die moderne Messeinrichtung in das Aufgabengebiet der PTB fällt. Die gesetzliche Grundlage für die PTB ist das Mess- und Eichgesetz (MessEG). Die PTB hat im Jahr 2015 ausgehend der TR03109 einen Anforderungskatalog [48] veröffentlicht, womit das technischen Regelwerk um eichrechtliche Anforderungen erweitert werden. Das Dokument spezifiziert die Datenakquise (Messwerterfassung), die Auswertung (Messwertverarbeitung und Erzeugung neuer Messwerte), Veranschaulichung sowie die Speicherung der Messwerte. Eine der Anforderungen, die hier herausgestellt werden sollen, ist die Notwendigkeit einer Anzeige, die den Zweck erfüllt, dass der Endkunde seine auf Messwerten beruhende Rechnung in einfacher Weise überprüfen kann [1, §33]. Des Weiteren werden Anforderungen an eine Zeitserverinfrastruktur im Rahmen der SMGW-Infrastruktur gestellt. So darf die interne SMGW-Uhrzeit

nicht mehr als 3% der kleinsten Registrierperiode der aufgespielten Auswertungsprofile abweichen. Zusätzlich ist anzumerken, dass sich das aktuelle Dokument der PTB lediglich auf die Anforderungen der Tarifierungsfälle 1, 2, 6 und 7 bezieht. Für alle weiteren wird die PTB-A 50.8 im Einklang mit dem BSI überarbeitet. Jeder SMGW-Hersteller muss für sein Produkt eine Baumusterprüfbescheinigung der PTB vorweisen, die die Einhaltung der eichrechtlichen Anforderungen bescheinigt.

### 3.2.3 Marktkommunikation

Die Bundesnetzagentur (BNetzA) ist die oberste Regulierungsbehörde für den Wettbewerb in Netzmärkten und ist somit ebenfalls im Bereich Energie für die Versorgung mit Elektrizität und Gas regulatorisch verantwortlich. Maßgeblich für den Betrieb des SMGW sind die von der BNetzA verantworteten Bereiche der Regelung der Geschäfts-, Markt- und Wechselprozesse, aber auch allgemeine Anforderungen an den Messstellenbetrieb sowie die Marktkommunikation der Messdaten. Letztere hat durch mehrmalige Novellierung und hohen funktionellen Anspruch an das SMGW im Zielmodell eine bedeutende Rolle in der SMGW-Kommunikationsinfrastruktur. Das Zielmodell der Marktkommunikation sieht vor, dass alle erhobenen Messwerte dezentral beim Kunden vom intelligenten Messsystem gespeichert werden und nur von diesem sternförmig verteilt werden [2, §60]. Bereits das MsbG räumt der BNetzA die Möglichkeit ein, ein Interimsmodell bis zum 31.12.2019 zu formulieren, da die dezentrale Datenverteilung eine grundlegende Änderung der Marktprozesse darstellt. In diesem Interimsmodell ist weiterhin der Verteilnetzbetreiber für die Datenplausibilisierung und -verteilung zuständig [6]. Mit den eingeführten G1-Geräteprofilen (1. Generation) können die technischen Anforderungen zur Messwertaufbereitung hinsichtlich der Plausibilisierung und Ersatzwertbildung nicht erfüllt werden. Da auch bis zum 31.12.2019 keine intelligenten Messsysteme verfügbar sein werden, die den technischen Anforderungen genügen, wurde von der BNetzA ein neues Marktkommunikationsmodell erarbeitet. Die sogenannte Marktkommunikation 2020 tritt damit am 01.12.2019 in Kraft. Die Marktkommunikation 2020 sieht vor, dass die Marktrolle Messstellenbetreiber die Messwertaufbereitung sowie -verteilung vornimmt. Besonderheit ist, dass die Marktkommunikation zentral vom Messstellenbetreiber erfolgt und dies unabhängig davon, ob der Messwerte aus einer konventionellen Messeinrichtung oder aus einer modernen Messeinrichtung mit oder ohne SMGW Anbindung stammt. Es ist nach Marktkommunikation somit vorgesehen, dass die Messwerte der Messeinrichtung ausschließlich vom SMGW an den Messstellenbetreiber versendet werden, der diese dann verteilt. Weiter ist die Marktkommunikation 2020 nur für die Sparte Strom vorgesehen, was eine Entkopplung der Sparten Strom und Gas in der Handhabung der Kommunikation der Messdaten bedeutet. Die Aggregation von Einzelwerten zu Bilanzkreissummen wird für Marktlokationen mit intelligenten Messsystemen vom zuständigen ÜNB durchgeführt [5].

### 3.2.4 Interoperabilität

Neben den gesetzlich einzuhaltenden Vorgaben des BSI beschäftigt sich das FNN im Bereich Stromnetze mit technischer Regelsetzung im Sinne von Industrienormen. Im FNN sind Unternehmen unterschiedlicher Geschäftsbereiche vertreten. Gemeinsam entwickeln sie industrieweite Lösungen mit dem Schwerpunkt der Interoperabilität, Planungssicherheit für Unternehmen und effizienten Umsetzung politischer Ziele. Im Themenfeld Smart Metering erstellt das FNN Lastenhefte, Testfallspezifikationen und FNN-Hinweise, die die gesetzlichen Anforderungen der technischen Richtlinien TR03109 sowie der Schutzprofile berücksichtigen und um praktische Normen z.B. in der Ausgestaltung von Produktmaße, Protokollspezifizierungen oder Prozessdefinitionen erweitern. Im Nachgang soll auf eine Auswahl eingegangen werden.

Im „Lastenheft Basiszähler - funktionale Merkmale“ wird der Basiszähler definiert. Der Basiszähler ist die FNN-regelkonforme Ausgestaltung einer modernen Messeinrichtung. Unter anderem wird in dieser Ausgestaltung die Umsetzung eines Displays samt INFO-Schnittstelle für den Endkunden charakterisiert. Der Endkunde kann per Lichtsignal mittels einer Taschenlampe den Basiszähler bedienen, um so die Zählerstände vom Display abzulesen [34]. Des Weiteren definiert das „Lastenheft Steuerbox - Funktionale und Konstruktive Merkmale“ eine Umsetzung eines standardisierten Steuerungssystem, welches die SMGW-Kommunikationsplattform nutzt [35]. Ebenso setzt sich das FNN mit der Koordinierung der Steuerungsfunktion auf Prozessebene auseinander [36, 33]. Damit ist das FNN maßgeblich an der Ausgestaltung der Steuerungsfunktion auf Niederspannungsebene beteiligt. Das Thema Steuern als Smart Grid Funktion wird ausführlich im Kapitel 3.3 betrachtet, wo ebenfalls genauer auf die Beiträge des FNN eingegangen wird.

## 3.3 Mehrwertdienste

Intelligente Messsysteme sollen nicht nur der Digitalisierung des Messdatenmanagement dienen. Das GDEW schafft einen Rechtsrahmen mit dem Ziel ein intelligentes Energienetz in Deutschland zu erschaffen. Hierzu gehört weit mehr als eine isolierte spartenweise Digitalisierung von Marktprozessen. Vielmehr sind im MsbG erweiterte Anwendungsbereiche verankert, die das SMGW zur spartenübergreifenden Kommunikationsplattform machen [28]. So müssen SMGWs „eine gesicherte Anbindung von Erzeugungsanlagen, Anzeigeeinheiten und weitere lokalen Systemen ermöglichen“ [2, §21]. Weiterhin muss das SMGW „offen für weitere Anwendungen und Dienste sein“ [2, §21]. Auch um diesem Ziel gerecht zu werden, veröffentlicht das BSI zusammen mit dem BMWi eine Roadmap zur „Fortentwicklung des Smart-Meter-Gateways hin zur umfassenden Kommunikationsplattform für die Energiewende“ [18]. Zur Strukturierung der weiteren Einsatzbereiche abseits des Messdatenmanagements definiert das BSI drei Cluster. Das erste Cluster beinhaltet

das Themenfeld Smart Metering / Sub Metering. Hierzu zählt die Digitalisierung des Messwesens im Allgemeinen, aber auch mögliche neue Produkte wie flexible Stromtarife. Das zweite Cluster umfasst die Themenbereiche Smart Grid und Smart Mobility. Smart Grid ist definiert durch Einspeise-, Last und Energiemanagement. Smart Mobility umfasst sowohl die Ladesäuleninfrastruktur wie auch das Lademanagement. Im dritten und letzten Cluster werden die Themen Smart Home / Smart Building und Smart Services zusammengefasst. Während Smart Home / Smart Building Anwendungsfelder aus der Wohnwirtschaft umfasst, ist Smart Services ein eher offen gefasster Themenbereich für zukünftige Anwendungsgebiete für alle Arten sonstiger Dienstleistungen. In der Arbeit wird sich auf die Betrachtung von Flexibilitätsoptionen in den Bereichen Smart Metering und Smart Grid sowie Smart Mobility beschränkt. Aufgrund der weitläufigen Definition von Flexibilität kann jedoch kein Cluster explizit ausgenommen werden, welches nicht für die Integration von Flexibilität in Frage kommt.

Die funktionelle Ausgestaltung der Mehrwertdienste in der TR03109 wird in der Form des sogenannten transparenten Kanals aufgenommen. Der beschriebene transparente Kanal bildet die technische Möglichkeit zur Nutzung weiterer Dienste abseits des Versenden von Messdaten, die nachfolgend generalisiert als Mehrwertdienste bezeichnet werden. Das SMGW fungiert als Mediator zwischen CLS-Instanz im HAN-Netzbereich sowie aktiven EMT im WAN-Netzbereich. Es bietet dafür die Funktion einen sicheren, bidirektionalen Kommunikationskanal aufzubauen. Den aktiven EMT unterscheidet diese Funktion vom passiven EMT. Der passive EMT empfängt nur Messdaten und darf nicht über den transparenten Kanal kommunizieren. Die Anforderungen an den aktiven EMT sind im Kapitel 3.3.2 untersucht. Der Aufbau eines transparenten Kanals entspricht dem HAN-Anwendungsfall 3 „transparenter Kommunikationskanal zwischen CLS und EMT“ [19]. Dieser Anwendungsfall wird durch die drei HAN-Kommunikationsszenario (HKS) 3, 4 und 5 umgesetzt. Die Szenarien unterscheiden sich jeweils darin, wer den transparenten Kanal initiiert. Im HKS 3 wird der Kanal durch das CLS initiiert. Im HKS4 wird der Kanal durch den EMT initiiert. Dadurch, dass nur der GWA mit dem SMGW außerhalb des transparenten Kanals kommuniziert, muss der EMT den Kanal effektiv über den GWA initiieren, welcher die Anfrage dann an das SMGW weiterleitet. Im HKS5 initiiert das SMGW eventbasiert den Aufbau des Kanals.

Zur Umsetzung des transparenten Kanals auf dem SMGW wird je für CLS und aktiven EMT ein Kommunikationsprofil benötigt. Das Kommunikationsprofil besteht aus notwendigen Parametern für die Kommunikation: IP-Adresse und Port, Kommunikationsszenario, physische Schnittstelle des SMGWs, Zertifikate des Kommunikationspartners und Zeitangaben wie maximale Dauer der Verbindung. Hierzu ist anzufügen, dass die maximale Verbindung nicht länger als 48 Stunden dauern darf, ansonsten muss das SMGW das Kommunikationsprofil ablehnen. Das heißt mindestens jeden zweiten Tag muss der transparente Kanal erneut aufgebaut werden. Weiter braucht es für alle der

HKS 3-5 ein Proxy-Kommunikationsprofil (Proxy-Profil), welches auf die HAN- und WAN-Kommunikationsprofile referenziert und ggf. je nach Szenario weitere Informationen spezifiziert. Ein transparenter Kanal darf nur zu den im Proxy-Profil referenzierten, im Kommunikationsprofilen angegebenen Endpunkten aufgebaut werden.

### HAN-Kommunikationsszenario 3

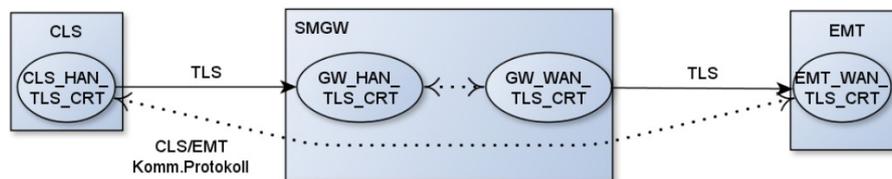


Abbildung 4: Kommunikation im HKS3, entnommen aus [17]

Im HKS3 initiiert die CLS-Instanz den transparenten Kanal. Besonders am HKS3 ist die Nutzung des SOCKSv5 Protokolls. Das Protokoll realisiert eine Proxyserver-Anwendung, in welcher die CLS-Instanz als Client beim SMGW eine Verbindung zum aktiven EMT anfragt. Zur Authentifizierung wird das „TLS for SOCKSv5“-Protokoll genutzt. Die komplette TLS-Kommunikation wird somit in SOCKSv5-Nachrichten eingebettet. Auf der WAN-seite fungiert das SMGW als TLS-Client, der aktive EMT als TLS-Server. Für den Verbindungsaufbau notwendige Vorbedingungen sind, dass CLS und aktiver EMT gültige TLS-Zertifikate besitzen, die den entsprechenden Anforderungen an die SM-PKI und technischen Richtlinien genügen. Weiter muss das SMGW seinerseits über ein HAN und ein WAN-TLS-Zertifikat mit zugehörigem Schlüsselmaterial verfügen. Zusätzlich muss das SMGW mittels Kommunikations- und Proxyprofil parametrisiert werden. Nur wenn die Parameter der Verbindungsanfrage der CLS-Instanz mit einem Proxy-Profil übereinstimmen, wird der Kanal aufgebaut.

## HAN-Kommunikationszenario 4

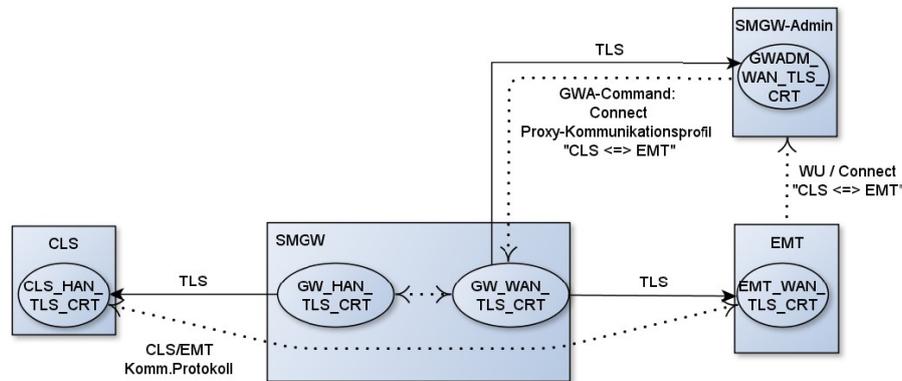


Abbildung 5: Kommunikation im HKS4, entnommen aus [17]

Im HKS4 initiiert der aktive EMT die Verbindung. Dies kann jedoch nur über den GWA erfolgen. Die Schnittstelle zwischen aktiven EMT und GWA liegt dabei außerhalb der Beschreibung der TR. Über eine zu definierende Schnittstelle signalisiert der aktive EMT dem GWA den Wunsch zum Verbindungsaufbau. Der GWA fragt über den Wake-Up-Service, falls nicht schon existierend, einen Managmant-Kanal (TLS-Verbindung) zum SMGW an. Da nur der GWA dazu berechtigt ist, erklärt dies den nötigen Zwischenschritt. Ist der TLS-Management-Kanal etabliert, schickt der GWA den Befehl zum Aufbau des transparenten Kanals. In dem Befehl wird das Proxy-Profil referenziert, welches die Verbindungsparameter zum aktiven EMT und CLS beinhaltet. Das SMGW fungiert im HAN als auch im WAN als TLS-Client und initiiert eine TLS-Verbindung. CLS sowie aktiver EMT müssen einen TLS-Server bereitstellen. Die notwendigen Vorbedingungen sind wiederum, dass sowohl im SMGW (HAN und WAN), im CLS und beim aktiven EMT die notwendigen TLS-Zertifikate samt Schlüsselmaterial vorliegen. Auch muss das SMGW mit gültigem Kommunikationsprofil und Proxy-Profil parametrisiert sein.

## HAN-Kommunikationszenario 5

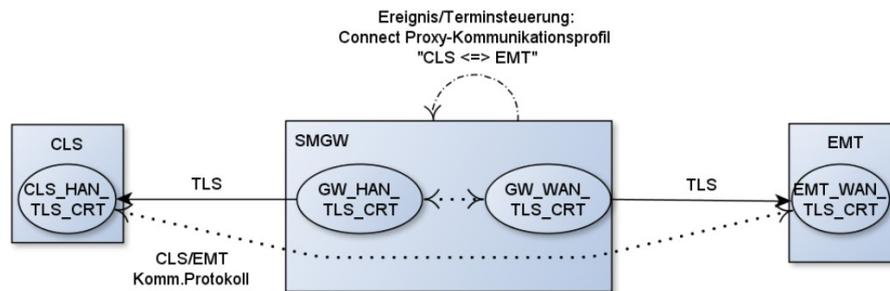


Abbildung 6: Kommunikation im HKS5, entnommen aus [17]

Im HKS5 initiiert das SMGW den Kanalaufbau. Der Aufbau ist dabei ereignis- bzw. termingesteuert. Trifft ein im Proxy-Profil hinterlegtes Event (z.B. ein Zeitpunkt) ein, baut das SMGW analog zum HKS4 je zwei TLS-Tunnel zum in den Kommunikationsprofilen hinterlegten CLS und aktivem EMT auf. Der Verbindungsaufbau zur CLS-Instanz und zum aktiven EMT läuft dabei analog zum HKS4 ab.

Zwar definieren die TR03109 den Aufbau und die berechtigten Rollen genau, die Nutzung von Mehrwertdiensten ist bisher jedoch nicht weiter spezifiziert. Das heißt, dass außerhalb der Nutzung einer verschlüsselten TLS-Verbindung die darunterliegenden Anwendungsprotokolle frei wählbar sind. Ob der BSI im Sinne der Interoperabilität in Zukunft für weitere Anwendungsfälle Prozesse vorschreibt, dass z.B. Verbraucher nach §14a EnWG zukünftig mit einem speziellen Protokoll gesteuert werden müssen, ist unklar. Die Industrie, mit dem für die SMGW-Infrastruktur wichtigsten Organ zur Interessenvertretung, dem FNN, versucht bereits diesen Punkt aufzugreifen und aktuell bestehende Konzepte wie die Rundsteuertechnik von Erzeugungsanlagen auf die SMGW-Infrastruktur zu übertragen. Das FNN hat dazu zwei FNN-Hinweise und ein FNN-Konzept veröffentlicht, in dem vor allem Prozesse und Anforderungen beschrieben werden. Im FNN-Hinweis „Netzbetriebliche Anforderungen an die Steuerung von Kundenanlagen im Verteilnetz“

wird eine Liste an priorisierten Anforderungen definiert, die aus Sicht der Netzbetreiber bei der Anlagensteuerung zu erfüllen sind. Weiter werden im „FNN-Konzept zum koordinierten Steuerzugriff in der Niederspannung über das intelligente Messsystem“ sowie im FNN-Hinweis „KOF - Koordinierungsfunktion auf Betriebsebene“ eine mögliche Prozesslandschaft definiert, die beschreibt, wie Steuerungshandlungen koordiniert ausgeführt werden können [36, 33]. Dafür ist nach FNN eine weitere Rolle zu definieren - die der Koordinierungsfunktion. Die Koordinierungsfunktion stellt eine gemeinsame Verwendung der CLS-Schnittstelle des iMSys sicher und regelt die Belange zwischen Netz und Markt, sodass Marktanwendungsfälle im Einklang mit dem sicheren Betrieb des Netzes sind. Die Koordinierungsfunktion ist somit auch die einzige Instanz nach FNN-Konzept, die Zugriff auf steuernde Komponenten im HAN-Netzbereich hat. In der Prozessbeschreibung wird ein zweiter wesentlicher Baustein der FNN-Ausgestaltung der Steuerung im Verteilnetz verankert. Über die Aktivitäten des FNN im Speziellen soll im nachfolgenden Kapitel allgemein die Steuerbox als lokale Steuereinheit im HAN-Netz innerhalb der Smart-Meter-Gateway-Infrastruktur geschrieben werden.

### 3.3.1 lokales Steuerungssystem in der SMGW-Infrastruktur

Im FNN-Lastenheft „Steuerbox - Funktionale und konstruktive Merkmale“ wird mit dem Begriff der Steuerbox ein System beschrieben, was die Schnittstelle des transparenten Kanals als CLS-Einheit nutzt, um Steuerbefehle zu empfangen und diese im HAN-Netzbereich an die eigentlich steuerbare Anlage durch vier bitstabile, potentialfreie Relais bzw. vier elektronische, potentialfreie Halbleiterausgänge weitergibt [35]. Somit liefert das Lastenheft Steuerbox die erste Grundlage für ein standardisiertes Steuerungssystem und fokussiert sich zunächst auf den Anwendungsfall der Ablösung der Rundsteuertechnik. Es ist wichtig herauszustellen, dass diese Ausgestaltung keinen gesetzlichen Rechtsrahmen bildet. Vielmehr geht es um eine Homogenisierung der Umsetzung bestehender Technik (Rundsteuertechnik) in den Bereich der intelligenten Messsysteme. Der Begriff der Steuerbox als Schaltsystem im Kundennetz hat sich jedoch auch über das FNN-Lastenheft hinaus etabliert, sodass bereits mehrere Hersteller eine Steuerbox als Schaltsystem anbieten. Da diese Steuerboxen unterschiedlichen Funktionen und Anwendungen dienen, soll im folgenden eine Terminologie für die Einordnung von Steuerboxen etabliert werden. Eine Steuerbox zeichnet aus, dass das Produkt im HAN-Netz verortet ist und über das SMGW in den WAN-Bereich kommuniziert. Die Steuerbox selber stellt weder Verbrauchs- noch Erzeugungsanlage dar, sondern kommuniziert mit einer oder mehreren solcher Anlagen im HAN-Netzbereich. Im Nachfolgenden soll daher für die vom FNN konzipierte Steuerbox die Terminologie FNN-Steuerbox genutzt werden. Die FNN-Steuerbox ist konform mit dem beschriebenen Lastenheft. Für anders gestaltete Systeme, deren Funktionalität über die FNN-Steuerbox hinaus geht, oder das FNN-Konzept gar nicht berücksichtigt,

wird der Begriff „erweiterte Steuerbox“ genutzt. Die erweiterte Steuerbox zeichnet sich in der Verwendung von gängigen Protokollen im Einsatz von M2M-Kommunikation aus. Beispielhaft wäre das Modbus-Protokoll. Neben der funktionalen Unterscheidung kann weiter die technische Ausgestaltung der „integrierten Steuerbox“ unterschieden werden. Die integrierte Steuerbox ist in das SMGW integriert. Die Systeme der Steuerbox und des SMGWs laufen auf einer Gerätekomponente, wobei die Systeme logisch - und je nach Funktion auch physisch - innerhalb des Gerätes getrennt sind. SMGW-Hersteller erwarten so den Mehraufwand des Einbaus einer dedizierten Steuerbox zu reduzieren. Die letzte Klasse von Systemen zur lokalen Steuerung von CLS-Komponenten wird durch ganzheitliche CLS-Managementsystemen gebildet. Dies sind Managementsysteme die nicht nur eine Steuerbox beinhalten, sondern die Kommunikation gesamtheitlich aus dem WAN-Netz und der Schnittstelle des aktiven EMTs abbilden. Üblicherweise bieten solche Systeme nur noch eine Schnittstelle zum IT-Backend des Flexibilitätsanbieters im WAN, der über das System mit der Steuerbox kommunizieren kann oder auf feste Services, angeboten durch das CLS-Managementsystem, zugreifen kann. Die Begriffe stellen eine nicht trennscharfe Gruppierung dar, um den Markt für Steuerungssysteme innerhalb der SMGW-Infrastruktur zu differenzieren.

#### FNN-Steuerbox

Die FNN-Steuerbox ist durch das FNN-Lastenheft „Steuerbox - Funktionale und konstruktive Merkmale“ beschrieben [35]. Die Steuerbox kommuniziert über den transparenten Kanal mit einem oder mehreren aktiven EMTs im WAN-Netz. Das FNN sieht jedoch vor, dass alle Steuerungsbefehle über die Rolle der Koordinierungsfunktion abgewickelt werden, welche als Art Filter zwischen aktiven EMT und Steuerbox arbeitet. Als Resultat ist die Koordinierungsfunktion im FNN-Konzept der einzige Kommunikationspartner zur Steuerbox, der zentral die Befehle der aktiven EMTs weiterleitet. Die Steuerbox steuert wiederum im HAN-Bereich über 4 Schaltausgänge die entsprechende Erzeugungs- bzw. Verbrauchsanlage. Diese Schaltausgänge können fix kodiert sein (4 Schaltzustände) oder eine binäre Kodierung (16 Schaltzustände) darstellen. Zur Kommunikation zwischen Koordinierungsfunktion und Steuerbox ist die IEC61850-Familie als Protokoll samt Datenmodell spezifiziert. Weitere Protokolle zur Kommunikation werden vom FNN-Lastenheft nicht benannt. In dem Konzept werden ebenfalls verschiedene Parametersätze zur Realisierung der Steuerungsbefehle definiert. Es gibt Systemparameter, welche die Netzwerkschnittellen, Kommunikationsspezifikationen, Stellung der Schaltausgänge und Steuerungsfunktionen umfassen. Auch wird ein Parametersatz für Schaltprogramme definiert. Schaltprogramme dienen der Fahrplansteuerung mit festgelegten Schaltzeitpunkten und sind priorisierbar ausführbar. Neben den Schaltprogramm gibt es

Wischerbefehle bzw. Direktbefehle, welche einen festen Sollwert für begrenzte bzw. unbegrenzte Zeiträume angeben. Allgemein fokussiert sich das FNN damit vor allem auf die Umsetzung des Einspeisemanagement nach EnWG sowie der Ausgestaltung der Steuerung von Verbrauchern nach §14a des EnWG [3]. Die Steuerbox wird für die Kommunikation parametrieren und erhält verschiedene Steuerprogramme bzw. Direktbefehle, die über die Schaltausgänge an die Anlage weitergegeben werden.

#### erweiterte Steuerbox

Die erweiterte Steuerbox bezeichnet sämtliche Steuerboxen, die in ihrer Funktionalität mehr bieten als die FNN-Spezifikation. Dies ist also bereits erreicht, wenn zur Kommunikation mehr als ein Protokoll außerhalb der IEC 61850-Familie eingesetzt wird. Diese Gruppe ist damit jedoch sehr heterogen gestaltet, da in der SMGW-Infrastruktur auch sehr spezifische Einsätze der Steuerboxen denkbar sind. Bei einsetzender Marktdiffusion von Steuerungssystem kann und muss diese Gruppe also weiter unterteilt und konkretisiert werden.

#### integrierte Steuerbox

Charakteristisch für die integrierte Steuerbox ist, dass sie physisch im oder am SMGW untergebracht wird. Da die FNN-Standards auch viele physische Anforderungen stellen, kann die integrierte Steuerbox höchstens hinsichtlich der Kommunikation die FNN-Vorgaben umsetzen. Der Mehrwert besteht darin, dass nur ein Gerät beim Letztverbraucher installiert werden muss und man sich Kosten für die Hardware, als auch für die Installation und Wartung, spart.

#### CLS-Managementsysteme

Das CLS-Managementsystem ist ein ganzheitlicher Ansatz zur lokalen Steuerung innerhalb der SMGW-Infrastruktur. Das Gesamtsystem besteht nicht nur aus lokalem Steuerungssystem, sondern ebenfalls aus einem Head-End-System im WAN-Bereich. Von dem System wird die gesamte Kommunikation mit dem SMGW übernommen, sodass Nutzer sich nicht mit der Regulierung auseinandersetzen müssen.

### 3.3.2 Unternehmen in der Marktrolle des aktiven EMT

Sämtliche Teilnehmer der Kommunikationsinfrastruktur im WAN, die nicht der GWA sind, kommunizieren in der Rolle als EMT mit dem SMGW [19]. Die TR03109 unterscheiden weiter den aktiven und passiven EMT. Als Anbieter von Flexibilität ist die Kommunikation ins HAN erforderlich, sodass solche Anbieter immer in der Rolle des aktiven EMTs agieren. Daher soll in diesem Abschnitt auf die Anforderungen an ein Unternehmen, welches in der Rolle des aktiven EMTs in der SMGW-Infrastruktur teilnehmen möchte, eingegangen werden.

Die Anforderungen sind vor allem als Sicherheitsanforderungen zur Teilnahme an der SM-Wirk-PKI zu charakterisieren. Die Sicherheitsanforderungen der SM-PKI unterscheiden sich grundlegend zwischen Test- und Wirk-PKI sowie aktiven und passiven EMT. Der aktive EMT muss in der SM-Wirk-PKI ein nach ISO/IEC 27001 zertifiziertes Informationssicherheits-Managementsystem nachweisen. Durch die Zertifizierung wird allgemein nachgewiesen, dass alle speziell definierten Sicherheitsanforderungen des Dokuments „Certificate Policy der Smart Metering PKI“ des BSI erfüllt sind [14]. Weiter müssen sämtliche Schlüsselmaterialien in einem Kryptographiemodul der Sicherheitsstufe 2 erstellt und gespeichert werden. Das Kryptographiemodul ist auch für sämtliche kryptographischen Algorithmen für die Kommunikation zu nutzen. Für die entsprechenden Anforderungen nach Sicherheitslevel an das Kryptographiemodul wird in der SM-PKI auf das BSI-Dokument „Key Lifecycle Security Requirements“ verwiesen [16]. Bevor ein Unternehmen als aktiver EMT in der SM-PKI teilnehmen kann, muss sich das Unternehmen beim Sub-CA-Betreiber authentifizieren sowie beide Nachweise erbringen. Erst dann können die entsprechenden Zertifikate ausgestellt werden [14].

## 4 Stand der Wissenschaft und Technik

Nachdem in den vorherigen Kapiteln die für diese Arbeit notwendigen Grundlagen erörtert wurden, sollen nun Forschungsprojekte, relevante Literatur und eine Marktübersicht im Bereich intelligenter Messsysteme und intelligentem Energienetz aufgezeigt werden. Zuerst soll das SINTEG-Förderprogramm als größtes deutsches Förderprogramm für die Energiewende betrachtet werden. Das Förderprogramm formt einen Teil der strategischen Weiterentwicklung für intelligente Messsysteme [18]. Anschließend wird auf weitere relevante Forschungsprojekte im Bereich intelligente Messsysteme eingegangen. Zuletzt wird eine Marktübersicht für intelligente Messsysteme und Steuerboxen gegeben.

### 4.1 SINTEG-Förderprogramm

Bei den Forschungsprojekte ist in Deutschland das Förderprogramm Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende (SINTEG) herauszustellen. Das vom BMWi geförderte Programm soll in fünf Modellregionen im Rahmen des GDEW konkrete Anwendungen, Produkte und Geschäftsmodelle entwickeln. So werden in den fünf gestarteten Projekte „C/sells“, „Designetz“, „enera“, „new 4.0“, und „WindNODE“ Konzepte und Lösungen für die technischen, wirtschaftlichen und regulatorischen Herausforderungen der Digitalisierung der Energiewende entwickelt. In allen Projekten zusammengenommen sollen dafür auch 300.000 intelligente Messsysteme verbaut werden. Der Fokus liegt dabei auf dem SMGW, welches neben der modernen Messeinrichtung das intelligente Messsystem darstellt. Durch die Verzögerung der Zertifizierung der SMGWs ist die tatsächlich sich im Einsatz befindliche Zahl an SMGWs mit nur wenigen Tausend deutlich niedriger und kann den Anspruch der praktischen Erprobung der Zukunftstechnologie nicht erfüllen [28, S. 49]. Ebenso sollen die SINTEG-Programme Steuereinheiten im Rahmen der SMGW-Infrastruktur zumindest in Vorserien-Reife erproben und Impulse zur Weiterentwicklung liefern. Auch hier können die SINTEG-Projekte ihrer Rolle nicht gerecht werden [28, S. 14]. Es soll folgend kurz auf die einzelnen Projekte eingegangen werden.

#### C/sells

Im Rahmen des Projekts wird ein zellulär strukturiertes Energiesystem entwickelt. Im Fokus steht dabei die regionale Optimierung des Ausgleichs zwischen Erzeugung und Verbrauch zur Systemstabilisierung. Regionale Zellen versorgen sich zunächst subsidiär selbst und agieren notfalls überregional im Verbund miteinander. Zur Erreichung der Ziele sollen drei Instrumente entwickelt werden: ein Infrastruktur-Informationssystem zum Austausch von Informationen und Daten zwischen den Zellen, eine Abstimmungskaskade zur automatisierten Kommunikation und Agilität

sowie ein regionaler Handel mit Energie und Flexibilität. Im Zuge der Ausgestaltung des Handels wurden mit „comax“, „ReFlex“ und „ALF“ drei unterschiedliche Marktplattformen entwickelt [23].

#### Designetz

Der Fokus von Designetz liegt auf der Integration von Einzellösung zu einem gemeinsamen stabilen Gesamtsystem. Dafür werden verschiedene räumliche Ebenen in einem innovativen Verbundsystem koordiniert. Alle Einzellösungen haben zum Ziel die Nutzung von Flexibilität hinsichtlich der Netz- und Systemstabilität sowie der Marktumsetzung möglichst effektiv und effizient zu gestalten.

#### enera

Das Projekt enera entwickelt Lösungen zum Thema Digitalisierung der Energieversorgung. Es stehen damit die Themen Kommunikation, Datenverarbeitung und Automatisierung im Fokus. So soll in einem Feldtest mittels intelligenten Messsystemen Daten erhoben werden, mit denen Mehrwerte geschaffen werden [24].

#### NEW 4.0

Im Projekt NEW 4.0 sollen Lösungen zur Bewältigung eines wachsenden räumlichen Ungleichgewichts zwischen Verbrauch und Erzeugung entwickelt werden. Zum Ziel steht, die Modellregion in Norddeutschland bis 2035 zu 100% mit regenerativem Strom zu versorgen. Dazu soll eine intelligente Netzauslastung gefördert werden, um Stromexporte zu verbessern. Ein Teil der Lösung stellt die lokale Flexibilitätsplattform ENKO dar, über die Netzengpässe frühzeitig koordiniert werden [50]. Als grundlegende Technologie für die Umsetzung der Ziele wird im Projektpaket „IKT“ von Partnerunternehmen die Verwendung von intelligenten Messsystemen für markt- und netzdienliche Dienstleistungen untersucht und im Verbund neue Tarifmodelle, zugeschnitten auf den Einsatz mit iMSys, entwickelt [30].

#### WindNODE

Flexible Verbraucher sind ein wichtiger Baustein zur Stabilisierung der Netze. WindNODE stellt daher den Nutzer in den Mittelpunkt des Forschungsprojektes. Dies hat zum Ziel den Verbrauch besser an die Erzeugung anzupassen. Um den flexiblen Verbrauch zu bepreisen werden Flexibilitätsmarktplätze mit neu entwickeltem Marktdesign erforscht. Das intelligente Messsystem als notwendige Komponente zum Einbezug von Endkunden steht im Arbeitspaket „Vernetzter Endkunde“ im Fokus. Neben der Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen soll auch der Frage nachgegangen werden, in welchen zukünftigen Anwendungsszenarien intelligente Messsysteme bei Verbrauchern mit einem Jahresgesamtverbrauch von kleiner als 100.000 kWh eingesetzt werden können [52].

## 4.2 Literatur

Nach der Einführung des SINTEG-Programms soll in diesem Kapitel weitere relevante Literatur erörtert werden. Zum Thema Flexibilität in der Energiewirtschaft gibt es ein weites Feld an Forschung. Die Integration von Flexibilität in die Kommunikationsplattform intelligenter Messsystemen steht dabei jedoch selten im Fokus. Das Forschungsprojekt „CLS App BW“ definiert und testet eine Vielzahl von Anwendungsfällen zur Anlagensteuerung mit einer Steuerbox, welche die Steuerbefehle über einen bidirektionalen Kommunikationskanal empfängt. So werden unter anderem eine Batterie, ein Solarwechselrichter, ein Heizstab und eine Ladesäule mit unterschiedlichen, gerätespezifischen Protokollen angesteuert. Der bidirektionale Kanal wird über ein SMGW aufgebaut. Über den bidirektionalen Kanal zwischen Backend und Steuerbox wird das Protokoll IEC 61850 genutzt, welches den heutigen Standard als Übertragungsprotokoll für Schutz und Leittechnik bildet und bereits für Fern- und Rundsteuerung in Deutschland genutzt wird. Die Steuerbox übersetzt die Schaltanweisungen aus dem IEC 61850-Protokoll dann auf das gerätespezifische Protokoll. Neben der direkten Kommunikation zwischen Steuerbox und Anlage wird auch eine Anlagensteuerung über 4 Relais ähnlich der FNN-Steuerbox-Spezifikation getestet. Die Tests wurden sowohl in einem Labor der Hochschule Ulm als auch in einem Feldtest erprobt, wobei jedoch kein Smart Meter Gateways eingesetzt wird, was mit der fehlenden Zertifizierung begründet wird [41]. Im Projekt AnyPLACE [38] wird die Einbindung von Smart Home Anwendungen in die europäische Smart Meter Umsetzung betrachtet. Um CLS-Instanzen einzubinden, schlagen die Autoren das open-source Smart Home Framework „openHAB“ vor. Es werden verschiedene Systemdesigns zur Einbindung vorgeschlagen und nach Sicherheitsaspekten analysiert. [42] veröffentlichen eine open source Implementierung eines SMGWs. Nach einer Übersicht über nicht nur der TR03109, sondern ebenfalls der Betrachtung der verwendeten Protokolle, stellen die Autoren existierende open source Smart Meter Frameworks vor. Sie diskutieren die mögliche Adaption einzelner Smart Meter Frameworks hin zu einem TR03109-konformen SMGW. In diesem Zusammenhang stellen die Autoren das Java-basierte Framework jOSEF vor, welches eine experimentelle open source Plattform zur Umsetzung eines SMGWs darstellt. Die Eingliederung eines virtuellen Kraftwerkes in die Smart Meter Infrastruktur wird in [40] diskutiert. Es werden die drei HKS 3-5 aus der Sicht des Aggregators bewertet und HKS3 als am geeignetsten befunden. Allgemeiner wird in [32] die Integration eines Energiemanagementsystem in die Kommunikationsarchitektur analysiert. Da die Vorgaben des BSI verschiedene mögliche Integrationsoptionen eines solchen Systems bietet, werden verschiedene Architekturen definiert und bewertet.

In der Literatur wird die Eingliederung von Energiemanagementsystemen zum Ziel der Steuerung von lokalen Verbrauchs-/bzw. Erzeugungseinrichtungen in die SMGW-Infrastruktur diskutiert. Ob spezielle Ausgestaltung, Umsetzung mit Hardware oder allgemeine

Betrachtungsweise, alle Projekte zeichnet der Einsatz einer für das Projekt spezifischen Software aus. Dies trifft vor allem für die GWA-Software zu. Die realen Prozesse, etwa die Parametrisierung des SMGWs, durch Ende-zu-Ende-Einsatz von kommerziellen Produkten werden dabei stark abstrahiert. Gerade die Realprozesse können sich jedoch erheblich auf erstens die technische Integrierbarkeit und zweitens Wirtschaftlichkeit eines Energiemanagementsystems auswirken. Die Wichtigkeit des GWA als vertrauenswürdigen Kommunikationspartner des SMGWs ist dabei herauszustellen. Die vorliegende Arbeit soll, trotz der sich zum Großteil in Zertifizierung befindlichen SMGWs, möglichst realitätsnah die Integration von Flexibilität innerhalb der SMGW-Infrastruktur bewerten. Dazu wird ebenfalls eine am Markt verfügbare und zertifizierte GWA-Software des Unternehmens Robotron Datenbank-Software GmbH integriert.

### 4.3 Marktübersicht

Neben der aktuellen Forschung soll in diesem Kapitel aufgezeigt werden, wie weit die Marktumsetzung für intelligente Messsysteme ist und wie aktuell Flexibilität im Endkundenbereich angeboten und genutzt wird. Als große Hürde für die Marktdiffusion intelligenter Messsysteme steht die Zertifizierung der SMGWs. Insgesamt haben neun verschiedene Unternehmen einen Antrag zur Zertifizierung nach Schutzprofil BSI-CC-PP-0073 gestellt. Zwei der Antragsteller haben die Entwicklung gebündelt, sodass insgesamt acht Entwicklungsprojekte für SMGWs bleiben. Derzeit sind davon erst zwei SMGWs vom BSI zertifiziert [21]. Mindestens drei zertifizierte SMGWs sind benötigt, damit der verpflichtende Rollout für SMGWs aus technischer Sicht beginnen kann. Dies erklärt, dass bisher noch keine Zahl an verbauten SMGWs im Monitoringbericht 2018 der Bundesnetzagentur angegeben wird [25]. Da das erste SMGW im Dezember 2018 zertifiziert wurde, gibt es Meldungen, dass erste SMGWs von Messstellenbetreibern eingebaut wurden [46]. Dies erfolgt bis zur Markterklärung des BSIs auf freiwilliger Basis.

Anders sieht es bei modernen Messeinrichtungen aus. Insgesamt werden in der Marktanalyse des BSIs 20 unterschiedliche Anbieter für moderne Messeinrichtungen angegeben [17]. Bis zum Jahr 2018 wurden bereits ca. 560.000 moderne Messeinrichtung bei privaten Endkunden verbaut. Die Aufschlüsselung zeigt, dass 440.000 Stück dieser Geräte bei Verbrauchern installiert sind, für die keine Pflicht zum Einbau besteht. Dies betrifft zum Großteil Letzverbraucher mit einem Verbrauch von unter 2.000 kWh [25].

Da die Nutzung des transparenten Kanals als Kommunikationsinfrastruktur zur Anlagensteuerung grundlegend ist, ist der Markt für Steuerboxen oder CLS-Managementsysteme bisher gehemmt. In einer eigens durchgeführten Marktanalyse konnten insgesamt 18 angebotene Systeme identifiziert werden. Aufgenommen sind ausschließlich vom Hersteller selbst vermarktete Systeme. Als Quelle dienen die Unternehmenswebseiten. Von den 18 angebotenen Systemen können fünf als FNN-Steuerbox, sechs als erweiterte Steuerbox,

---

zwei als integrierte Steuerbox und fünf als CLS-Managementsysteme identifiziert werden. Die CLS-Managementsysteme nutzen zum Großteil für die Kommunikation angebotene Steuerboxen aus den anderen drei Kategorien, sodass die Anzahl an angebotenen Hardwarekomponenten bei etwa 13 liegt. Da die Informationsfülle zu den Angeboten stark schwankt, ist ein extensiver Vergleich nicht möglich. Die größte Hürde für eine Marktdiffusion liegt in der Verfügbarkeit der SMGWs. Es bleibt festzustellen, dass die SMGWs der Flaschenhals für die Einbringung intelligenter Messsysteme samt Steuerungssystemen darstellt. Sowohl moderne Messeinrichtungen als auch Steuersysteme sind am Markt verfügbar.

## 5 Prototyp zur Nutzung von Flexibilität in der SMGW-Infrastruktur

Nach der ausführlichen Einführung in die Smart-Meter-Gateway-Architektur sowie der Betrachtung des Standes der Wissenschaft und Technik wird in diesem Kapitel die Entwicklung des Prototyps zur Nutzung von Flexibilität beschrieben. Zunächst werden Ziele und Untersuchungsgegenstände des Prototyps beschrieben. Danach wird als notwendige Grundlage die Erprobung des transparenten Kanals mittels in Zertifizierung befindlicher SMGWs samt Test-Infrastruktur beschrieben. Abschließend werden die softwaretechnische Umsetzung und das endgültige Gesamtsystem vorgestellt.

### 5.1 Zielsetzung für die Entwicklung

Das übergeordnete Ziel des Prototyps ist die lokale Optimierung von Flexibilität auf Zellebene mittels Kommunikation über einen transparenten Kanal. Die Optimierung erfolgt unter globalen Restriktionen, die der aktive EMT setzt. Dazu sollen Steuersignale erprobt werden, die vom aktiven EMT an die Steuerbox gesendet werden. Weitere Subziele werden wie folgt definiert. Es sollen die HKS 3-5 bewertet werden mit der Feststellung, welches Szenario am besten für den Prototyp bzw. im Einsatz im Feld geeignet ist. Die Kommunikation soll möglichst vollumfänglich den Regularien der SM-Test-PKI entsprechen. Ein wesentlicher Mehrwert der SMGWs ist der Rückkanal zum Managementsystem. Daher soll dieser für Monitoring-Aktivitäten genutzt werden. Die Flexibilität soll mit einer abstrahierten Netzampel modelliert werden. Weiter soll als indirekte Vermarktung von Demand Response ein variabler Tarif umgesetzt werden. Über Preisprognosen wird eine wirtschaftlich optimale Ladestrategie ermittelt und nach variablem Preis abgerechnet. Die Ladestrategie beinhaltet die Wahl der Zeitspannen sowie die Ladeleistung, mit der geladen wird. Die Optimierung der Anlagensteuerung soll im Sinne eines zellulären Designs lokal anhand der globalen Eingabeparametern des Netzzustandes sowie der Preisprognosen geschehen. Das Zieldesign des Prototypen soll die Steuerung einer Ladesäule, als eines der in Zukunft wichtigsten steuerbaren Verbrauchseinrichtungen nach §14a des EnWG [3], beinhalten. Als Ladesäule wird die KeContact P30 der Keba AG verwendet. Zur Kommunikation werden verfügbare SMGWs des Living Lab smartEnergy, welches Teil des House of Living Lab (HoLL) des Forschungszentrum Informatik (FZI) ist, genutzt. Je nach technischer Möglichkeit und angebotenen Funktionen werden verschiedene SMGWs für die Tests bzw. den Prototypen genutzt. Die GWA-Software wird von der Firma Robotron Datenbank-Software GmbH entwickelt und wird auf einem von Robotron betriebenen Server bereitgestellt. Die Steuerbox sowie der Server des aktiven EMTs werden selbst entwickelt und werden auf je einem Raspberry Pi 3 betrieben. Abbildung 7

stellt einen schematischen Überblick über die Systemlandschaft dar.

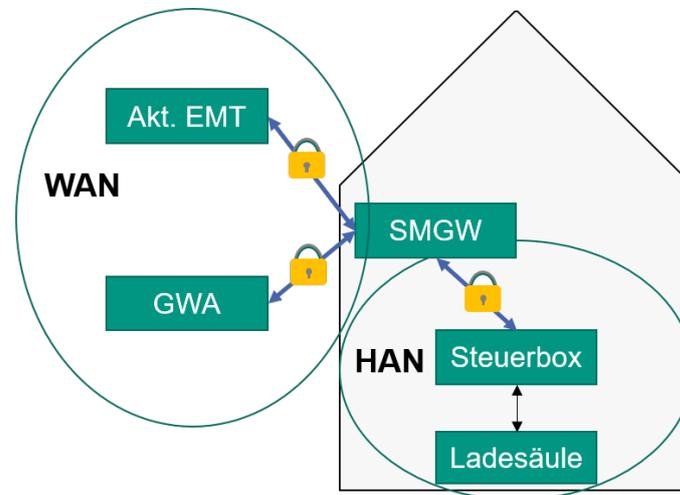


Abbildung 7: Übersicht der Systeme des Prototyps

## 5.2 Erprobung des transparenten Kanals

Der transparente Kanal stellt die bidirektionale Kommunikationsverbindung zwischen CLS und aktivem EMT dar. Die in der TR03109 spezifizierte Kommunikation ist der zentrale Baustein des Prototypen. Für die Kommunikation ist das SMGW als Mediator unerlässlich. Daher soll im folgenden der transparente Kanal erprobt werden. Dazu wird vorab auf den Aufbau der physischen Infrastruktur sowie die Eingliederung der Kommunikationspartner in die SM-Test-PKI eingegangen.

### 5.2.1 Aufbau der Testinfrastruktur im Living Lab smartEnergy

Im Living Lab smartEnergy sind an einer Testwand insgesamt sieben SMGWs von fünf verschiedenen Herstellern im Betrieb. Die Testumgebung ist in einem Gemeinschaftsprojekt zwischen dem FZI und der EnQS GmbH, einem aus der Forschungsarbeit des FZI entstandenen Start-Ups, aufgebaut. Die Hersteller der vorhandenen SMGWs sind: Devolo AG Kiwigrid GmbH, EMH metering GmbH & Co.KG, Landis + Gyr AG, Power Plus Communications AG (PPC), und Theben AG. PPC hat für sein SMGW als Erstes im Dezember 2018 die Zertifizierung nach SMGW-Schutzprofil BSI-CC-PP-0073 erhalten. Alle anderen im Living Lab smartEnergy verfügbaren SMGWs sind noch in der Zertifizierung.

Damit befinden sich fünf von acht der SMGW-Hersteller, die einen Zertifizierungsantrag stellen, im Living Lab smartEnergy. Erwähnt sei, dass die SMGWs mit angeschlossener moderner Messeinrichtung betrieben werden. Für die modernen Messeinrichtungen ist ebenfalls eine Auswahl an Herstellern vorhanden. Dies ermöglicht einen Ende-zu-Ende Betrachtungsweise hinsichtlich der Interoperabilität, welche ein Kernziel der Systemarchitektur des BSI ist. Die SMGWs sind über das WAN-Interface in einem Subnetz mittels Ethernet verbunden. Der eingesetzte Router baut weiter eine IPsec Verbindung zum GWA auf, über den die SMGWs mit den Systemen von Robotron kommunizieren können. Die SMGWs werden im LMN-Netz drahtgebunden per RJ11-Kabel an eine moderne Messeinrichtung angeschlossen. Im HAN wird von einem gewöhnlichen Endkundenrouter ein Sub-Netz mit Internetzugang bereitgestellt. Die SMGWs sind per Ethernet-Kabel in dieses Netz eingebunden. Im WAN-Subnetz ist per Ethernet ein Raspberry Pi 3 integriert, welcher den aktiven EMT darstellt. Analog ist im lokalen HAN-Subnetz ein Raspberry Pi 3 integriert, welcher die Steuerbox darstellt. Beide Systeme, sowohl die des aktiven EMTs und die der Steuerbox, werden im Rahmen der Arbeit entwickelt. Zur sicheren Kommunikation innerhalb dieser Infrastruktur bedarf es der Eingliederung in die SM-Test-PKI, worauf im Folgenden eingegangen wird.

### 5.2.2 Zertifikate und SM-Test-PKI

Für alle berechnete Rollen im WAN sind (mehrere) Zertifikate der SM-Test-PKI für die verschlüsselte Kommunikation notwendig. Die SM-Wirk-PKI stellt den eigentlichen Wirkbetrieb dar. Gleichzeitig ist die SM-Test-PKI für den Zweck der Erprobung eingesetzt [12]. Für den Testaufbau ist eine, von der T-Systems betriebene Test-Root-CA signierte, Sub-CA im Einsatz, mit welcher sowohl das GWA-Zertifikatstripel, das aktiver EMT-Zertifikatstripel sowie die Wirkzertifikate der SMGWs signiert werden. Die Kommunikation im HAN liegt außerhalb des Betrachtungsbereichs der Regulation der SM-PKI, jedoch gelten verschiedene kryptographische Anforderungen an das Zertifikat der Steuerbox. Dies umfasst auszugswise die Verwendung von EC-Kurven<sup>2</sup> und eine Auswahl an fünf vorgeschriebenen Ciphersuiten für den TLS-Handshake. Die HAN-Zertifikate werden mit entsprechenden Parametern erzeugt und selbstsigniert.

### 5.2.3 Parametrisierung der SMGWs

Um den transparenten Kanal zu initiieren und die Kommunikation erfolgreich aufzubauen, ist es notwendig, die SMGWs zu parametrisieren. Die SMGWs werden per initialer Konfigurationsdatei, in der die GWA-Zertifikate sowie Kommunikationsspezifikationen für den Wake-Up-Kanal, Managementkanal, GWA-Service und NTP-Kanal angegeben sind, in-

---

<sup>2</sup>Elliptic Curve Cryptography (ECC) [11]

initialisiert. Die SMGWs werden mit sogenannten Gütesiegelzertifikaten ausgeliefert. Diese werden im Herstellungsprozess auf dem Sicherheitsmodul des SMGW erstellt und gespeichert. Das SMGW authentisiert sich mit den Gütesiegelzertifikaten gegenüber dem GWA als echtes SMGW. Solange die Gütezertifikate auf Seiten des SMGWs im Einsatz sind, befindet sich das SMGW noch nicht im Normalbetrieb und darf somit noch nicht durch den GWA parametrisiert werden. Erst muss die Personalisierung erfolgen, mit der Wirkzertifikate vom SMGW erzeugt und innerhalb der SM-PKI signiert werden. Mit dem GWA-Manager von Robotron werden durch das Erstellen der Wirkzertifikate nach [11] die SMGWs in den Normalbetrieb genommen [14].

Im Wirbetrieb können die notwendigen Konfigurationsprofile aufgespielt werden. Es werden jeweils für die zwei Kommunikationsendpunkte, der Steuerbox und den aktiven EMT, entsprechend ein HAN- und ein WAN-Kommunikationsprofil benötigt [19]. Beispielhafte Kommunikationsprofile für einen transparenten Kanal nach HKS3, ausgelesen vom PPC SMGW, sind im Anhang A und B zu finden. Im HAN-Kommunikationsprofil werden als wichtigste Parameter die Adresse als URI (Kombination aus Protokoll, IP und Port), die Zertifikate passend zum genutzten Schlüsselmaterial und eins der HKS 3-5 angegeben. Das WAN-Kommunikationsprofil erfordert die selben Parameter, außer, dass das Kommunikationsszenario der Info-Report bzw. WAN-CLS ist. Das Proxy-Profil referenziert die beiden Kommunikationsprofile, erweitert um spezifische Parameter je nach angegebenen HKS im HAN-Kommunikationsprofil. Für den HKS3 ist die Angabe notwendig, dass die CLS-Instanz die Verbindung initiieren darf. Im HKS5 wird ein Event, etwa ein Zeitpunkt, benötigt, wann das SMGW den transparenten Kanal aufbauen soll. Es liegt dann in der Aufgabe des SMGWs zu kontrollieren, ob die Kommunikationsprofile mit dem Proxy-Profil zusammen passen. Ein Proxy-Profil, passend zu den zuvor angegebenen Kommunikationsbeispielen, ist ebenfalls im Anhang C zu finden. Während die Syntax der Konfigurationsprofile herstellerübergreifend die Gleiche ist, ist die Semantik teilweise unterschiedlich. Ein Beispiel ist die Angabe der Adresse des Kommunikationsendpunktes. Bei manchem Herstellern ist die Angabe des verwendeten Protokolls Pflicht, bei anderen wiederum ist dies nicht zwingend mit anzugeben. Weiter ist im WAN-Kommunikationsprofil die Kommunikationsszenariobezeichnung teils unterschiedlich. Während manche Hersteller den in der TR03109 beschriebenen Info-Report fordern, ist bei anderen die Angabe des Szenarios WAN-CLS, welches in der TR03109 nicht beschrieben wird, erforderlich.

Die Umsetzung der Parametrisierung des transparenten Kanal weicht von der TR03109 ab, die die Angabe des HKS im Proxy-Profil vorsieht und für die HAN-Kommunikationsprofile nur die Angabe HKS1 oder HKS2 zur Auswahl angibt. Die TR03109 trennt Proxy-Profile strikt von den Kommunikationsprofilen. So werden nach Vorgabe im Proxy-Profil alle notwendigen Parameter für die Kommunikation angegeben. Dies inkludiert die Adressen der Kommunikationspartner, Zertifikatsmaterial und HKS. Die beobachtete Umsetzung durch die SMGW-Hersteller trennt das Proxy-Profil in zwei Kommunikationsprofile auf,

sodass im HAN-Kommunikationsprofil effektiv das HKS für den transparenten Kanal entschieden wird. Die beobachtete Umsetzung entspricht vielmehr dem FNN-Lastenheft „Smart-Meter-Gateway Funktionale Merkmale“ [37]. Hier zeigt sich, dass viele Vorgaben der technischen Richtlinien aufgenommen werden, in der Detailausarbeitung der Hersteller aber durchaus unterschiedliche Resultate entstehen, die von der TR03109 abweichen können.

#### 5.2.4 Entwicklung der Kommunikationsanwendung

Neben den externen Komponenten müssen die entsprechenden Anforderungen an den aktiven EMT und der Steuerbox softwaretechnisch umgesetzt werden. Beide Systeme werden in der Arbeit entwickelt und in den verschiedenen Ausführungen je HKS3-5 implementiert. Die Anwendung wird in Python umgesetzt. Wie im Kapitel 3.3 erläutert wird, läuft der Aufbau des TLS-Kanals zwischen aktiven EMT und SMGW immer gleich ab. Es muss ein TLS-Server implementiert werden, der für alle HKS3-5 gleich funktioniert. Dazu müssen das richtige Schlüsselmaterial sowie die verwendete Sub-CA zur Autorisierung der SMGW-Zertifikate für die TLS-Verbindung verfügbar sein. Innerhalb Python wird dazu das Modul `pyOpenSSL`<sup>3</sup> genutzt. `PyOpenSSL` ist ein Wrapper zur Nutzung der weitverbreiteten, in hauptsächlich C geschriebenen `OpenSSL`-Bibliothek<sup>4</sup>. Die freie Software setzt das TLS-Protokoll und eine Vielzahl kryptographischer Funktionen um.

Die Realisierung der Kommunikationsfunktionen der Steuerbox bedarf eine Anpassung für das HKS3. Während im HKS4 und HKS5 ebenfalls ein TLS-Server analog dem des aktiven EMTs zum Einsatz kommt, erfordert der HKS3 eine Client-Anwendung, in der das `SOCKSv5`-Protokoll umgesetzt wird. Innerhalb des `SOCKSv5`-Protokolls wird nach [19, 61ff] die Authentifizierungsmethode „TLS“ genutzt. Diese Methode verlangt weiter die spezifische Subverhandlung nach „SSL for `SOCKSv5`“-Protokoll. Durch diese Rahmenbedingungen konnte keine `SOCKSv5`-Implementierung für Python gefunden werden, sodass beide Protokolle bitgenau neu implementiert werden. Ein Unterschied zur WAN-Kommunikation ist, dass die Schlüssel und Zertifikate im HAN nicht aus der SM-PKI stammen. Vom SMGW kann somit auch ein selbstsigniertes Zertifikat genutzt werden, was je nach Ausstellung und Wahl der Parameter zu Problemen mit `OpenSSL` führen kann.

#### 5.2.5 Ergebnisse und Bewertung der Umsetzung des transparenten Kanals

Mit dem in diesem Kapitel beschriebenen vorgehen konnte für verschiedene SMGWs der transparente Kanal erprobt werden. Da die SMGW-Hersteller nach [20] für die 1. Gene-

<sup>3</sup>Dokumentation von `pyOpenSSL` zu finden unter <https://www.pyopenssl.org/en/stable/>

<sup>4</sup>Dokumentation von `OpenSSL` zu finden unter <https://www.openssl.org/>

ration der SMGWs nur einen der HKS3-5 umsetzen müssen, zeigt die Tabelle 1, welche der Optionen von den SMGWs nach Herstellerangaben umgesetzt werden. Hierbei wird offensichtlich, dass ein Prototyp, um interoperabel einsatzfähig zu sein, mehrere HKS umsetzen muss. Gerade da ein Drittunternehmen, welches Mehrwertdienste unter Nutzung des transparenten Kanals anbietet, wenig Einfluss auf das verbaute SMGW beim Endkunden hat, sind verschiedene Implikationen denkbar. So kann es zu einer Selektion der potentiellen Endkunden kommen, da nicht alle SMGWs mit der Anwendung kompatibel sind. Andernfalls ist ein Mehraufwand an Entwicklungsarbeit erforderlich. Eine Gegenmaßnahme wäre die Nutzung des Marktprozesses zum Wechsel des Messstellenbetreibers. Der Wechsel ist jedoch mit hohem Aufwand verbunden, da nicht zuletzt der Messstellenbetreiber Eigentümer des verbauten iMSys ist. Dies führt zu einem Hemmnis für die Integration von Mehrwertdiensten.

Mit der vorherig beschriebenen Vorgehensweise konnten für das PPC SMGW der HKS3,

Hersteller	HKS3	HKS4	HKS5
Devolu Kiwigrid <sup>5</sup>		X	X
EFR [29]	X	?	?
PPC [49]	X	X	X
Theben <sup>6</sup>	X		
Sagemcom Dr. Neuhaus [27]		X	X

Tabelle 1: Umgesetzte HKS nach SMGW-Hersteller<sup>7</sup>

HKS4 und HKS5 umgesetzt werden sowie für das Devolo Kiwigrid SMGW der HKS4 und HKS5. In der Umsetzung der Szenarien je Herstellers zeigte sich jedoch, dass die Interoperabilität, ein Kernziel der TR03109, nicht bis ins Detail gewährleistet wird. So ist das Zusammenspiel von GWA, SMGW-Hersteller und Flexibilitätsanbieter ein Hauptgrund für Umsetzungsschwierigkeiten. In Zusammenarbeit mit den jeweiligen Parteien konnten und mussten die einzelnen Systeme weiterentwickelt werden. Nur das vollständige Integrieren aller Parteien kann zu einer funktionierenden Kommunikationsinfrastruktur führen. Weiter ist zwar die Syntax der Kommunikationsprofile gleich, allerdings die Semantik an verschiedenen Stellen unterschiedlich. Als Beispiel dient die Angabe der Zieladresse im Kommunikationsprofil, bei der einige SMGWs eine Protokollangabe fordern, jedoch andere nicht. Eine weitere Erkenntnis ist, dass der HKS3, auch durch den Draft-Charakter des Protokolls „SSL for SOCKSv5“, mehr Unsicherheit mit sich bringt.

<sup>5</sup>nach Aussage Devolo vom 10.05.2019

<sup>6</sup>nach Aussageb Theben vom 01.07.2019

<sup>7</sup>Für EMH metering, discovery und Landys + Gyr können keine Aussagen gemacht werden

### 5.2.6 CLS-Managementsysteme

Für Unternehmen, die über die SMGW-Infrastruktur Endgeräte steuern wollen, ist ebenfalls die Option eines ganzheitlichen CLS-Managementansatzes gegeben. Anbieter der CLS-Managementsysteme übernehmen die gesamte Kommunikation nach TR03109 und bieten Kommunikationsschnittstellen im WAN sowie im HAN, die nicht mehr Bestandteil der Regulierung sind. Im Living Lab smartEnergy ist ebenfalls ein solches System aufgebaut, welches im Rahmen der Arbeit erprobt wurde. Es handelt sich dabei um den Mehrwertkonnektor der Firma MTG AG. Dem Testaufbau im ganzen beinhaltet ein Theben SMGW Conexa 3.0, eine Theben Steuerbox CSX 324, ein Server mit der Anwendung Mehrwertkonnektor sowie ein Hardwaresecuritymodul, welches von der MTG AG und ReinerSCT entwickelt wird. Der Mehrwertkonnektor befindet sich im WAN und bildet das Head-End System des aktiven EMTs. Unternehmen können sich per TCP/IP-Schnittstelle mit dem Mehrwertkonnektor verbinden, der über das SMGW und die Steuerbox eine Kommunikation zum Endpunkt im HAN herstellt. Im HAN-Netz bietet die Steuerbox ebenfalls eine TCP/IP-Schnittstelle. Abbildung 8 zeigt die Kommunikationsinfrastruktur. Die

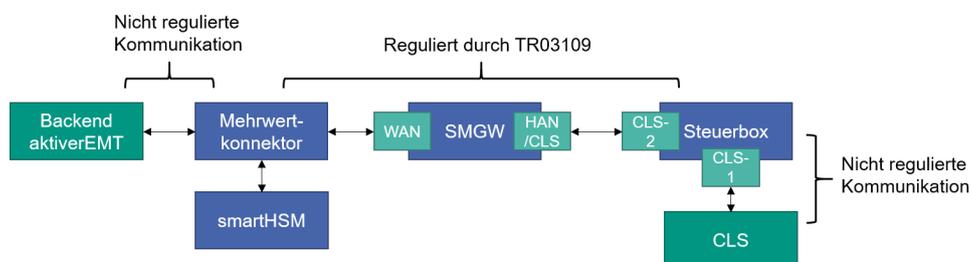


Abbildung 8: Kommunikationsinfrastruktur mit CLS-Managementsystem

Kommunikation konnte mittels der TCP/IP-Schnittstelle realisiert werden. Dies vereinfacht die Kommunikation aus Sicht des Flexibilitätsanbieters, da die Regulation durch die TR03109 vollumfänglich durch den Mehrwertkonnektor der Firma MTG AG umgesetzt wird. Die Nutzung der Systeme bietet jedoch auch sicherheitskritische Möglichkeiten der Kommunikation in den nicht regulierten Bereichen, da hier auch eine unverschlüsselte Kommunikation ohne TLS-Protokoll genutzt werden kann.

## 5.3 Softwarearchitektur des Prototypen

Nachdem zunächst auf die Zielsetzung des Prototypen eingegangen sowie der Testaufbau und der transparente Kanal als Kommunikationsgrundlage vorgestellt wurde, soll nun der gesamte Prototyp beschrieben werden. Die genutzte Hardware ist vom FZI und der EnQS GmbH zur Verfügung gestellt. Grundlage der Kommunikation ist die Parametrisierung der SMGWs für den transparenten Kanal nach HKS3. Die genutzten Kommunikationsprofile sowie das Proxy-Profil sind im Anhang A, B und C zu finden. Als Ladesäule ist eine KeContact P30 genutzt. Durch die Erprobung der HKS4 und HKS5 könnten auch diese für den Prototyp genutzt werden. Da sich die Steuerbox als Client am Backend-Server des aktiven EMTs anmeldet, ist strukturell das HKS3 besser geeignet. Eine ausführliche Bewertung der HKS erfolgt im Kapitel 6.2. Die Anwendungen werden nach WAN und HAN-Seite getrennt beschrieben. Es werden erstens die Funktionen des Backends des aktiven EMTs beschrieben und zweitens die Funktionen der Steuerbox.

### 5.3.1 Softwareimplementierung des aktiven EMTs

Die Hauptfunktionen des aktiven EMTs sind die Kommunikation des Netzzustandes nach Netzampelprinzip, die Visualisierung des Zustandes der Steuerbox als beispielhafte Nutzung des Rückkanals und der Versand der Preisprognose. Zur Umsetzung der verschiedenen Funktionen werden drei Linux-Dienste entwickelt, welche jeweils ein Python-Skript ausführen. Die einzelnen Programme kommunizieren über einen zentralen MQTT-Broker, welcher einen zusätzlichen Dienst darstellt. Für die Kommunikation wird das Anwendungsprotokoll MQTT<sup>8</sup> genutzt. Als MQTT-Broker wird die freie Software von `mosquitto`<sup>9</sup> genutzt. Das MQTT Protokoll folgt einem Publish-Subscribe-Prinzip. Clients können entweder auf sogenannte Topics publizieren oder diese abonnieren, um alle Nachrichten, die auf dem Topic publiziert werden, zu erhalten. Die Anwendungsprogramme nutzen diese Infrastruktur, um über die Subscribe-Funktion Nachrichten zu erhalten oder selbst neue Nachrichten zu publizieren. Das erste Python-Programm der Architektur stellt die Anwendung der Hauptfunktionen des aktiven EMTs dar. Es wird eine Datenbank im json-Format überwacht, in dem die Informationen zum Netzzustand gespeichert sind. Bei Änderungen wird über das entsprechende MQTT-Topic der neue Zustand publiziert. Weiter erstellt das Programm eine Preisprognose, welche aus historischen Werten stündliche Preise für die nächsten sieben Tage ermittelt. Täglich wird die aktualisierte Prognose der Preise an den MQTT-Broker publiziert. Gleichzeitig wird im zweiten Dienst ein Python-Programm ausgeführt, welches alle Themen abonniert und jede neue Nachricht in eine Datenbank schreibt, sodass diese Daten zur weiteren Verarbeitung bereit stehen. Es wird die open

<sup>8</sup>Dokumentation des MQTT-Protokolls unter <http://mqtt.org/>

<sup>9</sup>Dokumentation von `mosquitto` unter <https://mosquitto.org/>

source Datenbank influxdb<sup>10</sup> verwendet. Ein weiterer Baustein der Architektur ist die Visualisierung der Daten in der influxdb, wozu die open source Visualisierungssoftware Grafana<sup>11</sup> genutzt wird. Zuletzt wird ein weiterer Dienst definiert, der die Schnittstelle zwischen SMGW und MQTT Broker darstellt. In dem Python-Programm wird ein TLS-Server implementiert, der die Nachricht entschlüsselt und an den mosquitto-Dienst weiterleitet oder in umgekehrte Richtung die MQTT-Nachrichten verschlüsselt und an das SMGW sendet. Zur Kommunikation mit der Steuerbox wird also ebenfalls MQTT als Anwendungsprotokoll genutzt. Die Funktion der Steuerbox und wie beide Systeme miteinander kommunizieren, ist im nächsten Abschnitt beschrieben.

### 5.3.2 Softwareimplementierung der Steuerbox

Analog zum Backendsystem des aktiven EMTs implementiert auch die Steuerbox eine dienstorientierte Architektur, die je Funktionalität einen Linux-Dienst definiert, der ein Python-Skript ausführt. Die Dienste nutzen gemeinsam einen MQTT-Broker als zentralen Kommunikationsbaustein, der wie im Backend durch mosquitto realisiert ist. Im Schau-

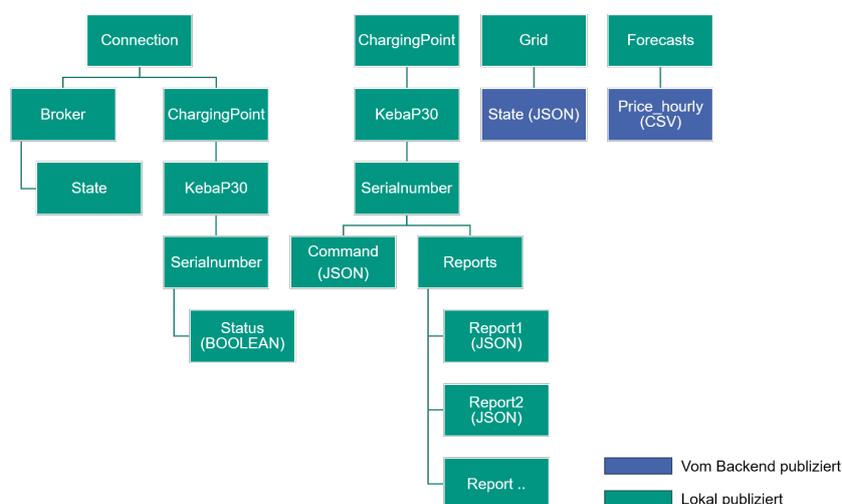


Abbildung 9: Übersicht der Topic-Struktur des MQTT-Brokers der Steuerbox

Abbildung 9 ist die gesamte Topic-Struktur des MQTT-Brokers gezeigt. Zur Konfiguration des MQTT-Brokers können Schnittstellen für Clients angegeben werden. Das Protokoll unterscheidet weitere Verbindungen zu anderen MQTT-Brokern und stellt dazu eine Brückenfunktion zur Verfügung. Es kann parametrisiert werden, welche der Topics auch an den

<sup>10</sup>Dokumentation zu Grafana unter <https://www.influxdata.com/>

<sup>11</sup>Dokumentation zu Grafana unter <https://grafana.com/>

entfernten MQTT-Broker veröffentlicht werden und welche der entfernten Topics abonniert werden. In diesem Fall werden alle Topics an das Backend veröffentlicht und zusätzlich die Topics „Grid/State“ und „Forecast/Price\_hourly“ abonniert. Die Konfiguration ist im Anhang D zu finden.

Die Hauptfunktionalitäten der Steuerbox sind die Kommunikation mit der Ladesäule samt Ladeoptimierung sowie die Bereitstellung eines Kundeninterfaces zum Starten und Stoppen eines Ladevorgangs. Ein Dienst stellt die Funktionalität der Kundenschnittstelle als Web-Server dar. Diese beinhaltet eine Start-Ansicht und eine Stop-Ansicht. Der Kunde muss für einen neuen Ladevorgang folgende Informationen angeben.

### **Fahrzeugtyp**

Über den Fahrzeugtyp werden die Reichweitenangaben in äquivalente Energiemengen umgerechnet.

### **Lademodus**

Es können zwei Lademodi gewählt werden: kostenoptimiert und Schnellladen. Je nach Modus wird die Ladesäule unterschiedlich gesteuert.

### **Min. Reichweite**

Angabe der minimalen Reichweite, dessen Äquivalent in elektrischer Energie geladen werden soll. Dies stellt für den Kunden sicher, dass bei einem vorzeitigen Ladeabbruch im kostenoptimierten Laden die notwendige Mindestreichweite geladen wird und bietet zudem einen psychologischen Effekt, um Hemmschwellen gegen flexibles Laden abzubauen.

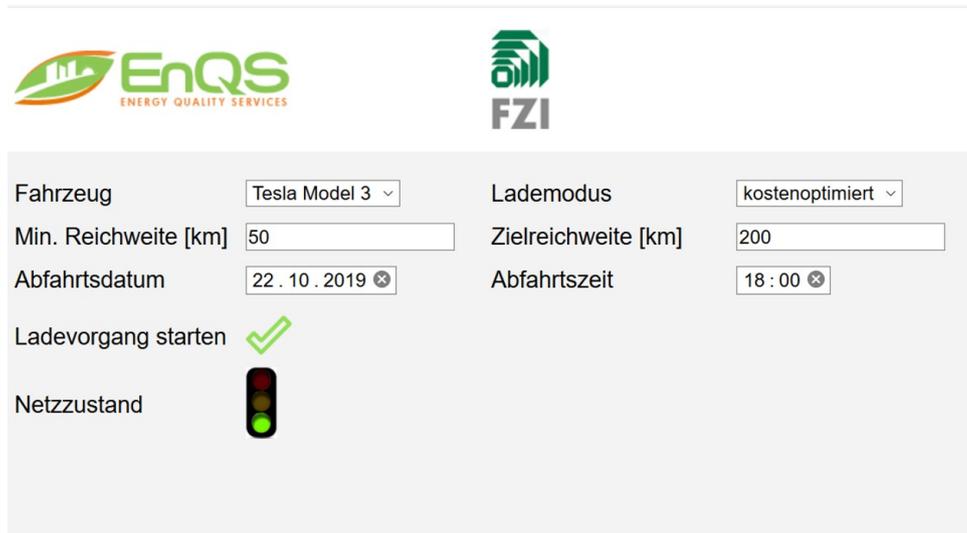
### **Zielreichweite**

Die gewünschte Reichweite, dessen äquivalente Energiemenge geladen werden soll. In der Oberfläche werden Kilometerangaben genutzt, da Kunden mit diesen pragmatischer Umgehen können als mit Energieangaben.

### **Abfahrtsdatum & -zeit**

Der Kunde gibt seine voraussichtliche Abfahrtszeit an, damit die Ladesäulensteuerung die Ladeleistung flexibel in dem Zeitraum von Start bis Abfahrt verteilen kann.

Über den grünen Haken kann der Ladevorgang begonnen werden. Die Netzampel bietet dem Kunden eine Rückmeldung des Netzzustandes. Bei rot kann der Ladevorgang virtuell beginnen, es wird jedoch physisch nicht geladen. Die grafische Oberfläche ist in Abbildung 10 dargestellt. Wird der Ladevorgang gestartet, erfolgt eine Weiterleitung auf die Stop-Ansicht, die während des Ladevorgangs aktiv ist. In dieser sieht der Kunde seine Angaben zum Ladevorgang sowie zwei Live-Status-Angaben. Der erste Live-Status ist der aktuelle Netzzustand. Der zweite ist die bereits geladene Reichweite, welche als Äquivalent der



The screenshot shows a user interface for starting a charging process. At the top left is the EnQS logo (Energy Quality Services) and at the top right is the FZI logo. Below the logos is a form with the following fields:

Fahrzeug	Tesla Model 3	Lademodus	kostenoptimiert
Min. Reichweite [km]	50	Zielreichweite [km]	200
Abfahrtsdatum	22.10.2019	Abfahrtszeit	18:00
Ladevorgang starten			
Netzzustand			

Abbildung 10: Ansicht der Kundenschnittstelle zum Starten des Ladevorgangs

bereits geladenen Energie steht. Über das rote Kreuz kann der Ladevorgang abgebrochen werden. Abbildung 11 zeigt die Oberfläche. Das Programm veröffentlicht bei Start oder Stopp über den „command“-Topic alle notwendigen Parameter im json-Format.

Der nächste Dienst stellt die Ladesäulensteuerung dar. Zur Kommunikation mit der Ladesäule wird ein proprietäres UDP-Protokoll umgesetzt, mit welchem unter anderem der Ladestrom, die zu ladende Gesamtenergie des Ladevorgang sowie Beginn und Ende des Ladevorgangs kommuniziert werden können. Das Programm abonniert den „command“-Topic, über welchen Start und Stopp-Befehle für die Ladesäule kommuniziert werden. Weiter abonniert es ebenfalls die Topics „Grid/State“ und „Forecast/Price\_hourly“. Über „Grid/Sate“ wird der Netzzustand veröffentlicht. Je nach Ampelfarbe hat dies Auswirkungen auf die Ladesäulensteuerung. Im Zustand grün darf unlimitiert mit maximaler Leistung geladen werden. Bei gelb wird die Leistung auf einen Maximalschwellwert begrenzt und bei rot muss der Ladevorgang unterbrochen werden. Die Preise werden genutzt, um die Energiekosten zu minimieren. Über die gewünschte zu ladende Energie und die Angabe des Endzeitpunktes des Ladevorgangs ermittelt die Ladesäule die günstigsten Ladezeitpunkte, um die gewünschte zu ladende Energie bis zur Abfahrtszeit zu erreichen. Einschränkend wirkt dabei der Lademodus sowie die angegebene zu ladende Mindestenergie. Die Preisoptimierung findet nur im Lademodus „kostenoptimiert“ statt, während im Modus Schnellladen mit der maximal verfügbaren und Netzampel-konformen Ladeleistung geladen wird. Des weiteren wird auch bis zum Erreichen der angegebenen zu ladenden Mindestenergie mit maximaler Ladeleistung geladen, danach erfolgt der Wechsel zum kostenoptimierten Laden, falls im Lademodus gewünscht. Weiter publiziert es verschiedenste



Abbildung 11: Ansicht der Kundenschnittstelle während des Ladevorgangs

Status-Werte über von der Keba-Ladesäule abgefragte Reporte.

Zuletzt ist auch die Kommunikation mit dem SMGW in einem Dienst verwirklicht. Es wird im HKS3 per SOCKSv5-Protokoll jeweils dann der transparente Kanal initiiert, wenn der MQTT-Broker die Brückenverbindung zum MQTT-Broker im WAN aufbaut. Im HKS4 und HKS5 wird das Verhalten zwangsweise verändert, da der Dienst einen TLS-Server implementiert und darauf wartet, dass das SMGW die Verbindung aufbaut. Erst nach erfolgreichem TLS-Kanal-Aufbau wird die interne TCP-Verbindung zum MQTT-Broker aufgebaut. Grundsätzlich bleibt die Verbindung dann so lange wie möglich aufrecht. Das Programm stellt also einen TCP-Server dar, empfängt darüber die MQTT-Nachrichten und sendet diese verschlüsselt an das SMGW. Das SMGW leitet die Nachricht über den transparenten Kanal zum Backend weiter.

### 5.3.3 Gesamtbetrachtung des Prototypen

Nach der Beschreibung der Einzelsysteme soll nun das resultierende Gesamtsystem dargestellt werden. Abbildung 12 zeigt die gesamte Kommunikation samt der einzelnen Dienste der dienstorientierten Architekturen der Subsysteme. Die einzelnen Dienste laufen prinzipiell unabhängig voneinander, hängen in ihrer Funktionalität aber voneinander ab. Die Steuerung der Ladesäule wirkt nur dann, wenn der Kunde auch eine Eingabe macht. Wird die Verbindung zwischen aktiven EMT und Steuerbox unterbrochen, arbeitet die Steuerbox mit dem letzten vorhandenen Eingaben weiter. Nach detaillierter Vorstellung der einzelnen Komponenten soll im folgenden Kapitel die Einordnung und Bewertung des

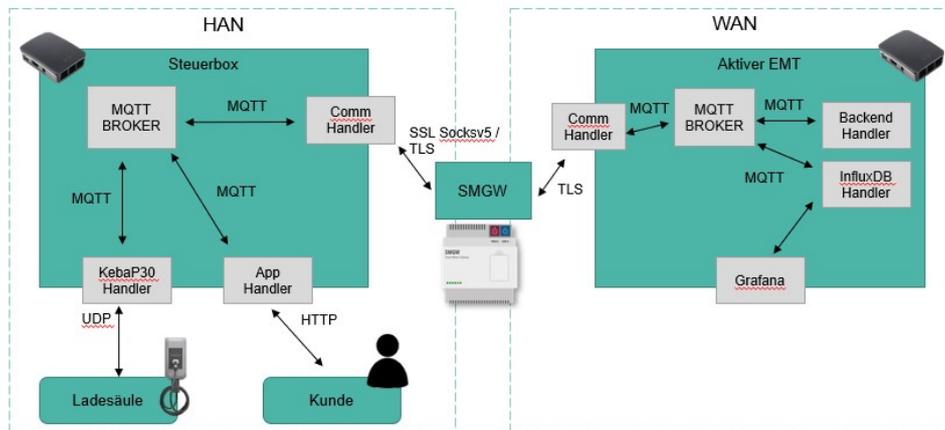


Abbildung 12: Gesamtübersicht der Implementierung des Prototyps

Prototypen beschrieben werden.

## 6 Bewertung und weiterführende Analyse zur Umsetzung

In diesem Kapitel wird der entwickelte Prototyp bewertet. Dazu wird der Prototyp zunächst im weiteren Sinne hinsichtlich des Produktentwicklungszyklus eingeordnet. Anschließend folgt die Bewertung im Sinne der Kommunikation innerhalb der SMGW-Infrastruktur. Nachfolgend soll die Blickweite weiter gefasst werden und der Prototyp in die Gesamtumwelt der Energiewirtschaft eingegliedert betrachtet werden. Zuletzt werden gelernte Rückschlüsse aus technischer Sicht in die Wirtschaftswelt aus Sicht eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerks übertragen und analysiert.

### 6.1 Einordnung in den Innovationsprozess

In vielen Innovationsmodellen nehmen Prototypen eine integrale Funktion ein, um mit einer strukturierten und ergebnisorientierten Methodik langfristig orientierte Produkte zu schaffen [51, 26]. Dabei werden verschiedene Phasen im Entwicklungszyklus beschrieben, denen verschiedenen Arten von Prototypen zugeordnet werden können. Sowohl in [26], als auch in [51], wird der „Critical Funktion Prototyp“ beschrieben, welcher die kritischen Funktionen des Endprodukts abbildet. Im Sinne des Design Thinkings nach [51] geschieht dies aus der Kundenperspektive, während [26] die technische Sicht des Entwicklers in den Fokus stellen. Aus Endkundensicht ist die kritische Funktion der Anlagensteuerung eine sichere Kommunikation, die Datensicherheit für die Endkunden gewährleistet. Aus Produktsicht ist die zuverlässige Kommunikation zwischen den Endpunkten im Fokus. Mit der SMGW-Kommunikationsplattform werden genau diese Funktionalitäten angeboten. Aufgrund der verzögerten Zertifizierung sind derzeit nur zwei SMGWs am Markt verfügbar. Für den Beginn des flächendeckenden Rollouts werden jedoch drei zertifizierte SMGWs benötigt. Um dennoch langfristig orientierte Produkte entwickelt werden können, lässt sich mit einem „Critical Function Prototyp“ Risiko im weiteren Entwicklungszyklen reduzieren [26] und ein Mehrwert für die potenziellen Endkunden gewährleisten [51]. Damit lässt sich der entwickelte Prototyp als „Critical Function Prototyp“ charakterisieren, der die Kommunikation über den transparenten Kanal als kritische Funktion identifiziert. Die Eigenschaft eines solchen Prototyps ist, dass er weder ein finales Produkt, noch einen finalen Prototypen darstellt. Daher ist die Abstrahierung der nicht-kritischen Funktionen aus Effizienzgründen notwendig. Im vorliegenden Prototypen betrifft dies die Netzampel sowie die Steuerung der Ladesäule durch die impliziert modellierte Flexibilität der Preisprognosen. Ebenfalls ist die Kundeninteraktion auf funktional notwendige Interaktion beschränkt.

## 6.2 Bewertung der Kommunikation über den transparenten Kanal

Die Bewertung der Kommunikation innerhalb der Reglementierung der technischen Richtlinien und Vorgaben des MsbG erfolgt in diesem Abschnitt. Es soll zunächst auf jeden HKS einzeln eingegangen werden und anschließend alle HKS gegenübergestellt werden. Im Kapitel 5 wird jedes der drei Szenarien erprobt und in den Prototypen eingegliedert, was die Grundlage der Bewertung darstellt.

Der HKS3 ist insofern besonders, als dass das SOCKSv5-Protokoll genutzt wird. Dies bringt zusätzliche Komplexität mit sich, zudem zur Authentifizierung das im Draft befindliche Protokoll „SSL for SOCKSv5“ genutzt wird. Bei der Umsetzung des HKS3 waren bei sowohl dem PPC als auch dem Theben SMGW, die den HKS3 bereitstellen, Schwierigkeiten bei der Umsetzung vorhanden, die auf die Protokollumsetzung zurückzuführen sind. Hierbei ist erneut anzumerken, dass sich die SMGWs im Entwicklungsstadium befinden. Bei strikter Umsetzung der Protokollvorgaben sollten diese Probleme in den zertifizierten SMGWs nicht mehr auftauchen. Der Vorteil des HKS3 besteht in der Unabhängigkeit vom GWA. Die notwendigen Konfigurationsprofile müssen einmal auf das SMGW aufgespielt werden, danach kann aus dem HAN der transparente Kanal so oft wie nötig initiiert werden. Lediglich bei strukturellen Veränderung der Kommunikation bedarf es eine Neuparametrisierung. Besonders unter dem Gesichtspunkt, dass die Vertragsverhältnisse zwischen dem externen Flexibilitätsanbieter und dem GWA unklar sind und der Flexibilitätsanbieter den GWA als Dienstleister benötigt, ist eine größtmögliche Unabhängigkeit angestrebt. Nicht zuletzt wird sich dies auch auf die Entgelte an den GWA auswirken. Weiter hat der Flexibilitätsanbieter die komplette Kontrolle wann und wie oft der transparente Kanal initiiert werden soll und kann so auch auf Kommunikationsprobleme reagieren. Ein weiterer relevanter Aspekt ist, dass jeder Kanal maximal 2 Tage offen sein darf, bevor er vom SMGW geschlossen wird. Das heißt, dass maximal nach zwei Tagen der transparente Kanal erneut initiiert werden muss und dies die CLS-Instanz, und damit der Flexibilitätsanbieter, selbst implementieren und steuern kann.

Der HKS4 impliziert eine große Abhängigkeit vom GWA. Nicht nur muss die Parametrisierung einmalig vorgenommen werden, es wird für jede Initiierung des Kommunikationsaufbaus die Schnittstelle zwischen aktiven EMT und GWA benötigt. Der GWA muss aus seinem System dem SMGW den Befehl zum Aufbau des TLS-Kanals geben. Dadurch ist eine weitere Kommunikationsverbindung in die Befehlskette integriert, was mehr Komplexität und damit auch Fehleranfälligkeit impliziert. Die einhergehende erhöhte Abhängigkeit zum GWA kann sich in den Kosten für die Verfügbarkeit des GWA-Systems widerspiegeln. Besonders die Berücksichtigung, dass ein transparenter Kanal nicht länger als 2 Tage ununterbrochen offen sein darf, gewichtet dieses Argument, da diese Schnittstelle mindestens alle zwei Tage genutzt wird. Weiter ist die Schnittstelle zwischen GWA und

EMT nicht Bestandteil der technischen Richtlinien, sodass im schlechten Fall jedes GWA-System eine proprietäre Schnittstelle aufweist. Da ein Drittunternehmen wenig Einfluss auf den zuständigen GWA beim Endkunden hat, müssen eine Vielzahl an Schnittstellen für verschiedene, im Einsatz befindliche GWA-Systeme implementiert werden. Dies führt zu erhöhten Entwicklungs- und Wartungskosten.

Als letztes ist der HKS5 zu betrachten. Hier ist ebenfalls einmal die Parametrisierung des SMGWs durchzuführen. Danach ist die Kommunikation auch in diesem Szenario unabhängig vom GWA. Es bleibt jedoch die Abhängigkeit vom SMGW zur Initiierung der Kommunikation. Der HKS5 kann nur eventbasiert initiiert werden. Dies kann besonders bei Fehlern oder Kommunikationsausfällen relevant sein. In [37] werden in diesem Kontext sogenannte „Quality of Service“-Parameter für Kommunikationsprofile definiert. Die Parameter sollen eine Wiederherstellung der Verbindung definieren. Allerdings ist es dabei schwer mit einem limitierten Parametersatz jegliche mögliche Umweltzustände abzudecken.

Für einen Flexibilitätsanbieter empfiehlt sich also aufgrund der Unabhängigkeit zum GWA der HKS3. Weiter wird Kommunikation im WAN durch den HKS3 reduziert. Während die Initiierung der Verbindung im HKS4 und HKS5 im WAN erfolgt, erfolgt diese im HKS3 im HAN. Da im WAN weitere Anwendungen wie die Kommunikation zum GWA erfolgen, ist dies ebenfalls zu präferieren.

Unter Berücksichtigung der vom BSI veröffentlichten Geräteprofile für SMGWs [20] ergeben sich weitere Argumentationspunkte. SMGWs der ersten Generation müssen demnach nur eins der drei HKS anbieten. So kann sich der Flexibilitätsanbieter, will er alle potentiellen Endkunden mit seinem Produkt bedienen, gar nicht nur auf einen HKS fokussieren, falls die am Markt angebotenen SMGWs unterschiedliche HKS anbieten. Die Präferenz, welcher HKS eingesetzt werden soll, kann somit auch von der Verfügbarkeit abhängen. Unabhängig vom HKS lässt sich feststellen, dass der Support von mehreren HKS zu höheren Entwicklungs- und Instandhaltungskosten führt. Zwar bietet das bereits zertifizierte PPC SMGW alle drei HKS an, das zweite zertifizierte SMGW von Sagemcom Dr. Neuhaus bietet jedoch nur HKS4 und HKS5 an. Dies zeigt, dass im realen Betrieb bereits nicht nur auf den HKS3 zurückgegriffen werden kann, sofern man Endkunden, bei denen ein Sagemcom Dr. Neuhaus SMGW verbaut ist, mit ins Kundenportfolio nehmen möchte. Es sollen weiter allgemeine Punkte zum transparenten Kanal betrachtet werden. So kann diskutiert werden, in wie weit die Ausgestaltung des transparenten Kanals Zugriff auf die Endkundendaten gibt und damit die WAN-Anwendungsfälle zur sicheren Datenübertragung an den EMT aushebeln. Der aktive EMT kann mit dem Zugriff ins HAN-Netzwerk an viele sensible Daten des Kunden gelangen. Erlaubt der Kunde die Nutzung der Letztverbrauerschnittstelle, hat der aktive EMT unabhängig von allen Tarifanwendungsfällen den Zugriff auf alle im SMGW gespeicherten Zählerdaten des Endkunden. Diese Daten kann der aktive EMT dann über den transparenten Kanal übermitteln. Hier bedarf es ge-

gebenenfalls auch bei der Vertragsausgestaltung zwischen aktiven EMT und Endkunden eine Regulation, ob der Zugriff auf die Letztverbraucherschnittstelle durch Drittunternehmen zum Schutz des Kunden unerlaubt sein sollte.

Nach der Betrachtung der HKS soll nun der Blickwinkel erweitert werden und die Auswirkungen allgemein auf das Thema Smart Grid betrachtet werden. Der transparente Kanal stellt eine Möglichkeit zur Kommunikation zwischen WAN und HAN-Netz dar. Die technischen Richtlinien regulieren jedoch nicht die Anlagensteuerung an sich. Die Ausgestaltung der Steuerbox ist damit nicht von den technischen Richtlinien beschrieben. Das FNN hat bereits einige Konzepte und Hinweise erarbeitet [36, 33, 35], jedoch sind diese nicht verpflichtend in der Umsetzung. Weiter fokussieren sich das FNN besonders auf die Übertragung der Rundsteuertechnik und ist in der Ausgestaltung auf ein hierarchisches System beschränkt, welches eine direkte Last- bzw. Erzeugungssteuerung durch Fahrplanvorgabe vorsieht. Die Anlagensteuerung wird über vier schaltbare Relais realisiert, mit welchen maximal 16 verschiedene Schaltzustände möglich sind. Eine Anlagensteuerung über weitere Protokolle werden nicht in die Ausgestaltung der Steuerungsfunktion mit eingebogen. Ein abstraktes Flexibilitätsmodell mit lokaler oder zellulärer Optimierung ist damit schwieriger zu vereinbaren.

Bisher gibt es ebenfalls nur ein Marktmechanismus, der an die Verwendung intelligenter Messsysteme geknüpft ist. So schreibt [39, §20] vor, dass für die Steuerung und Abfrage der Ist-Einspeisung bei der Direktvermarktung intelligente Messsysteme einzusetzen sind, falls diese am Markt verfügbar sind. Damit ist die Marktprämie bei der Direktvermarktung strikt an die Nutzung der intelligenten Messsysteme gebunden. Zwar ist denkbar, dass auch andere finanzielle Anreize zukünftig gesetzlich an die Verwendung intelligenter Messsysteme gebunden werden, allerdings ist dies bis heute noch nicht der Fall. Viel wichtiger ist jedoch, dass die Kommunikationsplattform die technischen Mindestanforderungen auch aus anderen Bereichen der Energiewirtschaft erfüllt und aufwendige Regulierungsprozesse vereinfacht. Ein Beispiel ist die Präqualifizierung für Regelleistung, bei der angestrebt werden sollte, dass die Verwendung von intelligenten Messsystemen den Anforderungen der Präqualifizierung hinsichtlich Kommunikation und Datenübertragung genügen.

### **6.3 Wirtschaftliche Implikationen für einen Betreiber eines virtuellen Kraftwerks**

Durch die Einführung neuer Technologien erheben sich nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche Hürden. In den vorgelagerten Kapiteln liegt der Fokus auf der technischen Umsetzung der Integration von Flexibilität. Dabei dürfen auch die wirtschaftlichen Herausforderungen nicht unterschätzt werden. Daher sollen im nächsten Schritt die gewon-

nenen Rückschlüsse aus der Prototypentwicklung auf die wirtschaftliche Welt übertragen werden. Durch die neue Rolle des GWA gibt es in den Marktprozessen große Anpassungen, was neue Geschäftsprozesse für Flexibilitätsanbieter impliziert. Die Eingliederung der Technologie in die Wertschöpfung bringt neue Herausforderungen und Chancen. Um methodisch an die Frage heranzugehen, wie die wirtschaftlichen Auswirkungen der Technologie sind, soll im folgenden das Geschäftsmodell eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerkes betrachtet werden. Als Grundlage, folgend Basismodell genannt, dient die Betrachtung vor Einführung intelligenter Messsysteme. Anschließend erfolgt die Adaption des Geschäftsmodells durch die Verwendung intelligenter Messsysteme. Das Basismodell lehnt sich an [43] an, bei dem die Autoren zwischen dem Aggregator, dem Betreiber eines virtuellen Kraftwerkes und dem Anbieter von DR unterscheiden. In dieser Arbeit bezieht sich der Betreiber des virtuellen Kraftwerkes sowohl auf den operationalen Betrieb der Anlage als auch auf die Aggregation und Vermarktung der Energie und Leistung, während der Kunde der Anbieter von DR ist. Der Kunde stellt über seine Energieressource als Erzeugungs- bzw. Verbrauchsanlage physische Demand-Response zur Verfügung. Der Betreiber des virtuellen Kraftwerks aggregiert mehrere verteilte Energieressourcen und agiert als eine Einheit an den Energiemärkten. Um die Anlagen zu überwachen und zu steuern, bedarf es eine sichere Kommunikationsverbindung. Im Basismodell wird diese zumeist proprietär entwickelt. Im adaptierten Geschäftsmodell wird die Kommunikation durch intelligente Messsysteme übernommen. Das Geschäftsmodell soll anhand des Business Model Canvas aus [47] bewertet werden. Das Business Model Canvas bildet ein Unternehmen auf neun verschiedene Bereiche ab, anhand derer nachfolgend das Geschäftsmodell eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerkes analysiert wird:

**Kundensegmente** Kunden sind Eigentümer verteilter Energieressourcen. Über die Anlagensteuerung ihrer Anlagen machen sie DR verfügbar.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Die Kunden müssen mit intelligentem Messsystem ausgestattet sein. Ein Großteil der Anlagen (>6 kWp) ist jedoch im Rolloutpfad als Pflichtoption beinhaltet.

**Wertangebot** Das Wertangebot umfasst die Schaffung des Marktzugangs, die Optimierung der Erlöse am Stromhandels- und Regelenergiemarkt sowie die Schaffung von Flexibilität durch die Übernahme der Anlagensteuerung. Ein nicht greifbarer Wert ist die positive ökologische Positionierung durch die aktive Partizipation an der Energiewende.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Die intelligenten Messsysteme stellen eine sichere Kommunikationsinfrastruktur zur Verfügung, sodass das Wertangebot hinsichtlich garantierter Datensicherheit erweitert werden kann. Außerdem kann die Kommunikationsinfrastruktur genutzt werden, um weitere Mehrwertdienste über das SMGW anzubieten.

**Kundenbeziehung** Die Kundenbeziehung beläuft sich vor allem auf Rahmenverträge zwischen den Parteien. Es können zusätzlich persönliche Beratungen oder automatisierte Dienstleistungen genutzt werden, um das Kundenverhältnis zu stärken. Es ist allgemein ein Lock-In-Effekt aus technischer Sicht zu nennen, da das Betreiben der Anlagen oftmals den Verbau von herstellerspezifischer Hardware und Kommunikationsinfrastruktur benötigt.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Der Lock-In-Effekt kann durch die Standardisierung der Kommunikation über das SMGW gesenkt werden. Die persönliche Beratung kann durch den Zugriff auf weitere Kundendaten über das SMGW dabei noch weiter ausgebaut werden.

**Vertriebskanäle** Vor allem ist hier der Direktvertrieb zu nennen, unterstützt durch offline und online Tätigkeiten wie der Internetauftritt des Unternehmens.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Der Vertrieb bleibt von der Einführung intelligenter Messsysteme unbeeinflusst.

**Schlüsselaktivitäten** Schlüsselaktivitäten sind Wartung, Installation und Betrieb der Anlagen. Auch die Vermarktung der Leistung und Energie, die Anlagensteuerung und die Prognose von Anlagezuständen und Marktpreisen sind hier zu nennen.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Die Aktivitäten bleiben grundlegend die selben, wobei die Anlagensteuerung mittels Kommunikation über ein SMGW erfolgt.

**Schlüsselressourcen** Als Schlüsselressourcen sind hinsichtlich der IT sowohl die Hardware und Software samt Algorithmen zur Preisprognose und intelligenten Vermarktungsstrategie zu nennen. Weiter ist ein qualifiziertes Personal unerlässlich. Eine notwendige Datengrundlage zur intelligenten Steuerung sowie Kommunikationsschnittstellen zu relevanten Partnern stellen weitere Ressourcen dar. Final sind auch die Präqualifizierung am Regelenergiemarkt oder ähnliche Hürden zur Marktteilnahme relevant.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Gültige Zertifikate der SM-PKI kommen als weitere Ressource hinzu. Ein aktiver EMT braucht innerhalb der Wirk-PKI gültige Zertifikate, um mit SMGWs zu kommunizieren. Weiter ermöglicht das SMGW auch den Zugang zu Zählerdaten in den deklarierten Tarifierungsfällen oder über den Letztverbraucher-Zugang im HAN, falls Kunden dem zustimmen. Die Kommunikationsschnittstellen verändern sich weiterhin, wobei die Kommunikation zunächst komplexer wird. Auch die Hardware wie etwa die Steuerbox muss auf Seite der Kommunikation zum Backend angepasst werden.

**Schlüsselpartnerschaften** Die Schlüsselpartner eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerks sind ÜNB, Regulatoren wie die BNetzA und OTC-Handelspartner. Partnerunternehmen sind weiterhin IT-Dienstleister und Handwerker für Installation und

Wartung der Anlagen.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Neue Schlüsselpartner sind sowohl das BSI als technischer Regulator sowie der GWA, aber auch SMGW-Hersteller. Vor allem das Zusammenspiel und die Abhängigkeit vom GWA ist eine große Veränderung des Geschäftsmodells.

**Einnahmequellen** Die Einnahmen bestehen einerseits aus Dienstleistungsentgelten und Markterlösen aus der Vermarktung der Energie und Leistung.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Durch die intelligenten Messsysteme können weitere Dienstleistungen angeboten werden, neue Erlösformen, wie etwa eine Plattform analog eines App Store, sind denkbar. So könnte der Kunde einzelne Dienstleistungen flexibel kaufen oder auch nur für einen Zeitraum mieten.

**Kostenstruktur** Die Kosten entstehen vor allem durch interne Kosten für Personal, Hardware und Software, die vorrangig IT-basiert sind. Ein großer Anteil der Kosten sind Fixkosten für Entwicklung und Vertrieb, sodass ein hoher Marktanteil und viele Kunden angestrebt sind, um die Kosten pro Kunden zu senken.

*Adaption SMGW-Infrastruktur:* Durch die Nutzung der GWA-Systeme zur Parametrisierung der SMGW und evtl. der Initiierung des transparenten Kanals im HKS4 werden Entgelte für den GWA notwendig, die zusätzlich hinzukommen. Ebenfalls wird der Umstieg auf intelligente Messsysteme als Kommunikationsplattform einmalig hohe Fixkosten für die Entwicklung der Systeme veranschlagen.

Intelligente Messsysteme stellen als Kommunikationsplattform einen notwendiger Enabler zur Flexibilitätserbringung dar, sie verändern aber die Modellierung der Flexibilität nicht grundlegend, zu mindestens solange nicht, bis auch die Steuerung mit in die TR03109 aufgenommen wird. Daher ändert sich das Geschäftsmodell auf weiteres nicht grundlegend. Vielmehr entstehen einem Betreiber eines virtuellen Kraftwerks zunächst Kosten zur Entwicklung von Systemen gegenüber einem etwas gesteigerten Wertangebot durch die vermarktbare Datensicherheit. Langfristig können über die Nutzung der Kommunikationsplattform vermehrt Dienstleistungen angeboten werden, was jedoch eine Expansion des Geschäftsmodells erfordert. Es können Potenziale durch die Kommunikationsplattform und den Zugang zu Zählerdaten geschaffen werden. Kritisch wird sein, ob die neu entwickelte Steuerbox deutlich günstiger ist als heutige eingesetzte Hardware zur Kommunikation und Steuerung mit der Anlage. Es wird jedoch deutlich, dass auch weiterhin Hardware von Seiten des Betreibers des virtuellen Kraftwerks notwendig sein wird, sodass Kostensenkungspotenziale fraglich sind. Eine große Hürde ist das noch unklare Verhältnis mit dem GWA. Auf diesen kann nur schwer Einfluss genommen werden. Es ist zu erwarten, dass eine Mehrzahl an GWA-Systemen bedient werden müssen, um alle Zielkunden erreichen zu können. Dazu sind Entgelte zu bestimmen, die die Dienstleistungen

des GWAs entschädigen. Neben der technischen Sicht ist es daher für Betreiber eines virtuellen Kraftwerks essenziell schon frühzeitig neue notwendige Geschäftsprozesse zu verstehen und in Kontakt mit verschiedenen GWA zu treten. Durch die Identifikation von Hürden in den neu zu entwickelten Geschäftsprozessen kann sich früh auf die Beseitigung dieses kritischen Punktes fokussiert werden, um sich anschließend auf die Nutzung der Chancen konzentrieren zu können.

## 7 Schlussbetrachtung

Nach der zweiten Zertifizierung eines SMGWs ist das BSI zuversichtlich, dass der Rollout noch 2019 beginnen kann [22]. SMGWs werden im Smart Grid einen zentralen Baustein einnehmen, dennoch werden SMGWs in der aktuellen Forschung wenig einbezogen. Trotz oder gerade wegen des langwierigen Zertifizierungsprozesses der SMGWs, der den Rollout intelligenter Messsysteme verzögert, sollte die spezifische Kommunikationsinfrastruktur zur Evaluierung diskutierter Flexibilitätsmodelle betrachtet werden. Anhand der vier formulierten Forschungsfragen als Leitstruktur, sollen die Ergebnisse zusammengefasst werden und abschließend ein Ausblick für die zukünftige Forschung gegeben werden.

Zunächst wurde die Frage nach der Integrierbarkeit von Flexibilität in die SMGW-Infrastruktur unter Betrachtung der Regulatorik gestellt. Dazu wurden in dieser Arbeit die regulatorischen Grundlagen durch das MsbG erörtert. Das BSI ist der wichtigste Regulator in technischer Hinsicht, während für die Marktprozesse die Bundesnetzagentur zuständig ist. Für Unternehmen, die Flexibilität anbieten und erbringen wollen, ist der transparente Kanal, als Möglichkeit eine bidirektionale Kommunikation zwischen WAN und HAN herzustellen, die wichtigste Funktion der SMGWs. Regulatorisch sind neben der technischen Umsetzung der Kommunikation die Anforderungen an die Sicherheit als größte Hürde zu nennen. Unternehmen die als aktiver EMT partizipieren wollen, müssen ein nach ISO 27001 zertifiziertes Informationssicherheits-Managementsystem nachweisen sowie ein Kryptografiemodul nach BSI-Vorgaben für alle kryptografischen Funktionen einsetzen. Diese Anforderungen werden an den Beantragenden eines Zertifikats innerhalb der SM-PKI gestellt. Neben den Implikationen auf Unternehmensebene ist übergeordnet die Ausgestaltung der Steuerung in der SMGW-Infrastruktur von wichtiger Bedeutung. Die Steuerung selbst ist nicht Bestandteil der Regulation. Durch den systemrelevanten Charakter ist die Homogenisierung der Steuerungsfunktionen im zukünftigen Smart Grid von hoher Bedeutung. Hier geht die Analyse in die zweite Forschungsfrage über, die nach aktuellen Industriestandards fragt, um Flexibilitätspotentiale zu nutzen. Das FNN im VDE nimmt in dieser Hinsicht eine wichtige Funktion ein. Die vorgeschlagene Steuerung der Anlagen über vier bitstabile Relais bietet eine hohe funktionale Sicherheit. Anlagen werden über direkte Lastgangsteuerung nach Fahrplan oder direkter Sollwertvorgabe gesteuert. Dies limitiert jedoch das Potential der Steuerung hinsichtlich der Eingliederung in komplexeren Flexibilitätsmodellen. So gestaltet das FNN das System mit Blick auf den Hauptanwendungsfall des Einspeisemanagements nach §14 EnWG zur direkten Lastkontrolle. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf einer flexibleren Steuerung, mit der entwickelte Flexibilitätsmodelle, die z.B. eine Marktlösung zum Ausgleich zwischen Erzeugung und Verbrauch definieren, in die SMGW-Infrastruktur eingegliedert werden können.

Unter der Frage nach einem Proof-Of-Concept zur Nutzung von Flexibilität innerhalb der SMGW-Infrastruktur wurde ein Prototyp entwickelt, der den transparenten Kanal nutzt,

um Flexibilität unter Restriktionen zur Sicherstellung der Netzstabilität zu erbringen. Als Flexibilitätsmodell wird ein Netzampelkonzept umgesetzt. Die daraus abgeleiteten globalen Restriktionen, welche durch den aktiven EMT über das SMGW an die Steuerbox gesendet werden, werden in die lokale Optimierung einer Ladesäulensteuerung berücksichtigt. Ein notwendiger Schritt zur Entwicklung des Prototyps ist die Erprobung des transparenten Kanals nach HKS3-5. Alle drei HKS konnten mit in der Zertifizierung befindlichen Geräten erfolgreich umgesetzt werden. In der Testinfrastruktur wurden nicht nur in der Zertifizierung befindliche SMGWs genutzt, sondern auch marktreife Systeme eines zertifizierten GWA eingebunden. Die gesamte Kommunikation konnte so in die SM-Test-PKI eingegliedert werden. Sowohl die SMGWs, der GWA, als auch der aktive EMT nutzen in der SM-Test-PKI gültige Zertifikate. Weiter wurden die Systeme des aktiven EMTs und der Steuerbox eigens entwickelt. Somit kann ein reales Umfeld im Testaufbau im Living Lab smartEnergy erreicht werden. Eine wichtige Erkenntnis ist die starke Abhängigkeit aller involvierten Parteien zur erfolgreiche Umsetzung. Der SMGW-Hersteller muss mit seinem SMGW den benötigten HKS bereitstellen. Da für die 1. Generation der SMGWs nur einer der drei HKS3-5 umgesetzt werden muss, werden nicht bei allen zertifizierten SMGWs alle drei HKS verfügbar sein. Weiter gibt es einzelne Details in der Parametrisierung der SMGWs, welche sich unterscheiden. Dies können Parameterangaben der Konfigurationsprofile sein, aber auch Umsetzungen der Kommunikationsprotokolle. Auch muss der GWA alle SMGWs in seinem System unterstützen. Für den Flexibilitätserbringer, welcher als aktiver EMT mit dem SMGW kommuniziert, ist besonders die Schnittstelle zum GWA herauszustellen. Im HKS4 wird mindestens alle zwei Tage die Initiierung des Kanalaufbaus pro SMGW notwendig, was eine große Abhängigkeit zur Verfügbarkeit des GWA-Systems darstellt. Daher ist der HKS3 zu bevorzugen, da in diesem die Unabhängigkeit vom GWA am größten ist. Im HKS3 beschränkt sich die Abhängigkeit zum GWA auf die einmalige Parametrisierung des transparenten Kanals. Danach kann die Kommunikation aus dem HAN-Bereich durch das CLS initiiert werden. Außerdem ist die Schnittstelle zwischen EMT und GWA nicht in den technischen Richtlinien reguliert, sodass diese ohne Standard proprietär für das jeweilige GWA-System ist. Mit über 700 verschiedenen grundzuständigen Messstellenbetreibern und 31 zertifizierten GWA-Systemen ergibt sich ein entsprechend hoher Aufwand die Schnittstellen zu bedienen.

Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Schnittstelle des transparenten Kanals auch genutzt werden kann, um andere definierte Funktionen des SMGWs zu umgehen. Über die Schnittstelle ins Kundennetz kann die Übertragung der Zählerdaten durch das SMGW nach WAN-Anwendungsfall 5 obsolet gemacht werden, falls der Kunde dem aktiven EMT Zugang zur Letztverbraucherschnittstelle gewährt. Somit können auch alle für den Anwendungsfall spezifisch definierten Anforderungen umgangen werden. Außerdem kann der aktive EMT im Kundennetz an zusätzliche Daten gelangen, sodass eine Regulierung der

Daten, die im Kundennetz durch die Steuerbox ermittelt und über den transparenten Kanal kommuniziert werden dürfen, in den Fokus rückt.

Abschließend zielt die vierte Forschungsfrage auf die wirtschaftliche Einordnung ab. Die Wichtigkeit der Rolle des GWA spiegelt sich auch in der Betrachtung des Geschäftsmodells eines Betreibers eines virtuellen Kraftwerks wieder. Da die Rolle des GWA eine neue Rolle im Markt darstellt, sind Prozesse und Entgeltsysteme für die Dienstleistung neu zu definieren. Betreiber virtueller Kraftwerke können mit der SMGW-Infrastruktur die sichere Kommunikation als zusätzliches Wertangebot vermarkten. Technisch ist die Umstellung der Kommunikation von selbst betriebener VPN-Infrastruktur auf die SMGW-Infrastruktur zunächst mit Fixkosten für die Entwicklung der Systeme verbunden. Auch in Zukunft wird eine Hardware benötigt, die den Endpunkt der Kommunikation mit aktiven EMT im Kundennetz darstellt, die Steuerungsanweisungen im Kundennetz bündelt und mit den einzelnen Anlagen wie einer Ladesäule kommuniziert.

Aufgrund der Limitierung des Umfangs der Arbeit wird sich auf den Anwendungsfall der Ladesäulensteuerung beschränkt und ein Prototyp entwickelt, der sich auf die kritischen Funktionen fokussiert. Diese kritische Funktion stellt die Kommunikation über das SMGW dar. Der transparente Kanal ist aber nicht nur in diesem spezifisch betrachteten Fall grundlegend, sondern ist für alle Anwendungen, die eine Kommunikation in den HAN-Bereich benötigen, essenziell. Solche Anwendungen, auch Mehrwertdienste genannt, umfassen alle vom BSI definierten Einsatzbereiche des SMGWs: Smart Metering, Smart Grid, Smart Mobility, Smart Home und Smart Services. Aufgrund der Beschränkung wird eine abstrahierte Form der Netzampel umgesetzt. Ein zukünftiger Forschungsbereich ist, in der Forschung diskutierte Flexibilitätsmodelle mit dem Einsatz von SMGWs zu kombinieren. Mögliche Modelle werden unter anderem in den SINTEG-Programmen entwickelt, sodass ein nächster Schritt die verbreitete Einbindung von SMGWs in den Forschungsprojekten darstellt. Die technischen Grundlagen werden von den SMGWs bereitgestellt und in dieser Arbeit hinsichtlich der Erbringung von Flexibilität detailliert erörtert.

## A HAN-Kommunikationsprofil

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<khw:container id="01005e318010.ecpr0000003823.sm" xmlns:cox="urn:k461-
  ↪ dke-de:extension-1" xmlns:cs="urn:k461-dke-de:channel_setup-1"
  ↪ xmlns:khi="urn:k461-dke-de:kaf_han_wan_index-1" xmlns:khw="urn:k461
  ↪ -dke-de:kaf_han_wan_container-1" xmlns:qs="urn:k461-dke-de:
  ↪ qos_sq_setup-1" xmlns:rs="urn:k461-dke-de:role_setup-1" xmlns:
  ↪ trcert="urn:k461-dke-de:tr_certificate_setup-1" xmlns:us="urn:k461-
  ↪ dke-de:user_setup-1" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
<khw:kaf_object class_id="32795" class_version="0" id="01005e318011.
  ↪ ecpr0000003823.sm">
  <khi:attributes count="7">
    <cox:logical_name id="1">01005e318011.ecpr0000003823.sm</cox:
      ↪ logical_name>
    <khi:kaf_priority id="2">NORMAL</khi:kaf_priority>
    <khi:dest_addresses count="1" id="3">
      <khi:dest_address id="1">192.168.207.136:1080</khi:dest_address>
    </khi:dest_addresses>
    <khi:channel_reference id="4">
      <cox:logical_name>01005e318012.ecpr0000003823.sm</cox:logical_name
        ↪ >
      <cox:class_id>32797</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </khi:channel_reference>
    <khi:role_reference id="5">
      <cox:logical_name>01005e318014.ecpr0000003823.sm</cox:logical_name
        ↪ >
      <cox:class_id>32798</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </khi:role_reference>
    <khi:ext_user_reference id="6">
      <cox:logical_name>01005e318015.ecpr0000003823.sm</cox:logical_name
        ↪ >
      <cox:class_id>32796</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </khi:ext_user_reference>
    <khi:int_user_reference id="7">
```

```
<cox:logical_name>01005e3180a6.eppc0210501673.sm</cox:logical_name>
  ↪ >
<cox:class_id>32821</cox:class_id>
<cox:class_version>0</cox:class_version>
</khi:int_user_reference>
</khi:attributes>
</khw:kaf_object>
<khw:channel_object class_id="32797" class_version="0" id="01005e318012
  ↪ .ecpr0000003823.sm">
<cs:attributes count="9">
  <cox:logical_name id="1">01005e318012.ecpr0000003823.sm</cox:
    ↪ logical_name>
  <cs:channel_id id="2">01</cs:channel_id>
  <cs:channel_name id="3">ECPR0000003823</cs:channel_name>
  <cs:channel_purpose id="4">HKS3</cs:channel_purpose>
  <cs:channel_tos id="5">0</cs:channel_tos>
  <cs:interface id="6">IF_GW_HAN2</cs:interface>
  <cs:tls_keepalive id="7">1</cs:tls_keepalive>
  <cs:tls_max_idle_time id="8">180</cs:tls_max_idle_time>
  <cs:tls_max_session_time id="9">600</cs:tls_max_session_time>
</cs:attributes>
</khw:channel_object>
<khw:role_object class_id="32798" class_version="0" id="01005e318014.
  ↪ ecpr0000003823.sm">
<rs:attributes count="2">
  <cox:logical_name id="1">01005e318014.ecpr0000003823.sm</cox:
    ↪ logical_name>
  <rs:role id="2">CLS</rs:role>
</rs:attributes>
</khw:role_object>
<khw:ext_user_object class_id="32796" class_version="0" id="01005
  ↪ e318015.ecpr0000003823.sm">
<us:attributes count="2">
  <cox:logical_name id="1">01005e318015.ecpr0000003823.sm</cox:
    ↪ logical_name>
  <trcert:c_tls id="2">3082029d30820243a003[...] </trcert:c_tls>
</us:attributes>
</khw:ext_user_object>
```

```

<khw:int_user_object class_id="32821" class_version="0" id="01005
  ↪ e3180a6.eppc0210501673.sm">
  <trcert:attributes count="1">
    <cox:logical_name id="1">01005e3180a6.eppc0210501673.sm</cox:
      ↪ logical_name>
  </trcert:attributes>
</khw:int_user_object>
</khw:container>

```

## B WAN-Kommunikationsprofil

```

<khw:container id="01005e318010.ecpr0000003824.sm" xmlns:cox="urn:k461-
  ↪ dke-de:extension-1" xmlns:cs="urn:k461-dke-de:channel_setup-1"
  ↪ xmlns:khi="urn:k461-dke-de:kaf_han_wan_index-1" xmlns:khw="urn:k461
  ↪ -dke-de:kaf_han_wan_container-1" xmlns:qs="urn:k461-dke-de:
  ↪ qos_sq_setup-1" xmlns:rs="urn:k461-dke-de:role_setup-1" xmlns:
  ↪ trcert="urn:k461-dke-de:tr_certificate_setup-1" xmlns:us="urn:k461-
  ↪ dke-de:user_setup-1" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/XMLSchema">
<khw:kaf_object class_id="32795" class_version="0" id="01005e318011.
  ↪ ecpr0000003824.sm">
  <khi:attributes count="8">
    <cox:logical_name id="1">01005e318011.ecpr0000003824.sm</cox:
      ↪ logical_name>
    <khi:kaf_priority id="2">NORMAL</khi:kaf_priority>
    <khi:dest_addresses count="1" id="3">
      <khi:dest_address id="1">192.168.208.136:44330</khi:dest_address>
    </khi:dest_addresses>
    <khi:channel_reference id="4">
      <cox:logical_name>01005e318012.ecpr0000003824.sm</cox:logical_name
        ↪ >
      <cox:class_id>32797</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </khi:channel_reference>
    <khi:qos_sq_reference id="5">
      <cox:logical_name>01005e318013.ecpr0000003824.sm</cox:logical_name
        ↪ >
      <cox:class_id>32799</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>

```

```
</khi:qos_sq_reference>
<khi:role_reference id="6">
  <cox:logical_name>01005e318014.ecpr0000003824.sm</cox:logical_name
    ↔ >
  <cox:class_id>32798</cox:class_id>
  <cox:class_version>0</cox:class_version>
</khi:role_reference>
<khi:ext_user_reference id="7">
  <cox:logical_name>01005e318015.ecpr0000003824.sm</cox:logical_name
    ↔ >
  <cox:class_id>32796</cox:class_id>
  <cox:class_version>0</cox:class_version>
</khi:ext_user_reference>
<khi:int_user_reference id="8">
  <cox:logical_name>01005e3180a5.eppc0210501673.sm</cox:logical_name
    ↔ >
  <cox:class_id>32821</cox:class_id>
  <cox:class_version>0</cox:class_version>
</khi:int_user_reference>
</khi:attributes>
</khw:kaf_object>
<khw:channel_object class_id="32797" class_version="0" id="01005e318012
  ↔ .ecpr0000003824.sm">
  <cs:attributes count="9">
    <cox:logical_name id="1">01005e318012.ecpr0000003824.sm</cox:
      ↔ logical_name>
    <cs:channel_id id="2">02</cs:channel_id>
    <cs:channel_name id="3">ECPR0000003824</cs:channel_name>
    <cs:channel_purpose id="4">INFO-REPORT</cs:channel_purpose>
    <cs:channel_tos id="5">0</cs:channel_tos>
    <cs:interface id="6">IF_GW_WAN</cs:interface>
    <cs:tls_keepalive id="7">1</cs:tls_keepalive>
    <cs:tls_max_idle_time id="8">180</cs:tls_max_idle_time>
    <cs:tls_max_session_time id="9">600</cs:tls_max_session_time>
  </cs:attributes>
</khw:channel_object>
<khw:qos_object class_id="32799" class_version="0" id="01005e318013.
  ↔ ecpr0000003824.sm">
  <qs:attributes count="9">
```

```
<cox:logical_name id="1">01005e318013.ecpr0000003824.sm</cox:
  ↪ logical_name>
<qs:max_loop_count id="2">10</qs:max_loop_count>
<qs:log_loop_failures id="3">1</qs:log_loop_failures>
<qs:loop_times count="1" id="4">
  <qs:waitseconds id="1">10</qs:waitseconds>
</qs:loop_times>
<qs:max_retry_count id="5">3</qs:max_retry_count>
<qs:log_retry_failures id="6">1</qs:log_retry_failures>
<qs:retry_times count="1" id="7">
  <qs:waitseconds id="1">10</qs:waitseconds>
</qs:retry_times>
<qs:fallback_time id="8">10</qs:fallback_time>
<qs:log_fallback_failures id="9">1</qs:log_fallback_failures>
</qs:attributes>
</khw:qos_object>
<khw:role_object class_id="32798" class_version="0" id="01005e318014.
  ↪ ecpr0000003824.sm">
  <rs:attributes count="2">
    <cox:logical_name id="1">01005e318014.ecpr0000003824.sm</cox:
      ↪ logical_name>
    <rs:role id="2">EMT</rs:role>
  </rs:attributes>
</khw:role_object>
<khw:ext_user_object class_id="32796" class_version="0" id="01005
  ↪ e318015.ecpr0000003824.sm">
  <us:attributes count="4">
    <cox:logical_name id="1">01005e318015.ecpr0000003824.sm</cox:
      ↪ logical_name>
    <trcert:c_tls id="2">30820449308203eea003[...]</trcert:c_tls>
    <trcert:c_enc id="3">3082041a308203c0a003[...]</trcert:c_enc>
    <trcert:c_sig id="4">30820419308203c0a003[...]</trcert:c_sig>
  </us:attributes>
</khw:ext_user_object>
<khw:int_user_object class_id="32821" class_version="0" id="01005
  ↪ e3180a5.eppc0210501673.sm">
  <trcert:attributes count="1">
    <cox:logical_name id="1">01005e3180a5.eppc0210501673.sm</cox:
      ↪ logical_name>
```

```

    </trcert:attributes>
  </khw:int_user_object>
</khw:container>

```

## C Proxy-Profil

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<ps:object class_id="32780" class_version="0" id="01005e318017.
  ↪ epr0000001302.sm" xmlns:cox="urn:k461-dke-de:extension-1" xmlns:ps
  ↪ ="urn:k461-dke-de:proxy_server-1" xmlns:xs="http://www.w3.org/2001/
  ↪ XMLSchema">
  <ps:attributes count="5">
    <cox:logical_name id="1">01005e318017.epr0000001302.sm</cox:
      ↪ logical_name>
    <ps:wam_peer id="2">
      <cox:logical_name>01005e318011.ecpr0000003824.sm</cox:logical_name>
      <cox:class_id>32795</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </ps:wam_peer>
    <ps:ham_peer id="3">
      <cox:logical_name>01005e318011.ecpr0000003823.sm</cox:logical_name>
      <cox:class_id>32795</cox:class_id>
      <cox:class_version>0</cox:class_version>
    </ps:ham_peer>
    <ps:session_status id="4">
      <ps:connected>0</ps:connected>
      <ps:session_timer>0</ps:session_timer>
    </ps:session_status>
    <ps:cls_connect id="5">1</ps:cls_connect>
  </ps:attributes>
</ps:object>

```

## D Konfiguration des MQTT-Brokers der Steuerbox

```

#Mosquitto Konfiguration der Steuerbox
#allgemeine Konfiguration

```

```
pid_file /var/run/mosquitto.pid
include_dir /etc/mosquitto/conf.d
persistence true
persistence_location /var/lib/mosquitto/
persistence_file mosquitto.db

#Konfiguration der Clients, welche auf dem selben System laufen
listener 1883 localhost
protocol mqtt
max_connections -1
allow_anonymous true

#Konfiguration der Brueckenverbindung zum MQTT Broker des aktiven EMTs
connection EPPC0210501673
address 127.0.0.1:44444
bridge_protocol_version mqttv311
cleansession true
notifications true
notification_topic EPPC0210501673/connection/broker/state
remote_clientid EPPC0210501673
start_type automatic
topic ChargingPoint/# out 0 "" EPPC0210501673/
topic connection/# out 0 "" EPPC0210501673/
topic grid/state in 1 "" EPPC0210501673/
topic forecasts/# in 1 "" EPPC0210501673/
try_private true

#Konfiguration des Logs
log_dest file /var/log/mosquitto/mosquitto.log
log_type all
connection_messages true
log_timestamp true
```

## Literatur

- [1] Gesetz über das Inverkehrbringen und die Bereitstellung von Messgeräten auf dem Markt, ihre Verwendung und Eichung sowie über Fertigpackungen (Mess- und Eichgesetz - Messeg): Messeg, 2016.
- [2] Gesetz über den Messstellenbetrieb und die Datenkommunikation in intelligenten Energienetzen (Messstellenbetriebsgesetz): Msbg, 2016.
- [3] Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG) § 14a Steuerbares Gesetz über die Elektrizitäts- und Gasversorgung (Energiewirtschaftsgesetz - EnWG): EnWG, 2019.
- [4] ALIZADEH, M. I., PARSA MOGHADDAM, M., AMJADY, N., SIANO, P., AND SHEIKH-EL-ESLAMI, M. K. Flexibility in future power systems with high renewable penetration: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57 (2016), 1186–1193.
- [5] BESCHLUSSKAMMER 6 DER BUNDESNETZAGENTUR. Verwaltungsverfahren zur Anpassung der Vorgaben zur elektronischen Marktkommunikation an die Erfordernisse des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende (BK6-16-200), 2016.
- [6] BESCHLUSSKAMMER 6 DER BUNDESNETZAGENTUR. Verwaltungsverfahren zur weiteren Anpassung der Vorgaben zur elektronischen Marktkommunikation an die Erfordernisse des Gesetzes zur Digitalisierung der Energiewende („Marktkommunikation 2020 – Mako 2020“) (BK6-18-032), 2018.
- [7] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Smart metering pki root ca.
- [8] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Protection profile for the gateway of a smart metering system (smart meter gateway pp): Version 1.3, 2014.
- [9] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Protection profile for the security module of a smart meter gateway (security module pp): Version 1.03, 2014.
- [10] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische Richtlinie BSI TR-03109-2: Smart meter gateway – Anforderungen an die Funktionalität und Interoperabilität des Sicherheitsmoduls: Version 1.1, 2014.

- 
- [11] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische richtlinie tr-03109-3: Kryptographische vorgaben für die infrastruktur von intelligenten messsystemen: Version 1.1, 2014.
  - [12] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Smart metering test pki, 2015.
  - [13] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische richtlinie bsi tr-03109-6: Smart meter gateway administration: Version 1.0, 2015.
  - [14] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Certificate policy der smart metering pki, 2017.
  - [15] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische richtlinie bsi tr-03109-4: Smart metering pki - public key infrastruktur für smart meter gateways: Version 1.2.1, 2017.
  - [16] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Key lifecycle security requirements: Version 1.0.2, 2018.
  - [17] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Marktanalyse zur feststellung der technischen möglichkeit zum einbau intelligenter messsysteme nach § 30 msbg, 2019.
  - [18] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Standardisierungsstrategie zur sektorübergreifenden digitalisierung nach dem gesetz zur digitalisierung der energiewende: Roadmap für die weiterentwicklung der technischen bsi-standards in form von schutzprofilen und technischen richtlinien, 2019.
  - [19] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische richtlinie bsi tr-03109-1: Anforderungen an die interoperabilität der kommunikationseinheit eines intelligenten messsystems: Version 1.0.1, 2019.
  - [20] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Technische richtlinie bsi tr-03109-1: Anlage vii: Interoperabilitätsmodell und geräteprofile für smart-meter-gateways: Version 1.0, 2019.
  - [21] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Zertifizierte produkte - intelligente messsysteme, 2019.
  - [22] BUNDESAMT FÜR SICHERHEIT IN DER INFORMATIONSTECHNIK. Zweites smart-meter-gateway zertifiziert, 2019.
  - [23] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. C/sells – keimzellen der digitalen energiewende, 2019.

- 
- [24] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE. enera – digitalisierung der energieverorgung, 2019.
- [25] BUNDESNETZAGENTUR FÜR ELEKTRIZITÄT, GAS, TELEKOMMUNIKATION, POST UND EISENBAHNEN, AND BUNDESKARTELLAMT. Monitoringbericht 2018, 2019.
- [26] CARLETON, T., AND COCKAYNE, W. The power of prototypes in foresight engineering. In *DS 58-6: Proceedings of ICED 09, the 17th International Conference on Engineering Design, Vol. 6, Design Methods and Tools (pt. 2), Palo Alto, CA, USA, 24.-27.08. 2009* (2009).
- [27] COULEUR, S. Smart meter gateway siconiatm smarty iq cc-zertifiziert vom bs, 2019.
- [28] EDELMANN, H., AND FLEISCHLE, F. Barometer digitalisierung der energiewende. ein neues denken und handeln für die energiewende: Studie im auftrag des bundesministeriums für wirtschaft und energie, 2019.
- [29] EFR GMBH. Smart grid hub - secure sgh-s, 2019.
- [30] ERNEUERBARE ENERGIEN HAMBURG CLUSTERAGENTUR GMBH. Die zukunft der energie beginnt im norden, 2018.
- [31] ERNST & YOUNG. Kosten-nutzen-analyse für einen flächendeckenden einsatz intelligenter zähler: Studie im auftrag des bundesministeriums für wirtschaft und energie, 2013.
- [32] FÖRDERER, K., LÖSCH, M., NÖVER, R., RONCZKA, M., AND SCHMECK, H. Smart meter gateways: Options for a bsi-compliant integration of energy management systems. *Applied Sciences* 9, 8 (2019), 1634.
- [33] FORUM NETZTECHNIK/NETZBETRIEB IM VDE. Fnn-hinweis: Koordinierungsfunktion auf betriebsebene, 2018.
- [34] FORUM NETZTECHNIK/NETZBETRIEB IM VDE. Fnn-hinweis: Lastenheft basiszähler - funktionale merkmale: Version 1.4.1, 2018.
- [35] FORUM NETZTECHNIK/NETZBETRIEB IM VDE. Fnn-hinweis: Lastenheft steuerbox - funktionale und konstruktive merkmale: Version 1.0, 2018.
- [36] FORUM NETZTECHNIK/NETZBETRIEB IM VDE. Fnn-konzept zum koordiniertensteuerzugriff in der niederspannung über das intelligente messsystem, 2018.
- [37] FORUM NETZTECHNIK/NETZBETRIEB IM VDE. Fnn-hinweis: Lastenheft smart-meter-gateway funktionale merkmale: Version 1.2, 2019.

- [38] FREUDENMANN, C., HENNEKE, D., KUDERA, C., KAMMERSTETTER, M., WISNIEWSKI, L., RAQUET, C., KASTNER, W., AND JASPERNEITE, J. Open and secure: Amending the security of the bsi smart metering infrastructure to smart home applications via the smart meter gateway. In *Smart Energy Research. At the Crossroads of Engineering, Economics, and Computer Science*, C. Derksen and C. Weber, Eds., vol. 495 of *IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Springer International Publishing, Cham, 2017, pp. 136–146.
- [39] GESETZ FÜR DEN AUSBAU ERNEUERBARER ENERGIEEN. : Eeg, 2019.
- [40] HEIMGAERTNER, F., AND MENTH, M. Distributed controller communication in virtual power plants using smart meter gateways. In *Conference proceedings ICE/IEEE ITMC* (Piscataway, NJ, 2018), IEEE, pp. 1–6.
- [41] HESS, S., KAUFMANN, T., RIEDINGER, T., WENING, J., SCHINDLMEIER, A., STERN, K., HEILSCHER, G., LORENZ, H., CHEN, S., BINDER, J., EBE, F., AND KONDZIALKA, C. Cls-applikationen - digitalisierung energiewende - made in bw: Abschlussbericht cls-app bw.
- [42] HOEFLING, M., HEIMGAERTNER, F., FUCHS, D., AND MENTH, M. josef: A java-based open-source smart meter gateway experimentation framework. In *Energy Informatics*, S. Gottwalt, L. König, and H. Schmeck, Eds., vol. 9424 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer International Publishing, Cham, 2015, pp. 165–176.
- [43] LÖBBE, S., AND HACKBARTH, A.
- [44] LUND, P. D., LINDGREN, J., MIKKOLA, J., AND SALPAKARI, J. Review of energy system flexibility measures to enable high levels of variable renewable electricity. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45 (2015), 785–807.
- [45] MAUSER, I., MÜLLER, J., FÖRDERER, K., AND SCHMECK, H. Definition, modeling, and communication of flexibility in smart buildings and smart grid. In *ETG Congress 2017 – Die Energiewende, Bonn, November 28 – 29, 2017* (2017), ETG-Fachberichte, VDE VERLAG, pp. 605–610.
- [46] NETZE BW GMBH. Netze bw installiert als erster grundzuständiger messstellenbetreiber zertifiziertes, intelligentes messsystem, 2018.
- [47] OSTERWALDER, A., PIGNEUR, Y., OLIVEIRA, M. A.-Y., AND FERREIRA, J. J. P. Business model generation: A handbook for visionaries, game changers and challengers. *African journal of business management* 5, 7 (2011), 22–30.
- [48] PHYSIKALISCH-TECHNISCHEN BUNDES-ANSTALT. Ptbandforderungen 50.8, 2014.

- 
- [49] POWER PLUS COMMUNICATIONS AG. Smart meter gateways von ppc, 2019.
- [50] PROJEKTLEITUNG NEW 4.0. Energiewende: Entdecke das energiesystem der zukunft!, 2019.
- [51] UEBERNICKEL, F., AND BRENNER, W. Design thinking. In *Business Innovation: Das St. Galler Modell*, C. P. Hoffmann, S. Lennerts, C. Schmitz, W. Stölzle, and F. Uebersnickel, Eds., vol. 6. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2016, pp. 243–265.
- [52] WINDNODE-PROJEKTMANAGEMENT. Vernetzter endkunde, 2019.

## Erklärung

*Ich versichere wahrheitsgemäß, die Arbeit selbstständig verfasst, alle benutzten Hilfsmittel vollständig und genau angegeben und alles kenntlich gemacht zu haben, was aus Arbeiten anderer unverändert oder mit Abänderungen entnommen wurde sowie die Satzung des KIT zur Sicherung guter wissenschaftlicher Praxis in der jeweils gültigen Fassung beachtet zu haben.*

Karlsruhe, 13. Dezember 2019

Nils Kroener