

Master's Thesis  
submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree  
Master of Science

**AN EVALUATION OF THE INTEROPERABILITY OF E-MOBILITY SYSTEMS  
EMBEDDED IN THE UNIT-E<sup>2</sup>-SYSTEM-ARCHITECTURE**

Examiner: Prof. Dr. Sebastian Schwennen  
Center for Energy Markets  
TUM School of Management  
Technical University of Munich

Supervisor: M.Sc. Adriana Kiszka  
Center for Energy Markets  
TUM School of Management  
Technical University of Munich

Co-Supervisor: M.Sc. Jeremias Hawran  
Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V. (FfE)

Study Program: Management and Technology (M.Sc.)

Composed by: Louis Gugg  
Praschlerstraße 45  
81673 Munich  
Matriculation Number: 03700796

Submitted on: 30<sup>th</sup> of April 2024

## **Declaration of Independence**

I assure the single handed composition of this master's thesis only supported by declared resources.

Munich, the 30<sup>th</sup> of April 2024

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Louis Gutz". The signature is fluid and cursive, with a large, stylized "L" at the beginning.

## **Kurzzusammenfassung**

Interoperabilität ist ein zentrales Konzept der modernen Systemintegration, dass es unterschiedlichen Systemen und Komponenten ermöglicht, Informationen nahtlos auszutauschen und zu nutzen. Die Verwirklichung von Interoperabilität ist mit erheblichen Herausforderungen verbunden, wie z. B. der Notwendigkeit übergreifender Standards inmitten einer Vielzahl von Optionen, dem raschen technologischen Fortschritt und der Integration von Altsystemen, wobei Interoperabilität in kritischen Sektoren wie dem Gesundheitswesen oder dem Transportwesen, wo ein nahtloser Datentransfer von größter Bedeutung ist, eine entscheidende Rolle spielt. Die Vorteile der Interoperabilität liegen im Potential, Kosten zu senken, Effizienzen zu steigern, Sicherheit zu erhöhen und der stärkeren Beteiligung der Verbraucher. Interoperabilität kann zusätzlich als Katalysator für Innovation dienen. Die Methoden zur Bewertung der Interoperabilität sind entscheidend, aber auch komplex und erfordern maßgeschneiderte Ansätze, um sowohl technische als auch nicht-technische Aspekte effektiv zu messen. Das Rahmenwerk „Level of Conceptualized Interoperability“, das sieben progressive Stufen umfasst, bietet einen strukturierten Ansatz für die Bewertung, auch wenn praktische Umsetzungsleitlinien nach wie vor kaum vorhanden sind. Im aufkeimenden Bereich der Elektromobilität wird Interoperabilität zum Dreh- und Angelpunkt für nahtlose Ladevorgänge und die Verbreitung von Elektrofahrzeugen. Die Vielfalt der Kommunikationsprotokolle und die mangelnde Reife der bestehenden Standards stellen jedoch erhebliche Hürden dar, und das Zusammenspiel von Interoperabilität und IT-Sicherheit unterstreicht die Notwendigkeit eines umfassenden Ansatzes zur Minderung von Cybersicherheitsrisiken. Projekte wie unIT-e<sup>2</sup> sind ein Beispiel für die Bemühungen, Interoperabilität in komplexe Ökosysteme zu integrieren, was ein differenziertes Verständnis der Integrationsdynamik erfordert. Diese Forschungsarbeit konzentriert sich auf die Bewertung der Interoperabilität im Rahmen des unIT-e<sup>2</sup>-Projekts und verwendet einen gemischten Methodenansatz, der theoretische Erhebungen und praktische Plugfest-Evaluierungen umfasst. Die Ergebnisse zeigen sowohl Erfolge als auch Herausforderungen auf verschiedenen Interoperabilitätsebenen auf und unterstreichen die Notwendigkeit einer kontinuierlichen Verfeinerung und Standardisierung in dieser sich entwickelnden Landschaft.

## **Abstract**

Interoperability is a key concept in modern system integration, enabling different systems and components to exchange and use information seamlessly. There are significant challenges to achieving interoperability, such as the need for overarching standards amidst a multitude of options, rapid technological advancement and the integration of legacy systems, with interoperability playing a crucial role in critical sectors such as healthcare or transportation where seamless data transfer is paramount. The benefits of interoperability include the potential to reduce costs, increase efficiencies, enhance security and increase consumer participation. Interoperability can also serve as a catalyst for innovation. The methods for assessing interoperability are critical, but also complex and require tailored approaches to effectively measure both technical and non-technical aspects. The Level of Conceptualized Interoperability framework, which comprises seven progressive levels, provides a structured approach to assessment, although practical implementation guidelines are still scarce. In the emerging field of electromobility, interoperability is becoming the linchpin for seamless charging processes and the spread of electric vehicles. However, the diversity of communication protocols and the lack of maturity of existing standards pose significant hurdles, and the interplay between interoperability and IT security underlines the need for a comprehensive approach to mitigate cybersecurity risks. Projects such as unIT-e<sup>2</sup> are an example of efforts to integrate interoperability into complex ecosystems, which requires a nuanced understanding of integration dynamics. This research focuses on the assessment of interoperability within the unIT-e<sup>2</sup> project and uses a mixed methods approach that includes theoretical surveys and practical plugfest evaluations. The results highlight both successes and challenges at various levels of interoperability and underscore the need for continued refinement and standardization in this evolving landscape.

# List of Contents

<b>List of Figures .....</b>	<b>I</b>
<b>List of Tables.....</b>	<b>II</b>
<b>List of Appendix.....</b>	<b>III</b>
<b>List of Abbreviations.....</b>	<b>IV</b>
<b>1. Introduction.....</b>	<b>1</b>
<b>2. Literature Review.....</b>	<b>3</b>
2.1. General Interoperability .....	3
2.1.1. Delimitation and Definition.....	3
2.1.2. Difficulties in Achieving Interoperability.....	4
2.1.3. Opportunities and Necessities Underlying Interoperability.....	6
2.1.4. Measuring, Assessing and Reporting of Interoperability.....	7
2.2. Interoperability in E-Mobility .....	10
2.2.1. Importance of Interoperability in E-Mobility .....	10
2.2.2. Development of Interoperability in E-Mobility .....	11
2.2.3. Current Status of Interoperability in E-Mobility.....	12
2.2.4. Cyber Security in the Area of E-Mobility Charging Infrastructure .....	14
2.2.5. unit-e <sup>2</sup> as Current Development Project.....	16
2.3. Derivation of the Research Question .....	19
<b>3. Methodology .....</b>	<b>21</b>
3.1. The Levels of Conceptualized Interoperability Method .....	22
3.2. Methodology for Measuring LCIM Levels 0-3.....	23
3.2.1. Design of the Questionnaire .....	25
3.2.2. Selection of Experts .....	27
3.2.3. Data Collection and Data Analysis.....	28
3.3. Methodology for Measuring LCIM Levels 4-5.....	30
3.3.1. Organization of the Plugfest .....	30
3.3.2. Data Collection and Data Analysis.....	32
<b>4. Results.....</b>	<b>34</b>
4.1. Results from the Questionnaire .....	34
4.2. Results from the Plugfest .....	44
<b>5. Discussion .....</b>	<b>48</b>
<b>6. Conclusion .....</b>	<b>53</b>
<b>References .....</b>	<b>54</b>
<b>Appendix .....</b>	<b>60</b>

## **List of Figures**

Figure 1: unIT-e <sup>2</sup> System Architecture (based on unIT-e <sup>2</sup> internal working structures) .....	<b>19</b>
Figure 2: Researched Chain of Action .....	<b>21</b>
Figure 3: LCIM and OSI-Layer (Wassermann & Fay, 2017) .....	<b>25</b>

## **List of Tables**

Table 1: Levels of conceptual Interoperability (Axelsson, 2020) .....	9
Table 2: Comprehensive protocols tabular (Schriewer & Farkas, 2023).....	13
Table 3: Levels of conceptual Interoperability (Axelsson, 2020) .....	22
Table 4: Questionnaire Experts Overview .....	28
Table 5: Examined Interfaces .....	29
Table 6: Coding of Interfaces .....	29
Table 7: Session 1 – Components in Generic Cluster Combination.....	32

## **List of Appendix**

Appendix 1: Questionnaire .....	60
Appendix 2: Template for Plugfest Data Collection.....	65
Appendix 3: EV-1 – Mercedes Benz .....	85
Appendix 4: EV-2 – BMW.....	90
Appendix 5: EVSE – Kostal/Compleo.....	95
Appendix 6: (H)EMS – be.storage.....	100
Appendix 7: (H)EMS - Consolinno .....	106
Appendix 8: (H)EMS - The Mobility House.....	113
Appendix 9: (H)EMS - Viessmann Climate Solutions SE.....	119
Appendix 10: iMSys – Power Plus Communications AG .....	123
Appendix 11: aEMP – EWE Netz .....	129
Appendix 12: aEMP – Stadtwerke München .....	134
Appendix 13 : Interfaces Comparison Tables .....	140
Appendix 14: Plugfest Results Summary.....	150

## List of Abbreviations

(a)EMP	(active) Energy Market Participant
(H)EMS	(Home) Energy Management System
AC	Alternating Current
BSI	Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik
CEVC	Coordinated EV Charging
CLS	Controllable Local System
CPO	Charging Point Operator
DDoS	Distributed Denial of Service
DSO	Distribution System Operator
EnGW	Energiewirtschaftsgesetz (German Energy Industry Act)
EU	European Union
EV	Electric Vehicle
EVSE	Electric Vehicle Support Equipment
HP	Heat Pump
HSS	Home Storage System
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers
iMSys	Intelligent Measurement System
IoE	Internet of Energy
IoT	Internet of Things
ISO	International Organization for Standardization
kW	Kilowatt
LCIM	Levels of Conceptualized Interoperability Method
LISI	Levels of Information Systems Interoperability
LPC	Limitation of Power Consumption
MGCP	Monitoring of the Grid Connection Point
MME	Modern Measurement Equipment
MPC	Monitoring of the Power Consumption
MPO	Metering Point Operator
MSP	Mobility Service Provider

OCPP	Open Charge Point Protocol
OEM	Original Equipment Manufacturer
PEN	Penetration Tests
PPC	Power Plus Communication AG
PV	Solar Photovoltaic
QIM	Quantification of Interoperability Methodology
SMGW	Smart Meter Gateway
SM-PKI	Smart Metering Public Key Infrastructure
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
TLS	Transport Layer Security
TouT	Time-of-use Tariff
TSO	Transmission System Operator
WAF	Web Application Firewalls

## 1. Introduction

*“The future of e-mobility will consist of a large number of connected electric vehicles, smart charging stations and information systems at the intersection of electricity and mobility sector. When engineering and integrating the multitude of systems into even more complex systems-of-systems for e-mobility, interoperability and complexity handling are vital.” - Kirpes et al. (2019)*

The growing trend towards electric vehicles is driven by their increasing popularity as an environmentally friendly and sustainable means of transportation (Schriewer & Farkas, 2023). Both end users and governments are recognizing the potential of electric mobility to address environmental, social and economic challenges (Mol, 2022) .The ongoing fusion of energy with information and communication technology is shaping the information age and presents us with the task of integrating electrical systems in new ways (Widergren et al., 2019). In this context, interoperability is becoming a key discipline to ensure smooth integration. The concept of interoperability is often referred to in the literature as the 'holy grail' that has not yet been achieved. The question of the "plug & play" standard and the state of interoperability therefore remains relevant (Mason, 2023).

This is the starting point for the unIT-e<sup>2</sup>-project. It is seen as a flagship project for the integration of electric vehicles into the energy system of tomorrow. With a consortium of over 30 partners in four practical clusters to test the technologies in laboratory and field tests, the aim is to help shape and advance the digital energy transition (Köppl et al., 2023). As part of this project, the aim of this paper is to examine the topic from the very basics and then to test the systems involved in unIT-e<sup>2</sup> for their interoperability. Based on this, recommendations for action and assessments of the current market situation with regard to interoperability in e-mobility in Germany are to be derived.

In order to answer this question, the basis is first laid by analyzing the existing literature on the topic of interoperability in general and interoperability in e-mobility. A mixed method approach is then applied based on the Levels of Conceptualized Interoperability Method (LCIM), a method based on the consecutive subdivision of interoperability into seven levels (according to

e.g. Axelsson, 2020; Tolk et al., 2006). First, the lower four levels are evaluated via an interface analysis of the relevant components based on expert questionnaires. The next two levels are then analyzed via a plugfest, in which the cross-interface chains of action are tested for their functionality. The last level remains untouched in this work, as it does not appear to be relevant for e-mobility for various reasons.

The results show that there are established norms and standards for all relevant interfaces examined. However, the mere existence of these standards is not yet sufficient to achieve higher levels of interoperability. While some interfaces are already more mature, others still require considerable improvement. Overall, it is becoming apparent that developments in e-mobility are on the right track in terms of interoperability when it comes to integrating the charging process into more complex chains of action. However, some of them are not yet fully operational.

This thesis is structured as follows: in section 2, the topic of interoperability is first dealt with in general terms and then examined in more detail in relation to e-mobility. Subsequently, the research question is derived based on this. In section 3, the methodological approach is explained in detail as a mixed-method approach. Section 4 then describes the results obtained. Section 5 discusses the results and places them in the context of current research and developments. Section 6 concludes with a summary of the main findings.

## **2. Literature Review**

### **2.1. General Interoperability**

In the following subchapter, interoperability is defined first. Then, based on the literature, it is discuss why it is a challenge to achieve interoperability and why it is nevertheless important to invest effort. Next, it is analyzed how interoperability can be measured and why this is necessary and useful.

#### **2.1.1. Delimitation and Definition**

The origin for the scientific consideration of interoperability lies in the military. The interaction of Joint Forces, Intelligence, Air Support and Head Quarters makes the need for deep understanding of how these systems interrelate obvious (Ford, 2007). Over the years, the topic has also found its way into other areas, such as the healthcare sector, the airline industry and ultimately, through digitalization, into many other areas of daily life. In all of these fields, definitions of interoperability have been developed according to the specific field requirements (Rezaei et al., 2014). Because of the multidimensional concept of interoperability, it can be viewed from numerous perspectives and approaches from various directions (Rezaei et al., 2014). This leads to the fact, that (Ford, 2007) identified 34 established different definitions. For this paper, the following definition defined by the Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE), the International Electrotechnical Comission (IEC) and International Organization for Standardization (ISO) will be used as basis, since it covers the issue of electric vehicle integration in the most proper way:

*“[Interoperability is] the ability of two or more systems or components to exchange information and to use the information that has been exchanged.” – (Widergren et al., 2019)*

Since this definition is quite generic, interoperability has been divided in different areas. The most common separation is into four fields: technical, syntactical, semantical and organizational interoperability and was aptly summarized by (Rezaei et al., 2014) and is shortened and simplified as followed:

- 1.) Technical interoperability occurs when communication-electronics systems can exchange services or information directly. It involves hardware, software, and infrastructure for machine-to-machine communication, with a specified degree of interoperability in specific cases.
- 2.) Syntactic interoperability means being able to share data. It is mainly about the format of the data. When using communication protocols, the messages should follow a clear structure and coding, even if it is just in the form of tables made up of bits.
- 3.) Semantic interoperability means being able to work with data based on agreed-upon meanings or interpretations. It is often connected to defining the content, focusing on how people, rather than machines, interpret this content. In simpler terms, it ensures that people share a common understanding of what the exchanged information means.
- 4.) Organizational interoperability refers to the ability of organizations to communicate effectively and transfer meaningful data (information) across very different infrastructures despite using a variety of information systems.

In practice, interoperability is often mistaken as connectivity and compatibility although both are weaker states. For example, if one system dominates the others because it does not rely on open standards and a second system is adapted to the first, the second is compatible but not interoperable (Kirpes et al., 2019).

Now that interoperability is defined, it is important to take a general look at why it is so difficult to achieve.

### **2.1.2. Difficulties in Achieving Interoperability**

To achieve interoperability, the establishment of common standards is crucial. These standards encompass various elements, such as user interfaces, system boundaries, data displays, protocols for data exchange, and interfaces for accessing data or system functions. The broad acceptance of these standards across multiple vendors increases the likelihood of effective collaboration among diverse systems from various sources. However, it is essential to recognize that adherence to standards, while beneficial, does not guarantee interoperability. The existence of options within standards, coupled with different releases and versions of products, contributes to this complexity. Moreover, it is pertinent to acknowledge that technical standards, while

foundational, are inherently incomplete for system or component designers. The operational scenarios defining the context in which a system performs specific functions are integral. This contextual range not only guides system design but also serves as a meaningful reference for testing and evaluation (Kasnuic, 2001).

Based on these little differences, promoting interoperability requires collaboration. In the field of integration ecosystems, each stakeholder brings unique perspectives, business motivations and priorities. The critical factor in reaching agreements is identifying and articulating common goals that transcend individual viewpoints. Creating a shared vision for interoperability can unite stakeholders in a collective endeavor that transcends the challenges of current integration issues (Widergren et al., 2019).

A related challenge is the vast number of different systems. The more different the systems, the more difficult it is to make them all interoperable. A possible solution to solve this problem of one-by-one-interoperability are middleware platforms and again transparent approaches by all parties involved (Motta et al., 2019).

Based on the fast-moving environment of the digital world, there is also a risk to interoperability from this side. Due to the rapid development of new applications, proprietary solutions are often the faster and simpler solution and complex interoperability cannot keep up. In recent years, therefore, there has been an increasing urge for standard initiatives and reference architectures to provide a framework for development (Di Martino et al., 2018). Experience indicates that when designers of individual systems operate independently, they tend to make decisions about data definitions and formats that are locally optimal. The resulting data formats from such localized decisions may lack compatibility when operational needs require a network of systems to interoperate. Therefore, architectural design should offer guidance to developers to minimize incompatibilities at the application layer, which inevitably arise when systems with different purposes need to communicate with each other (Kasnuic, 2001). The establishment of standardized communication protocols is pivotal for formalizing communication across internal and external networks, such as the Cloud or the Internet. Such standardization facilitates quicker communication between devices and networks, regardless of the data's location, destination, or source (Kanade, 2022).

An additional challenge in the area of interoperability is the seamless integration of existing legacy systems and different systems from different manufacturers. Coordinating these heterogeneous systems requires special attention as they often use different standards and protocols. This diversity can make it difficult to develop smooth interactions and efficient collaboration (Axelsson, 2020; Di Martino et al., 2018).

The last two challenges of interoperability are to keep up with developments over time and the tradeoff with other objectives. Due to new developments and the phasing out of existing ones, it is always necessary to check whether the individual systems can still work together (Axelsson, 2020). At the same time, however, the trade-off must always be kept in mind that there may be other, sometimes competing objectives that speak against further interoperability. These include security, survivability, performance, availability and flexibility issues (Kasnunic, 2003). Hence, a balance needs to be struck to ascertain the suitable degree of interoperability (Axelsson, 2020).

After discussing different threats and challenges to interoperability, the question arises, why it is needed in the first place considering its implementation difficulties.

### **2.1.3. Opportunities and Necessities Underlying Interoperability**

The significance of interoperability in modern societies and business operations is underscored by various factors. It enables the seamless interaction of different software systems and technologies integrated into society's daily activities (Motta et al., 2019). The increasing demand for interoperability between individual software systems is evident, emphasizing its growing relevance (Rezaei et al., 2014). Significant examples for the necessity of seamless interoperability are healthcare and flight booking systems, where information exchange is critical and interoperability plays a pivotal role (Rezaei et al., 2014).

The need for interoperability is further emphasized by the risk of a fragmented environment of technological solutions that could lead to "islands of functionality" (Motta et al., 2019). In the field of System-of-Systems Engineering, interoperability is recognized as a cornerstone, which requires the development of more systematic and efficient technical methods to find the right balance (Axelsson, 2020).

Interoperability can offer numerous benefits, including the reduction of costs and efforts for system integration, improved performance and efficiency, enhanced security and cybersecurity practices, increased customer choice and participation, establishment of industry-wide best practices, and functioning as a catalyst for innovation (Widergren et al., 2019).

Moreover, studies in the System-of-Systems Engineering literature highlight interoperability as a primary concern. Axelsson (2020) reviewed many of these studies. He identified interoperability as the second most mentioned attribute, another study pinpointed interoperability as the most crucial concern in 200 works on system-of-systems architecture, and a third report concluded from a study of 40 works that interoperability is the most considered quality feature (Axelsson, 2020).

Due to the importance of the topic, methods have been developed over the years to measure the interoperability of systems. These methods can also be used to set the foundation for interoperability during development and will be discussed next.

#### **2.1.4. Measuring, Assessing and Reporting of Interoperability**

Measuring interoperability is crucial for several reasons. Firstly, as emphasized by Kasnuic und Anderson (2004), the process of measuring, assessing, and reporting interoperability in a visible manner is indispensable for prioritizing efforts effectively. This ensures that resources are directed towards areas where improvements are most needed. Additionally, Rezaei et al. (2014) points out the significance of an interoperability evaluation model, as it provides insights into the degree of interoperability, serving as a foundation for further enhancements. In the domain of sociotechnical systems, Turner (2018) underscores that interoperability extends beyond mere information exchange. It emphasizes the system's capability to achieve emergent behaviors during operations. Also Tolk et al. (2008) underlines the need of interoperability measurement to both evaluate existing interoperability and achieve a desired level during the engineering process. In essence, measuring interoperability becomes an instrumental step in enhancing, optimizing, and ensuring effective communication and collaboration between diverse systems.

On the other side, being a complex and multifaceted concept, interoperability presents challenges in measurement due to its intricate nature. Kasnuic und Anderson (2004) acknowledges

the difficulty in developing precise measurements, and Turner (2018) emphasizes the need for adaptable approaches to address interoperability's various dimensions. Despite being considered a desirable goal (Leite, 1998), defining and measuring interoperability proves elusive (Kasnunic, 2001). Axelsson (2020) introduces frameworks for systems-of-systems interoperability, yet these lack specific guidance for technical implementation. Rezaei et al. (2014) stresses the challenge of developing an evaluation model that considers both technical and non-technical interoperability levels. Tolk (2003) and Kanade (2022) highlight that interoperability extends beyond technical aspects to include invoking procedures and using other systems' functionality. These complexities underscore the need for nuanced measurement approaches to capture the diverse dimensions of interoperability effectively.

Based on the diverse definitions of interoperability and the various areas in which it is relevant, a variety of measurement methods have also been developed. A comprehensive review of this was provided by Rezaei. To show the versatility of the topic, a few measurement methods extracted of Rezaei et al. (2014) shall be described shortly:

The **Quantification of Interoperability Methodology (QIM)** by Mensh is purely military-oriented and measures three parameters: wide area surveillance, over-the-horizon targeting, and electronic warfare. The **Levels of Information Systems Interoperability (LISI)** is based on the QIM, but is much more generic. It assesses interoperability in detail using a matrix. On one axis, the interoperability levels are shown in ascending order: isolated, connected, functional, domain and enterprise. The second axis shows the attributes attributed to interoperability: procedures, applications, infrastructure and data. This shows how far the individual attributes have progressed in terms of interoperability and which of the attributes are lagging behind the others. The LISI model was developed by the US Department of Defense and claims to be suitable for various applications, military and non-military. It is widely acknowledged as one of the best developed methods. The **Organizational Interoperability Maturity Matrix** is based on LISI, but describes the maturity of organizations in a more abstract way. The matrix consists of two axes. Axis one describes five interoperability levels, namely independent, ad hoc, collaborative, combined and unified, while the second axis describes the attributes preparedness, understanding, command style and ethos - the military origin is also well recognizable here. The **Interoperability Assessment Methodology** follows several parameters and forms an iterative process

that must be fully passed in order to be able to call itself interoperable. The **Enterprise Interoperability Maturity Model**, developed by the European Commission, is a matrix considering the maturity levels and the areas of concern, each with several sub-aspects (Rezaei et al., 2014).

There are other reviews with different focuses, such as Ford (2007), which also shows that the topic of interoperability is primarily researched from a military perspective. These analyses of interoperability assessment models show that efforts to build an interoperability assessment model are generally focused on creating guidelines and standards for the four levels of interoperability already mentioned in the definition of interoperability and by Rezaei et al. (2014): the technical, syntactic, semantic and organizational levels of interoperability.

In the further progress of this work, the **Level of Conceptual Interoperability (LCIM)** method will serve as the basis for developing results. It will therefore also be used below as an example of methods for measuring interoperability at a generic level.

<b>Level</b>	<b>Layer</b>	<b>Premise</b>	<b>Information defined</b>
6	Conceptual	Conceptual model	Assumptions, constraints
5	Dynamic	Execution model	Effect of data
4	Pragmatic	Workflow model	Use of data
3	Semantic	Reference model	Meaning of data
2	Syntactic	Data structure	Structure of data
1	Technical	Communication protocol	Bits and bytes
0	None	No connection	None

**Table 1: Levels of conceptual Interoperability (Axelsson, 2020)**

The LCIM is a much-cited measurement method (also mentioned in the Ford (2007) review) that has undergone a comprehensible development over the years. The original form by Tolk (2003) was further developed by the developer himself (Tolk et al., 2007; Tolk et al., 2006; Tolk et al., 2008; Tolk et al., 2009) and was most recently adapted by Axelsson (2020) to today's requirements for interoperability in the system-of-systems area. It follows the seven-level

model shown in Table 1. These seven levels form a hierarchy of capabilities to represent the meaning of information exchanged between systems (Tolk et al., 2008). Level 0 describes that there is no connection. Level 1 describes integrability with a focus on network connectivity. Levels 2-4 describe interoperability with a focus on implementation. Levels 5-6 describe composability, where the focus is increasingly on conceptual data usage. This scheme can be used to determine the interoperability level of a systems/networks (Axelsson, 2020).

In the methodology section, LCIM is described again in more detail and how it is used as the basis for data collection in this work. This is preceded by a literature review on the topic of interoperability in e-mobility, its development and cyber-security issues. In addition, the unIT-e<sup>2</sup> project, in which this work is integrated, is described and the research question is subsequently derived.

## **2.2. Interoperability in E-Mobility**

### **2.2.1. Importance of Interoperability in E-Mobility**

Electric mobility stands at the forefront of the evolving transportation landscape, fueled by technological advancements and a global shift towards sustainability. Within this dynamic environment, the concept of interoperability emerges as a key force, influencing the path and success of electric vehicles.

A fundamental advantage of interoperability lies in providing charging station operators with autonomy, liberating them from the dependency on individual system suppliers. The adoption of universal communication protocols, exemplified by the Open Charge Point Protocol (OCPP), bestows resilience upon operators. Should a system supplier cease operations, existing components seamlessly integrate into another supplier's infrastructure, ensuring continuity and operational stability (keba.at).

The seamless recharging of electric vehicles (EV) is a linchpin in the EV user experience. Addressing compatibility challenges among different charging stations and EV models is where interoperability plays a crucial role (Buamod et al., 2015). It is not merely a technical aspect; interoperability becomes a central factor influencing market penetration and public acceptance of e-mobility solutions (Schriewer & Farkas, 2023).

The absence of interoperability poses a significant challenge, impacting both the customer experience and the reliability of EV charging networks. Frustrating experiences resulting from a lack of interoperability can lead to customer dissatisfaction and, consequently, a decline in market adoption. As the EV market expands, ensuring interoperability becomes instrumental in sustaining a positive growth trajectory (Schriewer & Farkas, 2023).

Beyond the direct area of charging electric vehicles, the influence of interoperability extends to the entire area in which e-mobility meets the energy landscape. Ghiasi et al.'s (2023) exploration of the Internet of Energy (IoE) underscores the increasing connectivity and intelligent integration of energy systems. This interconnected development aligns with the overarching theme of the energy transition.

The integration of themes from Faheem et al. (2018) within the context of Smart Grids further emphasizes the intricate relationship between interoperability and the broader energy ecosystem. Demand Side Management, Smart Metering, and Home Energy Management Systems ((H)EMS) are integral components that contribute to the effective implementation of interoperability.

In conclusion, interoperability is not merely a technical detail within e-mobility; it is the backbone that supports the seamless integration and widespread adoption of electric vehicles. Whether it's reducing dependence on individual suppliers, improving the customer experience or driving market penetration, interoperability forms a cohesive package and underlines its central role in shaping the future of electric mobility.

### **2.2.2. Development of Interoperability in E-Mobility**

The path of interoperability in electric mobility is closely tied to the quest for sustainability and market growth through standardization. As electric mobility emerges as a pioneering innovation, its growth is guided by the principles of standardization, anticipating the formation of new business relationships and market values (Buamod et al., 2015).

A foundational framework for understanding the evolution of interoperability in E-Mobility is provided by Schriewer und Farkas (2023) depiction of its developmental phases. These phases delineate the progression from proprietary charging models at public locations, fraught with

challenges, to a more expansive landscape marked by the entry of aggregators, mobility service providers, and, crucially, a phase of massive expansion. This latter phase introduces new stakeholders, including Payment Providers, Smart Energy Services, Load Management, Home Energy Management, and more. With each developmental stage, the complexity of the ecosystem and the underlying IT landscape experiences a substantial increase. The evolution of charging solutions, spanning from alternating current (AC) Wallboxes to High-Power Chargers, presents a formidable challenge for interoperability (Schriewer & Farkas, 2023).

Furthermore, the integration of decentralized energy resources, encompassing electric cars, solar panels, and controllable loads, poses challenges in achieving plug-and-play functionality. Widergren et al. (2019) emphasizes the diverse nature of communication protocols within different technology ecosystems, such as solar photovoltaic (PV), electric vehicles, and load management. The existence of various, often competing, protocols add layers of complexity, with communication standards derived from automation standards for electrical field devices in energy-oriented projects and specialized standards in areas like automotive technology, industrial systems, and building automation. The complicated web of interoperability challenges at both technical and communication protocol levels reflects the dynamic nature of integrating decentralized energy resources into the evolving landscape of electric mobility (Widergren et al., 2019).

### **2.2.3. Current Status of Interoperability in E-Mobility**

The current state of interoperability in electric mobility is marked by several key observations. In a comprehensive tabular overview provided by Schriewer & Farkas (2023), the maturity levels of various communication protocols are meticulously detailed. An excerpt of the most relevant protocols and standards for home charging as researched in this paper can be seen in Table 2 and are condensed directly from Schriewer & Farkas (2023) tabular. The table shows the name, interface, a description and the respective relevance for current and future charging use cases as well as technological and market maturity of the standard. What can be seen is a lack of maturity in highly relevant charging communication protocols in Europe.

Concerns about proprietary data systems and platforms, as outlined by Lim et al. (2021), underscore challenges in compatibility, particularly in connecting vehicles and infrastructure. The

lack of interoperability in these systems hampers decision-making, requiring the consideration of data from each system in isolation.

Communication Protocol	System Interface	Short description	Relevance	Maturity
ISO 15118-2/20	EV – Charging Infrastructure	Road vehicles - Vehicle to grid communication interface - Part 20: 2nd generation network and application protocol requirements	High	Low to Medium
EEBus	Charging Infrastructure – IT Backend System	IoT protocol suite that aims to co-ordinate and shift energy between an intelligent power grid and individual components in the households and buildings, e.g. photovoltaic system, battery storage, heating and electric vehicle	High	Low
Modbus-TCP	Charging Infrastructure - IT Backend System	De facto industry standard for automation technology that is used in building energy management systems in industrial plants, hotels and large properties and allows high degree of customization	Medium	Medium
Open Charge Point Protocol (OCPP) 1.6J	Charging Infrastructure - IT Backend System	Open, device-to-cloud communication protocol enabling remote control and monitoring of charging infrastructure operations incl. billing; HW agnostic; established as worldwide “open standard”	High	Medium
Open Charge Point Protocol (OCPP) 2.0.1	Charging Infrastructure - IT Backend System	Open, device-to-cloud communication protocol enabling remote control and monitoring of charging infrastructure operations incl. billing; HW agnostic; established as worldwide “open standard”	High	Low

**Table 2: Comprehensive protocols tabular (Schriewer & Farkas, 2023)**

Lim et al. (2021) further highlights the emergence of giant data silos due to the proprietary nature of manufacturer-specific software components. This situation restricts interoperability,

particularly between different product types from various manufacturers. For electric vehicle users, this often translates into the use of separate tools or applications for monitoring various aspects such as EVs, charging stations, and energy demands.

The work of Wang et al. (2020) criticizes limited software architectural designs in the context of connected vehicles. Lim et al. (2021) emphasizes the existence of international standards, such as ISO 15118 and SAE J2931, designed to facilitate interoperability, specifically addressing communication protocols for EVs, EVSEs, and energy providers.

As highlighted by Schriewer & Farkas (2023), the rapidly expanding product and service landscape in EV charging and smart energy introduces new challenges. Intelligent charging, vehicle grid integration, smart billing and payment, and intelligent maintenance are among the emerging use cases that contribute to the increasing complexity of the overall ecosystem. This evolution has ushered in new players with their proprietary communication protocols, reshaping the EV charging ecosystem into a Smart Energy Ecosystem. This complex and dynamic environment, as described by Schriewer & Farkas (2023), necessitates robust interoperability to ensure a seamless charging experience for electric vehicles amidst diverse market solutions. Among other things, to improve this seamless charging experience for end users, promote collaboration and improve the implementation of standards and norms, the unIT-e<sup>2</sup> project was launched. Before the unIT-e<sup>2</sup> project is described in detail, the relations of cyber security and interoperability between the components should be addressed.

#### **2.2.4. Cyber Security in the Area of E-Mobility Charging Infrastructure**

In the rapidly growing world of electromobility, the security of charging stations is a key concern. Cybercriminals could not only steal user data, but also manipulate vehicles, as Köllner (2023) warns in her report. However, the interactions between different applications, services and platforms, as they often occur in e-mobility, open up a broad field of attack. The processing of sensitive driver data and the connection to backend infrastructures make charging applications vulnerable to various cyberattacks, including account takeovers, man-in-the-middle attacks and API abuse (Köllner, 2023).

Security is particularly challenging as applications on charging stations are not updated as regularly as they should be. This neglect could lead to significant security vulnerabilities. In light of these risks, security experts of Radware emphasize the role of legislators and points out that the charging industry is still in its first regulatory steps. Existing regulations such as ISO 15118 and SAE J3061 merely specify safety measures without defining concrete requirements or enforcement mechanisms (Köllner, 2023).

To protect themselves from the many threats, Radware recommends that loading companies implement various cybersecurity tools, including web application firewalls (WAFs), bot managers, Distributed Denial of Service (DDoS) protection tools and more. Not only reactive but also proactive measures should be taken, such as regular security tests and vulnerability assessments (Köllner, 2023).

In his report, Wieler (2023) underlines the importance of digitalization for the transport transition and highlights the connectivity that enables regular updates and maintenance via the internet. However, he warns of the potential risks of this connectivity, particularly in the context of private wall boxes. The constant transmission of data harbors the risk of attacks on private networks and, in the worst-case scenario, could lead to hackers taking control of the power supply to private households (Wieler, 2023).

Based on this, the challenges extend beyond individual wall boxes, as major cyberattacks could impact the entire network. In the past, national and international cyberattacks have shown that infrastructure security has become a political concern. As a result, governments and manufacturers are striving to set the highest security standards for the expansion of charging infrastructure (Wieler, 2023).

However, the lack of uniformity in safety standards in e-mobility represents a potential weakness. Wieler emphasizes the need to establish and standardize security standards for interfaces. He cites examples such as EEBus, ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 15118 as standards that define security mechanisms and requirements for bidirectional communication between electric vehicles and charging stationsm (Wieler, 2023).

The risk that the "weakest link in the chain" could jeopardize the entire network is particularly emphasized. To prevent this, it is essential to build resilience, especially when it comes to critical infrastructures (Wieler, 2023).

The importance of a "secure-by-design" approach is also emphasized by Wieler. This approach integrates security aspects into the development process of hardware and software and is maintained throughout the entire life cycle of a product. International standards such as ISO/IEC 27001 and ISO/IEC 15118 help to specify and implement security requirements (Wieler, 2023).

The cost of charging infrastructure hardware must not come at the expense of cybersecurity, as emphasized in reports by Augsten (2023) and Gölz (2023). Low-cost products are more susceptible to security issues, which can lead to significant risks for consumers and critical infrastructure. Mass hacking attacks could even lead to blackouts in the power grid (Augsten, 2023).

Overall, it is clear that security in e-mobility is not only a technological challenge, but also a regulatory one. Protection against cyber-attacks requires a holistic strategy that ranges from regular updates to clear legal requirements. This is the only way to ensure that the promising future of electromobility is sustainable and secure. Since both cyber security and interoperability is explored in the unIT-e<sup>2</sup> project, it is described in detail in the next chapter.

### **2.2.5. unIT-e<sup>2</sup> as Current Development Project**

The following description of the project is fully based on the unIT-e<sup>2</sup> practical report (Köppl et al., 2023). unIT-e<sup>2</sup> is a pioneering interdisciplinary research project involving 29 companies and research institutes. The aim of the project is to optimally integrate electromobility into the energy system in order to promote a sustainable and cost-effective energy transition. In doing so, unIT-e<sup>2</sup> combines perspectives from business and research in order to develop intelligent and future-proof solutions.

In this real-world laboratory for networked e-mobility, extensive field trials and laboratory tests are being carried out in four clusters. These are accompanied by the research and grid sub-projects, which support the consortium with overarching topics and carry out their own research projects.

The first of these clusters is the Harmon-E cluster, which focuses on the harmonious interaction of the overall system, taking grid restrictions into account. The focus of the investigations is on grid and market flexibility, including marketing. The field tests cover various locations, both in rural and urban areas, and include unidirectional charging in the field and bidirectional charging in the laboratory. The main objective of this cluster is to develop market-optimized and grid-supportive charging and discharging strategies for electric vehicles that are also customer-friendly. This paper, even if it produces results across all clusters, is located in the Harmon-E cluster.

The second cluster is the Heav-E cluster, which focuses on investigating the impact of a high penetration of electric vehicles on the grid. This includes testing new incentive systems for grid-friendly charging and evaluating suitable communication standards. The focus is on location-independent charging, user behavior and incentive systems. The field trials cover rural regions in and around Baunatal near Kassel and include charging at single-family homes, at the workplace and in public areas.

The sun-E cluster is located in southern Germany and takes its name from the interplay between electromobility and photovoltaic power generation. The focus here is on grid- and market-friendly charging strategies, in particular the optimization of self-consumption of photovoltaic systems and regulatory-defined grid-friendly control. The field tests concentrate on rural regions in Bavaria, especially charging at single-family homes with photovoltaic systems.

The fourth cluster, Cit-E-Life, complements the project structure with field tests in urban areas. This cluster specifically addresses the challenges of complex ownership structures in an urban environment and focuses on performance specifications at the grid connection point and building management. The field tests are carried out in the urban area of Munich and include charging in urban areas as well as building management of multi-party buildings with a focus on different systems and measurement technology.

The vision of unIT-e<sup>2</sup> is to seamlessly integrate electromobility into the energy system and network it to form a single unit. The project focuses on intelligent, interoperable and standardized concepts for electromobility. The aim is to enable grid and market-oriented charging strategies

that simultaneously create convenient business models with additional revenue opportunities for users of sustainable mobility.

unIT-e<sup>2</sup> concentrates on three key areas to ensure the success of the research project:

- Joint approach: The project aims to break up company-specific isolated solutions and harmonize and standardize the competing requirements of electromobility and the energy system.
- Future-proof solutions: Secure and interoperable concepts will be developed to integrate electric vehicles on the grid and market side, using the standardized intelligent measurement system (iMSys) architecture.
- Participation: Customer-oriented incentive mechanisms and product design will strengthen social trust in electromobility. The results of unIT-e<sup>2</sup> are innovative solutions that contribute to the successful integration of electromobility into the future energy system.

The approach used in unIT-e<sup>2</sup> can therefore be characterized as a project promoting an integration ecosystem as described in Widergren et al. (2019):

*“An integration ecosystem is a community of participating organizations collaborating to address one or more business or social objectives that concern interoperability and ease the deployment of specific technologies. The participants in such communities represent many types of organizations that are needed to support integration objectives. These include managers-owners, users, technology suppliers, service providers, distribution system operators, regulatory and government agencies, consortia/trade associations, and testing certification bodies. They have an established convening body with champions who drive the group toward alignment in achieving their shared objectives.”*

The basis of the unIT-e<sup>2</sup> project is the system architecture shown in Figure 1. It depicts the basic overall structure of the field tests and the corresponding communication interfaces.

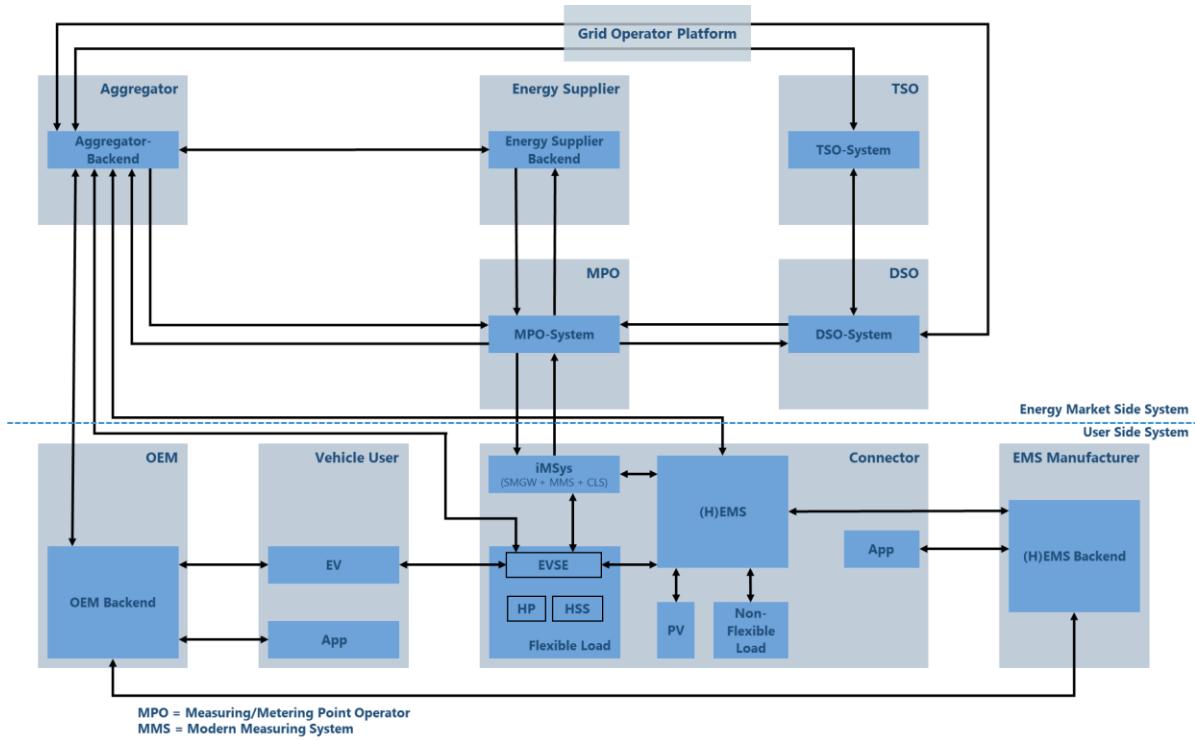


Figure 1: unIT-e<sup>2</sup> System Architecture (based on unIT-e<sup>2</sup> internal working structures)

### 2.3. Derivation of the Research Question

The literature review so far shows that electric vehicles are a crucial aspect of sustainable mobility and charging these vehicles is a crucial point for a positive overall user experience. The issue of compatibility between different charging stations and EV models underlines the importance of interoperability in the field of electric mobility (Buamod et al., 2015). Beyond a purely technical matter, interoperability is becoming a key factor influencing the market penetration and public acceptance of e-mobility solutions (Schriewer & Farkas, 2023).

The EV charging landscape in the public sector is currently facing interoperability challenges, as shown by the results of global test drives in 2022 (Schriewer & Farkas, 2023). These tests revealed a significant problem in the existing ecosystem for public EV charging, revealing a lack of interoperability that leads to suboptimal charging experiences for end users. The success rate of charging attempts was around 72% out of around 1000 attempts, signaling a cause for concern among stakeholders in the charging ecosystem. The identified interoperability issues span across various components, including different EV models, charging stations, Charging

Point Operators (CPO) backends, Mobility Service Provider (MSP) backends and aggregator platforms. The findings emphasize the urgent need to address interoperability issues to provide customers with a better charging experience, especially as the diversity of EV models and charging solutions continues to increase (Schriewer & Farkas, 2023).

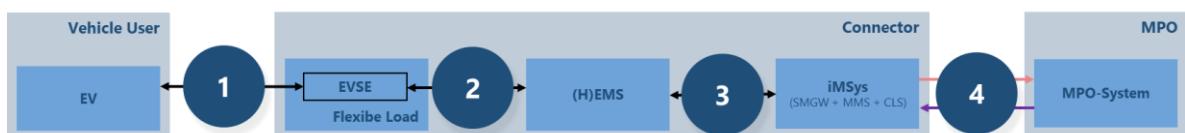
However, interoperability issues are not only relevant in the public sector, as explored in more detail in the studies by Schriewer und Farkas (2023), Kirpes et al. (2019) and Csillak und Moreno Kuhnke (2022), for example. The landscape of EV charging is changing, and it is increasingly recognized that the majority of charging takes place at home or at work. This shift in perspective forms the basis for research within the unIT-e<sup>2</sup> project. UnIT-e<sup>2</sup> recognizes the changing paradigm shift in the charging behaviors of EVs and emphasizes the importance of intelligent home and workplace charging over public infrastructure.

In addition, the unIT-e<sup>2</sup> project underlines the critical role of standardization in achieving scalability and interoperability. Standardization such as ISO 15118 becomes critical to address the complex interoperability issues through the diverse range of EV models and charging solutions. As unIT-e<sup>2</sup> navigates the intricacies of EV interoperability, it is at the forefront of the latest developments in the standardization and development of EV charging infrastructure from the EV to the Grid Operators as visualized in the project systems architecture. With these considerations in mind, the guiding question for this study crystallizes:

***How can interoperability be assessed, and how interoperable are the systems developed within unIT-e<sup>2</sup>?***

### 3. Methodology

So far, the paper has examined the general literature on the topic of interoperability and then reviewed the literature on interoperability in e-mobility in more detail. The results show us that it is complicated but possible to measure interoperability in a meaningful way. They also show that the topic has hardly been researched in the home charging sector. This thesis, as part of the unIT-e<sup>2</sup> project, is therefore starting at exactly that point. For this reason, the decision has been made to research interoperability in unIT-e<sup>2</sup> using a mixed-method approach. We follow the basic structure of the Levels of Conceptualized Interoperability Method and test in two ways. The next section will provide a comprehensive description of the LCIM. Subsequently, the processes for data collection and evaluation utilizing expert questionnaires to cover the simpler levels of interoperability will be outlined. The following section will delve into the detailed explanation of the procedures for data collection and evaluation through the plugfest to cover higher levels of interoperability. The primary focus of this study revolves around the examination of the interfaces between EV, EVSE (Electric Vehicle Support Equipment), (H)EMS, iMSys (Intelligent Measurement System) and MPO (Metering Point Operator) components. The respective chain of action can be seen in Figure 2 and is derived from the system architecture shown in Figure 1.



**Figure 2: Researched Chain of Action**

### 3.1. The Levels of Conceptualized Interoperability Method

Level	Layer	Premise	Information defined
6	Conceptual	Conceptual model	Assumptions, constraints
5	Dynamic	Execution model	Effect of data
4	Pragmatic	Workflow model	Use of data
3	Semantic	Reference model	Meaning of data
2	Syntactic	Data structure	Structure of data
1	Technical	Communication protocol	Bits and bytes
0	None	No connection	None

Table 3: Levels of conceptual Interoperability (Axelsson, 2020)

The basic model of LCIM has already been listed in the literature review under **2.1.4. Measuring, Assessing and Reporting of Interoperability**. It is a well-developed measurement method for interoperability between systems. The method is listed again as Table 3, which describes the core aspects of the individual stages. In order to be able to go into more detail about the methodology used for the data collection and analysis, the seven levels will be described in more detail below. The description of all seven levels strictly follows the description by Tolk et al. (2006):

0. “*Stand-alone systems have No Interoperability.*
1. *On the level of Technical Interoperability, a communication protocol exists for exchanging data between participating systems. On this level, a communication infrastructure is established allowing it to exchange bits and bytes, the underlying networks and protocols are unambiguously defined.*
2. *The Syntactic Interoperability level introduces a common structure to exchange information, i.e., a common data format is applied. On this level, a common protocol to structure the data is used; the format of the information exchange is unambiguously defined.*
3. *If a common information exchange reference model is used, the level of Semantic Interoperability is reached. On this level, the meaning of the data is shared; the content of the information exchange requests are unambiguously defined.*

4. *Pragmatic Interoperability* is reached when the interoperating systems are aware of the methods and procedures that each other are employing. In other words, the use of the data – or the context of its application – is understood by the participating systems; the context in which the information is exchanged is unambiguously defined.
5. As a system operates on data over time, the state of that system will change, and this includes the assumptions and constraints that affect its data interchange. If systems have attained **Dynamic Interoperability**, then they are able to comprehend the state changes that occur in the assumptions and constraints that each other is making over time, and are able to take advantage of those changes. In particular when interested in the effects of operations, this becomes increasingly important; the effect of the information exchange within the participating systems is unambiguously defined.
6. Finally, if the conceptual model – i.e. the assumptions and constraints of the meaningful abstraction of reality – are aligned, the highest level of interoperability is reached: **Conceptual Interoperability**. This requires that conceptual models will be documented based on engineering methods enabling their interpretation and evaluation by other engineers. In other words, on this we need a “fully specified but implementation independent model” as requested in Davis and Anderson [16]<sup>1</sup> and not just a text describing the conceptual idea.”

Based on this model, the next step is to explain how common reference models can be used to establish interoperability right through to semantics.

### **3.2. Methodology for Measuring LCIM Levels 0-3**

As explained for the third level in the LCIM according to Tolk et al. (2006), semantic interoperability and conclusively syntactical and technical interoperability can be assumed if a common information exchange reference model is used. This aspect is discussed in the literature. Both the OSI and the TCP/IP model are widely acknowledged as an instrumental framework in achieving interoperability, particularly up to the semantic level. These models, with its distinct

---

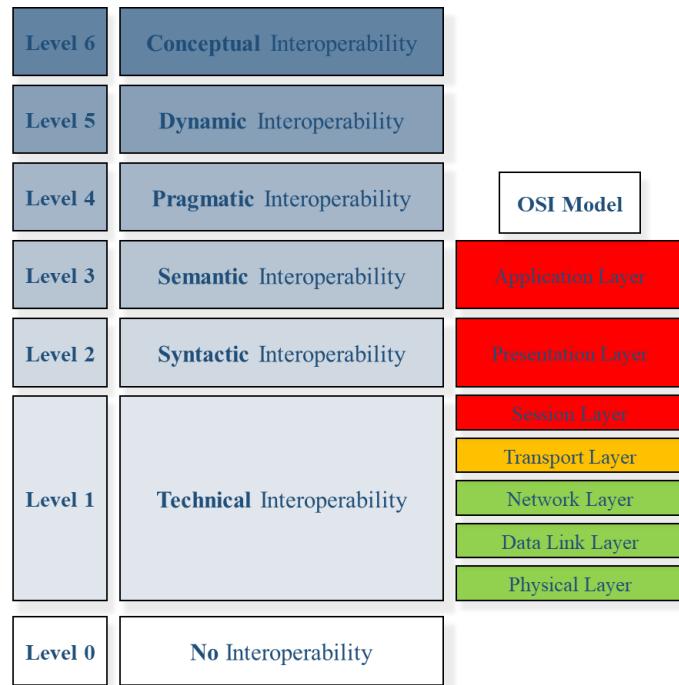
<sup>1</sup> P.K. Davis, R.H. Anderson, Improving the Composability of Department of Defense Models and Simulations. RAND, National Defense Research Institute Report, 2003

layers, offer a structured approach to defining technical, syntactic, and semantic aspects of interoperability. The OSI model, consisting of seven layers from Physical to Application, is fundamental in standardizing network systems, facilitating product development, and ensuring seamless communication between diverse networks (Kanade, 2022).

The OSI model's functionality, exemplifying the system of common reference models, involves the systematic flow of data, with each layer contributing to specific aspects of communication. (Kanade, 2022) provides a detailed explanation of the data flow, emphasizing its relevance in addressing network issues and improving interoperability. Furthermore, Suresh (2016) and Kippke et al. (2020) delve into the intricacies of OSI, discussing its purpose in coordinating standards development for system interconnection.

However, while these models play a crucial role in achieving interoperability up to the semantic level, there are nuanced perspectives. Axelsson (2020) notes that interoperability extends beyond simple information exchange covered by the OSI model, requiring meaningful interpretation and contextualization of data. Schuh et al. (2013) emphasizes that interoperability in the context of energy transfer for electric vehicles demands not only electrical compatibility but also informational interoperability. Wassermann & Fay (2017), however, suggests that the OSI model comprehensively covers layers up to semantics and underlays Tolk et al. (2006) statement. This assertion, as shown in Figure 3 becomes a pivotal starting point for further exploration in this study. It is essential to recognize that achieving interoperability through these models is not without challenges, and diverse opinions exist. Even if there are challenges in using these models, leveraging established reference models like OSI remains an effective strategy in conceptualizing interoperability within complex systems and will therefore be used to explore the first three interoperability levels of the unIT-e<sup>2</sup>-architecture.

In order to collect the necessary data, a qualitative technical questionnaire was designed and sent to experts from the component manufacturers involved in the project. The next three sections describe how the questionnaire is structured, how the experts were selected and how the data is processed.



**Figure 3: LCIM and OSI-Layer (Wassermann & Fay, 2017)**

### 3.2.1. Design of the Questionnaire

A **questionnaire**, or **written interview**, serves as a valuable tool in data collection, particularly when aiming to gather specific and hard-to-obtain factual information, as outlined by Kaiser (2014, p. 35). Essentially, it closely resembles a guided interview conducted in written form, focusing on extracting precise details that may be challenging to elicit through other means. The written open-ended survey format, as described by Schreier et al. (2023, p. 267), involves participants responding to questions in their own words in a written format. This method proves particularly suitable for data collection when dealing with sensitive subjects (in this case probable company secrets) or situations where the act of writing triggers cognitive processes, allowing respondents to progressively augment their responses.

The primary objective of utilizing this approach is to acquire operational knowledge. The expertise found in operational knowledge, technical knowledge, and procedural knowledge is notably exclusive and best captured through expert interviews. According to Kaiser (2014, p. 42), the depth of expertise in operational knowledge, specifically in technical and procedural realms,

is unparalleled. Therefore, employing expert interviews becomes imperative for data collection in this domain, given that experts are typically directly involved in problem analysis, as well as the development and implementation of problem-solving strategies.

The questionnaire is strongly based on Kaiser (2014) explanations of how interviews should be conducted. This is the case because the written questionnaire is very similar to the procedure of a semi-structured oral interview and the literature provides little information about qualitative questionnaires themselves. Accordingly, the questionnaire begins with a cover letter according to Kaiser (2014, p. 78) and covers all relevant information for the participants on the subject of the research, the implementation of the data collection, the use of the data and the anonymization of the answers. This is followed by a request for essential information about the experts themselves and their role in the company, as well as technical details about the company and the component provided.

The main part of the questionnaire then consists of four sections. The first block of questions deals generally with the interfaces that an integrated component has. It is asked what the other components connected to it are, what the interfaces are called and what tasks they fulfill. In the second block of questions, the interfaces are examined more closely. This involves asking which norms and standards were applied in the respective interfaces. Then it is asked whether an OSI layer model or another common reference model was used for structuring and what it looks like. The third block of questions deals with the extent to which these interfaces have been tested. It asks whether conformance tests have been carried out, the level of detail and the relevant results. It also asks whether other tests have been carried out, as well as their level of detail and findings. The fourth block of questions deals with IT security. It asks whether the interface is encrypted and if so, how. In addition, it is asked whether further measures have been taken to ensure IT security and what these looked like. Finally, it is asked whether these measures have been tested and what the results were. The questionnaire was cross-checked within the research project to ensure that all relevant questions were recorded and that they were structured in an understandable way. The questionnaire can be found in Appendix 1.

### **3.2.2. Selection of Experts**

In the landscape of research, determining who qualifies as an expert and discerning the nature of queries suitable for experts are critical endeavors. Kaiser (2014, p. 35) introduces the questionnaire or written interview as a means to extract intricate factual details through a structured written conversation. Experts, as Kaiser (2014, p. 36) articulates, possess specialized knowledge linked to specific functions or professional roles. The definition of an expert involves a nuanced consideration of their role, status, and ascribed knowledge. An individual can be classified as an expert if they hold responsibility for designing, implementing, or overseeing a problem solution or possess privileged access to information about specific groups or decision processes (Kaiser, 2014, p. 38). Moreover, experts are repositories of functional knowledge crucial for scientific analysis (Kaiser, 2014, p. 39). Crucially, the ascription of the expert role is a conscious decision made by the researcher within the specific research process (Kaiser, 2014, p. 39).

The selection of experts for qualitative questionnaires is not arbitrary; it is a vital aspect of the research design guided by content-related considerations (Kaiser, 2014, p. 71). In this context, expert selection adheres to three criteria as per Kaiser (2014, p. 72):

1. Identifying the expert with pertinent information.
2. Choosing the expert most capable of offering precise insights.
3. Selecting the expert who is willing and available to share their knowledge.

The decision-making process for expert selection within the project is a meticulous consideration of the questions and the unIT-e<sup>2</sup> team's experiences, ensuring that the chosen experts are well-suited to provide valuable insights. This decision is made with the understanding that, in a written format, experts have the flexibility to seek support from other experts if needed.

The experts within the unIT-e<sup>2</sup> project were selected with these aspects in mind. For this purpose, one or two people per relevant component were selected from a list of contact persons. Table 4 lists the experts included, their company and their respective positions and tasks within the company.

<b>Expert (= E)</b>	<b>Company Name</b>	<b>Company Type</b>	<b>Function/Position of the Expert</b>	<b>Field of Responsibility of the Expert</b>
E 1	BMW AG	Car Manufacturer	Project Lead	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Product Development Energy</li> </ul>
E 2	Mercedes-Benz AG	Car Manufacturer	Development Engineer	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Project Lead unIT-e<sup>2</sup> Mercedes-Benz</li> </ul>
E3	Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG	EVSE Manufacturer	Head of Development BU-Electronics	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technical Project Lead unIT-e<sup>2</sup></li> </ul>
E4	Viessmann Climate Solutions SE	HEMS Manufacturer	Function Developer	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technical implementation of the unIT-e<sup>2</sup> project</li> </ul>
E5	Consolimno Energy GmbH	HEMS Manufacturer	Lead Architect	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grid serviceability and HEMS</li> </ul>
E6	be.Storage (on behalf of EWE Go)	HEMS Manufacturer	Head of EMS & Flexibility Development	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Software development for energy management systems</li> </ul>
E7	The Mobility House	Load Management Manufacturer	Product Manager	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Local Interfaces Charge-Pilot</li> </ul>
E8	Power Plus Communications AG	Smart Meter Gateway & CLS Manufacturer	Senior Innovations and Product Manager	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Funding projects, CLS, EEBus</li> </ul>
E9	EWE NETZ GmbH	CLS-Backend System and Grid Regulator	Project Lead	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ MSB Technic &amp; Data</li> </ul>
E10	Stadtwerke München	Grid Regulator and EMP	Metering point operation strategy	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technical Project Lead</li> </ul>

**Table 4: Questionnaire Experts Overview**

### 3.2.3. Data Collection and Data Analysis

The initial data and findings of this work were compiled from the existing literature. The second step was to collect data through expert questionnaires. All questionnaires were sent out via e-mail. The questionnaires collect data about the experts themselves, which are only relevant for

the evaluation, but are anonymized afterwards. 25 experts from 18 participating companies were contacted. The response rate covered 10 companies. The results were then compared for each relevant interface in order to clarify interoperability through semantics. If the same standards and reference models are used for the components involved in an interface, interoperability up to the semantics can be assumed. This is verified by checking whether conformance tests or comparable tests have been carried out positively by both sides. In addition, a comparison is made as to whether the same IT security standards have been applied in order to ensure that there are no obstacles to data exchange. The interfaces under consideration are shown in Table 5 and can be compared with the general system architecture in Table 1.

Inter-face	Component 1	Component 2
1	EV	EVSE
2	EVSE	(H)EMS
3	(H)EMS	iMSys (SMGW/CLS-Gateway)
4	(H)EMS	(a)EMT (via iMSys)
5	(H)EMS	Measuring Device
A	EV	OEM Backend
B	EV	Aggregator Backend (via OEM Backend)
C	EVSE	EVSE Backend
D	(H)EMS	(H)EMS Backend

**Table 5: Examined Interfaces**

All interfaces are analyzed according to the codes listed in Table 6. At the end of each analysis, a conclusion is made with regard to the significance for interoperability. General comments from the experts on the interface are also included here.

Code	Description
General interface description	General information about the participating companies.
Standards	Information on the standards and reference models used.
Tests	Information on the tests performed and results.
Cybersecurity	Information on the IT security of the respective interface.
Conclusion	Brief summary and classification within the topic of interoperability.

**Table 6: Coding of Interfaces**

### **3.3. Methodology for Measuring LCIM Levels 4-5**

Now that statements about the technical, syntactic and semantic interoperability of interfaces can be covered by the questionnaires, the in-depth practical analysis of the plugfest follows. The theoretical basis for this plugfest is based on best practice and recent advances in interoperability testing. Traditionally, ensuring interoperability relied on manual testing that involved real-world trials at different charging stations (Großmann, 2020). However, newer approaches emphasize the importance of plugfest events, which provide controlled environments for testing and ensuring the compatibility of power grid devices (Song et al., 2019). In these events, as described by Song et al. (2019) and Waser (2017), hardware devices are physically connected together to assess their communication capabilities and validate new standards. As an example, the UCAIug IEC 61850 interoperability tests, which are a formal set of tests for devices based on the IEC 61850 standard, allow participants to collaboratively identify and resolve interoperability issues (Song et al., 2019). By integrating findings from these sources, the structure of the plugfest used to collect the data relevant to this thesis is discussed below.

#### **3.3.1. Organization of the Plugfest**

As part of the Plugfest, all project partners involved in the unIT-e<sup>2</sup> project were invited to take part in the event. The event takes place over two days in the EEBus Living Lab. The aim of the event is to carry out various interoperability tests in accordance with the GVB specifications and to offer the participating partners an opportunity to exchange knowledge and experience.

Four test benches are operated in parallel as part of the plugfest. They allow four test cases to be tested side by side. The basic test structure is divided into four sessions. First, the cluster work chains established in the unIT-e<sup>2</sup> project, namely Harmon-E, Heav-E, Sun-E and Cit-E-Life (each consisting of EV, EVSE, (H)EMS, iMSys, etc.), are set up and tested for their functionality. In the second session, the cars are swapped one after the other within the cluster work chains. The functionality is also tested here. In the third session, (H)EMS and EVSEs are rotated and tested. In the fourth session, there is room for free tests.

The functionality is tested on the basis of defined use cases. The use cases are described below. A detailed specification of the requirements for passing a use case can be found in the EEBus specifications, which can be found in the footnotes:

- Limit of Power Consumption (LPC)<sup>2</sup>: The EV limits the charging power to a specific value.
- Monitoring of the grid connection point (MGCP)<sup>3</sup>: The EMS processes the measured values of the grid connection point.
- Monitoring the power consumption (MPC)<sup>4</sup>: The EMS processes the measured values of the individual devices.
- Time-of-use tariff (TOUT)<sup>5</sup>: Incentive table
- Coordinated EV Charging (CEVC)<sup>6</sup>: The EV schedules and follows a charging plan that minimizes costs or CO<sub>2</sub> emissions, with cost information from the incentive table.

As part of the research question, the theoretical comparison of the expert questionnaires is used to clarify interoperability at a technical, syntactic and semantic level. The further guiding assumption is that pragmatic interoperability is achieved if the defined use cases in session one work during the plugfest. If they also work in the respective rotation tests in sessions two and three, we can speak of dynamic interoperability.

Based on the companies participating in the unIT-e<sup>2</sup>-project and the respective distribution in their clusters, the following defined cluster chains result for the Plugfest as seen in Table 7. They are tested in Session 1 for the described use cases.

In Session 2, the four cars are swapped within these active chains and the use cases are also tested again. The (H)EMS and EVSEs are then swapped within the active chains in session 3 and the use cases are checked again.

---

<sup>2</sup>See [Limitation of Power Consumption \(eebus.org\)](#)

<sup>3</sup> See [Monitoring of Grid Connection Point \(eebus.org\)](#)

<sup>4</sup> See [Monitoring of Power Consumption \(eebus.org\)](#)

<sup>5</sup> See [EEbus.org](#)

<sup>6</sup> See [EEbus.org](#)

<b>Sun-E</b>				
<b>Harmon-E</b>				
<b>Heav-E</b>				
<b>Cit-E-Life</b>				

**Table 7: Session 1 – Components in Generic Cluster Combination**

These test series ultimately result in a test matrix with 256 potential test cases. After this matrix was created, all test cases were checked by the participants. Various test cases were deleted from the outset. This is usually due to the fact that not all use cases are relevant in all clusters, or that some setups cannot be combined. It can therefore happen that use cases are not implemented at all and testing would therefore be superfluous. How this affects interoperability will be addressed again in the discussion. In general, the test focus is on the LPC use case, as it reflects the new legal framework conditions from Article 14a of German Energy Industry Act (EnWG - Energiewirtschaftsgesetz) and therefore has the highest priority.

### 3.3.2. Data Collection and Data Analysis

Each test case is carried out and supervised by experts from the participating companies that provide components involved in the respective chain of action. Data is recorded using a test template with Microsoft Forms Office Software, which can be found in Appendix 2. The test ID, the use case, the start and end time, the name of the testers and the result in the form of "passed", "failed" or "aborted" are documented. There are also free fields for noting observed behavior, steps to recover and quick checks.

The first part of the data collection via expert questionnaires is primarily intended to shed light on interoperability from a technical perspective. The data should show how the interfaces are structured and the extent to which interoperability is implemented here on a technical, syntactic

and semantic level. In this second part of the data collection, interoperability will be analyzed more comprehensively and from a consumer perspective. To achieve this, the data will be analyzed at use case level.

For this purpose, all chains of action are sorted from the test matrix according to use cases. It is then analyzed whether the clustered active chains (session 1) function as expected. This will be used to evaluate pragmatic interoperability. After the cars are swapped in the second session, the aim is to draw conclusions about the interface between the car and the EVSE. In session three, HEMS and EVSE will then be swapped depending on the possibilities and the extent to which the use cases still work will be examined. Here, too, it is hoped that conclusions can be drawn about the interfaces to the EVSE and the iMSys. Overall, the results from sessions two and three allow a classification in terms of dynamic interoperability. The free texts of the individual tests are also analyzed in order to identify any patterns if several tests do not work. The free rotation in Session 4 is only analyzed superficially in order to draw possible additional conclusions about the dynamic interoperability. During and after the plugfest, core results and basic exchanges of ideas between the participating experts will be collected and incorporated into the results as a qualitative part.

## 4. Results

The results are presented in the following section. First, the results of the expert questionnaires are presented. Then the results from the plugfest are described.

### 4.1. Results from the Questionnaire

The results of the questionnaires are summarized below. It is based on the interfaces as shown in Figure 2 and Table 5. The questionnaires themselves can be found in Appendix 3-12 and the comparing tables in 13

#### **Interface 1: Electric Vehicle – Electric Vehicle Support Equipment**

**General Interface Description.** Data on the first interface between the electric vehicle and the charging system is available from the electric car manufacturers BMW and Mercedes-Benz, as well as the charging system manufacturer Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG.

**Standards.** Compleo specifies ISO 15118-2 and -20 as the used standard for this interface. This corresponds to the EV side, in which this ISO standard is also specified as the used reference. While Mercedes-Benz is not more specific on the EV side, BMW refers to the OSI layers in DIN EN ISO 15118-2:2016-08 for the more detailed specifications. Compleo on the EVSE side also refers to the corresponding ISO standards for further specifications (also for the -20 standard).

**Tests.** BMW carried out component tests, system tests, end-to-end tests and PEN tests for this interface; laboratory tests are still ongoing. The conformity tests mentioned in ISO 15118 were not explicitly named. The results show that the ISO standard still has room for interpretation. Mercedes-Benz tested the ISO 15118-2 according to the -5 specifications of the same standard. As no tests have yet been defined for the -20, no specific conformity tests were carried out. However, additional integration tests, system tests and subsystem tests were performed. Anomalies were rectified on the basis of the test results. As a representative of the EVSE side, Compleo also refers to the conformance tests for -2 and -3 defined in ISO 15118-4 and -5. They also explain that tests for -20 are currently defined in the -24 subsection. In addition, they used the CharIN Implementation Guide and are currently running tests for end-to-end validation.

**Cybersecurity.** BMW refers here to the measures prescribed in ISO 15118-2:2016-08. Mercedes-Benz uses optional Transport Layer Security (TLS) 1.2 for the -2 and mandatory TLS1.3 for the -20, as prescribed in ISO. Compleo also describes the use of TLS as defined in ISO.

**Conclusion.** The same standards are used between all participating companies. This indicates interoperability up to the semantic level. This is further confirmed by the fact that various tests were carried out by all parties. It should be noted that the ISO standard leaves room for interpretation and that minor errors occasionally occur during tests. In the area of cybersecurity, everyone adheres to the measures prescribed in the standard.

## **Interface 2: Electric Vehicle Support Equipment – (Home) Energy Management System**

**General Interface Description.** Data on the second interface between the Electric Vehicle Support Equipment and the (Home) Energy Management System is available from the charging system manufacturer Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG, as well as the (H)EMS manufacturers Viessmann Climate Solutions SE, Consolinno Energy GmbH, The Mobility House and be.storage.

**Standards.** Compleo uses the EEBus<sup>7</sup> standard at the interface and refers here to the reference models precisely defined in EEBus, such as SPINE, SHIP and TCP/IP. On the (H)EMS manufacturer side, Viessmann and Consolinno also refer to EEBus, SPINE and SHIP. The Mobility House uses the OCPP 1.6J protocol for data transmission. The associated OSI layer can be seen in Appendix 8. be.storage uses Modbus TCP with IEC 61158 industry standard.

**Tests.** The charging infrastructure manufacturer Compleo used KEO's K-Test as a conformity test and has pending end-to-end tests. No details of the test results were provided. Viessmann also uses KEO's conformance test for its (H)EMS as well as additional integration tests and plugfests with the relevant partners. Viessmann's conformance tests were passed and guarantee the technically correct exchange of all data required by EEBus. The integration tests tested several use cases and were only passed after several small improvements were made. Viessmann concludes that although all these tests are necessary, they do not guarantee perfect interoperability. Consolinno tested its (H)EMS in the EEBus Lab. Several use cases were tested

---

<sup>7</sup> See EEBus Initiative e.V.: Introduction EEBus. The global language for energy in IoT. [https://www.eebus.org/wp-content/uploads/2023/04/20200605-EEBUS\\_Short\\_Introduction-v1.28.pdf](https://www.eebus.org/wp-content/uploads/2023/04/20200605-EEBUS_Short_Introduction-v1.28.pdf)

and cross-manufacturer tests were carried out. Consolinno found that the interoperable communication itself works across manufacturers. However, they also realized that some manufacturers advertise interoperability but do not implement the prescribed use cases. This means that, despite advertising, the standard is de facto not sufficiently fulfilled. Unlike the other project participants, The Mobility House relies on the OCPP 1.6J standard, which has been extensively tested within the company, supplemented by integration and subsystem tests. The results show that functionality is ensured. be.storage did not carry out in-house conformity tests. All interfaces were integrated or used by third party libraries or software stacks in the HEMS code. Thus, all conformance tests were left to the developers of the interface software.

The use of the interfaces in the program code of the HEMS software is tested using several types of tests. First, unit tests (roughly equivalent to subsystem tests) are carried out. In a next step, ongoing integration tests are carried out in a simulated laboratory environment. These and other tests (which do not affect interfaces, such as validation tests) are carried out continuously and automatically during software development. No data for test results is available.

**Cybersecurity.** Compleo encrypts its interface side via TLS and describes that the device ID is secured manually via certificate. Viessmann and Consolinno also secure the interface via TLS. Viessmann also describes that manual pairing of the EEBus partners by the users or installers is necessary. Consolinno describes additional security measures, namely curves and key specifications and that authorization can only take place via CIP pairing. The Mobility House describes the security as optional via SSL (TLS) secure WebSockets. be.storage did not encrypt their part of the interface. The interface is defined by the device manufacturer and is generally not offered encrypted by them.

**Conclusion.** Both the charging infrastructure manufacturer Compleo and the (H)EMS manufacturers Viessmann and Consolinno are based on the EEBus standard and it can therefore be assumed that interoperability is also guaranteed here, right up to the semantics. In addition, one of the project participants describes that although the EEBus standard is currently only common in Germany, it offers great potential for a simple and secure network connection between the individual devices. Another project partner describes that the process of transferring the EEBus standard into the VDE-AR-E 2829-6-1 and then presumably into an EU standard is currently underway. The Mobility House relies on the OCPP 1.6J standard, which does not come from

any other questionnaire, but is also being implemented in the unIT-e<sup>2</sup> project. It is also a common standard, as seen in Table 2 by Schriewer (2023), which is why the potential for interoperability through semantics can be considered as probable. However, only the plugfest will reveal more details. be.storage is the only HEMS manufacturer (from which a questionnaire result is available) to rely on the Modbus TCP standard for this interface. This standard is considered established, but whether this is sufficient for interoperability cannot be concluded at this point. Only the plugfest will provide results here too. be.storage notes on the subject of IT security that security is guaranteed as long as the customer network is secure. If this is not the case, however, the damage is limited to this one customer. be.storage does not expect these measures to be sufficient in the long term.

### **Interface 3: (Home) Energy Management System – Intelligent Measurement System**

**General Interface Description.** Data on the third interface comes from the (H)EMS manufacturers Viessmann Climate Solutions SE, be.storage and Consolinno Energy GmbH, as well as Power Plus Communication AG (PPC), which produces smart meter gateways and Controllable Local System (CLS) gateways. PPC is testing different products in different clusters of the unIT-e<sup>2</sup> project, namely the SMGW 1.0 with CLS gateway 2.0, as well as the SMG 2.0, in which the CLS gateway is integrated. In this analysis, SMGW and CLS gateway are considered as one unit, unless otherwise described. In this regard, reference should also be made again to the iMSys black box, as described at the beginning of the chapter.

**Standards.** PPC describes the EEBus standard for all its communication interfaces to all (H)EMS manufacturers as well as internally between the SMGW and CLS gateway. As an (H)EMS manufacturer, Viessmann also describes the EEBus standard as the communication interface between its (H)EMS and SMGW, CLS-Gateway and aEMP as further explained in interface 4. Consolinno uses the IEC 61850 standard as a reference model. The IEC 61850 standard is a general standard from electrical engineering that defines transmission protocols in switchgear technology. be.storage uses the EEBus standard and mentions several specifications like CENELEC EN 50631, ETSI TS 103 410-1 SAREF4ENER.

**Tests.** PPC carried out conformance tests for this interface, as well as laboratory and field tests. All use cases and interfaces were successfully tested for conformity, as were the laboratory and field tests. Viessmann carried out conformance tests using the KEO K-Test tool, as well as

integration tests and plug tests with relevant partners. Viessmanns conformity tests show that all data is exchanged in a technically correct manner and the tests were therefore positive. Several use cases were tested during the integration tests. Although the conformance tests were positive, some use cases required minor improvements to the software in order to be completed successfully. Consolinno carried out tests with its IEC 61850 standard using internal and external tools, including long-term end-to-end tests and CI tests with compatible internal IEC 61850 test clients with the respective use cases. be.storage has not carried out any in-house tests, but relies entirely on the tests carried out by the software manufacturers and third parties. Specifically for EEBus, be.storage does not have its own test setup. Therefore, only automatic unit tests are carried out here. Integration tests are carried out in an EEBus network laboratory.

**Cybersecurity.** PPC describes the TLS protocol as encryption. They supplement the security measures by requiring the complete certificate when connecting the SMGW and not just the SKI, which makes the entire process even more secure. Viessmann also uses the TLS protocol and supplements the security measures by requiring manual pairing of the EEBus partners by the installer or user. No tests have been carried out by Viessmann, as the TLS standard is considered secure, PPC did not mention any tests. Consolinno describes that anything would be possible for the security of the IEC 61850 standard, specifically TLS is also mentioned here. be.storage mentions TLS/SSL encryption as cyber security measures. No information was provided about any tests or similar.

**Conclusion.** All three, Viessmann, be.storage and PPC use the EEBus standard and this has also been validated by various tests. Interoperability can therefore also be assumed here, right up to the semantics. However, Viessmann indicates that although the tests are necessary, they are not sufficient to ensure perfect interoperability. The Consolinno questionnaire explains that the IEC 61850 standard is already very advanced and ready for the future. Despite room for improvement, it offers the possibility of implementing all relevant use cases. It is also common in several countries. Due to the lack of data on this standard and Viessmann's statements on the EEBus standard, the plugfest results will also be relevant here in order to examine the interoperability of this interface in greater depth.

## **Interface 4: (Home) Energy Management System – (active) Energy Market Participant (aEMP) (via Intelligent Measurement System)**

**General Interface Description.** Information on this interface comes from the (H)EMS manufacturers Viessmann Climate Solutions SE, be.storage and Consolinno Energy GmbH, from the iMSys manufacturer Power Plus Communications AG and from the CLS backend system operator and grid controller as well as active energy market participant EWE NETZ GmbH.

**Standards.** Viessmann sends all information via the EEBus standards to the SMGW, the CLS gateway and the aEMP. The questionnaire does not specify exactly what the individual steps of data transmission look like. be.storage also only describes the data transfer from the (H)EMS to the CLS gateway via the EEBus standardization. As an (H)EMS manufacturer, Consolinno describes the data transfer to the SMGW as already described via the IEC 61850 standard and the connection to the aEMP via MQTT<sup>8</sup> and CLS.EEDI<sup>9</sup>. The SMGW/CLS gateway (iMSys) manufacturer PPC describes its interfaces only in the direction to (H)EMEs as already described via the EEBus standard. EWE NETZ is the last component to describe its interface as an EMP system to the SMGW and CLS gateway. The EMP to SMGW connection is standardized via BSI TR-03109-1<sup>10</sup> and interoperability is guaranteed here via the necessary SMGW certification. This corresponds to the interface from the iMSys to the aEMP as shown in Figures 1 and 2. Meter measurement data is exchanged here without the EMP coming into direct contact with the (H)EMS. The interface between EMP and CLS gateway is via AR-2829-6, or better described by MQTT and CLS.EEDI and corresponds to the interface from aEMP to the iMSys

---

<sup>8</sup> “MQTT is an OASIS standard for IoT connectivity. It is a publish/subscribe, extremely simple and lightweight messaging protocol, designed for constrained devices and low-bandwidth, high-latency or unreliable networks. The design principles are to minimise network bandwidth and device resource requirements whilst also attempting to ensure reliability and some degree of assurance of delivery. These principles also turn out to make the protocol ideal of the “Internet of Things” world of connected devices, and for mobile applications where bandwidth and battery power are at a premium.” (<https://mqtt.org/faq/>)

<sup>9</sup> “KEO CLS.EEDI allows energy grid related backend systems (e.g. aEMT) to exchange energy management related data with local systems (e.g. SMGWs).”

(<https://github.com/KEO-cls-eedi/specification/blob/main/README.md>)

<sup>10</sup> BSI TR-03109-1 is a technical guideline defined by the Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (Federal Office for Information Security) on the requirements for the interoperability of the communication unit of a smart metering system and is derived from the Messstellenbetriebsgesetz (Metering Point Operation Act). See also [https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/TechnRichtlinie/TR\\_03109-1\\_node.html](https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/Smart-metering/Smart-Meter-Gateway/TechnRichtlinie/TR_03109-1_node.html)

and [https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Publikationen/TechnischeRichtlinien/TR03109/TR03109-1.pdf?__blob=publicationFile&v=4) p.2.

as shown in Figures 1 and 2. Data is exchanged directly with the (H)EMS via this interface, with the CLS gateway, or the iMSys as a whole, acting as a literal data gateway.

**Tests.** Viessmann and be.storage have not described any additional tests for the aEMP. All given data from their HEMS towards iMSys and further are thus described in interface 3. Consolinno describes end-to-end tests for the aEMP at all levels. The given implementations and the desired communication worked as expected and fulfilled all requirements. The communication via CLS.EEDI and MQTT is very simple and open and its open documentation allows all participants to establish a data exchange that covers all requirements. According to Consolinno, the CLS.EEDI standard needs to be supplemented in some places. However, its openness means that IEC 61850 functions can also be implemented. In its questionnaire, PPC also only provided information on the interfaces in the direction of (H)EMS; the interfaces in the direction of aEMP are not apparent. Accordingly, the tests for this are also only those described in interface 3. EWE NETZ describes for the interface between SMGW and aEMP that TAF 10 data measurement data reception was tested. The measurement data was transmitted according to the profile and the test was completed successfully. For the interface between the CLS gateway and aEMP, it was tested whether the transmitted target values were correct. Several tests down to the protocol level were necessary here until the transmission was so accurate that the manufacturer speaks of interoperability. The time-out time in MQTT keep-alive must be configured exactly correctly, otherwise operation is unstable. A stable minimum version with downward compatibility is therefore necessary. In the opinion of EWE Netz, the interface is not yet widely established and therefore still suffers from typical early problems.

**Cybersecurity.** As the cybersecurity of the (H)EMS manufacturers and also of PPC has already been presented in the interface, only the results of EWE Netz will be analyzed here. The interface between SMGW and aEMP is protected by TLS with SM-PKI. This encryption complies with the specifications in TR 03109 and is BSI approved. The interface between the CLS gateway and aEMP is also encrypted using TLS with SM-PKI. This also complies with the requirements of TR 03109.

**Conclusion.** The HEMS from Viessmann and be.storage send their data directly to the iMSys via EEBus. Consolinno does the same, but via IEC 61850. While the iMSys acts as a black-box gateway, the EMP communicates via the certified and standardized BSI TR-03109-1. EWE

NETZ describes this interface as established and as a productive system. At the same time, the EMP also communicates directly with the (H)EMS (at least exactly as described by Consolinno) through the iMSys via MQTT and CLS.EEDI. The exact data streams are not entirely clear and the process is not conclusively covered by all questionnaires. However, it is clear that the iMSys has several interfaces, some via BSI and some via MQTT. In addition, the interface between HEMS and iMSys appears to be partly amorphous, as communication takes place between the two, as well as with the EMP. Interoperability is difficult to assess in this case, as the interfaces are not clearly separated as before. Nevertheless, some of them can only be implemented with BSI certification, which is why it can be assumed that interoperability is at least partially guaranteed here. Within the unIT-e2 project, this interfaces not prioritized, as they are not subject to the same challenges as the other interfaces described so far due to BSI certification.

The entire interface 4 is also criticized, e.g. in the questionnaire of Stadtwerke München, which can be read in Appendix 12. These include aspects such as Germany going it all alone in the SMGW architecture, excessive regulation and the non-use of a cloud system where interoperability is also undesirable.

### **Interface 5: (Home) Energy Management System – Measuring Device**

**General Interface Description.** Data for the fifth interface comes from the (H)EMS manufacturer Consolinno Energy GmbH and from The Mobility House. There is no data on the other side of the interface, the measuring device.

**Standards.** Consolinno uses the Modbus RTU standard between the (H)EMS and the measuring device. This standard standardizes data transmission, but the data models are device- and manufacturer-specific. The Mobility House also uses the Modbus RTU standard and also refers to manufacturer-dependent proprietary register tables, which are stored in Appendix 8 together with the associated OSI layer model of the interface.

**Tests.** Consolinno tested the interface via laboratory tests and field tests. The Mobility House describes that there are no standardized conformance tests for Modbus RTU, as the data models are manufacturer-specific. They also carried out integration tests and subsystem tests. This enabled them to determine the functionality.

**Cybersecurity.** Neither (H)EMS manufacturer has implemented any extra cybersecurity measures. The Mobility House describes that this interface is a physically completely isolated system and therefore no IT security is necessary.

**Conclusion.** Even if we have no data on the opposite side, the data shows that the same standard with uniform tests etc. is used here. Consolinno also describes that the normal Modbus RTU implementation at bus level is an old and established standard that is easy to implement. Due to its establishment and simple implementation, it stands to reason that there is interoperability right up to the semantics.

### **Interface A: Electric Vehicle – OEM Backend**

**General Interface Description.** Data on the interface between the electric vehicle and the OEM backends is available from BMW AG and Mercedes-Benz AG. Both operate their own backend for their cars.

**Standards.** BMW uses a SIM card-based data exchange via the Telematic Interface. There is no standardized reference model for this, but BMW relies on the current technical solutions available for communication between cars and backends. Mercedes-Benz does not provide any further information on the entire interface. There are however further specifications in Interface B.

**Tests.** BMW tests its interface to the BMW backend via component tests, system tests, end-to-end tests and PEN tests, with the result that everything works.

**Cybersecurity.** Cybersecurity is not specified, with the reference that this is not part of the research project.

**Conclusion.** The OEMs' interfaces to the respective OEM backends are not standardized and appear to work. The information available on this interface is limited. It is therefore not possible to make a statement on interoperability.

### **Interface B: Electric Vehicle – Aggregator Backend (via OEM Backend)**

**General Interface Description.** Data for the interface between the electric vehicle and the aggregator backend comes exclusively from Mercedes-Benz AG. Information is transferred from the car via the OEM backend to the aggregator backend.

**Standards.** Data is transferred from the car via the API 3.0 cloud-to-cloud interface to, in this case, the smart charging app from The Mobility House and back via the same path.

**Tests.** No information is provided on any tests.

**Cybersecurity.** No information is provided on cybersecurity.

**Conclusion.** This interface, although it takes place between two different companies, provides little information about its standardization. This is also due to the lack of data, as it is only mentioned in one questionnaire. No statement can therefore be made on interoperability.

### Interface C: EVSE – EVSE Backend

**General Interface Description.** Data relating to the interface between EVSE and EVSE backend comes exclusively from Compleo.

**Standards.** This interface is based on the OCPP 2.0.1 (+V2X RFC) standard.

**Tests.** The interface was tested via OCTT of OCA. The fulfillment of the OCPP 2.0.1 requirements was certified by the OCA (Core and Advances Security). End-to-end tests are still pending.

**Cybersecurity.** The OCPP 2.0.1 does not require encryption and is therefore also possible without encryption. However, a username and password are required. TLS is possible, but not mandatory.

**Conclusion.** The interface between EVSE and the company's internal EVSE backend appears to follow standards. However, since only data from one manufacturer is available, no statements can be made about interoperability.

### Interface D: (H)EMS – (H)EMS Backend

**General Interface Description.** Data relating to the interface between (H)EMS and (H)EMS backend comes exclusively from be.storage.

**Standards.** This interface is based on the MQTT standard. MQTT itself defines the Application Layer (7) Transport Layer (4) is TCP, Packet Layer (3) is IP and Data Link Layer (2) is Ethernet

**Tests.** The answer to tests given in the questionnaire was standardized for several interfaces and can be read identically for this case in interface 2. Tests are exclusively made by third parties and are repeated on an ongoing basis.

**Cybersecurity.** The IT security is based on TLS 1.2. No further measures are taken as the TLS encryption of the connection is considered very secure. As a very widespread protocol was used, which is considered very secure and has been tested, no further tests were carried out.

**Conclusion.** The interface between (H)EMS and the company's internal backend appears to follow standards. However, since only data from one manufacturer is available, no statements can be made about interoperability.

## 4.2. Results from the Plugfest

The results presented here are based on the data collected using the test tool and presented in Appendix 14 as summarized and comprehensive presentation. They are complemented by the results of a Menti survey conducted on site and protocols of the thoughts and discussions of the plugfest experts, which can be found in the same Appendix 14.

### General Data

Over 50 experts took part in the plugfest. They represented 26 partner companies and provided 21 components that could be tested accordingly. This resulted in 36 logged tests, 30 of which were pre-planned use case tests. A total of 60 tests were pre-planned, resulting in a coverage of 50%. This value is mainly due to the fact that tests had to be canceled due to time constraints. 6 tests were carried out freely in order to solve urgent questions that arose.

### Session 1: Pragmatic Interoperability

The focus of the first session was on the Power Limitation use case, as important regulations from the new §14a EnGW are integrated into it. In addition, the Smart Charging and Meter Values use cases were tested sufficiently often to be able to make summarizing statements.

**Power Limitation via EEBus LPC – Limit of Power Consumption.** Five LPC test runs were planned in advance. All five were carried out at the plugfest in the established setups from the clusters. The results show that most of the individual test screens worked. There are exceptions in the results matrices, as some subtests were aborted due to time constraints or because the test engineers carrying them out did not expect any relevant added value, as similar test steps had already been carried out previously. There is one exception: if the charging power falls below a set limit value, which in all cases is approx. 2 kW charging power, the car falls asleep and

goes into the so-called ISO pause. The car cannot be automatically woken up from this state if the charging power can be increased again, i.e. the car no longer charges. This is considered to be a significant defect that requires improvement. Nevertheless, the results therefore show that the §14a specifications have largely worked, which is seen as a key achievement. The structures of the Sun-E and Harmon-E clusters worked very well, while the Cit-E and Heav-E structures showed structure-related problems. It is therefore not yet possible to speak of seamless pragmatic interoperability, but it already exists to a large extent.

**Smart Charging via EEBus CEVC – Coordinated EV Charging.** Due to the cluster setups and corresponding use case implementations, two CEVC test sequences were planned, both of which were executed. The results show that all test steps that were carried out in their entirety also worked. Leaving the ISO pause did not work properly here either or was no longer tested, as it was known that it would not work based on the LPC results. A misinterpretation of ISO 15118-2 is given as the reason for the non-functionality. Consequently, it is not possible to speak of smooth pragmatic interoperability here either, but it is also already present to a large extent.

**Meter Values via EEBus MPC – Monitoring of Power Consumption** Five tests were planned for the MPC use case, three of which were usable. All test steps were passed in two of them, and the use case did not work in one. It is stated here that the use case is implemented differently in this cluster structure in the field test and works there. Here too, the results show that pragmatic interoperability cannot be said to be flawless, but it is also already present to a large extent.

## Session 2: Dynamic Interoperability – EV Change

In session two, the cars were swapped. Evaluable data is available here for the LPC use case and for the CEVC use case.

**Power Limitation via EEBus LPC – Limit of Power Consumption.** In session two, twelve test runs were planned for the LPC, of which nine were carried out. Due to a lack of time, various test steps were shortened or deleted in all test runs in order to be able to generate as many core statements as possible. The tests carried out proved to work well, but the same problems occurred as in the LPC tests in session one. Here too, the car no longer wakes up when the charge limit is undershot and the car goes into the ISO pause. This points to an underlying implementation problem that is car-independent or has been implemented in all cars. These results show

that, based on the pragmatic interoperability in the LPC use case, which is not optimal but largely functional, dynamic interoperability also works well if, ceteris paribus, the car is swapped.

***Smart Charging via EEBus CEVC – Coordinated EV Charging.*** In session two, six test runs were planned for the CEVC use case, three of which were carried out and delivered usable data. The evaluation shows that interoperability has reached its limits here. None of the test runs could be completed successfully. This means that there is no dynamic interoperability for vehicle replacement with regard to the CEVC use case.

### **Session 3: Dynamic Interoperability – EVSE/HEMS Change**

For session three, the evaluation shows five tests carried out, all of which are inadequate. Where exactly the problems lay varies. No test could be carried out satisfactorily, not to mention with a positive end result. The exchange of HEMS and EVSE does not seem to be so easy. Accordingly, there is no dynamic interoperability in this case.

### **General Findings**

During the plugfest, many discussions, conversations and exchanges were captured in a thought log and compiled at the end. In addition, a menti survey was conducted at the end. A core aspect of the event was the Power Limitation use case in the context of §14a EnWG. This can be realized relatively reliably if it is implemented. Central problems only arise if the charging power falls below the lower threshold value of approx. 2 kW and the car goes into the ISO pause, from which it can no longer be woken up. In the worst case, this can lead to an uncharged car. In the context of § 14a, this problem is irrelevant, as it only allows a limit of 4.2 kW to be set. With PV and price-optimized charging, however, this value can be undercut and therefore requires a solution to be found. However, there are also differences in the implementation of this topic, depending on which component and from which side of the chain of effects is considered.

Another aspect that receives a lot of attention is ISO 15118 as the interface standard between EV and EVSE. The ISO 15118-2 version is considered by various experts to be error-prone and not fully developed. Their hopes are pinned on the newer version ISO 15118-20, as it is considered to be much more mature. HEMS and wallbox manufacturers in particular only tolerate communication errors in the -2 in order to avoid charging interruptions. Conversely, however,

this means that OEMs implement standards less strictly - a chicken-and-egg problem. The problem lies in the fact that the -2 allows for small variations in implementation. This makes extensive testing with all potential users necessary in order to ensure compatibility. It is therefore not considered suitable for mass use in some experts eyes. However, there is widespread agreement that the -20 can act as a solution here, as it addresses various problems.

The general tenor of the experts was that the status of the interfaces is not yet as advanced as expected. The plugfest brought various unexpected complications to light. These are mainly due to variations in the implementation, which lead to considerable issues.

## 5. Discussion

In the following, the results obtained will be briefly summarized and interpreted. In addition, they will be placed in the context of current research and their limitations will be pointed out. Finally, indications for further research and recommendations for action will be presented.

Interoperability plays a major role in many current developments such as Internet of Things (IoT), IoE, Smart Grid, Smart Home and also in the field of e-mobility and charging infrastructure. As part of the unit-e<sup>2</sup> project, the aim of this work is to evaluate the interoperability of the components included in the project. The results of the questionnaires show that four interfaces are particularly relevant for the end user: those between EV, EVSE, (H)EMS, iMSys and MPO. Standardized reference models are used between all contained components. The questionnaires show that these are established, tested and encrypted and therefore demonstrate technical, syntactic and semantic interoperability in accordance with the Levels for Conceptualized Interoperability Method. As second method for data generation the plugfest as a comprehensive laboratory test represents over 50 experts from 26 partner companies who tested 21 components. The results here show that the Power Limitation use case has largely worked within the established chains of action and that the requirements of EnWG §14a can therefore also be fulfilled. Smart Charging and the Meter Values Monitoring use case also worked well. This ensures pragmatic interoperability although minor problems occurred. The test cases for dynamic interoperability show, that if the cars are exchanged within the active chains, the results of the power limitation use case and thus the §14a requirements remain good. However, smart charging no longer works. If the (H)EMS and EVSE are replaced, no use case works properly. This means that we can speak of limited dynamic interoperability when using different cars; in all other cases there is no dynamic interoperability.

The results enable to develop correlations and interpretations in various directions. First, the results will be discussed in the context of the interface standards as evaluated by Schriewer & Farkas (2023) in Table 2. Schriewer & Farkas summarizes ISO 15118-2/-20 and describes its relevance as high and its maturity as low to medium. The results of this thesis show that ISO 15118-2 is the only standard used between EV and EVSE in the project and thus also indicates a high relevance. The results also show that communication between EV and EVSE worked at

least well in both the pragmatic tests and the dynamic tests and was not the initial point for many problems. This indicates a maturity that is better than low. However, the plugfest protocols show a different picture. The experts rate the -2 as not very mature and not suitable for mass use. They see a remedy in the -20, which is said to be significantly better developed. The results for maturity therefore remain amorphous, but there are indications that it is better than expected and will be even better with the -20.

The interface between EVSE and HEMS is used in unIT-e<sup>2</sup> via EEBus, OCPP 1.6 and Modbus TCP. Schriewer & Farkas (2023) describes the Modbus TCP standard as medium relevant and medium mature. Even though information was provided in the questionnaire, no relevant new findings on this standard could be obtained in the course of this work. The OCPP 1.6 standard is described by Schriewer & Farkas as highly relevant and medium mature. This was also described in the questionnaires, but no new relevant information could be generated in this context either. The EEBus standard is described by Schriewer & Farkas as highly relevant and not very mature. The EEBus standard is certainly a focal point of this work, as several interfaces are mapped via this standard. It is described in several questionnaires between EVSE and (H)EMS and also proved to be not yet fully developed in the pragmatic tests, but largely functional. The standard reached its limits in the dynamic tests, as both EVSE and (H)EMS swap did not work. This is in line with the results from the questionnaires, in which it is described that minor improvements were necessary in the implementation of EEBus during the conformation tests carried out. EEBus was also one of the standards used between (H)EMS and iMSys. The problems are identical, but it also shows that EEBus can serve several important interfaces. Its claim to serve as a generic IoT protocol as described by Schriewer & Farkas is therefore confirmed in this work. Schriewer & Farkas classification as not yet fully mature is also reflected in these results. At this point, however, it is important to note that a lot of work is going into the EEBus standard in order to establish it as a mature standard on the market. The requirements of §14a EnWG could also be mapped well via EEBus and underline its positive development. No relevant new results could be generated for the standardization of the (H)EMS - iMSys interface via IEC 61850. The same applies to the interface between iMSys and aEMP. It should be noted here that the interfaces from the EV to the iMSys have been created by largely market-based developments and are therefore of particular relevance to the end customer and this work. The

interfaces from iMSys to the MPO and beyond are determined and regulated by the regulator and are therefore not of decisive importance for the results of this work.

Looking at the chain of action as a whole, the results show that although many foundations have been laid via standards, they are not yet fully developed. In addition to the interface analyses, this can be seen above all from the general tenor of the experts at the plugfest. It is clear from the notes that more tests did not work than was assumed in advance. This caused general surprise. It is clear from the results that most of the problems are due to minor variations in the implementations. This is in line with the statements of Kasnuic (2001), who already described 2001 that standards can never be complete for developers. The complexity is increased by the existence of options in standards coupled with different releases and versions of products. The plugfest itself is part of the possible answers as they are also found in the literature (see e.g. Widergren et al., 2019), as only close cooperation characterized by time and effort can counter this problem. It is also worth mentioning that the results also show that developments on the market, e.g. mentioned by Axelsson (2020), are reliably countered by counter-developments. This can be seen in the further development of existing standards, recognizable in ISO 15118-2 and the newer -20, in which problem solutions and new developments have been integrated. The same can be seen in the OCPP 1.6 to OCPP 2.0 and also in the continuous further development of the EEBus standard.

However, the results also confirm various opportunities and possibilities mentioned in the literature that interoperability can offer. Rezaei et al. (2014) mentions the need for interoperability in terms of customer satisfaction. The fact that over 50 experts from 26 companies took part in the plugfest indicates that the companies are well aware of this issue. The survey among the experts also showed that the joint exchange contributes to the establishment of best practices and that companies can learn and benefit from each other. These views coincide with the benefits that Widergren et al. (2019) describes for interoperability. Finally, the participation of so many companies also shows the great interest in the industry in promoting interoperability in e-mobility. This confirms the findings of Axelsson (2020), who concludes from a review of several studies that it is one of the topics that is generally considered most important in industry.

Despite the far-reaching results of this work, there are of course limits to its findings. Although many relevant companies on the German market are participating in the unIT-e<sup>2</sup> project, many

are of course also missing. This applies in particular to several large EV manufacturers, especially from the USA and China, but also to large wallbox manufacturers, etc. Unfortunately, it is not possible to speak of a representative cross-section of the participating partners, as the selection of participants is subject to self-selection bias. All participating companies have a vested interest in interoperability, whatever the exact motivation behind it may be. Companies that have no interest in interoperability tend not to take part in a project like unIT-e<sup>2</sup> and are therefore not represented in the results. Another rather technical limitation is derived from Kasnuic (2001). He criticizes the fact that requirements from interoperability tests are often only geared towards behavior under ideal conditions, but provide little information about unfavorable situations. He emphasizes that many interoperability problems are subtle and difficult to detect and can therefore only be detected in field tests under real conditions. This point must be taken into account in the context of the plugfest and the unIT-e<sup>2</sup> project. The results show that the plugfest has already uncovered various errors. Some experts have rated the plugfest as worthwhile, as it allows them to get out of the very limited internal company laboratories and test under new circumstances. Nevertheless, field tests are unavoidable, but are already taking place as part of the project and are an integral part of the project planning. It is also important to note that many potential tests at the plugfest have already been canceled in advance and are therefore not included in the evaluation. As it can be assumed that these tests would not have worked either, this aspect does not contribute positively to the topic of interoperability.

Despite all these limitations, the results from the project and therefore the results of this work have a strong external impact. Although the self-selection bias applies and several large market players are missing, one can also look at it from the other side. A considerable number of major relevant players have joined forces in the unIT-e<sup>2</sup> project. They have jointly set themselves the goal of defining a common direction and building common paths to be taken together for the benefit of interoperability. At the same time, it can also be said that although some important companies are missing, a large cross-section of companies from all relevant fields are interested in finding, defining and establishing common standards and guidelines. Some central elements of interoperability from existing research results can also be recognized in this approach: The goal of not promoting islands of functionality, as described in Motta et al. (2019) and meeting the customer's desire for choice and participation, as well as establishing best practices, all described by Widergren et al. (2019) in the context of plug-and-play solutions. The expectation is

that the participating companies will exceed a critical mass, forcing other companies to follow the established standards as well. This alone helps the project to close the research gap that Schriewer & Farkas (2023) addresses, as most of the research to date deals with public charging and not charging at home or at work.

Interoperability research in the context of e-mobility has therefore not yet come to an end with this work. This work can provide a starting point for carrying out comparative analyses of what those manufacturers who are not part of this project are doing at the respective interfaces. This is the only way to obtain a comprehensive overall picture of the situation in Germany. In addition, the results in comparison with Schriewer & Farkas (2023) table show that although all the standards examined are highly relevant, none of them have a high maturity. The reasons for this and the further development need to be examined more closely. In doing so, important principles must be taken into account: On the one hand, Lehman's first law, which states that evolution always takes place in software technology in real systems. This evolution takes place so quickly that no system can survive it if it does not evolve at the same speed (Carney & Fisher, 2005). Or, as Widergren et al. (2019) puts it, all participants in an integration ecosystem need to agree on a vision for the future, understand the current state of interoperability, find gaps, prioritize needs and plan together. And, of course, that these steps need to be repeated and adapted on a continuous basis. On the other hand, it must also be taken into account that at some point an interoperability level has been reached that should not be deepened any further. The question remains as to where the point will have been reached where the balance between interoperability and other priorities has been found (cf. Axelsson, 2020) and further efforts come to an end.

Standards serve to structure our energy system and thus exert an invisible power over all users, thus serving the role of a veiled reality-creating function (Kester et al., 2019). Ultimately, the findings of this work apply to all companies, developers and standardization authorities who are interested in true interoperability and want to come closer together to the ultimate vision of the most customer-friendly goal:

*„Interoperability to Integrate Anything, Anywhere, Anytime.“ – Widergren et al. (2019)*

## 6. Conclusion

Various interfaces between different companies are being processed within the unIT-e<sup>2</sup> project. The most relevant interfaces within the project are ISO 15118 between the EV and the EVSE. Between EVSE and HEMS it is EEBus and OCPP. This is followed by the interface between (H)EMS and iMSys, which is mainly standardized via EEBus, and the interface between (H)EMS and aEMP via the iMSys, which is regulated via BSI certificates and is also covered by CLS.EEDI and MQTT. All interfaces largely claim to be secured from the outside, mostly via TLS encryption. The Plugfest has shown that the most important use cases in the unIT-e<sup>2</sup> setup work along the chains of action if they are established setups. This includes power limitation, smart charging and the monitoring of meter values. The requirements of §14a EnWG can also be mapped in compliance with the regulations. Furthermore, the results show that it is also possible to charge with other cars in the established setups. This finding is particularly important because it is crucial for an appropriate charging experience. The exchange of other components such as EVSE and (H)EMS did not work in any established setup. The results therefore show that technical, syntactic and semantic interoperability is guaranteed within the charging infrastructure as tested in the unIT-e<sup>2</sup> project. Although pragmatic interoperability still shows individual weaknesses, it is largely positive. Dynamic interoperability only exists in the case of EV-swapping and not in any other case. This results in corresponding improvement requirements for the component manufacturers. The results show that there are largely established standards that also have the potential to be used universally. Nevertheless, there are typical initial difficulties in establishing standards that need to be eliminated. If this can be achieved, the lighthouse effect of the project could help to set the necessary standards for far-reaching interoperability in e-mobility throughout Germany in the long term.

## References

- Augsten, S. (2023). *Cybersichere Ladeinfrastruktur trotz Lowcost-Hardware*. Vogel Communications Group. <https://www.security-insider.de/cybersichere-ladeinfrastruktur-trotz-lowcost-hardware-a-9f4389579d34ce5a751a4205e0ee82c3/>
- Axelsson, J. (2020). Achieving System-of-Systems Interoperability Levels Using Linked Data and Ontologies. *INCOSE International Symposium*, 30(1), 651–665. <https://doi.org/10.1002/j.2334-5837.2020.00746.x>
- Buamod, I., Abdelmoghith, E. & Mouftah, H. T. (2015). A review of OSI-based charging standards and eMobility open protocols. *2015 6th International Conference on the Network of the Future (NOF)*, 1–7. <https://doi.org/10.1109/NOF.2015.7333288>
- Carney, D. & Fisher, David, Place, Patrick (2005). Topics of Interoperability: System-of-System Evolution. *Integration of Software-Intensive Systems Initiative*.
- Csillak, K. & Moreno Kuhnke, M. (2022). An Interoperability Framework for electromobility (INFRA): The main results from the USER-CHI framework implementation in a new spotlight. *Open research Europe*, 2, 65. <https://doi.org/10.12688/openreseurope.14510.1>
- Di Martino, B., Rak, M., Ficco, M., Esposito, A., Maisto, S. A. & Nacchia, S. (2018). Internet of things reference architectures, security and interoperability: A survey. *Internet of Things*, 1-2, 99–112. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2018.08.008>
- Faheem, M., Shah, S., Butt, R. A., Raza, B., Anwar, M., Ashraf, M. W., Ngadi, M. & Gungor, V. C. (2018). Smart grid communication and information technologies in the perspective of Industry 4.0: Opportunities and challenges. *Computer Science Review*, 30, 1–30. <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2018.08.001>
- Ford, T. (2007). A Survey on Interoperability Measurement. *Air Force Institute of Technology* (Submission to the Call for Papers: 12th ICCRTS "Adapting C2 to the 21st Century").

- Ghiasi, M., Wang, Z., Mehrandezh, M., Jalilian, S. & Ghadimi, N. (2023). Evolution of smart grids towards the Internet of energy: Concept and essential components for deep decarbonisation. *IET Smart Grid*, 6(1), 86–102. <https://doi.org/10.1049/stg2.12095>
- Gölz, A. (2023). *Ladestationen für E-Mobile: ein wachsendes Risiko für die Cybersecurity*. Konradin-Verlag Robert Kohlhammer GmbH. <https://industrie.de/it-sicherheit/ladestationen-fuer-e-mobile-ein-wachsendes-risiko-fuer-die-cybersecurity/>
- Jan Großmann. (2020). *Konformität und Interoperabilität smart testen*. [https://cdn.VECTOR.com/cms/content/know-how/\\_technical-articles/CANoe\\_TP\\_EV\\_EMob\\_Tests\\_HanserAutomotive\\_202009\\_PressArticle\\_DE.pdf](https://cdn.VECTOR.com/cms/content/know-how/_technical-articles/CANoe_TP_EV_EMob_Tests_HanserAutomotive_202009_PressArticle_DE.pdf)
- Kaiser, R. (Hrsg.). (2014). *Lehrbuch. Qualitative Experteninterviews: Konzeptionelle Grundlagen und praktische Durchführung*. Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-02479-6>
- Kanade, V. (2022). *What Is The OSI Model? Definition, Layers, and Importance*. Spiceworks Inc. <https://www.spiceworks.com/tech/networking/articles/what-is-osi-model/>
- Kasnucic, M. (2001). Measuring Systems Interoperability Version 1.0. *Software Engineering Institute Carnegie Mellon University*.
- Kasnucic, M. (2003, 28. Januar). *Measuring Systems Interoperability: Conference on the Acquisition of Software-Intensive Systems*. Software Engineering Measurement and Analysis - Carnegie Mellon University.
- Kasnucic, M. & Anderson, W. (2004). Measuring systems Interoperability: Challenges and Opportunities. *Software Engineering Measurement and Analysis Initiative by Carnegie Mellon University*.
- keba.at. *Ladeinfrastruktur für Energieversorger*. <https://www.keba.com/de/emobility/solutions-for/electricity-supplier/energieversorger>
- Kester, J., Noel, L., Lin, X., Zarazua de Rubens, G. & Sovacool, B. K. (2019). The coproduction of electric mobility: Selectivity, conformity and fragmentation in the sociotechnical acceptance

of vehicle-to-grid (V2G) standards. *Journal of Cleaner Production*, 207, 400–410.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.018>

Kippke, M. A., Arboleya, P. & El Sayed, I. (2020). Communication Infrastructure for E-Mobility Charging Stations V2G Applications. *IEEE, 2020 8th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA)*, 1–3.  
<https://doi.org/10.1109/PESA50370.2020.9344029>

Kirpes, B., Danner, P., Basmadjian, R., Meer, H. de & Becker, C. (2019). E-Mobility Systems Architecture: a model-based framework for managing complexity and interoperability. *Energy Informatics*, 2(1). <https://doi.org/10.1186/s42162-019-0072-4>

Köllner, C. (2023). *E-Ladestationen sind ein Cybersecurity-Risiko*. Springer Professional.  
<https://www.springerprofessional.de/ladeinfrastruktur/cyber-sicherheit/e-ladestationen-sind-ein-cybersecurity-risiko/26225284>

Köppl, S., Hinterstocker, M., Springmann, E. & Battersby, D. (2023). unIT-e2 Praxisbericht: Einblick in die Umsetzung. *Forschungsgesellschaft für Energiewirtschaft mbH, Dezember 2023*. <https://doi.org/10.34805/ffe-51-23>

Leite, M. J. (1998). Interoperability Assessment. *66th MORS Symposium Naval Post Graduate School*.

Lim, K. L., Whitehead, J., Jia, D. & Zheng, Z. (2021). State of data platforms for connected vehicles and infrastructures. *Communications in Transportation Research*, 1, 100013.  
<https://doi.org/10.1016/j.commtr.2021.100013>

Mason, C. (2023). *Understand the four levels of interoperability in healthcare*.  
<https://www.wolterskluwer.com/en/expert-insights/understand-the-four-levels-of-interoperability-in-healthcare>

Mol, C. e. a. (2022). Interoperability of e-mobility services: User centric charging infrastructure. *Final Report - Task39, ExCo55 – June 2022*. <https://ieahev.org/wp-content/uploads/2022/07/IEA-TCP-HEV-Task39-Final-Report-ExCo55.pdf>

- Motta, R. C., Oliveira, K. M. de & Travassos, G. H. (2019). A conceptual perspective on interoperability in context-aware software systems. *Information and Software Technology*, 114, 231–257. <https://doi.org/10.1016/j.infsof.2019.07.001>
- Rezaei, R., Chiew, T. K., Lee, S. P. & Shams Aliee, Z. (2014). Interoperability evaluation models: A systematic review. *Computers in Industry*, 65(1), 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2013.09.001>
- Schreier, M., Echterhoff, G., Bauer, J. F., Weydmann, N. & Hussy, W. (Hrsg.). (2023). *Lehrbuch. Forschungsmethoden in Psychologie und Sozialwissenschaften für Bachelor* (3., überarb. u. erg. Auflage). Springer.
- Schriewer, L. & Farkas, J. (2023). *Importance of Interoperability for a seamless EV Charging Experience*. [https://evs36.com/wp-content/uploads/finalpapers/FinalPaper\\_Schriewer\\_Lukas%20\(1\).pdf](https://evs36.com/wp-content/uploads/finalpapers/FinalPaper_Schriewer_Lukas%20(1).pdf)
- Schuh, G., Fluhr, J., Birkmeier, M. & Sund, M. (2013). Information system architecture for the interaction of electric vehicles with the power grid. *IEEE, 2013(2013 10th IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON NETWORKING, SENSING AND CONTROL (ICNSC)*, 821–825. <https://doi.org/10.1109/ICNSC.2013.6548844>
- Song, E. Y., FitzPatrick, G. J., Lee, K. B. & Gopstein, A. M. (2019). Interoperability Analysis Tool for IEC 61850-9-2 Standard-based Merging Units. *IEEE, 2019 IEEE Power & Energy Society Innovative Smart Grid Technologies Conference (ISGT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/ISGT.2019.8791655>
- Suresh, P. (2016, August). Survey on seven layered architecture of OSI Model. *INTERNATIONAL JOURNAL OF RESEARCH IN COMPUTER APPLICATIONS AND ROBOTICS*, 2016(4/8), 1–10.
- Tolk, A. (2003). The Levels of Conceptual Interoperability Model. *2003 Fall Simulation Interoperability Workshop, 09/2003* (Virginia Modeling Analysis & Simulation Center (VMASC) College of Engineering and Technology Old Dominion University).

Tolk, A., Diallo, S. Y. & and Turnitsa, C. D. (2007). Applying the Levels of Conceptual Interoperability Model in Support of Integratability, Interoperability, and Composability for System-of-Systems Engineering. *Modeling, Simulation & Visualization*, 27. [https://digitalcommons.odu.edu/msve\\_fac\\_pubs/27](https://digitalcommons.odu.edu/msve_fac_pubs/27)

Tolk, A., Turnitsa, C. D. & and Diallo, S. Y. (2006). Ontological Implications of the Levels of Conceptual Interoperability Model. *Modeling, Simulation & Visualization Engineering Faculty Publications.*, 33. [https://digitalcommons.odu.edu/msve\\_fac\\_pubs/33](https://digitalcommons.odu.edu/msve_fac_pubs/33)

Tolk, A., Turnitsa, C. & Diallo, S. (2008). Implied ontological representation within the levels of conceptual interoperability model. *Intelligent Decision Technologies*, 2(1), 3–19. <https://doi.org/10.3233/IDT-2008-2102>

Tolk, A., Wang, W [Wenguang] & Wang, W [Weiping] (2009). The Levels of Conceptual Interoperability Model: Applying Systems Engineering Principles to M&S. *Spring Simulation Multiconference (SpringSim'09)*. Vorab-Onlinepublikation. <https://doi.org/10.1145/1639809.1655398>

Turner, A. (2018). Quantifying the Ilities: A Literature Review of Robustness, Interoperability, and Agility. In A. M. Madni, B. Boehm, R. G. Ghanem, D. Erwin & M. J. Wheaton (Hrsg.), *Disciplinary Convergence in Systems Engineering Research*. Springer International Publishing.

Wang, H., Liu, T., Kim, B., Lin, C.-W., Shiraishi, S., Xie, J. & Han, Z. (2020). Architectural Design Alternatives Based on Cloud/Edge/Fog Computing for Connected Vehicles. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 22(4), 2349–2377. <https://doi.org/10.1109/comst.2020.3020854>

Waser, N. (2017). *EEBUS: A new open standard for the Internet of Things*. <https://web.archive.org/web/20221202224723/https://www.ibm.com/blogs/internet-of-things/eebus-open-standard-plugfest/>

Wassermann, E. & Fay, A. (2017). Interoperability rules for heterogenous multi-agent systems: Levels of conceptual interoperability model applied for multi-agent systems. *IEEE, 2017*

*IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 89–95.*

<https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104752>

Widergren, S., Melton, R., Khandekar, A., Nordman, B. & Knight, M. (2019). The Plug-and-Play Electricity Era: Interoperability to Integrate Anything, Anywhere, Anytime. *IEEE Power and Energy Magazine*, 17(5), 47–58. <https://doi.org/10.1109/MPE.2019.2921742>

Wieler, A. (2023). *Deshalb müssen Ladestationen Cyberfestungen sein: Cybersicherheit von Wallboxen und Ladestationen*. Vogel IT-Medien GmbH. <https://www.security-insider.de/deshalb-muessen-ladestationen-cyberfestungen-sein-a-55cb506fbf0f0e9957bf88190022b68d/>

# Appendix

## Appendix 1: Questionnaire

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

<b>Persönliche Angaben</b>	
Name	
Ihre Funktion/Position im Unternehmen	
Ihr Verantwortungsbereich als Experte	
<b>Technische Angaben</b>	
Unternehmensname	
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	
Modellnummer/Serienbezeichnung	
Softwarestand	
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.

Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.

**Komponentenname:**

**Schnittstelle 1:**

Verbundene Komponente:

Aufgabe:

**Schnittstelle 2:**

Verbundene Komponente:

Aufgabe:

**Schnittstelle 3:**

Verbundene Komponente:

Aufgabe:

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten Sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.

### Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

### **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

### **Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls *ja*, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

## **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

Name des Konformitätstests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Schnittstelle 2:**

Name des Konformitätstests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Schnittstelle 3:**

Name des Konformitätstests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Anmerkungen:**

### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Schnittstelle 2:**

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Schnittstelle 3:**

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Anmerkungen:**

### Frageblock 4: IT-Sicherheit

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 2:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 3:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 2: Template for Plugfest Data Collection**

### **Testprotokoll unIT-e<sup>2</sup> Plugfest**

17. und 18. Apr. 2024

Bitte halten Sie sich so weit wie möglich an das Testprotokoll und füllen es nach bestem Wissen und Gewissen so detailliert wie möglich aus. Je mehr Wissen & Erkenntnisse strukturiert gesammelt werden , desto umfangreicher können die Daten ausgewertet und weiterverwendet werden.



\* Erforderlich

\* Dieses Formular wird Ihren Namen aufzeichnen. Bitte tragen Sie Ihren Namen ein.

1. Testplatz \*

- Testplatz 1
- Testplatz 2
- Testplatz 3
- Testplatz 4

2 Fahrzeug \*

- Mercedes
- BMW
- Ford
- VW
- Keins
- Sonstiges

3. Steuereinrichtung \*

- PPC
- Consolinno
- Prolan
- Keine
- Sonstiges

4. Wallbox \*

- Kostal/Compleo Wallbox AC
- Kostal/Compleo Wallbox DC
- Schneider Electric
- Elli
- Keine
- Sonstiges

5 EMS \*

- Viessmann
- be. storaged
- Consolinno
- Schneider Electric
- Flavia OCPP Backend
- Keins
- Sonstiges

6. Session \*

- Testsession 1 (Clustersession)
- Testsession 2 (Autotausch)
- Testsession 3 (EMS/EVSE-Tausch)
- Testsession 4 (freie Session)

7. Use Case / Testfall auswählen \*

Bei OCPP Steuerung bitte entsprechende Use Cases mit OCPP Testen. Z.B. LPC mit Smart Charging Ladeplan oder MPC über Meter Values,

- Limit of Power Consumption (LPC)
- Monitoring of Grid Connection Point (MGCP)
- Monitoring of Power Consumption (MPC)
- Time of Use Tarifs (TouT)
- Coordinated EV Charging (CEVC)
- Sonstiges

8. Anmerkungen & Notizen

## Limit of Power Consumption (LPC)

Bitte behandeln Sie jeden Testschritt einzeln.

### Pre-Conditions:

- No active power consumption limit.
- No other consumers except EVSE active.
- EV's SOC is below 60%.
- active == True

9. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...) \*

10. Plug EVSE charging cable into EV charging port.

Check



11. Initialize charging session. (i.e. Cable Check, Isolation Check, High Level Communication mit Verschlüsselung herstellen.)

Check



12. Anmerkungen & Notizen

13. Charge EV in direct mode (11.0 kW).

**Expected:** EV charges w/ constant P\_Max ( 11.0 kW)

Passed



Failed



Aborted



14. Anmerkungen & Notizen

. Set active power consumption limit

**Expected:**

15 a v p o r o n m p o m o 4.2 kW.

**Expected:** EV's charging power is reduced to  $P_{lim} = 4.2 \text{ kW}$

Passed

Failed

Aborted

Passed

Failed

Aborted



16. Anmerkungen & Notizen

17. Set active power consumption limit to 5.0 kW.

**Expected:** EV's charging power is reduced to  $P_{lim} = 5.0 \text{ kW}$

Passed

Failed

Aborted

Passed

Failed

Aborted

18. Anmerkungen & Notizen

19. Reduce active power consumption limit by 0.5 kW. Repeat until  $P_{lim} = 0.0 \text{ kW}$ . (You might stop if EV switched to ISO-Pause.)

**Expected:** EV's charging with  $P_{lim}$ . (EV should wake up and follows  $P_{lim}$ )

Passed

Failed

Aborted

Passed

Failed

Aborted

20. Anmerkungen & Notizen

21. Increase active power consumption limit by 0.5 kW. Repeat until  $P_{lim} = 5.0 \text{ kW}$  OR until EV wakes up and starts charging again.

Passed

Failed

Aborted

Passed

Failed

Aborted

. Set active power consumption limit

**Expected:**

d

e

Aborted



22. Anmerkungen & Notizen

> 23 a v po r on mp o m o 8.0 kW.

**e e** EV's charging power is reduced to P\_lim = 8.0 kW

Passed

Failed

e



24. Anmerkungen & Notizen

25. Disconnect EV from EVSE. Continue with Step 1 & 2.

**Expected:** ???

Passed

Failed

Aborted



26. Anmerkungen & Notizen

27. Delete active power consumption limit.

**Expected:** Charging power returns to P\_Max (11.0 kW)

Passed

Failed

Aborted



28. Anmerkungen & Notizen

. Set active power consumption limit

**Expected:**

Passed Failed Aborted

29. Set active power consumption limit to -6 kW.

**Expected:** Ignored ???

Passed Failed Aborted

30. Anmerkungen & Notizen

31 a v po r on mp o m o 6 kW with active-flag set to false.  
e e P\_lim is ignored.

Passed Failed

32. Anmerkungen & Notizen

33. **Optional:** Add other consumer to GCP. Set active power consumption limit 4.2 kW.

**Expected:** EV + second consumer <= 4.2 kW

Passed Failed Aborted Not Executed

34. Anmerkungen & Notizen

35. Unplug EVSE network connection.

**Expected:** Failsafe mode

**After Test:** reestablish network connection

Passed Failed Aborted

. Set active weccs situation limit  
**Expected:**

d

e

Aborted



36. Anmerkungen & Notizen

,

37.

Unplug EMS network connection.

**Expected:** Failsafe mode

Passed

Failed

Aborted



38. Anmerkungen & Notizen

39

Disconnect EV from EVSE. Continue with Step 9 & 10.

**Expected:** Failsafe mode

Passed



Failed



Aborted



40. Anmerkungen & Notizen

41. Abschließende Bemerkungen

## Monitoring of Grid Connection Point (MGPC)

Bitte behandeln Sie jeden Testschritt einzeln.

### Pre-Conditions:

- EV is charging.
- Optional: Set Charging Power to minimal possible value to save SoC.

42. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...) \*

43. Enable MGCP if necessary.

Check

Not Applicable

44. Anmerkungen & Notizen

45. Compare measured load with MGCP values received at EMT-Backend.

**Expected:** EMT receives MGCP.

**Pass if** MGCP is received. Record measured values.

Passed

Failed

Aborted

46. Measured Active Power Values of Grid Connection Point.

47. Measured Active Power Values received at EMT-Backend.

48. Anmerkungen & Notizen

49.

Compare measured load with MGCP values received at [EMS](#).

**Expected:** EMS receives MGCP.

**Pass if** MGCP is received. Record measured values.

Passed                      Failed                      Aborted

50. Measured Values.

51. Anmerkungen & Notizen

52. Stop EV Charging

Check

53. Compare measured load with MGCP values received at [EMT-backend](#).

**Expected:** EMT receives MGCP.

**Pass if** MGCP is received. Record measured values

Passed                      Failed                      Aborted

54. Measured Values.

55. Anmerkungen & Notizen

56. Compare measured load with MGCP values received at EMS.

**Expected:** EMT receives MGCP.

**Pass if** MGCP is received. Record measured values

Passed



Failed



Aborted



57. Measured Values.

58. Anmerkungen & Notizen

59. Abschließende Bemerkungen

## Monitoring of Power Consumption (MPC)

Bitte behandeln Sie jeden Testschritt einzeln.

### Pre-Conditions:

- EV is charging.
- Optional: Set Charging Power to minimal possible value to save SoC.

60. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...) \*

61. Enable MPC if necessary.

Check

Not Applicable

62. Anmerkungen & Notizen

63. Compare measured load with MPC values received at EMS.

**Expected:** EMS receives MPC.

**Pass if** MGC is received. Record measured values.

Passed

Failed

Aborted

64. Measured Values.

65. Anmerkungen & Notizen

66.

Stop EV Charging.

Check

Not Applicable

67. Anmerkungen & Notizen

68. Compare measured load with MPC values received at EMS.

**Expected:** EMS receives MPC

**Pass if** MGC is received. Record measured values

Passed

Failed

Aborted

69. Measured Values.

70. Anmerkungen & Notizen

71. Abschließende Bemerkungen

#### Time of Use Tariffs (TouT)

Bitte behandeln Sie jeden Testschritt einzeln.

#### Pre-Conditions:

- Check if incentive table can be processed by EMS and send to EV via CEVC.
- If true -> Test CEVC simultaneously and use CEVC test steps.

72. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...) \*

73. Send TouT-formatted price tables to EMS.

**Expected:** TouT data was received by EMS. Values match sent values.  
(Does not necessarily have to be transferred via SHIP.)

Passed

Failed

Aborted

74. Anmerkungen & Notizen

75. Abschließende Bemerkungen

76. Möchten Sie noch CVEC Testen?

 Ja Nein

Coordinated EV Charging (CEVC)

Bitte behandeln Sie jeden Testschritt einzeln.

**Pre-Conditions:**

- EV is not charging.
- EV SoC is below 60 %.
- Check if incentive table can be set via EEBus TouT.  
**If true -> Test TouT simultaneously.**

77. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...) \*

78. Connect EV to EVSE.

1. Initialize charging sequence (EnergyRequest, DepartureTime, ...)
2. Start Charging session

Check

Not Applicable

79. Anmerkungen & Notizen

80. Observe EV behavior.

**Expected:** EV is charging in direct mode (11.0 kW).

Passed                      Failed                      Aborted



81. Anmerkungen & Notizen

82.

Send incentive table and max power curve. (Observe for at least one change in charging power.)

**Expected:** EV negotiates charging plan. EV follows charging plan.

Passed                      Failed                      Aborted



83. Anmerkungen & Notizen

84. Receive charging plan from EV.

Passed                      Failed                      Aborted



85. Anmerkungen & Notizen

86.

Send new incentive table and max power curve.

**Expected:** EV renegotiates charging plan. EV follows charging plan.

Passed

Failed

Aborted

87. Anmerkungen & Notizen

88.

Enter ISO-break.

Passed

Failed

Aborted

89. Anmerkungen & Notizen

90.

Leave ISO-break.

Passed

Failed

Aborted

91. Anmerkungen & Notizen

92. Abschließende Bemerkungen

93. Möchten Sie noch TouT Testen?

Ja

Nein

## Anhängtestdateien

94. Tester (Name durch Komma Trennen: Tester 1, Tester 2, ...)

95. Was wurde getestet? (Teststeps)

96. Wurde das erwartete Verhalten beobachtet?

Passed

Failed

Abborted

97. Wurden Auffälligkeiten beobachtet oder neue Erkenntnisse gewonnen?

98. Dateiupload

---

Dieser Inhalt wurde von Microsoft weder erstellt noch gebilligt. Die von Ihnen übermittelten Daten werden an den Formulareigentümer gesendet.

 Microsoft Forms

## Appendix 3: EV-1 – Mercedes Benz

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	Mercedes-Benz AG
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	EV
Modellnummer/Serienbezeichnung	-
Softwarestand	-
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	10.01.24

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?  
Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.  
Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.  
Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.

**Komponentenname: Fahrzeug (EV)**

**Schnittstelle 1: Fahrzeug (EV) zu Wallbox (EVSE) (ISO 151108-2 und ISO151108-20)**

Verbundene Komponente: EV, EVSE

Aufgabe: Austausch von Ladeplänen und Ladeparametern

**Schnittstelle 2: Fahrzeug (EV) über OEM Backend (API 3.0) zu Aggregator App (TMH Smart Charging App)**

Verbundene Komponente: EV, API 3.0, TMH Smart Charging App,

Aufgabe: Verarbeiten der Ladebefehle aus der TMH Smart Charging App, Ansteuern der Fahrzeuge für den La-devorgang

**Schnittstelle 3: Fahrzeug (EV) zu OEM App (MercedesMe Charge)**

Verbundene Komponente: Fahrzeug, Head-Unit, OEM App

Aufgabe: Erprobung und Optimierung eines Prognosedienstes für Abfahrtszeiten

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

**Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** ISO15118-2 / ISO15118-20

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

-

**Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:** REST, Message queue.

**TMH App <-> API 3.0 (REST & Message Queue) API 3.0 <-> Fahrzeug Message Queue**

**Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

### **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

#### **Frage 3.1.: Konformitätstests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

*Name des Konformitätstests:* Für ISO15118-2 -> ISO15118-5

ISO15118-20 hat bisher keine Konformitätstests

*Detailtiefe:* Siehe ISO15118-5

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:**

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:**

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

#### **Frage 3.2.: Sonstige Tests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

*Name des Tests:* Ja

*Detailtiefe:* Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Auffälligkeiten während der Entwicklung werden behoben.

**Schnittstelle 2:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:**

Name des Tests:  
Detailtiefe:  
Ergebnisse/Erkenntnisse:

Anmerkungen:

#### **Frageblock 4: IT-Sicherheit**

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

Schnittstellenverschlüsselung: TLS1.2 Optional (ISO15118-2), TLS1.3 Verpflichtend (ISO15118-20)

Weitere Maßnahmen: Penetration-Tests

Wirksamkeitstests:

**Schnittstelle 2:**

Schnittstellenverschlüsselung:

Weitere Maßnahmen:

Wirksamkeitstests:

**Schnittstelle 3:**

Schnittstellenverschlüsselung:

Weitere Maßnahmen:

Wirksamkeitstests:

Anmerkungen:

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## Appendix 4: EV-2 – BMW

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht. BEV mit OEM-Backend

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>BMW AG</b>
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>Fahrzeugherrsteller</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	<b>BEV</b>
Softwarestand	<b>Sonder-Software „Optimierte Laden“</b>
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>Januar 2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?  
Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.  
Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.  
Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.

**Komponentenname: BEV**

### Schnittstelle 1:

**Verbundene Komponente:** EVSE (oder Wallbox): Nr. 9 (siehe Harmon-E Architekturbild)  
**Aufgabe:** Das Fahrzeug bekommt von der Wallbox über ISO 15118-2 die benötigte „Incentives“ und „Netz-Anforderungen“ für die verschiedenen Use Cases mit dem Fokus „Optimierte Laden“.

### Schnittstelle 2:

**Verbundene Komponente:** OEM Backend: Nr. 23 (siehe Harmon-E Architekturbild)  
**Aufgabe:** Fahrzeug-Informationen wie zum Beispiel SoC (State of Charge) die Projektpartner und der Kunde (via der OEM App) zu Verfügung stellen.

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

### **Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – BEV mit EVSE**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** ISO15118-2

**OSI-Layer-Modell:** Diese Schnittstelle wird in der Norm DIN EN ISO 15118-2:2016-08 umfangreich beschrieben, weshalb das OSI-Layer-Modell hierfür gegeben ist.

**Anmerkungen:** Bereits international anerkannte Norm. Interoperabilität sollte hierfür gegeben sein.

### **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – BEV mit OEM-backend**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** SIM-Karte basierte Datenaustausch über die Telematik Schnittstelle

**OSI-Layer-Modell:** Ein OSI-Layer-Modell ist für dieses Interface nicht vorliegen, jedoch bedient sich BMW an den derzeit technisch aktuellen Lösungsansätzen für die Kommunikation Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Backend.

**Anmerkungen:** -

## **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

### **Frage 3.1.: Konformitätstests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** BEV mit EVSE

Name des Konformitätstests: Komponente-Tests, Systemtests, E2E-Tests, PEN-Tests

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse: der ISO-Standard hat interpretationsspielraum (siehe Dez.2023 Bericht) oder Beitrag der TPL-Runde am 04.03

**Schnittstelle 2:** BEV mit OEM-Backend

Name des Konformitätstests: Komponente-Tests, Systemtests, E2E-Tests, PEN-Tests

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse: ist ein produktiv System, funktioniert.

**Anmerkungen:****Frage 3.2.: Sonstige Tests n.a.**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** BEV und EVSE

Name des Tests: Labortest. Neben dem Projektlabor wurde ein BEV dem Komponentenlieferanten im Cluster zur Verfügung gestellt, um weitere detailliertere Test durchzuführen.

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Frageblock 4: IT-Sicherheit**

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** BEV mit EVSE

Schnittstellenverschlüsselung: Verschlüsselungen zu dieser Schnittstelle werden in der Norm DIN EN ISO 15118-2:2016-08 umfangreich beschrieben.

Weitere Maßnahmen: /

Wirksamkeitstests: /

**Schnittstelle 2:** BEV mit OEM-Backend

*Schnittstellenverschlüsselung:* kein Teil dieses Forschungsprojektes: Produktiv System der OEM

*Weitere Maßnahmen:* /

*Wirksamkeitstests:* /

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 5: EVSE – Kostal/Compleo**

**Fragebogen-Nr:**  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
Unternehmensname	KOSTAL Industrie Elektrik GmbH & Co. KG >>> Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG umschreibung ist in Arbeit
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	EVSE
Modellnummer/Serienbezeichnung	DC-BiDi-Wallbox unITE <sup>2</sup> (HarmonE) AC-Wallbox unITE2 (SunE und HarmonE)
Softwarestand	„Im Fluss“
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	18.01.

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?  
Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.  
Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur (ab Seite 21) bzw. hier die Systemarchitektur aus dem Cluster Harmon-E.  
*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

### Komponentename:

**Schnittstelle 1:** ISO 15118-2 bzw.-20

**Verbundene Komponente:** EV

**Aufgabe:** Kommunikation zum Fahrzeug

**Schnittstelle 2:** EEBUS

**Verbundene Komponente:** HEMS

**Aufgabe:** Einbindung ins Heimenergiemanagement

**Schnittstelle 3:** OCPP 2.0.1 (+V2X RFC)

**Verbundene Komponente:** Backend

**Aufgabe:** Bereitstellung von Daten aus der Wallbox (SunE) bzw. Ansteuern der BiDi-Wallbox (HarmonE)

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level

*Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.*

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

#### **Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** ISO 15118-2 bzw.-20.

**OSI-Layer-Modell:** In der ISO 15118-2 enthalten (Layer2-7) ISO 15118-3 (Layer 1+2)

**Anmerkungen:** ISO-Norm

#### **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** EEBUS

**OSI-Layer-Modell:** EEBus e.V fragen (wahrscheinlich 5-7)

**Anmerkungen:** Wird überführt in VDE-AR-E 2829-6-1 (geht danach weiter in EU Norm, Peter Kellen-donk fragen)

#### **Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** OCPP 2.0.1

**OSI-Layer-Modell:** OCA fragen wahrscheinlich Layer 6-7

**Anmerkungen:** Soll auch in einen öffentlichen Standard überführt werden. OCA fragen

### Frageblock 3: Tests

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

#### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** ISO 15118-2 bzw.-20

**Name des Konformitätstests:** Für -2 und -3 vorhanden heißen -4 und -5. Für -20 ist -24 in Arbeit  
Zus. Implementation Guide vom CharIn vorhanden.

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:** EEBUS

**Name des Konformitätstests:** Test mit K-Test von Fa. KEO

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:** OCPP 2.0.1

**Name des Konformitätstests:** OCTT von der OCA

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* OCPP 2.0.1 Certification durch OCA erteilt (core und advanced security)

**Anmerkungen:** <https://www.openchargealliance.org/news/oca-opens-up-ocpp-201-certification-program/>

#### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** ISO 15118-2 bzw.-20

**Name des Tests:** Laufende Test im Rahmen der End-to-End Absicherung mit BMW iX7 (SunE) und Mercedes EQE und EQS (HarmonE)

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:** EEBUS

*Name des Tests:* Laufende Test im Rahmen der End-to-End Absicherung mit HEMS von Consolino (SunE) und HEMS Viessmann (HarmonE)

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:** OCPP 2.0.1

*Name des Tests:* Laufende Test im Rahmen der End-to-End Absicherung mit BMW Backend (Wallbox-Ba-ckend, SunE) und Backend von TMH (HarmonE)

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

#### Frageblock 4: IT-Sicherheit

*Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock be-schäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.*

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig wa-ren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** ISO 15118-2 bzw.-20

*Schnittstellenverschlüsselung:* -2 mit TLS1.2 optional verschlüsselt. -20 mit TLS1.3 verpflichtend verschlüsselt.

Im Forschungsprojekt aktuell noch nicht

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 2:** EEBUS

*Schnittstellenverschlüsselung:* TLS, Gerät ID wird manuell über Zertifikat abgesichert

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 3:** OCPP 2.0.1 unverschlüsselt möglich (Nutzername und Kennwort), TLS möglich

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## Appendix 6: (H)EMS – be.storage

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>be.storage</b>
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>HEMS</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	<b>okean.OS</b>
Softwarestand	
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>29.02.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur (ab Seite 21) bzw. hier die Systemarchitektur aus dem Cluster Harmon-E.

*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

### Komponentenname:

**Schnittstelle 1:** modbus TCP

**Verbundene Komponente:** Wallbox

**Aufgabe:** Empfangen von Datenpunkten und senden von Steuersignalen durch das HEMS und die Wallbox

**Schnittstelle 2:** MQTT

**Verbundene Komponente:** okean.cloud

**Aufgabe:** Das HEMS sendet Daten (überwiegend Leistungsdaten von Netzanschluss und Wallbox) an die Cloud, um eine Visualisierung zu ermöglichen

**Schnittstelle 3:** EEBus

**Verbundene Komponente:** CLS Gateway

**Aufgabe:** Übertragen von Steuersignalen (PLim) und Datenpunkten (Leistung Netzanschluss) über das CLS-Gateway an das HEMS

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level

*Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.*

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

### **Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – modbus TCP**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** IEC 61158

**OSI-Layer-Modell:** modbus selbst definiert den Application Layer (7) Transport Layer (4) ist TCP, Paket Layer (3) ist IP und Data Link Layer (2) ist Ethernet

**Anmerkungen:**

### **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – MQTT**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:** MQTT selbst definiert den Application Layer (7) Transport Layer (4) ist TCP, Paket Layer (3) ist IP und Data Link Layer (2) ist Ethernet

**Anmerkungen:**

### **Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – EEBus**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

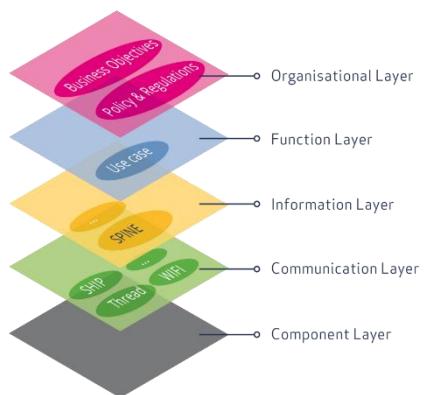
Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls *nein*, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** CENELEC EN 50631, ETSI TS 103 410-1 SAREF4ENER. sehr aktiv in weiteren Gremien wodurch aktueller Stand wahrscheinlich durch andere Partner besser dargestellt.

#### ***OSI-Layer-Modell:***



#### **Anmerkungen:**

### **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

#### **Frage 3.1.: Konformitätstests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Anmerkungen:** Es wurden keine eigenen Konformitätstests durchgeführt. Alle Schnittstellen wurden durch 3rd-Party Libraries oder Software-Stacks in den HEMS-Code integriert oder genutzt. Somit wurden alle Konformitätstests den Entwicklern der Schnittstellen-Software überlassen.

#### **Frage 3.2.: Sonstige Tests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Anmerkungen:** Das Nutzen der Schnittstellen im Programm-Code der HEMS-Software werden durch mehrere Arten von Tests erprobt. Zuerst werden Unit-Tests (entspricht in etwa Teilsystemtests) durchgeführt. In einem nächsten Schritt werden laufend Integrationstests in einer simulierten Labor-Umgebung durchgeführt (modbus und MQTT).

Diese und weitere Tests (die Schnittstellen nicht betreffen wie zum Beispiel Validierungstests) werden laufend und automatisiert während der Softwareentwicklung durchgeführt.

**Für EEBus hat die be.storaged keinen eigenen Test-Aufbau in einem Labor. Darum gibt es hier nur automatisierte Unit-Tests. Integrationstests wurden im Netzlabor (Bezirksmeisterei-Süd) in Oldenburg durchgeführt.**

#### Frageblock 4: IT-Sicherheit

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

##### Schnittstelle 1: modbus TCP

**Schnittstellenverschlüsselung:** nicht verschlüsselt: Die Schnittstelle wird durch die Geräte-Hersteller definiert und von diese in der Regel nicht verschlüsselt angeboten.

**Weitere Maßnahmen:** keine weiteren Maßnahmen. Es wird sich lediglich darauf verlassen, dass das Kundennetzwerk sicher gegen externe Angreifer abgeschirmt ist. Zudem beschränkt sich im Schadensfall der Schaden auf einen Kunden. Sicherlich sind diese Maßnahmen langfristig nicht ausreichend.

**Wirksamkeitstests:** keine Tests, da weder Verschlüsselung noch andere Maßnahmen ergriffen wurden.

##### Schnittstelle 2: MQTT

**Schnittstellenverschlüsselung:** TLS 1.2

**Weitere Maßnahmen:** Keine weiteren Maßnahmen, da eine TLS-Verschlüsselung der Verbindung als sehr sicher gilt.

**Wirksamkeitstests:** Da ein sehr weit verbreitetes Protokoll verwendet wurde, dass als sehr sicher und getestet gilt, wurden keine weiteren Tests durchgeführt.

##### Schnittstelle 3: EEBus

**Schnittstellenverschlüsselung:** TLS/SSL

**Weitere Maßnahmen:** Siehe MQTT

**Wirksamkeitstests:** Siehe MQTT

##### Anmerkungen:

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 7: (H)EMS - Consolino**

**Fragebogen-Nr:**  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>Consolinno Energy GmbH</b>
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>HEMS mit integrierter Netzdienlichkeit</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	<b>1U0022_CO</b>
Softwarestand	<b>1.1.0</b>
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>22.02.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.

*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

**Komponentenname: HEMS**

### Schnittstelle 1:

**Verbundene Komponente:** Wallbox

**Aufgabe:** Bereitstellung von Vorgaben und Tarifinformationen über EEBUS

### Schnittstelle 2:

**Verbundene Komponente:** SMGW

**Aufgabe:** HKS3 Kanal für eine Kommunikation aus der Liegenschaft heraus über einen normierten Weg. Verbindung mit dem aEMT (MSB), welcher als Konzentrator mit Marktakteuren (VNB, EVU; DV) interagiert

### Schnittstelle 3:

**Verbundene Komponente:** aEMT

**Aufgabe:** Endpunkt, welcher Vorgaben und Tarifinformationen von den Marktakteuren empfängt und über das SMGW an das HEMS weiterleitet, umgedreht stellt das HEMS über das SMGW bei Bedarf Messwerte und andere Zustandsdaten bereit.

### Schnittstelle 4:

**Verbundene Komponente:** Messgerät

**Aufgabe:** Es wurden mehrere Messgeräte installiert um hochauflösend (1s) Daten vom Netzanschlusspunkt, der Ladesäule und optional auch von einer PV-Anlage, zu erfassen für eine interne und externe Verwendung.

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten Sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.

### Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – EEBUS

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** EEBUS //zur Wallbox

- [EEBus\\_SHIP\\_TS\\_Specification\\_v1.0.1](#)
- [EEBus\\_SPINE\\_V1.3.0](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_LPC](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_MPC](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_MGCP](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_TOUT](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_POEN](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_CEVC](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_EVCC](#)
- [UC\\_02\\_GRID\\_EVSECC](#)

**OSI-Layer-Modell:** SHIP & SPINE, Layer 5-7

**Anmerkungen:** Normierte Kommunikation und Datenmodell

### Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – MQTT + CLSEEDI

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: MQTT + CLSEEDI //zum aEMT**

- <https://mqtt.org/mqtt-specification/>
- <https://github.com/KEO-cls-eedi/specification>

**OSI-Layer-Modell: MQTT, Layer 4-7**

**Anmerkungen:** Normierte Kommunikation, Datenmodell in CLSEEDI Spec festgelegt

### Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – MODBUS RTU

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: MODBUS RTU //Messgerät**

- <https://modbus.org/specs.php>
- <https://www.a-eberle.de/produkte/netzanalysator-pqi-da-smart/>

**OSI-Layer-Modell: Layer 1+2**

**Anmerkungen:** Datenübertragung normiert, Datenmodelle Geräte und Herstellerspezifisch

### Frage 2.4.: Schnittstelle 4 – IEC61850

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: IEC61850 //SMGW**

- **IEC 61850-7-2:2019**
- **IEC 61850-7-3:2019**
- **IEC 61850-7-4:2019**
- **IEC 61850-8-1:2011**
- **IEC 62351-4:2018**
- **IEC 61850-8-2:2018**
- **IEC TR 61850-90-10:2017**

**OSI-Layer-Modell: Layer 1-7**

**Anmerkungen:** Datenübertragung, Funktionen und Datenmodelle normiert

--

### Frageblock 3: Tests

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

#### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

##### Schnittstelle 1: EEBUS // Wallbox

Name des Konformitätstests: Plug-Feste im EEBUS Lab

Detailtiefe: Es wurde Verbindungsaubau und Verwendungen einzelner Anwendung fälle praktisch erprobt, herstellerübergreifend.

Ergebnisse/Erkenntnisse: Die Interoperable Kommunikation funktioniert weitgehend Herstellerübergreifend, leider gibt es einzelne Hersteller, welche nicht die korrekten Anwendungsfälle umsetzen und somit nicht den Standard erfüllen, obwohl damit geworben wird. Bei der Dokumentation der Geräte und bei einer Freigabe nach einem Plug-Fest muss offen kommuniziert werden, welche Standards die jeweiligen Geräte in welcher Protokoll-Version umsetzen. Tests mit vollständigen Logs und Zeitraum über 6 Monate im Dauerbetrieb.

Es gibt bisher nur eine offene Referenz Implementierung in GO für Client- und Server-Anwendungen, der Standard ist aktuell vor allem in Deutschland verbreitet und bietet ein sehr hohes Potential für die sichere und einfach einzurichtende Vernetzung von Geräten in der Liegenschaft.

##### Schnittstelle 2: IEC61850 //SMGW

Name des Konformitätstests: Tests mit Internen und Externen Tools

Detailtiefe: Vollständige Ende zu Ende Tests über einen langen Zeitraum von mindestens 6 Monaten mit aEMT Endpunkt von Robotron und CI Tests mit kompatiblem internen IEC61850 Test Client für die entsprechenden Anwendungsfälle (P-Lim Fahrpläne und Ad-Hoc Signale, Messwertbereitstellung).

##### Ergebnisse/Erkenntnisse:

Der Standard ist bereits sehr weit entwickelt und sehr Zukunftsfähig aufgebaut. Es gibt noch Verbesserungsvorschläge, allerdings sind alle aktuell notwendigen Features umgesetzt und marktreif nutzbar. Für das Forschungsprojekt fehlen aktuell noch Spezifikationen für die Übermittlung von Tarifinformationen, diese sind mit dem IEC61850 Datenmodell jedoch abbildbar. Der Standard ist international anerkannt und wird in vielen Ländern verwendet. Es gibt mehrere offene Referenz Implementierungen für Client- und Server-Anwendungen.

Die Vorgaben vom FNN finden aktuell nur im Lastenheft FNN Steuerbox statt, dies passiert aktuell sehr transparent, da die dazugehörige ICD Datei nicht öffentlich zugänglich ist, dadurch ist eine Implementierung durch den freien Markt praktisch unmöglich und widerspricht der Idee des IEC Standards. Aus dem Grund gibt es auch keine offene Referenz Implementierung für die Server-Client Anforderungen des Lastenhefts FNN Steuerbox.

##### Schnittstelle 3: MQTT / CLS.EEDI // aEMT

Name des Konformitätstests: E2E Tests auf allen Ebenen

Detailtiefe: Die Implementierung und Kommunikation wurde wie benötigt umgesetzt und konnte jede Anforderung erfüllen.

##### Ergebnisse/Erkenntnisse:

Die MQTT und CLS.EEDI Kommunikation ist sehr einfach und offen gehalten, durch die offene Dokumentation könnten alle Partner effizient einen Datenaustausch etablieren, um nötige Daten miteinander auszutauschen.

Der CLS.EEDI Standard muss für einige Anwendungsfälle ergänzt werden, bietet aber durch seine Offenheit sogar die Möglichkeit, Funktionen des IEC61850 zu übernehmen.

**Schnittstelle 4:** ModbusRTU // Messgerät

*Name des Konformitätstests:* Labortests, Feldtests

*Detailtiefe:* Normale ModbusRTU Implementierung auf Bus-Ebene

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

Ein alter und bewährter Standard, welche leicht zu implementieren ist.

**Anmerkungen:**

### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

## Frageblock 4: IT-Sicherheit

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls *ja*: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls *ja*: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** EEBUS

*Schnittstellenverschlüsselung:* TLS

*Weitere Maßnahmen:* Kurven und Schlüssel Vorgaben, Authorisierung nur durch SKI Pairing

*Wirksamkeitstests:* Kein Rechtemanagement über das SKI Pairing hinaus bekannt

**Schnittstelle 2:** IEC61850

*Schnittstellenverschlüsselung:* Alles möglich, ohne TLS, mit TLS

*Weitere Maßnahmen:* Alle Möglichkeiten offen

*Wirksamkeitstests:* Alle Möglichkeiten offen, Rechtemanagement ebenfalls möglich aber teilweise aufwändig

**Schnittstelle 3:** MQTT

*Schnittstellenverschlüsselung:* Alle Möglichkeiten offen

*Weitere Maßnahmen:* Alle Möglichkeiten offen

*Wirksamkeitstests:* Alle Möglichkeiten offen

**Schnittstelle 4:** ModbusRTU

*Schnittstellenverschlüsselung:* keine

*Weitere Maßnahmen:* keine

*Wirksamkeitstests:* keine

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 8: (H)EMS - The Mobility House**

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>The Mobility House</b>
Komponente im unit-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>ChargePilot</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	
Softwarestand	
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>13.02.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?  
Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.  
Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine unit-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur (ab Seite 21) bzw. hier die Systemarchitektur aus dem Cluster Harmon-E.  
*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

### Komponentenname:

#### Schnittstelle 1: OCPP

Verbundene Komponente: Ladestationen und via Proxy: 3rd Party Backends

Aufgabe: Smart Charging und für 3rd Party Backends für Abrechnung

#### Schnittstelle 2: Modbus (TCP & RTU)

Verbundene Komponente:

Aufgabe:

#### Weitere Schnittstellen:

Rundsteuerempfänger, VDV 261 & 463, Open ADR

Verbundene Komponente: Netzsteuerung, EVs (z.B. Busse), Flotten-Tools

Aufgabe: Steuerung von extern (Netzbetreiber), Informationsaustausch (EVs, Tools)

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

### Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – OCPP

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

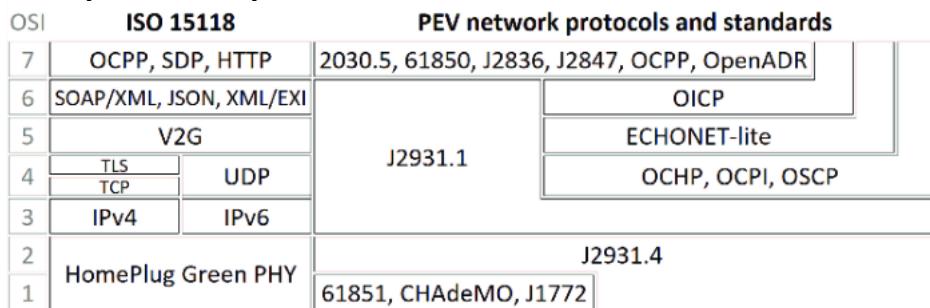
Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** OCPP (Open Charge Point Protocol) 1.6J (Json)

**OSI-Layer-Modell: Layer 7**



[https://www.researchgate.net/figure/Protocols-and-standards-per-OSI-layer-1-Physical-layer-The-IEC-61851-standard-describes\\_fig3\\_361785192](https://www.researchgate.net/figure/Protocols-and-standards-per-OSI-layer-1-Physical-layer-The-IEC-61851-standard-describes_fig3_361785192)

**Anmerkungen:** <https://openchargealliance.org/download/7b06ab293c68fb6b4f4ae0960e502579c1c5516aa2b7acf0fdcedba585b9ea7f>

### Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

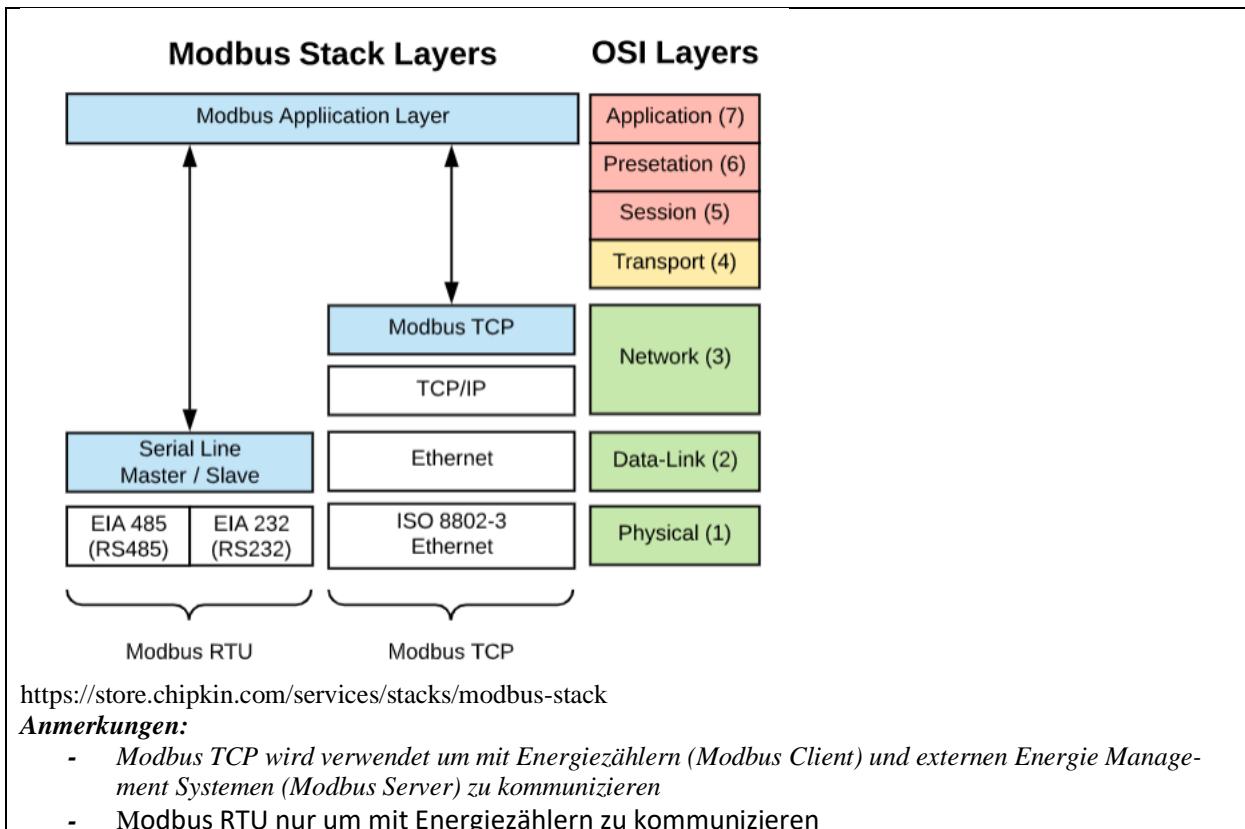
Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** Modbus TCP & RTU, Herstellerabhängige proprietäre Registertabellen. ChargePilot Modbus Server Register: [https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01\\_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03\\_Modbus%20Documents/Modbus%20Registers%20v2.0.pdf&parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01\\_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03\\_Modbus%20Documents&p=true&ga=1](https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents/Modbus%20Registers%20v2.0.pdf&parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents&p=true&ga=1)

**OSI-Layer-Modell:**



### Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?  
 Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.  
 Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?  
 Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.  
 Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

### Frageblock 3: Tests

Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.

#### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?  
 Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

**Falls nein:** Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** OCPP

*Name des Konformitätstests:* TMH Interner Tests

*Detailtiefe:* Tief, Analyse der einzelnen OCPP Nachrichten

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Kompatibilität mit Ladestation

[https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01\\_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/01\\_OCPP%20for%20new%20Chargers/ChargePilot\\_Requirements\\_OCPP\\_Charger\\_Integration.pdf&parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01\\_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/01\\_OCPP%20for%20new%20Chargers&p=true&ga=1](https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/01_OCPP%20for%20new%20Chargers/ChargePilot_Requirements_OCPP_Charger_Integration.pdf&parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/01_OCPP%20for%20new%20Chargers&p=true&ga=1)

**Schnittstelle 2:** Modbus

*Name des Konformitätstests:* - Aufgrund der herstellerspezifischen Eigenheiten kein einheitlicher Konformitätstest

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:**

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** OCPP

*Name des Tests:* Integrationstests und Teilsystemtests

*Detailtiefe:* variiert

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Sicherstellen der Funktionsweise

**Schnittstelle 2:** Modbus

*Name des Tests:* Integrationstests und Teilsystemtests

*Detailtiefe:* variiert

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Sicherstellen der Funktionsweise

**Schnittstelle 3:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

### Frageblock 4: IT-Sicherheit

*Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.*

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** OCPP

*Schnittstellenverschlüsselung:* Optional (SSL secure WebSockets)

*Weitere Maßnahmen:* Wenn nicht verschlüsselt sind die verbunden Ladestationen und ChargePilot in einem eigenem physisch komplett isolierten Netzwerk

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 2:** Modbus

*Schnittstellenverschlüsselung:* Nein

*Weitere Maßnahmen:* Physisch komplett isoliertes Netzwerk

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 3:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 9: (H)EMS - Viessmann Climate Solutions SE**

**Fragebogen-Nr:**  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>Viessmann Climate Solutions SE</b>
Komponente im unit-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>Batteriespeicher, Wärmepumpe</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	<b>Vitocharge VX3, Vitocal 250-A</b>
Softwarestand	<b>Spezielle Software für Unit-E2 Projekt</b>
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>11.01.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine unit-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur (ab Seite 21) bzw. hier die Systemarchitektur aus dem Cluster Harmon-E.

*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

**Komponentenname:**

**Schnittstelle 1:** EEBUS (E-Mobility und Grid Use-Cases)

**Verbundene Komponente:** Wallbox, CLS-Gateway, SMGW, aktiver externer Marktteilnehmer

**Aufgabe:** Optimale Steuerung des Ladevorgangs von Elektrofahrzeugen, Empfangen von Leistungslimitierungen nach EnWG §14a, Auslesen des Energiezählers am Netzanschlusspunkt

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten Sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.

### Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – EEBUS

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.  
Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?  
Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.  
Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: EEBUS, SPINE, SHIP**

**OSI-Layer-Modell: SPINE model**

**Anmerkungen:** In den unteren Schichten wird die SHIP Spezifikation in einer TCP/IP Umgebung genutzt.

### Frageblock 3: Tests

Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.

#### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?  
Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.  
Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1: EEBUS**

**Name des Konformitätstests:** Konformitätstest mit KEO Ktest Tool

**Detailtiefe:** Überprüfung des technisch korrekten Austauschs aller vom Standard geforderten Datenpunkte

**Ergebnisse/Erkenntnisse:** Alle Konformitätstest wurden bestanden

**Anmerkungen:** Die oben aufgeführten Tests sind notwendig aber nicht hinreichend für eine fehlerfreie Interoperabilität

#### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?  
Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.  
Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1: EEBUS**

**Name des Tests:** Integrationstest/ Plugfest mit Projektpartnern

**Detailtiefe:** Durchspielen bestimmter Use-Cases zwischen jeweils zwei Geräten, z.B. Empfangen einer Leistungslimitierung am Netzanschlusspunkt

**Ergebnisse/Erkenntnisse:** Die Integrationstests konnten trotz bestandener Konformitätstests nur mit kleineren Nachbesserungen in der Software vollständig bestanden werden.

**Anmerkungen:** -

### Frageblock 4: IT-Sicherheit

*Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.*

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** EEBUS

*Schnittstellenverschlüsselung:* TLS-Verschlüsselung

*Weitere Maßnahmen:* Manuelles Pairing von EEBUS-Partnern durch den Benutzer/ Installateur notwendig

*Wirksamkeitstests:* Keine Tests durchgeführt, da die TLS-Verschlüsselung als sicher gilt

**Anmerkungen:** -

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 10: iMSys – Power Plus Communications AG**

**Fragebogen-Nr:**  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	PPC
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	Smart Meter Gateway, CLS-Gateway
Modellnummer/Serienbezeichnung	Harmon-E: SMGW 1.0; CLS Gateway 2.0 Sun-E: SMGW 2.0 Cit-E-Lite: SMGW 2.0
Softwarestand	Hier kam unterschiedliche SW-Stände zum Einsatz. Sollen alle aufgelistet werden oder SW-Stand ab?
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	10.01.2024

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?  
Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur (ab Seite 21) bzw. hier die Systemarchitektur aus dem Cluster Harmon-E.

Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.

**Komponentenname:** **CLS-Gateway (Hamron-E)**

### Schnittstelle 1:

**Verbundene Komponente:** PPC SMGW

**Aufgabe:** Empfang von den EEBus Use Cases MGCP

### Schnittstelle 2:

**Verbundene Komponente:** be.storaged EMS

**Aufgabe:** Übermittlung von den EEBus Use Cases LPC, LPP und MGCP

### Schnittstelle 3:

**Verbundene Komponente:** Viessmann EMS

**Aufgabe:** Übermittlung von den EEBus Use Cases und MGCP

**Komponentenname:** **SMGW 1.0 (Hamron-E)**

### Schnittstelle 4:

**Verbundene Komponente:** PPC CLS-Gateway

**Aufgabe:** Übermittlung von den EEBus Use Cases MGCP

**Schnittstelle 5:**

Verbundene Komponente: be.storaged EMS

Aufgabe: Übermittlung von den EEBus Use Cases MGCP

**Schnittstelle 6:**

Verbundene Komponente: Viessmann EMS

Aufgabe: Übermittlung von den EEBus Use Cases MGCP

**Komponentenname: SMGW 2.0 (sun-E)**

**Schnittstelle 7:**

Verbundene Komponente: Consolinno EMS (Leaflet)

Aufgabe: Übermittlung von den EEBus Use Cases MGCP

**Komponentenname: SMGW 2.0 (cit-E-Life)**

**Schnittstelle 8:**

Verbundene Komponente: Schneider EMS

Aufgabe: Übermittlung von den EEBus Use Cases MGCP (und LPC)

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.

**Frage 2.1.: Schnittstelle 1- 8 – siehe oben**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: VDE-AR-2829-6 bzw. EEBus**

**OSI-Layer-Modell:** Unterschiedliche siehe EEBus

**Anmerkungen:** -

## **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellenname einfügen**

**Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?**

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI Layer Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

## **Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellenname einfügen**

**Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?**

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI Layer Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

## **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

### **Frage 3.1.: Konformitätstests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1-8:**

**Name des Konformitätstests:**

**Detailtiefe:**

**Ergebnisse/Erkenntnisse:** Alle oben aufgelisteten Schnittstellen und Use Cases wurden erfolgreich getestet

**Schnittstelle 2:**

**Name des Konformitätstests:**

**Detailtiefe:**

**Ergebnisse/Erkenntnisse:**

-

**Schnittstelle 3:**

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

*Anmerkungen:* -

### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1-6:**

*Name des Tests:* Labor- und Feldtests

*Detailtiefe:* Alle Schnittstellen wurden im Labor und mittlerweile auch in einem Feldtest erprobt

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Alle EEBus UC funktionieren

**Schnittstelle 7-8:**

*Name des Tests:* Labortests

*Detailtiefe:* Beide Schnittstellen wurde bereits im Labor erprobt

*Ergebnisse/Erkenntnisse:* Der EEBus MGCP funktioniert

**Schnittstelle 3:**

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

*Anmerkungen:*

### Frageblock 4: IT-Sicherheit

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls *ja*: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls *ja*: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls *ja*: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls *nein*: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1-8:**

*Schnittstellenverschlüsselung:* TLS-Verschlüsselung

*Weitere Maßnahmen:* Bei der Verbindung mit dem SMGW wird das komplette Zertifikat benötigt und nicht nur der SKI, somit ist diese Verbindung nochmals sicherer

*Wirksamkeitstests:* -

**Schnittstelle 2:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

-

**Schnittstelle 3:**

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Anmerkungen:**

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## **Appendix 11: aEMP – EWE Netz**

**Fragebogen-Nr:**  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### **Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt**

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>EWE NETZ GmbH</b>
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>CLS-Backend System und Netzregler</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	<b>BTC AMM</b>
Softwarestand	<b>4.5</b>
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>25.01.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.

*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

### Komponentenname:

**Schnittstelle 1: Info Report (TAF 10 netzdienliche Messdaten)**

Verbundene Komponente: SMGW -> EMT-System

Aufgabe: Netzdienliche Messdaten versenden

**Schnittstelle 2: CLS.EEDI (LPC/LPP)**

Verbundene Komponente: CLS-Gateway <-> aktives EMT-System

Aufgabe: Netzorientierte Ad-hoc Schaltbefehle senden

**Schnittstelle 3: Ad-hoc Schnittstelle (Angelehnt an BDEW Web API)**

Verbundene Komponente: Netzregler -> aktives EMT System

Aufgabe: Befehle aus dem Netzregler entgegennehmen und per CLS.EEDI weitergeben

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

### **Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – Info Report**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** [BSI TR-03109-1](#)

**OSI-Layer-Modell:** [Ja, siehe TR \(Abbildung 3.8\)](#)

**Anmerkungen:** Interoperabilität nachgewiesen über SMGW-Zertifizierung

### **Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – CLS.EEDI**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** [AR-2829-6 Realisierung per MQTT](#)

**OSI-Layer-Modell:** [Ja, da bis MQTT \(Layer 7\)](#)

**Anmerkungen:** [CLS.EEDI ist als Open Source veröffentlicht](#)

### **Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Ad-hoc API**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:** [BDEW-Web API](#)

**OSI-Layer-Modell:** Ja, Spezifikation geht bis REST-API / HTTP(s)

**Anmerkungen:** Im Projekt wurde ab Layer 6 keine Interoperabilität realisiert, da Umsetzung per MQTT erfolgte.

### Frageblock 3: Tests

Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.

#### Frage 3.1.: Konformitätstests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

##### Schnittstelle 1:

Name des Konformitätstests: [TAF 10 Messdatenempfang](#)

Detailtiefe: Messdaten wurden gemäß Profil ausgeliefert

Ergebnisse/Erkenntnisse: Schnittstelle ist etabliert und produktiv im Einsatz.

##### Schnittstelle 2:

Name des Konformitätstests: Sollwerte an angebundene Geräte versendet

Detailtiefe: Mehrfache Tests bis auf Protokollebene waren nötig, bis Interoperabilität gewährleistet

Ergebnisse/Erkenntnisse: Timeoutzeit im MQTT keep-alive muss korrekt konfiguriert werden, sonst instabiler

Betrieb. Stabile Mindestversion mit Abwärtskompatibilität notwendig. Keine breite Etablierung der Schnittstelle, daher „Kinderkrankheiten“ bei der Umsetzung

##### Schnittstelle 3: Ad.hoc API

Name des Konformitätstests: Schaltbefehle aus dem Netzregler wurden umgesetzt

Detailtiefe: Erprobung im Feldtest

Ergebnisse/Erkenntnisse: Abweichung von der BDEW-API, da herstellerseitig MQTT als Protokoll präferiert wurde. Datenmodell weicht in den Systemen vom Standard ab, daher Workaround notwendig (bspw. keine steuerbare Ressource verwendet, sondern die Geräte-ID)

**Anmerkungen:** siehe oben.

#### Frage 3.2.: Sonstige Tests

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

Alle Tests als Integrationstest, siehe Antworten 3.1

##### Schnittstelle 1:

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

##### Schnittstelle 2:

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Schnittstelle 3:**

Name des Tests:

Detailtiefe:

Ergebnisse/Erkenntnisse:

**Anmerkungen:****Frageblock 4: IT-Sicherheit**

Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:**

Schnittstellenverschlüsselung: TLS mit SM-PKI Zertifikaten gemäß TR 03109

Weitere Maßnahmen: [BSI geprüft](#)

Wirksamkeitstests: [BSI geprüft](#)

**Schnittstelle 2:**

Schnittstellenverschlüsselung: TLS mit SM-PKI Zertifikaten gemäß TR 03109

Weitere Maßnahmen:

Wirksamkeitstests:

**Schnittstelle 3:**

Schnittstellenverschlüsselung: [Gemäß Spezifikation TLS mit SM-PKI Zertifikaten](#)

Weitere Maßnahmen: [Da abweichend realisiert; Site2Site VPN als Workaround](#)

Wirksamkeitstests: [Nicht im Fokus / Keine Tests durchgeführt](#)

**Anmerkungen:**

Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!

## Appendix 12: aEMP – Stadtwerke München

Fragebogen-Nr:  
(wird vom Forschenden ausgefüllt)

### Fragebogen zum Thema Interoperabilität im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt

Im folgenden Fragebogen geht es um die Interoperabilität der E-Mobilitätssysteme und ihrer Schnittstellen, die im unIT-e<sup>2</sup>-Projekt eingesetzt werden. Die erhobenen Daten dienen als Vorbereitung für das unIT-e<sup>2</sup>-Plugfest.

Zusätzlich werden die Daten des Fragebogens für meine Masterarbeit verwendet. Meine Abschlussarbeit „*An evaluation of the technical interoperability of e-mobility systems embedded in the unIT-e<sup>2</sup>-system-architecture*“ beschäftigt sich mich mit der Forschungsfrage „*How interoperable are the systems developed in unIT-e<sup>2</sup>?*“. Ziel ist es anhand eines Modells aus der Literatur qualitative Aussagen darüber zu treffen, wie weit die Interoperabilität fortgeschritten ist und an welchen Stellen noch Verbesserungsbedarf besteht.

Sie wurden ausgewählt an dieser Umfrage teilzunehmen, da Sie innerhalb des Projekts eine ausgewiesene Expertise in Ihrem Fachgebiet haben.

Gemäß wissenschaftlichen Standards wird Ihnen versichert, dass Ihre Angaben anonymisiert in der Masterarbeit vorkommen. Da diese Arbeit auf einem Praxisprojekt beruht, wird allerdings der Name des jeweiligen Komponentenherstellers genannt. Sollten Sie dadurch eine unerwünschte Rückführung auf Ihren Namen befürchten, nehmen Sie bitte Kontakt zum Verfasser der Arbeit auf:

Louis Gugg  
E-Mail: [lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)

Bitte beantworten Sie den Fragebogen so schnell wie möglich, spätestens jedoch bis zum **22.01.2024**.

Vielen Dank für Ihre Teilnahme, wir wissen Ihren Beitrag sehr zu schätzen!

## Allgemeine Angaben:

Zur Zuordnung und Validierung Ihrer Antworten werden einige Informationen zu Ihnen und der von Ihrem Unternehmen bereitgestellten Komponente benötigt.

Persönliche Angaben	
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
[REDACTED]	[REDACTED]
Technische Angaben	
Unternehmensname	<b>Stadtwerke München</b>
Komponente im unIT-e <sup>2</sup> -Projekt	<b>Cit-E-Life</b>
Modellnummer/Serienbezeichnung	
Softwarestand	
Datum, wann der Fragebogen ausgefüllt wird	<b>28.02.2024</b>

## Frageblock 1: Allgemeine Schnittstellenbeschreibung

Welche Schnittstellen hat die von Ihnen ins Projekt eingebrachte Komponente?

Bitte nennen Sie die Namen, beschreiben Sie, zu welcher anderen Komponente die Schnittstelle besteht und welche Aufgabe sie erfüllen soll.

Falls hilfreich, finden Sie hier die allgemeine [unIT-e<sup>2</sup>-Systemarchitektur](#) (ab Seite 21) bzw. hier die [Systemarchitektur](#) aus dem Cluster Harmon-E.

*Falls mehr oder weniger als 3 Schnittstellen vorhanden sind, kopieren Sie bitte zusätzliche Antwortmöglichkeiten hinein oder löschen welche heraus. Dies gilt auch für alle weiteren Fragen.*

### Komponentenname:

#### Schnittstelle 1:

Verbundene Komponente:

Aufgabe: Schnittstelle Netzführungssystem NFS

zu Lademanagementsystem CPO

zu BEMS in Liegenschaft über vorgelagerten DSO-Cloudservice

#### Schnittstelle 2:

Verbundene Komponente: LMS

Aufgabe: Lademanagementsystem zu NFS

#### Schnittstelle 3:

Verbundene Komponente: DSO-Cloudservice mit lokalem BEMS oder BEMS Cloud

Aufgabe: Integration BEMS in Netzführungssystem (Smart Grid).

Abbildung der use cases LPC,LPP, MGCP, PODF, POEN sowie für Onboarding

## Frageblock 2: Spezifische Schnittstellenbeschreibung

Gemäß der Literatur gibt es im Level of Conceptual Interoperability Modell (LCIM) aufeinander aufbauende Level der Interoperabilität. Tolk (2006) und Wassermann (2017) schlussfolgern, dass die ersten drei Level Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität angenommen werden können, wenn ein gemeinsames Referenzmodell wie das OSI-Layer-Modell für den Informationsaustausch verwendet wird.

*Bitte ergänzen Sie den Namen der beschriebenen Schnittstelle und beantworten sie die spezifische Fragestellung. Wenn Sie mehrere Schnittstellen haben, behandeln Sie bitte jede Schnittstelle separat. Falls erforderlich können Sie zusätzliche Boxen hinzufügen oder löschen.*

**Frage 2.1.: Schnittstelle 1 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: derzeit kein Standard**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

**Frage 2.2.: Schnittstelle 2 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards: Szenario 1: use cases-Semantik aus der VDE-AR-E 2829-6-1, Umsetzung mit Open-ADR und MQTT**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

**Frage 2.3.: Schnittstelle 3 – Hier bitte den Schnittstellennamen einfügen**

Welche Normen und Standards werden von dieser Schnittstelle erfüllt?

Existiert zu dieser Schnittstelle ein OSI-Layer-Modell?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, haben Sie ein anderes gemeinsames Referenzmodell, das Aufschluss über die Technische, Syntaktische und Semantische Interoperabilität liefern kann?

Falls ja, fügen Sie es bitte ein oder hängen es an den Fragebogen an.

Falls nein, bitte erklären Sie, wie sie über diese Schnittstelle Interoperabilität mit anderen Komponenten sicherstellen.

**Normen & Standards:**

**OSI-Layer-Modell:**

**Anmerkungen:**

### **Frageblock 3: Tests**

*Der dritte Fragenblock behandelt die praktische Umsetzung der Schnittstellenstandards & -normen.*

#### **Frage 3.1.: Konformitätstests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen Konformitätstests durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie kurz die Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse. Sie können sich hier auf die für Interoperabilität relevanten Inhalte beschränken.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine Konformitätstests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** bis dato noch nicht

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:** bis dato noch nicht

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:** bis dato noch nicht

*Name des Konformitätstests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

#### **Frage 3.2.: Sonstige Tests**

Wurden zu den einzelnen Schnittstellen sonstige relevante Tests (z.B. Integrationstests, Systemtests, Teilsystemtests, o.ä.) durchgeführt?

Falls ja: Bitte erklären Sie die relevanten Tests sowie die einzelnen Detailtiefen und die Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie warum keine entsprechenden sonstigen Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** bis dato noch nicht

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 2:** bis dato noch nicht

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Schnittstelle 3:** bis dato noch nicht

*Name des Tests:*

*Detailtiefe:*

*Ergebnisse/Erkenntnisse:*

**Anmerkungen:**

#### **Frageblock 4: IT-Sicherheit**

*Beim Thema Informationsaustausch ist das Thema (Daten-)Sicherheit relevant. Der letzte Fragenblock beschäftigt sich daher mit den Sicherheitsvorkehrungen der einzelnen Schnittstellen.*

Ist die beschriebene Schnittstelle verschlüsselt?

Falls ja: Bitte erklären Sie, wie die Schnittstelle verschlüsselt ist.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum die Schnittstelle nicht verschlüsselt ist.

Wurden weitere Maßnahmen ergriffen, um eine angemessene IT-Sicherheit zu gewährleisten?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die ergriffenen Maßnahmen für die jeweilige Schnittstelle.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine weiteren Maßnahmen ergriffen wurden oder notwendig waren.

Wurden Tests durchgeführt, um die Wirksamkeit der Sicherheitsmaßnahmen zu bestätigen?

Falls ja: Bitte beschreiben Sie die Tests und generierten Ergebnisse/Erkenntnisse.

Falls nein: Bitte erklären Sie, warum keine Tests durchgeführt wurden.

**Schnittstelle 1:** Verschlüsselung wird nach Funktionstests angegangen (Ziel TLS)

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 2:** Verschlüsselung wird nach Funktionstests angegangen (Ziel TLS)

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Schnittstelle 3:** Verschlüsselung wird nach Funktionstests angegangen (Ziel TLS)

*Schnittstellenverschlüsselung:*

*Weitere Maßnahmen:*

*Wirksamkeitstests:*

**Anmerkungen:**

#### **Weitere Anmerkungen durch E-Mailverlauf:**

##### **Anmerkung 1:**

„Angesichts dessen was wir gerade besprochen haben wird die deutsche Interoperabilität im Verständnis eines SMGW fähigen Kommunikationspfad in Europa niemanden bewegen, die vorhandene Smart Meter Infrastruktur rauszureißen um es dann auch noch prozessual so kompliziert zu machen.“

Ich fürchte zudem, dass wir deutsche EMS Funktionen für eine regulatorische deutsche Brille umsetzen müssen (Bsp. 2h Auflage) die uns wertvolle Zeit kosten und in Europa ein USP im negativen Sinne sind – bei den eDSOs und leider auch bei den Gebäudebesitzern/Käufern der Produkte.

Denn bei den Produkten sind die Trendsetter diejenigen, die ihre Lösungen in der Cloud gemanaged haben. Da ist Interoperabilität nicht erwünscht.

Ein Problem, dessen Tragweite auch meine Kollegen bei den Standardisierungsgremien in der IEC noch nicht richtig verstanden haben“

### **Anmerkung 2:**

“Was wir in unserem PoC ausprobieren bewegt sich auf OSI Layer 7 und nutzt unterlagert Transportservices mit MQTT/KAFKA oder OpenADR.

Was da transportiert wird und wie das dann funktioniert ist das eigentlich Relevante. Das wollen wir im PoC zum DCS herausarbeiten.

Will sagen, es geht letztlich um Semantik.

Aber bevor man nun SAREF in den Mund nimmt und sich da wieder verkünstelt, muss man wissen, wie das funktioniert und was man braucht, wenn man Netzführungssysteme andockt, die es genau genommen noch gar nicht gibt bzw. die funktional in den Kinderschuhen stecken.

Mit der ganzen Gateway zentrischen Diskussion haben wir diesen zentralen Fokus worauf es ankommt verloren – das führt uns geradewegs in eine regulatorisch bedingte Welt mit anlagenscharfer Steuerung und einer fatalen Wahrnehmung, dass diese Steuerung von Flexibilitäten über digitale lokale Kommunikation gelingt.

Unser Fokus im PoC ist, welche Messages man braucht, oder welche Inhalte von Datencontainern von Messages benötigt werden, um einen sinnvollen und resilienten Kommunikationsaustausch zwischen BEMS, Landemanagementsystem und NFS bzw. DSO Cloudservice zu bewerkstelligen.

Da nehmen wir das her, was es gibt - Bsp. DLMS- oder 61850-Datenobjekte oder das was OpenADR an Bord hat

Ein ganz spezielles Schnittstellenthema können wir inhaltlich nicht richtig bedienen – wie sieht eine Cloud2Cloud Kopplung zwischen Aggregator und DSO aus?

Da ist bereits Schneider Electric mit Ford dran und der Sache nimmt man sich auch in einem anderen Förderprojekt an – u.a. einem österreichischen.“

**Vielen Dank, dass Sie an der Datenerhebung teilgenommen haben. Bitte senden Sie das Dokument an Louis Gugg ([lgugg@ffe.de](mailto:lgugg@ffe.de)) zurück. Ich wünsche Ihnen ein frohes neues Jahr und alles Gute!**

## Appendix 13 : Interfaces Comparison Tables

### Interface 1: Electric Vehicle – Electric Vehicle Support Equipment

Company	BMW AG	Mercedes-Benz AG	Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG
Component	BEV	BEV	EVSE
Software	Special Software – Optimized Charging	-	“Fluid”
Interface	EV – EVSE	EV – EVSE	<b>EVSE – EV</b>
Standard	ISO 15118-2	ISO 15118-2 &-20	ISO 15118-2 and -20
Reference Model	OSI-Layer in DIN EN ISO 15118-2:2016-08		Defined in ISO 15118-2 and -20
Tests	Component Tests, System Tests, E2E Tests, PEN Tests, Laboratory pending	For ISO 15118-2 testing via ISO 15118-5 For ISO 15118-20 no standardized testing normed Integration Tests, System Tests, Part System Tests	ISO 15118-4 and -5 for -2 and -3. For -20 -24 is in working progress. Additional Implementation Guide from CharIN available. Pending End-to-End Testing
Test Results	ISO-Standard has room for interpretation	Abnormalities during development are rectified.	-
Cybersecurity			
Interface encryption	DIN EN ISO 15118-2:2016-08	TLS1.2 optional (-2) TLS1.3 mandatory (-20)	ISO 15118-2 with TLS1.2 optional, -20 with TLS 1.3 mandatory. (Both not provided in this particular research project)
Additional Measures	-	Penetration Tests	-
Testing	-	-	-
Comments	Already internationally recognized standard. Interoperability should be given for this.	-	-

### Interface 2: Electric Vehicle Support Equipment – (Home) Energy Management System

Company	Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG	Viessmann Climate Solutions SE	Consolinno Energy GmbH	The Mobility House	be.storage
Component	EVSE	HEMS	HEMS with integrated Network Serviceability	HEMS (ChargePilot)	HEMS
Software	“Fluid”	Special Software for unIT-e <sup>2</sup> -Project	1U0022 CO status 1.1.0.	-	okean.OS
Interface	EVSE – HEMS	<b>HEMS – EVSE</b>	<b>HEMS – EVSE</b>	<b>HEMS – EVSE</b>	<b>HEMS – EVSE</b>
Standard	EEBus	EEBus, SPINE, SHIP	EEBus	OCPP 1.6J	Modbus TCP
Reference Model	EEBus	EEBus & TCP/IP	EEBus		IEC 61158
Tests	K-Test of Fa. KEO Pending End-to-End-Testing	Conformity Tests with KEO Ktest Tool Integration test/ Plugfest with project partners	Plugfest in EEBus-Lab	TMH internal testing Integration testing and part system testing	No in-house conformity tests were carried out. All interfaces were integrated or used by 3rd party libraries or software

				stacks in the HEMS code. Thus, all conformance tests were left to the developers of the interface software. The use of the interfaces in the program code of the HEMS software is tested using several types of tests. First, unit tests (roughly equivalent to subsystem tests) are carried out. In a next step, ongoing integration tests are carried out in a simulated laboratory environment (modbus and MQTT). These and other tests (which do not affect interfaces, such as validation tests) are carried out continuously and automatically during software development.
Test Results	-	<p>Conformity Tests: Verification of the technically correct exchange of all data points required by the standard</p> <p>All conformity tests were passed</p> <p>Integration Tests: Running through certain use cases between two devices, e.g. receiving a power limit at the grid connection point</p>	<p>The connection setup and use of individual application cases were tested in practice, across all manufacturers.</p> <p>Interoperable communication largely works across all manufacturers. Unfortunately, there are individual manufacturers who do not implement the correct use cases and therefore do not meet the standard, even though this is advertised. When documenting the devices and</p>	<p>TMH internal testing: Deep analysis of all OCPP messages → compatibility with charging stations</p> <p>Integration and part system testing: variable deepness but the functionality was ensured</p>

			Despite passing the conformity tests, the integration tests could only be fully passed with minor improvements to the software.	releasing them after a plug-fest, it must be openly communicated which standards the respective devices implement in which protocol version. Tests with complete logs and a period of over 6 months in continuous operation.		
<b>Cybersecurity</b>						
Interface encryption	TLS, device ID is secured manually via certificate	TLS-Encryption	TLS	Optional – SSL secure WebSockets	not encrypted: The interface is defined by the device manufacturer and is generally not offered encrypted by them.	
Additional Measures	-	Manual pairing of EEBUS partners by the user/installer required	Curves and key specifications, authorization only through CIP pairing	If not encrypted, the connected charging stations and ChargePilot are in their own physically completely isolated network	no further measures. It is only relied upon that the customer network is securely shielded against external attackers. Furthermore, in the event of damage, the damage is limited to one customer. These measures are certainly not sufficient in the long term.	
Testing	-	No tests carried out as TLS encryption is considered secure	No known rights management beyond SKI pairing	-	no tests, as neither encryption nor other measures have been taken.	
Comments	-	The tests listed above are necessary but not sufficient for error-free interoperability.	To date, there is only one open reference implementation in GO for client and server applications; the standard is currently most widespread in Germany and offers very high potential for the secure and easy-to-set-up networking of devices in the property.		Cybersecurity: These measures are certainly not sufficient in the long term.	

### Interface 3: (Home) Energy Management System – iMSys (SMGW/CLS-Gateway)

Company	Viessmann Climate Solutions SE	Consolinno Energy GmbH	Power Plus Communication AG
Component	HEMS	HEMS with integrated Network Serviceability	Smart Meter Gateway, CLS-Gateway
Software	Special Software for unITE <sup>2</sup> -Project	1U0022 CO status 1.1.0.	SMGW 1.0, 2.0; CLS 2.0
Interface	<b>HEMS – SMGW/CLS-Gateway</b>	<b>HEMS – SMGW/CLS-Gateway</b>	<b>SMGW/CLS/aEMP – HEMS</b>
Standard	EEBus, SPINE, SHIP	IEC 61850	EEBus
Reference Model	EEBus & TCP/IP	Data transfer, functions and data models standardized	EEBus
Tests	Conformity Tests with KEO Ktest Tool Integration test/ Plugfest with project partners	Tests with internal and external tools	Conformity Testing Laboratory & Fieldtests
Test Results	Conformity Tests: Verification of the technically correct exchange of all data points required by the standard  All conformity tests were passed  Integration Tests: Running through certain use cases between two devices, e.g. receiving a power limit at the grid connection point Despite passing the conformity tests, the integration tests could only be fully passed with minor improvements to the software.	Complete end-to-end tests over a long period of at least 6 months with aEMT endpoint from Robotron and CI tests with compatible internal IEC61850 test client for the corresponding use cases (P-Lim schedules and ad-hock signals, provision of measured values).	All interfaces and use cases listed in the questionnaire were successfully tested for conformity.  Laboratory and Field Testing successful.
Cybersecurity			
Interface encryption	TLS-Encryption	Everything possible, without TLS, with TLS	TLS-Encryption
Additional Measures	Manual pairing of EEBUS partners by the user/installer required	All options open	When connecting to the SMGW, the complete certificate is required and not just the SKI, making this connection even more secure.
Testing	No tests carried out as TLS encryption is considered secure	All options open, rights management also possible but sometimes complex	-
Comments	The tests listed above are necessary but not sufficient for error-free interoperability.	The standard is already very advanced and very future-proof. There are still suggestions for improvement, but all currently necessary features have been implemented and are ready for market use. Specifications for the transmission of tariff information are currently still missing for the research project, but these can be mapped with the IEC61850 data model. The standard is internationally recognized and is used in many countries. There are several open reference implementations for client and server applications. The specifications of the FNN are currently only found in the FNN control box	Auch innerhalb des PPC SMGW und CLS-Gateway läuft die Kommunikation über EEBus

		specifications, which is currently very opaque, as the associated ICD file is not publicly accessible, making implementation by the free market practically impossible and contradicting the idea of the IEC standard. For this reason, there is also no open reference implementation for the server-client requirements of the FNN control box specifications.	
--	--	------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

#### Interface 4: (Home) Energy Management System – (active) Energy Market Participant (via iMSys)

Company	Viessmann Climate Solutions SE	Be.Storage	Consolino Energy GmbH	Power Plus Communication AG	EWE NETZ GmbH	EWE NETZ GmbH
Component	HEMS	HEMS	HEMS with integrated Network Serviceability	Smart Meter Gateway, CLS-Gateway	CLS-Backend and Grid Regulator	CLS-Backend and Grid Regulator
Software	Special Software for unit-e <sup>2</sup> -Project	okean.OS	IU0022 CO status 1.1.0.	SMGW 1.0, 2.0; CLS 2.0	BTC AMM 4.5	BTC AMM 4.5
					Sending network-related measurement data	Send network-oriented ad-hoc switching commands
Interface	HEMS – SMGW/CLS-Gateway/aEMP	HEMS – CLS-Gateway	HEMS – aEMP	SMGW/CLS/aEMP – HEMS	SMGW – EMP-System	CLS-Gateway – aEMP-System
Standard	EEBus, SPINE, SHIP	EEBus	MQTT + CLS.EEDI (Ist EEBus rich-tung Netz)	EEBus, CLS.EEDI für Steuereinheit	BSI TR-03109-1 (OSI-Layer), Interoperability granted by SMGW-Certification	AR-2829-6 Realization via MQTT
Reference Model	EEBus & TCP/IP	EEBus (CENELEC EN 50631, ETSI TS 103 410-1 SAREF4ENER)	Standardized communication, data model defined in CLS.EEDI Spec	EEBus	OSI-Layer S. 36, Interoperability granted by SMGW-Certification	OSI complete in standard
Tests	Conformity Tests with KEO Ktest Tool Integration test/ Plugfest with project partners	No in-house conformity tests were carried out. All interfaces were integrated or used by 3rd party libraries or software stacks in the HEMS code. Thus, all conformance tests were left to the developers of the interface software. For EEBus, be.storage does not have its own test setup in a laboratory. Therefore, only automated unit tests	End-to-end tests at all levels	Conformity Testing Laboratory & Fieldtests	TAF 10 Measurement data reception	Setpoints sent to connected devices

		are available here. Integration tests were carried out in the network laboratory (Bezirksmeisterei-Süd) in Oldenburg.				
Test Results	Conformity Tests: Verification of the technically correct exchange of all data points required by the standard All conformity tests were passed Integration Tests: Running through certain use cases between two devices, e.g. receiving a power limit at the grid connection point Despite passing the conformity tests, the integration tests could only be fully passed with minor improvements to the software.	-  The implementation and communication was carried out as required and was able to fulfill every requirement. MQTT and CLS.EEDI communication is kept very simple and open, and the open documentation allows all partners to efficiently establish a data exchange in order to exchange the necessary data with each other. The CLS.EEDI standard must be supplemented for some use cases, but its openness even offers the possibility of adopting IEC61850 functions	All interfaces and use cases listed in the questionnaire were successfully tested for conformity. Laboratory and Field Testing successful.	Measurement data was delivered according to profile.	Multiple tests down to protocol level were necessary until interoperability was guaranteed. Timeout time in MQTT keep-alive must be configured correctly, otherwise unstable operation. Stable minimum version with downward compatibility required. No broad establishment of the interface, therefore "teething troubles" during implementation	
Cybersecurity						
Interface encryption	TLS-Encryption	TLS/SSL	All options open.	TLS-Encryption	TLS with SM-PKI certificates in accordance with TR 03109	TLS with SM-PKI certificates in accordance with TR 03109
Additional Measures	Manual pairing of EEBUS partners by the user/installer required		All options open.	When connecting to the SMGW, the complete certificate is required and not just the SKI, making this connection even more secure.	-	-
Testing	No tests carried out as TLS encryption is considered secure			-	BSI approved	-
Comments	The tests listed above are necessary but not sufficient for error-free interoperability.		-	Interface is established and in productive use.	-	

## Interface 5: (Home) Energy Management System – Measuring Device

Company	Consolinno Energy GmbH	The Mobility House	No Received Counter Part
Component	HEMS with integrated Network Serviceability	HEMS (ChargePilot)	
Software	1U0022 CO status 1.1.0.	-	
Interface	<b>HEMS – Measuring device</b>	<b>HEMS – Measuring device</b>	
Standard	MODBUS RTU	Modbus (TCP & RTU)	
Reference Model	Data transmission standardized, data models device and manufacturer-specific	<p>Normen &amp; Standards: Modbus TCP &amp; RTU, <b>Herstellerabhängige proprietäre RegisterTabellen</b>, ChargePilot Modbus Server Register: <a href="https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents/Modbus%20Registers%20v2.0.pdf&amp;parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents&amp;p=true&amp;ga=1">https://themobilityhousemuc.sharepoint.com/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/Forms/AllItems.aspx?id=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents/Modbus%20Registers%20v2.0.pdf&amp;parent=/sites/tmh-extranet2/Dokumente%20ChargePilot/01_Technical%20Documents%20%26%20Interfaces/03_Modbus%20Documents&amp;p=true&amp;ga=1</a></p> <p><b>OSI-Layer-Modell:</b></p> <p><a href="https://store.chipkin.com/services/stacks/modbus-stack">https://store.chipkin.com/services/stacks/modbus-stack</a></p>	
Tests	Laboratory tests, field tests	No standardized conformity test due to manufacturer-specific characteristics. Integration Tests and Part System Tests	
Test Results	Normal Modbus RTU implementation at bus level. An old and proven standard that is easy to implement.	Ensuring the functionality	
Cybersecurity			
Interface encryption	None.	None.	
Additional Measures	None.	Physically completely isolated network.	
Testing	None.		
Comments		Modbus TCP is used to communicate with energy meters (Modbus Client) and external energy management systems (Modbus Server) Modbus RTU only to communicate with energy meters	

## Interface A: Electric Vehicle – OEM Backend

Company	BMW AG	Mercedes-Benz AG	No Received Counter Part
Component	BEV	BEV	
Software	Special Software – Optimized Charging	-	
Interface	EV – OEM Backend	EV – OEM Backend	
Standard	Sim-Card based Data Transfer via Telematic Interface	-	
Reference Model	A standardized reference model is not available for this interface, but BMW uses the current technical solutions for the communication interface between vehicle and backend.	-	
Tests	Component Tests, System Tests, E2E Tests, PEN Tests	-	
Cybersecurity		-	
Interface encryption	Internal System	-	
Test Results	Productiv System – works	-	

### Interface B: Electric Vehicle – Aggregator Backend (via OEM Backend)

Company	Mercedes-Benz AG
Component	BEV
Software	-
Interface	EV – (OEM Backend) – Aggregator Backend
Standard	-
Reference Model	Rest, Message Queue, TMH App <-> API 3.0 (REST & Message QUEUE) API 3.0 <-> Fahrzeug Message Queue
Tests	-
Test Results	-
Cybersecurity	-
Interface encryption	-
Additional Measures	-
Testing	-
Comments	-

### Interface C: EVSE – EVSE Backend

Company	Compleo Charging Solutions GmbH & Co. KG
Component	EVSE (Backend)
Software	“Fluid”
Interface	EVSE – EVSE Backend
Standard	OCPP 2.0.1 (+V2X RFC)
Reference Model	OCPP 2.0.1 (+V2X RFC) defined
Tests	OCTT of OCA
Test Results	OCPP 2.0.1 certification granted by OCA (Core and Advanced Security) Pending End-to-End-Testing
Cybersecurity	

Interface encryption	OCPP 2.0.1 unencrypted possible (user name and password), TLS possible
Additional Measures	-
Testing	-
<b>Comments</b>	-

#### Interface D: (H)EMS –(H)EMS Backend

<b>Company</b>	be.storage
Component	(H)EMS (Backend)
Software	okean.OS
<b>Interface</b>	(H)EMS – (H)EMS Backend
Standard	MQTT
Reference Model	MQTT itself defines the Application Layer (7) Transport Layer (4) is TCP, Packet Layer (3) is IP and Data Link Layer (2) is Ethernet
<b>Tests</b>	<p>No in-house conformity tests were carried out. All interfaces were integrated or used by 3rd party libraries or software stacks in the HEMS code. Thus, all conformance tests were left to the developers of the interface software.</p> <p>The use of the interfaces in the program code of the HEMS software is tested using several types of tests. First, unit tests (roughly equivalent to subsystem tests) are carried out. In the next step, ongoing integration tests are carried out in a simulated laboratory environment (modbus and MQTT).</p> <p>These and other tests (which do not affect interfaces, such as validation tests) are carried out continuously and automatically during software development.</p>

<b>Test Results</b>	-
<b>Cybersecurity</b>	
Interface encryption	<p>TLS 1.2</p> <p>No further measures, as TLS encryption of the connection is considered very secure.</p>
Additional Measures	<p>As a very widespread protocol was used that is considered to be very secure and tested, no further tests were carried out.</p>
Testing	-
<b>Comments</b>	-

## Appendix 14: Plugfest Results Summary



### unit-e<sup>2</sup> Plugfest erste Ergebnisse und Erkenntnisse

Jeremias Hawran, Philipp Stedem,  
Louis Gugg

29.04.2024

### unit-e<sup>2</sup> Plugfest Übersicht



36 Protokollierte Tests

62:23 Min  
Durchschnittliche  
Antwortdauer

21 getestete Komponenten

?? Getestete Schnittstellen

Use Case	Anzahl der Tests
Limit of Power Consumption (LPC)	19
Coordinated EV Charging (CEVC)	7
Monitoring of Power Consumption (MPC)	3
Nullabregelung	1
Monitoring of Grid Connection Point (MGCP)	1
Iso Pause Ford	1
Inbetriebnahme EEBUS Kopplung über Monteurstool	1
LPC mit Wärmepumpe	1
Kopplung EEBUS mit PPC Monteurstool	1
EEBUS connection to EVSE simulation	1

2 Tage testen

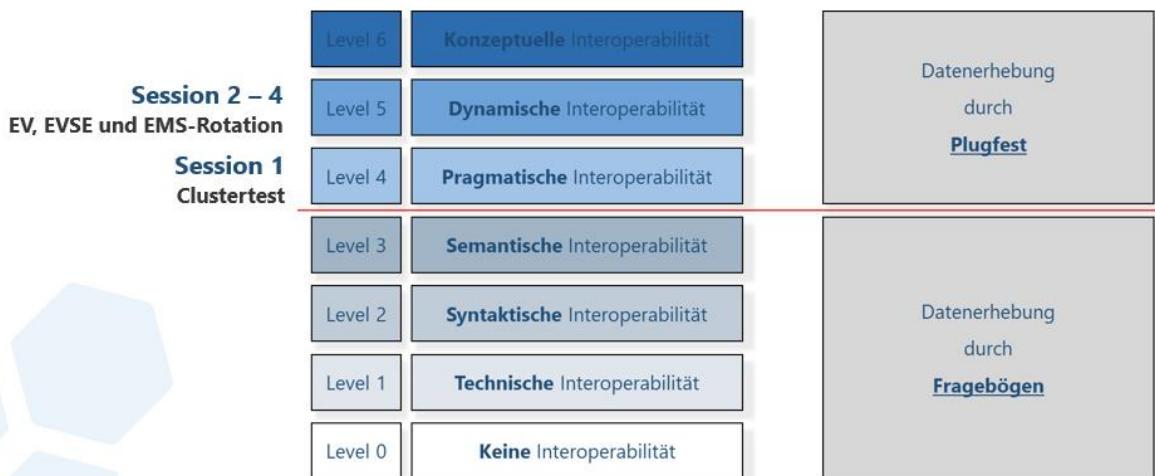
4 Testsessions

> 50 Teilnehmer

26 Partnerunternehmen

## Interoperabilität in unIT-e<sup>2</sup>

### Was wurde getestet?



5 29.04.2024

## Umsetzung von § 14 a über EEBUS LPC funktioniert

### Session 1 Clustertest

Test	Passed	Failed	Invalid	Planned	Kommentar
Charge EV in direct mode (11.0 kW).	5	0	0	5	
Set active power consumption limit to 4.2 kW.	4	1	0	5	
Set active power consumption limit to 5.0 kW.	3	1	1	5	
Reduce active power consumption limit by 0.5 kW.	1	1	1	5	
Increase active power consumption limit by 0.5 kW.	0	3	2	5	umfangreicher Test, eigentlich erfolgreich verlaufen. Ladevorgang kann nicht wieder gestartet werden.
Set active power consumption limit to 8.0 kW.	2	1	2	5	Kein relevanter Mehrwert.
Disconnect EV from EVSE. Reestablish Charging Session.	3	0	2	5	
Delete active power consumption limit.	3	1	1	5	Negative Werte nicht Eintragbar
Set active power consumption limit to -6 kW.	2	1	2	5	
Set active power consumption limit to 6 kW with active-flag set to false.	2	1	2	5	
Unplug EVSE network connection.	1	3	1	5	WB Bricht Ladevorgang ab
Unplug EMS network connection.	1	2	2	5	
Disconnect EV from EVSE.	0	2	3	5	

6 29.04.2024

## Dynamische Interoperabilität von § 14 a über EEBUS

### Test Teilweise gegeben

Test	Passed	Failed	Invalid	Planned	Kommentar
Charge EV in direct mode (11.0 kW).	9	0	0	12	
Set active power consumption limit to 4.2 kW.	7	0	2	12	
Set active power consumption limit to 5.0 kW.	3	0	6	12	
Reduce active power consumption limit by 0.5 kW.	7	0	2	12	
Increase active power consumption limit by 0.5 kW.	3	3	3	12	
Set active power consumption limit to 8.0 kW.	3	0	6	12	
<b>Disconnect EV from EVSE. Reestablish Charging Session.</b>	0	0	9	12	<b>Not Executed / Aborted</b>
<b>Delete active power consumption limit.</b>	3	0	6	12	
Set active power consumption limit to -6 kW.	0	0	9	12	Not Executed / Aborted
Set active power consumption limit to 6 kW with active-flag set to false.	3	0	6	12	
Unplug EVSE network connection.	0	0	9	12	Not Executed / Aborted
Unplug EMS network connection.	0	0	9	12	Not Executed / Aborted
Disconnect EV from EVSE.	0	0	9	12	Not Executed / Aborted

7 29.04.2024

## Smart Charging über EEBUS CEVC

### Session 1 Clustertest / CEVC

Test	Passed	Failed	Invalid	Planned	Kommentar
Connect EV & EVSE, initialize charging sequence, start charging session.	2	0	0	2	Ein Test wurde doppelt gemacht, erster Versuch Fail, zweiter passed.
Observe EV behavior.	2	0	0	2	
<b>Expected:</b> EV is charging in direkt mode (11 kW)					
Send incentive table and max power curve. (Observe for at least one change in charging power.)	2	0	0	2	
<b>Expected:</b> EV negotiates charging plan. EV follows charging plan.					
Receive charging plan from EV.	2	0	0	2	
Send new incentive table and max power curve.	1	0	1	2	
<b>Expected:</b> EV renegotiates charging plan. EV follows charging plan.					
Enter ISO-break.	1	0	1	2	
Leave ISO-break.	0	0	2	2	Falsch interpretierte ISO 15118-2

8 29.04.2024

## CEVC Use Case

### Session 2 Fahrzeugtausch/ CEVC

Test	Passed	Failed	Invalid	Planned	Kommentar
Connect EV & EVSE, initialize charging sequence, start charging session.	2	0	1	6	2 "Check", 1 "Not Applicable"
Observe EV behavior. <b>Expected:</b> EV is charging in direkt mode (11 kW)	3	0	0	6	
Send incentive table and max power curve. (Observe for at least one change in charging power.) <b>Expected:</b> EV negotiates charging plan. EV follows charging plan.	2	1	0	6	Problem liegt scheinbar in der Kommunikation zwischen Auto und Wallbox.
Receive charging plan from EV.	1	2	0	6	Charging plan contains invalid values.
Send new incentive table and max power curve. <b>Expected:</b> EV renegotiates charging plan. EV follows charging plan.	0	0	3	6	
Enter ISO-break.	0	0	3	6	
Leave ISO-break.	0	0	3	6	

9 29.04.2024

## MPC Use Case

### Session 1 Clustersession

Test	Passed	Failed	Invalid	Planned	Kommentar
Enable MPC if necessary.					1 check, 2 "Not Applicable"
Compare measured load with MPC values received at EMS. <b>Expected:</b> EMS receives MPC.	2	1	0	5	Werte wurden bei "Passed" richtig übermittelt.
Pass if MGC is received. Record measured values.					
Stop EV Charging.	0	0	3	5	3 mal "Not Applicable"
Compare measured load with MPC values received at EMS. <b>Expected:</b> EMS receives MPC	2	1	0	5	
Pass if MGC is received. Record measured values					

10 29.04.2024

## EEBUS LPC wird unterschiedlich umgesetzt

Unterschiede in der ISO-Implementierung können zu Problemen führen

LPC (im Kontext von § 14 a kann (wenn implementiert) umgesetzt werden (bis ca. Plim = 2 kW).

Bei Plim < 2 kW gehen die Autos in die ISO-Pause oder brechen das Laden ab.

Fahrzeuge in der ISO-Pause haben teilweise Probleme wieder aufzuwachen -> Problematisch, nur wenn Plim < 2kW -> für §14a (4,2 kW) nicht kritisch!

Viessmann setzt Plim on change, be.storaged immer wieder erneut.

Viessmann regelt dynamisch auf 4,2 kW Ladeleistung nicht Netzbezug. Richtige § 14 a Umsetzung (Stichwort: Netzwirksame Leistung)?!

11 29.04.2024

## ISO 15118-20 wird als Hoffnungsträger gesehen

ISO 15118-2 häufig fehleranfällig

HEMS/Wallbox-Hersteller tolerieren Kommunikationsfehler, um Ladeabbrüche zu vermeiden. Dies führt dazu, dass OEMs Normen weniger strikt umsetzen.

Die Umsetzung der ISO -2 variiert leicht zwischen Herstellern, was Tests von Wallboxen mit jedem EV erfordert, um Kompatibilität zu gewährleisten.

ISO -2 ist nicht massentauglich, einfache PWM wird bevorzugt.  
ISO 15118-20 zeigt jedoch vielversprechende Entwicklungen.

ISO -2 schedule mode mit 12-1000 Stützstellen schwer Herstellerübergreifend konsistent umzusetzen.

Besserer Aufbau der Nachrichten in der ISO -20.

Verschieben des Ladeplans bei Neuverhandlung nach ISO -2 um bis zu 160 Sekunden möglich.

12 29.04.2024

## Sonstige Erkenntnisse zu EEBUS / CEVC / ISO 15118

Eine umfassende Kompatibilitätsliste für Elektrofahrzeuge (EV) und Elektrofahrzeug-Ladestationen (EVSE) gemäß der ISO-Norm 15118-2 wäre äußerst nützlich.

Das Problem mit der ISO-Pause ist bei CEVC ebenfalls gegeben und problematisch zu sehen. Fahrzeuge können bei längeren Ladeunterbrechungen nicht schlafengelegt bzw. aufgeweckt werden.

EEBUS Use Cases funktionieren im großen und ganzen, wenn sie ordentlich implementiert sind.

13 29.04.2024

## Viel Arbeit bis zur umfassenden Interoperabilität!

Menti

Dass andere auch noch Probleme haben;-)	Wir haben noch deutlich mehr Baustellen als erwartet. Bug Fixing der kommenden Wochen muss stark intensiviert werden	Clusterinterne Setups funktionieren noch nicht immer
Noch nicht so weit wie gedacht	Prozess Inbetriebnahme Notwendige Standards Funktionalität sehen	Die Dynamik hinter dem LPC und wie andere Hersteller ihn implementieren. Arbeit mit den Auto und Wallbox Herstellern sehr hilfreich
Verschiedenen Implementierungen von LPC	Die Bugs unter dir Luppe genommen und näher betrachtet, was das Smart Charging angeht.	

14 29.04.2024

## Austausch und enge Zusammenarbeit sind essenziell!

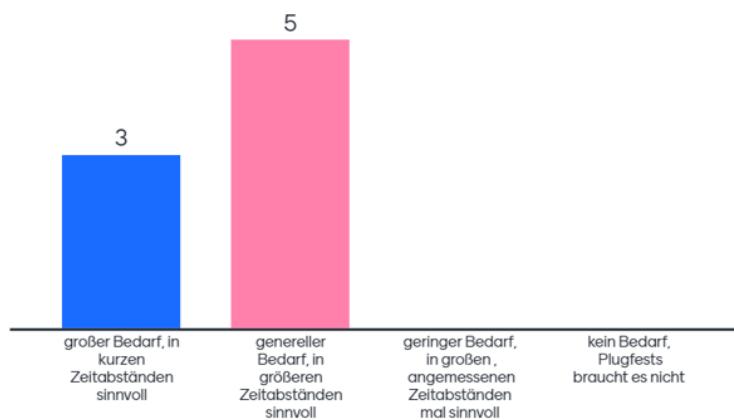
Menti

Topic	Count
team spirit	1
zusammenarbeit	1
technische tiefe	1
phillip sagt die brötchen	1
kontakt mit anderen	1
visualisieren der session	1
vorträge	1
infos der beteiligten	1
die brötchen	1
komponenten wechsel	1
zu sehen was andere mache	1
fahrzeuge aller cluster	1
diversität systeme	1
neue umgebung	1
planung und usecases	1
austausch und kommunikati	1
gemeinsamer austausch	1
testpläne und ergebnisfor	1
guter austausch	1
gemeinsame arbeit	1
alles an einem ort	1
wissensaustausch	1

15 29.04.2024

## Nächstes Plugfest bei EEBUS im September!

Menti



16 29.04.2024

## Kürzere Testpläne machen!

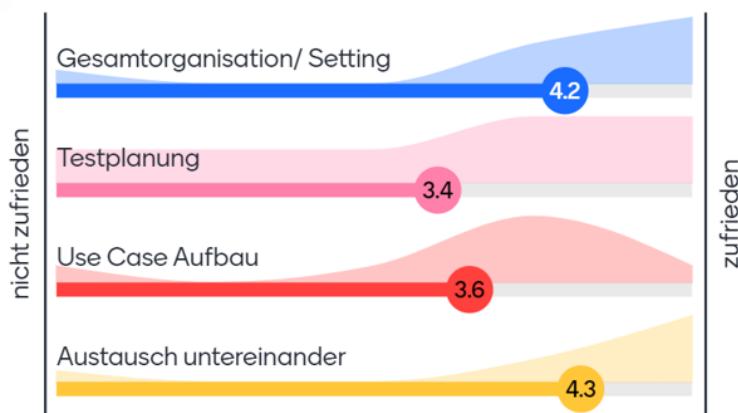
Menti

Testpläne kürzer gestalten. Bis eine Ladesession konform begonnen und abgeschlossen werden kann müssen 30-60 Minuten mindestens eingeplant werden.	Moderation für Testfälle LPC Testprotokoll sehr umfangreich	Ursprünglicher Testplan zu eng getacktet In Bezug auf Testing können die Wissenträger an einem Tisch sitzen und die Themen näher besprechen, ohne in Gruppen zu verteilen.
Zwischenfeedbacks an alle		

17 29.04.2024

## Wie zufrieden waren die Projektpartner mit:

Menti



18 29.04.2024

## Feedback

Wie fandet ihr unser Plugfest?

Geht auf [menti.com](https://menti.com)  
und gebt den Code ein:

6309 7541



1