

Forschungscampus Mobility2Grid

Energiewende und Elektromobilität in vernetzten und urbanen Arealen

Abschlussbericht

Arbeitspaket:

Querschnittsfeld 7 Betrieb und Verwertung

Zuwendungsempfänger: DB Energie GmbH

Förderkennzeichen: 03SF0528B

Laufzeit des Vorhabens: 01/2016-12/2020

Stand: [18.06.2021]

Autoren und Mitwirkende

Raisa Popova	raisa.popova@deutschebahn.com
Tiba Feizi	tiba.feizi@deutschebahn.com
Andreas Grimm	andreas.a.grimm@deutschebahn.com
Marvin Pick	marvin.pick@deutschebahn.com



Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Inhaltsverzeichnis

Vorwort des Verbundkoordinators	3
I. Kurzdarstellung	4
1. Aufgabenstellung	4
2. Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens	4
3. Planung und Ablauf	5
4. Stand der Wissenschaft und Technik bei Projektbeginn.....	6
5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen	6
II. Eingehende Darstellung	8
1. Erzielte Ergebnisse im Einzelnen.....	8
a. Q.1 Technisches und betriebliches Management der Forschungsanlagen auf dem EUREF-Campus.....	8
b. Q.2.1 Verwertungsstrategie und Verwertung aus dem operativen Betrieb.....	17
c. Q.2.2 Entwicklung und Implementierung eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells für das MSG	22
d. Q.3 Demonstration der Forschungsergebnisse	29
2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises	33
3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	34
4. Verwertbarkeit der Ergebnisse	34
5. Bekanntgabe relevanter Ergebnisse von Dritter Seite	35
6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen	35
a. Veröffentlichte Paper	35
b. Bachelor-/Master-/Studienarbeiten	35

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Betreibermodell - Konsolidierung der Eigentümerstruktur	8
Abbildung 2: Verallgemeinerte Darstellung eines Vertragskatalogs	9
Abbildung 3: Energiedaten aus dem Betrieb des MSG in den Jahren 2016-2020.....	11
Abbildung 4: Koordinierte Spannungshaltung - Kommunikationsschema	12
Abbildung 5: Spannung an der CSS1 in Zeiträumen der PV-Produktion.....	13
Abbildung 6: Spannung an der CSS1 in Zeiträumen der hohen Lasten	14
Abbildung 7: Spannung am Knoten des CSS2 über den Zeitraum von 6 Tagen im Sommer (links) und Winter (rechts)	15
Abbildung 8: RONT Schaltung an einem Tag im Sommer am 11.08.2019 (links) und Winter am 02.03.2020 (rechts)	15
Abbildung 9: Spannungsverlauf der 3 Minuten Messdatenreihe mit Systemfehler - Februar 2020	16
Abbildung 10: Spannungsabweichungen an verschiedenen Knoten mit (W-KSH; S-KSH) und ohne (W; S) Einsatz koordinierter Spannungshaltung.....	16
Abbildung 11: Vorgehensweise im Arbeitspaket Q.2.1	18
Abbildung 12: Vertragsbeziehungen, Geld- und Stromfluss zwischen den Akteuren im MG.....	25
Abbildung 13: Maßnahmen zur Verringerung der Energiekosten.....	26
Abbildung 14: Gegenüberstellung Energiemenge/Investitionskosten Anwendung § 14a EnWG	27
Abbildung 15: Anzahl Ladevorgänge MSG EUREF-Campus in den Jahren 2016-2018.....	28
Abbildung 16: Messkonzept stationäre Batterie	29
Abbildung 17: Führung durch den Forschungscampus (Eigene Darstellung nach Map EUREF-Campus)	31
Abbildung 18: Besuch von Anja Karliczek und Michael Müller	31
Abbildung 19: MSG Tisch 2.0 in Nachtansicht.....	33

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Cluster Verträge.....	9
Tabelle 2: Betriebsstrategien für ein Micro Smart Grid.....	11
Tabelle 3: Lessons Learned - Erprobung koordinierte Spannungshaltung	12
Tabelle 4: Ergebnisse der Koordinierten Spannungshaltung für verschiedene Timing Element im Sommer 2019	13
Tabelle 5: Ergebnisse der Koordinierten Spannungshaltung für verschiedene Timing Element im Winter 2020	15
Tabelle 6: Betriebsszenarien für die Nutzung der stationären Batterie.....	17
Tabelle 7: Durchgeführte Workshops zum Verwertungsthema	18
Tabelle 8: Vor- und Nachteile der Muster	24
Tabelle 9: Übersicht der Anlagen im MSG am EUREF-Campus.....	30

Vorwort des Verbundkoordinators

Die Förderinitiative „Forschungscampus – öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung ermöglicht Mobility2Grid die Erforschung und Entwicklung innovativer Konzepte und Lösungen für die Energie- und Verkehrswende in vernetzten urbanen Arealen. Der vorliegende Schlussbericht befasst sich mit den Aktivitäten von DB Energie im Querschnittfelds „Betrieb und Verwertung“ (QF7).

Mit dem EUREF-Campus Berlin wurde ein Reallabor geschaffen, in dem unterschiedlichste Fragestellungen in diesem Kontext untersucht werden. Technischer Nukleus des Reallabors ist das Micro Smart Grid (Micro Smart Grid). Aufgabe des QF7 war die Erforschung von Bedingungen der technischen und betriebswirksamen Funktionalität des Micro Smart Grid sowie die Entwicklung geeigneter Betriebsstrategien in Kooperation mit dem Themenfeld (TF) 2. Im Sinne der Verwertung von Forschungsergebnissen wurde im QF7 die Entwicklung innovativer Lösungen methodisch unterstützt vorangetrieben. Der Reallabor-Ansatz war dabei entscheidend von Vorteil. In themenfeldübergreifenden Workshops wurden Produktideen gewonnen, Entwicklungen angestoßen und in marktreife Lösungen überführt. Zudem wurden marktwirtschaftliche Organisationsmodelle für ein Micro Smart Grid erforscht und die heterogene Eigentümer- und Betreiberstruktur des EUREF-Micro Smart Grid in ein tragfähiges marktwirtschaftliches Organisations- und Betreibermodell überführt. Die Erkenntnisse flossen in einen Leitfaden ein, der den Übergang des Micro Smart Grid von einem Forschungsgegenstand zu einem marktwirtschaftlichen Organisationsmodell idealtypisch aufzeigt. Der wirtschaftlich und technisch optimale Betrieb des Micro Smart Grid konnte durch die Entwicklung und Implementierung entsprechender Betriebsstrategien nachweislich gewährleistet werden. Besonderes Interesse galt der Erforschung der Integration eines Second-Life-Batteriesystems und der Elektromobilität. Es wurde ein System aus acht gebrauchten PKW-Traktionsbatterien in das EUREF-Micro Smart Grid eingebunden und entsprechend der entwickelten Betriebsstrategien im Regelbetrieb betrieben. Zudem wurden Verfahren im netzgebundenen Zustand zur Ermittlung der Restkapazität (SOH, engl. State of Health) entwickelt und untersucht. Insbesondere in Bezug auf Elektromobilität erwies sich der stationäre Batteriespeicher als nutzbringend, um erneuerbare Energie für die automobilen Anwendung zwischenzuspeichern. Wesentlicher Teil des QF7 war zudem die Demonstration der Forschungsergebnisse. Dazu wurden technische Führungen auf dem EUREF-Campus durchgeführt sowie ein interaktiver Tisch für die Darstellung der Ergebnisse entwickelt, welcher in die Führungen eingebunden wurde.

Die Ergebnisse der ersten Förderphase des Forschungscampus Mobility2Grid zeigen, dass die Energie- und Verkehrswende nur in enger Verzahnung von Wissenschaft, Wirtschaft, Politik und Gesellschaft gelingt. Der Forschungsverbund hat dazu wirksame Konzepte erarbeitet und innovative Lösungen erforscht und entwickelt. In der zweiten Förderphase werden diese Ergebnisse auf weitere urbane Areale transferiert und die Forschungsansätze entsprechend weiterentwickelt. Dadurch schafft Mobility2Grid groß angelegte und langfristige Ansätze der standortgebundenen Zusammenarbeit von Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft im Rahmen der Hightech Strategie der Bundesregierung.

I. Kurzdarstellung

1. Aufgabenstellung

Der Forschungscampus Mobility2Grid ist eine breit angelegte öffentlich-private Partnerschaft für Innovationen zur Realisierung von Energiewende und Elektromobilität in vernetzten urbanen Arealen. Kerngedanke des Forschungscampus ist die Integration von gewerblichen und privaten elektrischen Straßenfahrzeugen in dezentrale Energienetze.

Das Querschnittsfeld 7 (QF7) wurde mit einer die anderen Themenfelder des Forschungscampus übergreifenden Aufgabenstellung aufgesetzt. Die Arbeiten im QF7 erfolgten in den folgenden Arbeitspaketen:

- Q.1 Technisches und betriebliches Management der Forschungsanlagen auf dem EUREF-Campus
- Q.2 Kommerzielle Verwertung
 - Q.2.1 Verwertungsstrategie und Verwertung aus dem operativen Betrieb
 - Q.2.2 Entwicklung und Implementierung eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells für das MSG
- Q.3 Demonstration der Forschungsergebnisse / Betrieb „zeeMobase“

Im Q.1 lag der Fokus auf der Entwicklung von Betriebsstrategien für ein Micro Smart Grid. In diesem Arbeitspaket sollte der Betrieb von dezentralen Energienetzen von der wirtschaftlichen und technischen Seite untersucht werden. Das Q.2.1 hatte die Aufgabenstellung ein geeignetes Framework zu schaffen, welches es allen Beteiligten des Forschungscampus ermöglicht, schnell und effektiv Projektergebnisse wirtschaftlich zu verwerten. Im Q.2.2 sollte die marktwirtschaftlichen, rechtlich-regulatorischen Perspektive auf ein Micro Smart Grid untersucht werden. Aufgabe im Q.3 war es die Forschungsergebnisse des gesamten Forschungscampus gegenüber Besuchergruppen, Fachexperten, Politik und Kunden zu vermitteln. Die DB Energie war in allen Arbeitspaketen des QF7 geförderter Projektpartner.

2. Voraussetzungen zur Durchführung des Vorhabens

Das QF7 war eines der 7 Themenfelder des Forschungscampus Mobility2Grid. Forschungsschwerpunkte in den Themenfeldern waren die Einbindung elektrischer Straßenfahrzeuge in dezentrale Energienetze sowie die Schaffung eines Referenzquartiers für das synergetische Zusammenwirken von Elektromobilität, Strom- und Wärmeversorgungsnetzen. Die Koordination des Forschungscampus erfolgte durch den Verein Mobility2Grid e. V. Der Standort des Forschungscampus war das EUREF-Areal in Berlin-Schöneberg, welches diesem zugleich als Reallabor diente. In dem Reallabor stand den Projektpartnern ein dezentrales Energienetz - das Micro Smart Grid - zur Verfügung. Dieses verfügte über Energieerzeugung mit Photovoltaik-Anlagen und einem Blockheizkraftwerk, Energiespeicherung mit Blei-Säure- und Lithium-Ionen-Batterien und Energieverbrauch durch Ladeinfrastrukturen für ePKW's. Die Anlagen waren kommunikationsseitig über ein SCADA-System miteinander verbunden.

Am Forschungscampus nahm das Geschäftsfeld Servicebereich Technik der DB Energie GmbH teil. Der Servicebereich Technik übernimmt Aufträge in der Beratung, Planung und Projektierung für Ladeinfrastrukturen und dezentrale, erneuerbare Energieerzeuger. Die DB Energie GmbH ist eine Tochtergesellschaft der Deutschen Bahn AG. Ihr Aufgabenfeld liegt in der Erzeugung, Beschaffung und Bereitstellung von Energieträgern, hauptsächlich Strom und Diesel, aber auch von Erdgas, Heizöl und Fernwärme. Als

Netzbetreiber bewirtschaftet die DB Energie das 16,7-Hz-Bahnstromnetz, 50-Hz-geschlossene Verteilernetze sowie die Gleichstrom-versorgungsanlagen der S-Bahnen in Berlin und Hamburg.

3. Planung und Ablauf

Die Koordination des Querschnittsfeldes lag in den Jahren 2016-2018 bei der InnoZ und in den Jahren 2019-2020 bei Schneider Electric. Im Q.1 war die DB Energie der einzige geförderte Projektpartner und somit Arbeitspaketverantwortlicher. InnoZ und Schneider Electric waren die Arbeitspaketverantwortlichen im Q.2 und Q.3.

Die DB Energie war im QF7 für die folgenden Meilensteine allein ♦ und gemeinsam mit der InnoZ ♦ verantwortlich:

Im AP Q.1:

- 10♦: Überführung bestehender Forschungsanlagen an die i2g
- 11♦: Übergabe Betrieb MSG
- 12♦: Tests Betriebsszenarien im MSG
- 13♦: Entwicklung Betriebsstrategien

Im AP Q.2.1:

- 15♦: Potential-Screenings für Verwertung innerhalb der Themenfelder
- 16♦: Ausarbeitung Verwertungsstrategie
- 17♦: 1. Report – Verwertung

Im AP Q.2.2:

- 19♦: Konzeption des marktwirtschaftlichen Organisationsmodells
- 20♦: Abschluss Feststellung des Ist-Zustandes – rechtlich
- 21♦: Abschluss Feststellung des Ist-Zustandes – technisch
- 22♦: Infrastrukturelle Anpassungen abgeschlossen
- 23♦: Abschluss Aufbau und Implementierung der Energiemanagement- und ggf. Energieversorgungsgesellschaft
- 25♦: Abgabe Report für marktwirtschaftliche Organisationsmodelle in MSGs

Im AP Q.3:

- 26♦: Stakeholder Workshop zu Forschungsthemen
- 27♦: Abfrage der Demonstration aus Themenfeldern
- 28♦: Entwicklung Demonstrationskonzept
- 29♦: Eröffnung „zeeMobase“
- 30 ♦: Demonstrationseinbindung e-Bus abgeschlossen
- 31 ♦: Demonstrationseinbindung Regelbarer Ortsnetztransformator abgeschlossen

4. Stand der Wissenschaft und Technik bei Projektbeginn

Bei Projektbeginn hat der Gesetzesgeber mit der EEG-Novelle von 2014 die Fördermechanismen für erneuerbare Energieanlagen so angepasst, dass Anreize entstanden den Strom direkt und lokal zu verbrauchen als auch die Netzeinspeisung zu reduzieren. Eine Publikation zum zellularen Ansatz¹ beschrieb die Dezentralisierung des Energieversorgungssystem, welche mit den Zielen des Forschungscampus übereinstimmte. Der BDEW veröffentlichte das Ampelkonzept²³, welches eine Konkretisierung der Verbindung zwischen Markt und Netz im Sinne einer netzdienlichen Nutzung von Flexibilitäten beschrieb. Für die Umsetzung dieser Ansätze fehlten zu Projektbeginn erprobte und standardisierte Verfahren und Mechanismen zwischen den Akteuren im Quartierskontext. Rechtliche Rahmenbedingungen waren auf die Rückspeisung aus Elektrofahrzeugen nicht vorbereitet. Beispielsweise hätte für in einem Fahrzeug zwischengespeicherten und letztverbrauchten Strom die EEG-Umlage zwei Mal entrichtet werden müssen. Für das Reallabor des Forschungscampus das Micro Smart Grid bestand die Notwendigkeit ein einheitliches Betreiber- und Organisationsmodell zu etablieren.

Die bei Projektbeginn für Verwertung von Ergebnissen in Forschungsprojekten verwendete Methoden führten zu einer Verwertung innerhalb der Lehrstühle durch Publikationen und Wissenszugewinn, bei den Wirtschaftspartnern im Falle eines Portfolio-Fit oder eigens dafür gegründeter Spin-Offs.⁴⁵ Das QF7 nutzte den Stand der Wissenschaft für die Gestaltung des Frameworks zur Förderung der Verwertung von Projektergebnissen. Das Bestehen eines gründungsfördernden Ökosystems ist förderlich für die Ausgründung von Spin-Offs.⁶ Zu dem Ökosystem gehören Ressourcen wie Support-Infrastruktur, Kultur und Humankapital. Der EUREF-Campus und die sich darauf befindliche zeeMo.base fördert die Projektkommunikation, welche einen wesentlichen Erfolgsfaktor für Projekte darstellt.⁷ Die Demonstratoren werden durch die zeeMo.base direkt erlebbar, was insbesondere bei komplexen Projekten interne und externe Kommunikation verbessert.⁸

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die DB Energie arbeitete im QF7 aufgrund des Charakters des Querschnittsfeld projektübergreifend mit allen Themenfeldern. Für die im Q.1 entwickelten Betriebsstrategien wurden im TF2 Algorithmen ergänzt, welche im QF7 anschließend im Reallabor eingesetzt wurden. Dabei wurde mit TU Berlin SENSE, Fraunhofer ISE und Schneider Electric zusammengearbeitet. Zudem erfolgte diese Zusammenarbeit mit DB Connect aus dem TF3.

¹ Benz, Thomas, et al. "Der zelluläre Ansatz: Grundlage einer erfolgreichen, regionenübergreifenden Energiewende." *Studie der Energietechnischen Gesellschaft im VDE (ETG)*. Frankfurt am Main: VDE e. V (2015).

² Ohrem, Simon, Daniel Telöken, und Torsten Knop. "Die verschiedenen Ampelkonzepte-Herausforderungen und Folgen für Verteilnetzbetreiber." *ETG-Fachtagung "Von Smart Grids zu Smart Markets"*, Kassel (2015).

³ BDEW, "Smart Grids Ampelkonzept - Ausgestaltung der gelben Phase", Berlin (2015).

⁴ Schilling, Kirstin. *Forschen–Patentieren–Verwerten: Ein Praxisbuch für Naturwissenschaftler mit Schwerpunkt Life Sciences*. Springer-Verlag, 2014.

⁵ Roski, Melanie Birgit. *Spin-off-Unternehmen zwischen Wissenschaft und Wirtschaft: Unternehmensgründungen in wissens- und technologieintensiven Branchen*. Springer, 2011.

⁶ BVDS, HWR Berlin, "Deutscher Startup Monitor", Berlin (2014).

⁷ Freitag, Matthias, et al., eds. *Projektkommunikation: Strategien für temporäre soziale Systeme*. Springer-Verlag, 2011.

⁸ Meier, Sebastian. "The Micro Smart Grid Tabletop—A real world case study for tangible multitouch technologies for communicating complex concepts." *The Proceedings of Workshop Tactile/Haptic User Interfaces for Tabletops and Tablets 2014*. 2014.

Das Thema Verwertung im Q.2.2 wurde unter anderem in Workshops mit Teilnehmern des gesamten Forschungscampus bearbeitet. Details zu den Workshops können der Beschreibung der Ergebnisse des Q.2.1 entnommen werden. Ergebnisse aus dem Q.2.2 zum marktwirtschaftlichen Organisationsmodell wurden bei Statustreffen des TF2 vorgestellt und flossen in die Forschungsarbeiten im TF2 ein. Aus dem Q.3 heraus hatten alle Partner des Forschungscampus die Möglichkeit zur Gestaltung der zeeMo.base. Unter anderem existieren in allen Themenfeldern Demonstrationsunterlagen, welche in der zeeMo.base gezeigt wurden.

Die Erarbeitung der Inhalte im Q.2.1, Q.2.2 und Q.3 erfolgte stets in enger Zusammenarbeit mit der InnoZ und später im Projektzeitraum mit Schneider Electric. Unter anderem wurde gemeinsam mit Schneider Electric ein MST Tisch 2.0 zur Demonstration angeschafft, welcher sich nach Projektabschluss im gemeinsamen Eigentum befindet. Mit dem assoziierten Partner Stromnetz Berlin wurde eng bei der Integration der Second-Life-Batterie in das Micro Smart Grid und der Entwicklung von Messkonzepten für Batterien zusammengearbeitet.

II. Eingehende Darstellung

1. Erzielte Ergebnisse im Einzelnen

a. Q.1 Technisches und betriebliches Management der Forschungsanlagen auf dem EUREF-Campus

Ziel des Arbeitspakets Q.1 war es die Funktionalität der Infrastruktur des Reallabors für die Forschungsaktivitäten in allen Themenfeldern zu gewährleisten. Damit wurde die Grundlage, für die im Projekt Mobility2Grid geplanten Untersuchungen, geboten. Ein weiteres Ziel war es Betriebsstrategien für das Micro Smart Grid (MSG) in enger Verzahnung mit dem AP Q.2.2 zu entwickeln. Die DB Energie war der einzige geförderte Projektpartner in diesem Arbeitspaket. Im Sinne des Zieles des Q.1 führte die DB Energie Untersuchungen zum wirtschaftlichen und technischen Betrieb des MSG durch, entwickelte Betriebsstrategien und evaluierte diese im Realbetrieb.

Energieversorgungsanlagen müssen zum einen nach der Norm DIN VDE 0105-100 „Betrieb von elektrischen Anlagen“⁹ betrieben und zum anderen muss die vor Ort erzeugte Energie verteilt und vermarktet werden. Die heterogenen Eigentümerstrukturen, die aufgrund des Charakters der Dezentralität des Mobility2Grid Ansatzes entstehen, bedürfen weiterentwickelte Modelle und Prozesse für den wirtschaftlichen und technischen Betrieb. Während das Q.2.2 sich mehr auf den wirtschaftlichen Teil der Betriebsaufgaben in einem dezentralen Energieversorgungsnetz bezog, konzentrierten sich die Aufgaben der DB Energie im Q.1 auf den technischen Betrieb. Die bestehenden Prozesse für den Betrieb von Energieversorgungsanlagen bei Netzbetreibern und Betreibern von geschlossenen Verteilnetzen und Kundenanlagen wurden entsprechend der Bedürfnisse des Micro Smart Grids angepasst. Eine Anpassung war erforderlich, weil die bisher etablierten Arten des Netzbetriebs vorsehen, dass es einen Eigentümer der Anlagen gibt. Ein Ergebnis des Q.1 ist das für das Micro Smart Grid entwickelte Betriebsmodell mit Prozessen bei heterogenen Eigentümerstrukturen, dargestellt auf der Abbildung 1.

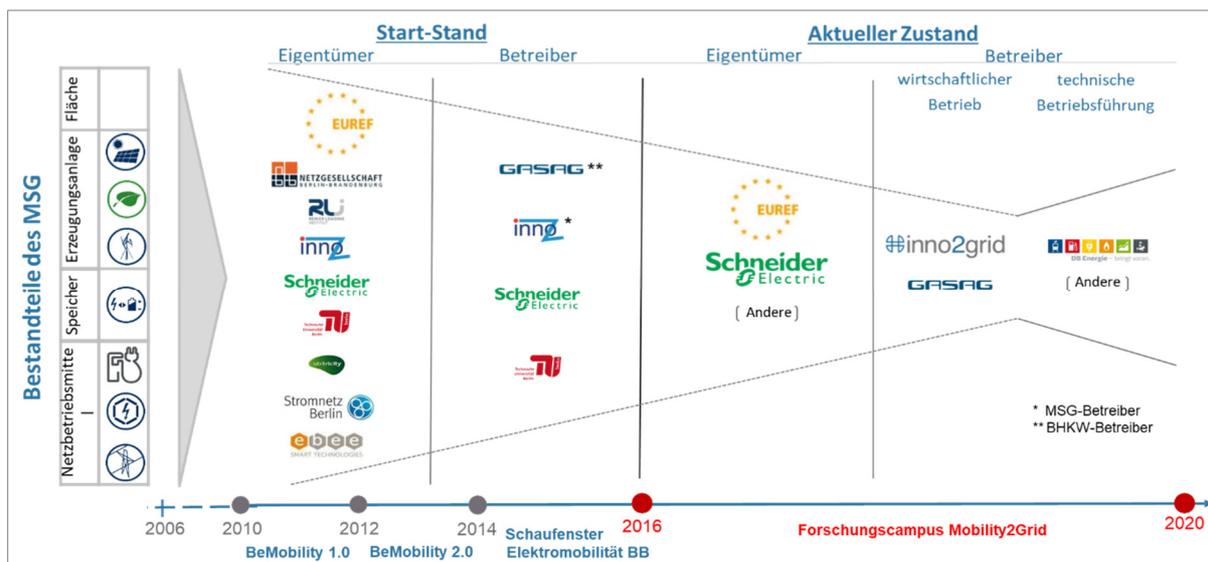


Abbildung 1: Betreibermodell - Konsolidierung der Eigentümerstruktur

⁹ DIN VDE 0105-100:2015-10, Betrieb von elektrischen Anlagen - Teil 100: Allgemeine Festlegungen

Aus der Abbildung 1 ist erkennbar, dass die Eigentümerstruktur unter Schneider Electric konsolidiert wurde. Der wirtschaftliche und technische Betrieb der Anlagen rund um das MSG wurde von der inno2grid übernommen. Dieses Betreibermodell erfordert den Abschluss diverser Verträge, dargestellt in der Abbildung 2. In der Tabelle 1 ist ergänzend dargestellt, über welchen Gegenstand die Akteure die Verträge abschließen.

Tabelle 1: Cluster Verträge

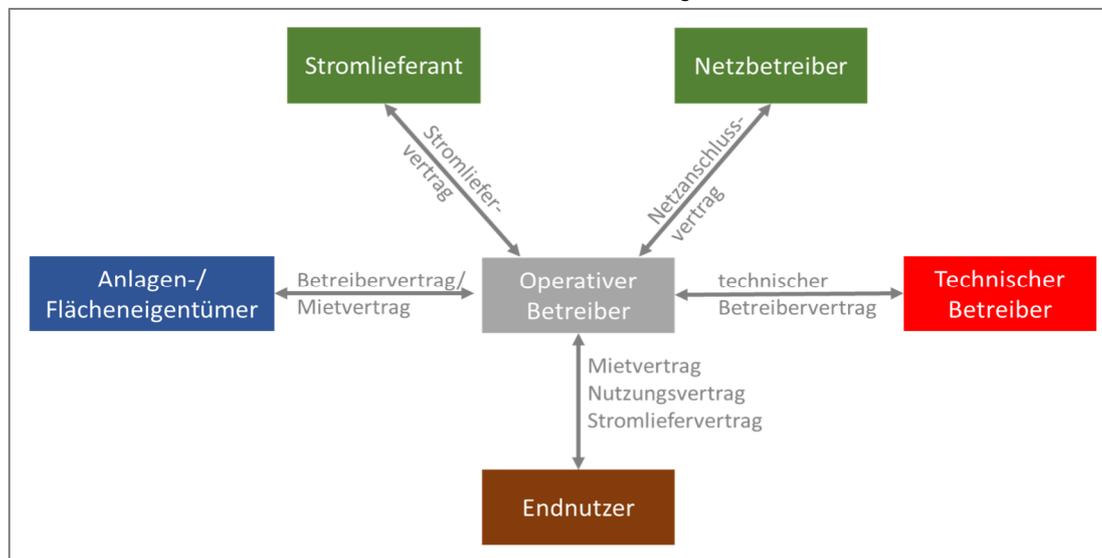


Abbildung 2: Verallgemeinerte Darstellung eines Vertragskatalogs

Akteur 1	Akteur 2	Vertrag	Gegenstand
Verkäufer	Käufer	Kaufvertrag/ Überlassungsvertrag	Anlagen
Anlageneigentümer	Anlagenbetreiber	Betriebsvertrag	PV, KWEA, Speicher, Netzanlagen, Ladeinfrastruktur
Anlagenbetreiber	Technischer Betriebsführer	Vertrag zur technischen Betriebsführung	PV, KWEA, Speicher, Netzanlagen, Ladeinfrastruktur
Netzbetreiber	Anschlussnehmer (Anlageneigentümer)	Netzanschlussvertrag	Trafo
Anlagenbetreiber	Stromabnehmer	Stromliefervertrag	PV, BHKW, KWEA
Flächeneigentümer	Mieter	Mietvertrag/ Gestattungsvertrag	Fläche

Die hier durchgeführten Arbeiten führten zum Abschluss der Meilensteine:

10♦: Überführung bestehender Forschungsanlagen an die i2g

11♦: Übergabe Betrieb MSG

Der Anlagenbetreiber wird in der DIN VDE 0105-100 als der „Unternehmer oder eine von ihm beauftragte natürliche oder juristische Person, die die Unternehmerpflicht für den sicheren Betrieb und den ordnungsgemäßen Zustand der elektrischen Anlage wahrnimmt“ definiert.

Tätigkeiten wie z. B. Verhütung von Arbeitsunfällen, Berufskrankheiten und Einschätzung zu arbeitsbedingten Gesundheitsgefahren obliegen somit dem technischen Betreiber.

Das im Rahmen dieses Arbeitspakets entwickelte Managementhandbuch bildet die in der DIN-Norm festgelegten Inhalte im Rahmen des Vertragswerkes ab. In dem Handbuch werden allgemeine technische Grundlagen beschrieben, es wird auf mögliche Gefahrenpotentiale eingegangen, grundlegendes zum Betrieb von technischen Anlagen geklärt und sämtliche für den Betrieb notwendige Dokumente zusammengefasst. Die betreffenden elektrischen Anlagen werden darüber hinaus vollumfänglich aufgeführt und beschrieben. Weiterhin regelt das Handbuch die Instandhaltung und Wartung der elektrischen Anlagen, die Erweiterung und den Umbau und das Verhalten bei Störungen und Havarien.

Nicht explizit im Betreibervertrag geregelt, aber dennoch als Leistung durch den technischen Betreiber erbracht, ist die Wartung und Instandhaltung der technischen Anlagen des MSG. Dabei umfasst die Instandhaltung alle Tätigkeiten, welche die Funktionsfähigkeiten der Anlagen gewährleisten sollen. Die Instandhaltung beinhaltet somit die Inspektion, Wartung und Instandsetzung. Auch Arbeitsschritte wie Erweiterungen der Anlagen, die Verbesserung und die Schwachstellenanalyse gehören dazu.

Daten aus dem Betrieb des MSG in den Jahren 2016-2020 sind in Abbildung 3 dargestellt. Im Jahr 2020 wurden Daten bis Oktober berücksichtigt. Eine Übersicht über die Anlagen des MSGs ist in Kapitel II.1.d aufgeführt. Die lokale Energieerzeugung stieg in den Jahren 2019-2020 deutlich, weil das Blockheizkraftwerk mehr Energie erzeugte. Der Verbrauch durch Elektrofahrzeuge hatte im Jahr 2017 eine Spitze, da in diesem Jahr die Fahrzeugflotte von CleverShuttle im MSG geladen wurde. Der Autarkiegrad, der das prozentuale Verhältnis zwischen der aus den erneuerbaren Energie-Anlagen (EE-Anlagen) mit Nutzung der Batterie direkt verbrauchter elektrischer Energie und dem Gesamtverbrauch des MSG darstellt, variiert zwischen 39 % - 79%. Der prozentuale Eigenverbrauch als Relation zwischen dem Direktverbrauch aus den EE-Anlagen und der gesamten EE-Erzeugung war in den Jahren 2016-2020 sehr volatil.

Zur Erfassung der Erfahrungen aus dem Betrieb des Reallabors wurden Interviews mit den an dem Betrieb Beteiligten durchgeführt. Hieraus wurden die folgenden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die Messstellenkonzepte für Batterien verhindern die freie Nutzung bei der Beladung und Entladung. Deshalb wurde ein Messkonzept entwickelt, welches die Herausforderung der Batteriemessung löst, s. Kapitel II.1.c. Empfohlen wird, dass dieses Messkonzept in die BDEW Abrechnungskonzepte aufgenommen wird, damit die Netzbetreiber dieses mit Rechtssicherheit verwenden können. Für die Abrechnung wird ein umfassendes Messstellenkonzept, welches die Einzelabrechnung jedes Erzeugers und Speichers ermöglicht, empfohlen. MSG unterliegen stetigen Veränderungen. Ein solches Konzept ermöglicht flexible Anpassung der Betriebsstrategien im MSG. Hierbei ist zu beachten, dass Nachrüstungen meist teurer sind als der Aufbau bei der Errichtung. Vorhandene Kommunikationsschnittstellen bieten zusätzliche Flexibilität. Bei der Verwendung älterer Batteriezellen ist eine Prüfung des Zustands und der Anlagenattribute notwendig. Die im MSG installierte Batterie konnte aufgrund technischer Probleme häufig nicht genutzt werden. In dem Paper¹⁰ wurde die reale Nutzung der Batterie verglichen mit dem theoretischen Potenzial dargestellt.

¹⁰ M. Khemir, M. Rojas, H. Q. Nguyen, R. Popova, T. Feizi, H.Q. Nguyen, J. F. Heinekamp, K. Strunz, "Real-world application of sustainable mobility in urban micro smart grids", *IEEE 3rd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST) in Istanbul, Türkei 2020*

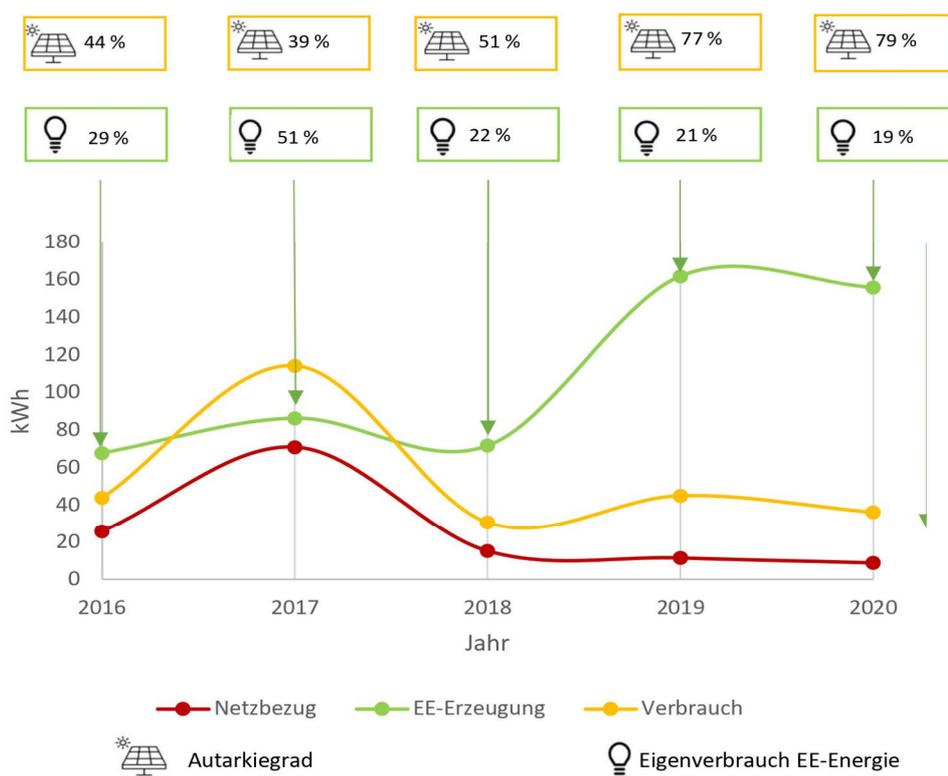


Abbildung 3: Energiedaten aus dem Betrieb des MSG in den Jahren 2016-2020

Des Weiteren wurden in dem Paper für das MSG im QF7 entwickelte Betriebsstrategien beschrieben. Die vier Betriebsstrategien werden in der Tabelle 1 beschrieben. Für die Betriebsstrategien koordinierte Spannungshaltung, Demand Side Management und Erhöhung der Eigenversorgung wurden gemeinsam mit dem TF2 Algorithmen entwickelt. Koordinierte Spannungshaltung und Erhöhung der Eigenversorgung wurden im QF7 im Realbetrieb erprobt. Demand Side Management wurden durch das TF3 mit durch das TF2 bereitgestellten Algorithmen erprobt.

Tabelle 2: Betriebsstrategien für ein Micro Smart Grid

Name Betriebsstrategie	Beschreibung
Koordinierte Spannungshaltung	Zur Gewährleistung der Spannungshaltung in Energieversorgungsnetzen mit regelbaren Ortsnetztransformatoren (rONT) und dezentraler Energieerzeugung, werden die Anlagenparameter zur Spannungshaltung entsprechend der Lösung eines Optimierungsproblems eingestellt
Demand Side Management	Zur Vermeidung von Netzausbau, Reduktion der Netzanschlusskosten, Entlastung der Energienetze und Erhöhung des EE-Anteils im Strommix werden verschiebbare Lasten (z. B. Ladevorgänge der Elektrofahrzeuge) zeitlich gleichmäßig verteilt
Erhöhung der Eigenversorgung	Durch die Kombination von Erzeugungsanlagen, Speicher und Laststeuerung wird der EE-Anteil des lokalen Strommix erhöht
Autarker Inselnetzbetrieb	In netzfernen Gebieten wird die Energieversorgung von kleinen Verbrauchern mit EE-Anlagen und Speichern realisiert

Das Kommunikationsschema zur Erprobung der koordinierten Spannungshaltung im Life-System des Micro Smart Grid (MSG) des EUREF-Campus ist in Abbildung 4 dargestellt. Zur Erprobung wurde der Optimierungsalgorithmus auf einer Virtual Machine eingebunden. Diese erhält von der ClearSCADA reale Messdaten als Input und gibt Set Points für die Betriebsmittel rONT und Wechselrichter aus. Die ClearSCADA übermittle die Set Points an die Betriebsmittel. Die Betriebsstrategie wurde in der kontinuierlichen Regelstrategie mit der Messwerterfassung nach einer festen Abtastezeit erprobt und evaluiert.

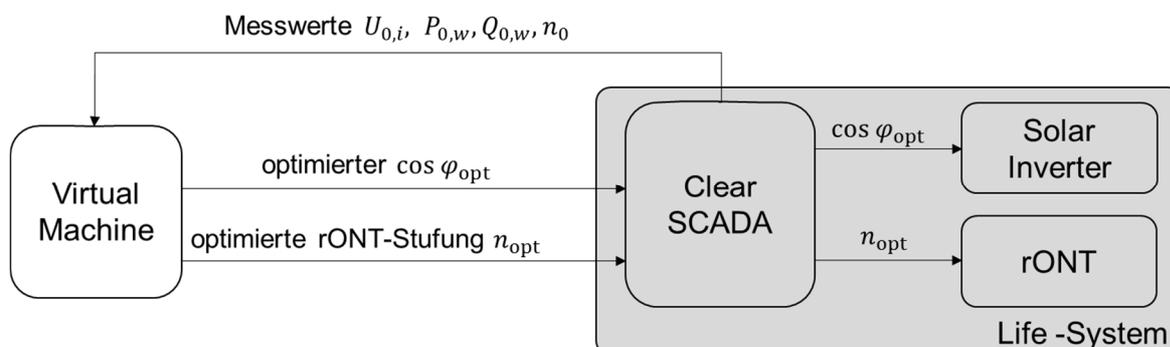


Abbildung 4: Koordinierte Spannungshaltung - Kommunikationsschema

Ausgehend aus der Erprobung wurden Lessons Learned aus den Bereichen Formulierung Optimierungsproblem und Einbindung in das Life-System erfasst, s. Tabelle 3. Die Lessons Learned beziehen sich auf alle an dem Implementierungsschema beteiligten Komponenten. Die Beachtung dieser Lessons Learned erleichtert und beschleunigt die Umsetzung von Betriebsstrategien in einem Life-System.

Tabelle 3: Lessons Learned - Erprobung koordinierte Spannungshaltung

Formulierung Optimierungsproblem	Einbindung in das Life-System
Umsetzung auf Basis von OpenSource-Anwendungen zur Reduktion der Kosten, sowie Nutzung von Entwicklung und Support der OpenSource-Community	Einbindung der realen Messwerte und Set Points auf der Virtual Machine erfordert Übersetzung des Input/Output auf Einheiten aus dem Si-Standard
Bei der Überführung von Matlab auf Python muss aufgrund der unterschiedlichen Syntax (Matlab .lp/Python .ampl) die Formulierung des Optimierungsproblems angepasst werden	Erstellung einer Config-Datei für Betriebsmittel und Netzmodell des Life-Systems zur verbesserten Prozessierbarkeit des p.u.-basierenden Optimierungssystems
Nebenbedingungen sind so zu formulieren, dass Variablen nicht auf den Wert von Null beschränkt werden. Dies kann zu Problemen mit der Lösbarkeit des Optimierungsproblems führen.	Inputdateien für die Optimierung werden direkt aus dem SCADA in das Optimierungsproblem (.ampl) ohne Umgehung über die .txt Datei übergeben
	Bei Steuerungsalgorithmen in der SCADA ist darauf zu achten, dass Variablen im gleichen Zeitschritt synchronisiert werden.
	Verbindung von unterschiedlichen Betriebssystemen über Modbus-Server/Clients
	Nutzung von Messgeräten an benachbarten Knoten, falls Anlagen erforderliche Messwerte nicht liefern

Die Anwendung der Betriebsstrategie koordinierte Spannungshaltung wurde für zwei Zeiträume ausgewertet: Sommer und Winter. Zur Anwendung kam die kontinuierliche Regelstrategie mit unterschiedlichen Timing Element Einstellungen 1-, 3-, 5- und 10-Minuten. Die Timing Element Einstellungen legen die Zeitpunkte für die Übergabe der Messwerte an die Virtual Machine fest. Mit Hilfe der Betriebsstrategie konnten die Spannungsschwankungen in dem MSG Netz reduziert werden.

Es ist erkennbar, dass weder die Photovoltaikenergieerzeugung (PV-Erzeugung), s. Abbildung 5, noch die Lastspitzen, s. Abbildung 6, einen erkennbaren Einfluss auf den Spannungsverlauf haben. In der Tabelle 4 sind die Spannungsabweichungen im Zeitraum der Anwendung der Regelstrategien dargestellt.

Tabelle 4: Ergebnisse der Koordinierten Spannungshaltung für verschiedene Timing Element im Sommer 2019

Timing Element (min)	1	3	5	10
Anzahl Stufen	636	410	369	214
Anzahl Werteänderungen $\cos\phi$	555	339	204	139
Maximale Spannungsdifferenz	+2,24 %	+1,88 %	+2,21 %	+2,74 %
Minimale Spannungsdifferenz	-0,96 %	-1,08 %	-1,20 %	-1,88 %
Mittlere Spannung	399,50 V	399,56 V	399,49 V	399,33 V

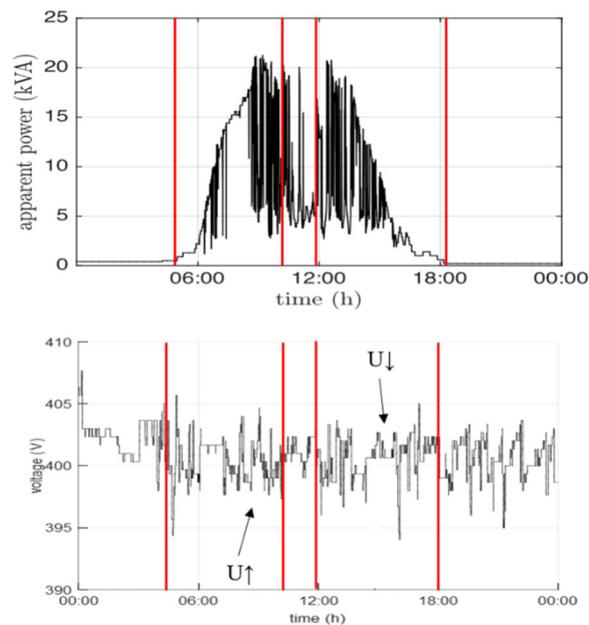


Abbildung 5: Spannung an der CSS1 in Zeiträumen der PV-Produktion

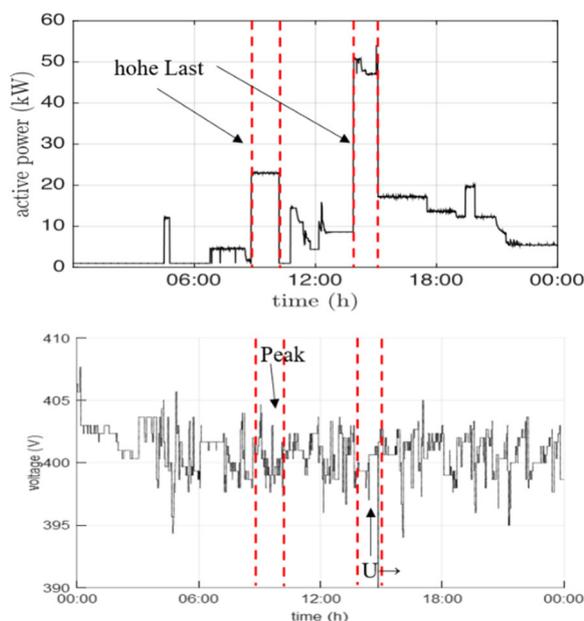


Abbildung 6: Spannung an der CSS1 in Zeiträumen der hohen Lasten

Die Gegenüberstellung der Sommer und Wintermessung liefert folgendes Ergebnis. In Monaten mit geringerer Leistungsfähigkeit muss der Algorithmus seltener eingreifen, um durch Stellung von rONT und Wechselrichter das Netz zur Spannungshaltung zu steuern. Vergleicht man Messdatenreihen des gleichen Timing Elements über einen gleich langen Messzeitraum, so ergibt sich, dass im Winter deutlich weniger Datenpunkte erfasst wurden. Die Anzahl der erfassten Datenpunkte hängt davon ab, wie häufig sich die Spannung an dem betrachteten Knotenpunkt verändert hat und das Netz sich dementsprechend neu einstellen muss. Der Unterschied ist in Abbildung 7 gezeigt. Das gleiche Phänomen spiegelt sich in den Einstellungen an rONT und Wechselrichter wider. Wie in Abbildung 8 dargestellt, stuft der rONT in der Wintermessung deutlich seltener hoch oder runter als in der Messung vom Sommer. Im Sommer ist tagsüber eine dauerhaft hohe Leistungserzeugung an der PV Anlage zu messen. Wird die PV Anlage kurzfristig verschattet, ist die Spannungseinspeisung entsprechend kurzfristig viel geringer und sorgt für eine Änderung im Netz, auf die rONT und Wechselrichter reagieren müssen. Im Winter hat die Verschattung einen geringeren Einfluss auf die Spannungsstabilität. Die Leistungseinspeisung ist von vornherein geringer, sodass eine Verschattung für geringfügigere Spannungsänderung im Netz sorgt, als es im Sommer der Fall ist. rONT und Wechselrichter müssen seltener auf Instabilität reagieren.

Abbildung 7 zeigt zusätzlich, dass an den meisten Messpunkten die Spannung genau bzw. geringfügig ober- oder unterhalb von 400V lag. Dies zeugt davon, dass der Algorithmus funktioniert und dieser die Spannung stabil bei der Referenzspannung hält. Die Funktion des Algorithmus konnte bei der Wintermessung auch durch einen Fehler im System (Abbildung 9) bewiesen werden. Während der Datenerfassung mit 3 Minuten Timing Element kam es am 24. Februar 2020 zu einem Fehler im System und der Algorithmus konnte einige Stunden nicht mit dem Netz kommunizieren. In dieser Zeit ist die Spannung im Netz deutlich abgesunken. Wie man in Abbildung 9 erkennt, hat sich die Spannung aber wieder erholt, sobald die Steuerung mit dem Algorithmus wieder in Betrieb ging.

In Tabelle 5 sind die Ergebnisse für die koordinierte Spannungshaltung bei den verschiedenen Timing Element Einstellungen für den Winter aufgeführt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Koordinierten Spannungshaltung für verschiedene Timing Element im Winter 2020

Timing Element (min)	1	3	5	10
Anzahl Stufungen	349	204	119	126
Anzahl Werteänderungen $\cos\varphi$	502	262	164	162
Maximale Spannungsabweichung nach oben	+1,39115%	+1,45585%	+1,39155%	+1,898%
Maximale Spannungsabweichung nach unten	-0,77355%	-2,204%	-1,2655%	-1,289%
Mittlere Spannung (V)	400,0127	399,7086	399,7083	400,3124

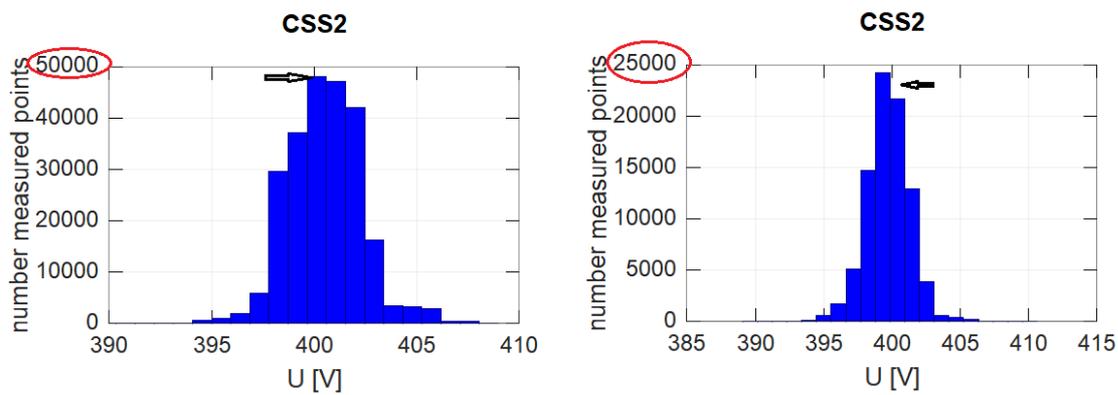


Abbildung 7: Spannung am Knoten des CSS2 über den Zeitraum von 6 Tagen im Sommer (links) und Winter (rechts)

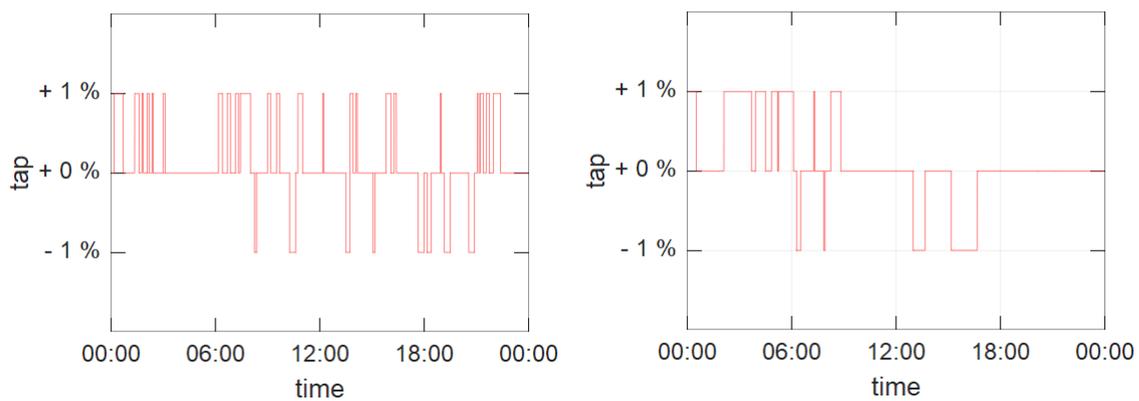


Abbildung 8: RONT Schaltung an einem Tag im Sommer am 11.08.2019 (links) und Winter am 02.03.2020 (rechts)

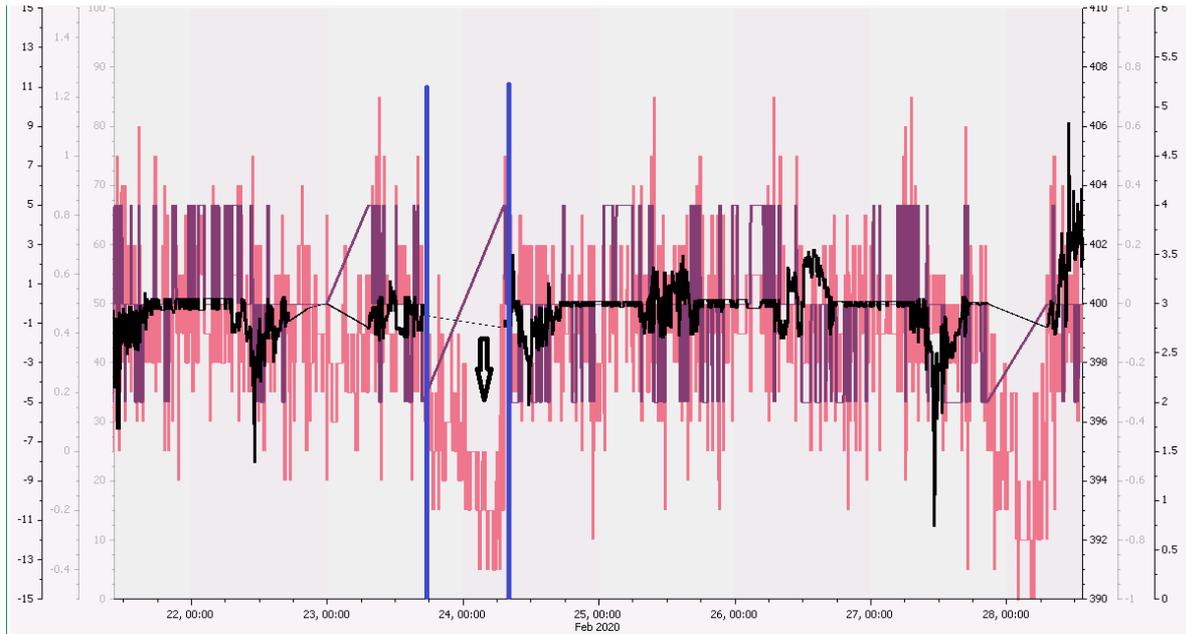


Abbildung 9: Spannungsverlauf der 3 Minuten Messdatenreihe mit Systemfehler - Februar 2020

Des Weiteren wurden Spannungsabweichungen für Zeiträume im Sommer (S) und im Winter (W) mit Zeiträumen in der gleichen Jahreszeit ohne den Einsatz koordinierter Spannungshaltung verglichen. Bei diesem Vergleich ist zu beachten, dass aufgrund des Realbetriebs die Betriebsbedingungen in den Zeiträumen mit und ohne koordinierte Spannungshaltung nicht zu 100 % dieselben sind. Ergebnisse sind in Abbildung 10 dargestellt. Das obere und untere Quantil ist bei den Messungen ohne koordinierte Spannungshaltung breiter als bei Messungen mit koordinierter Spannungshaltung. Daraus kann abgeleitet werden, dass die koordinierte Spannungshaltung die Spannungsabweichungen vom Referenzwert reduziert hat.

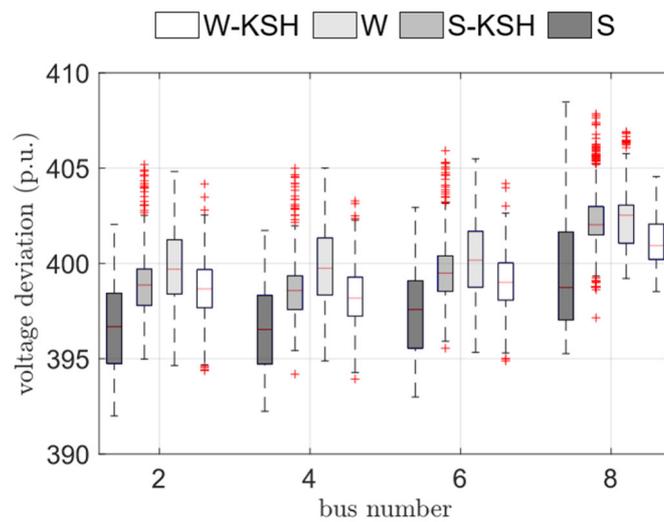


Abbildung 10: Spannungsabweichungen an verschiedenen Knoten mit (W-KSH; S-KSH) und ohne (W; S) Einsatz koordinierter Spannungshaltung

Da die Timing Element Einstellung von 5-Minuten die geringsten Spannungsabweichungen in Verbindung mit der geringsten Betriebsmittelbeanspruchung und einem angemessenen Schwingungsverhalten aufwies, wurde diese im Regelbetrieb eingesetzt. Der Regelbetrieb fand außerhalb der ausgewerteten Zeiträume statt.

Nach der Installation des Second-Life-Batteriesystems von Audi wurden unterschiedliche Betriebsszenarien für das Batteriesystem definiert. Dabei wurde mit dem assoziierten Partner Audi zusammengearbeitet. Die Betriebsszenarien sind in der Tabelle 6 aufgelistet. Das Batteriesystem wird im Regelbetrieb in der Betriebsstrategie Erhöhung der Eigenversorgung eingesetzt. Diese Betriebsstrategie wurde ausgewählt, da unter den aktuellen rechtlich-regulatorischen Rahmenbedingungen diese den größten wirtschaftlichen Mehrwert verspricht. Dies ging aus den Untersuchungen im Q.2.2 hervor. Da die Erhöhung der Eigenversorgung eine Betriebsstrategie ist, welche auch auf andere Standorte übertragen werden kann, interessiert die Projektpartner das Verhalten des Second-Use-Batteriesystems im Betrieb beim Einsatz dieser Betriebsstrategie. Deshalb wurden State of Health (SoH) Messungen für das Batteriesystem in die Liste der Betriebsszenarien aufgenommen.

Tabelle 6: Betriebsszenarien für die Nutzung der stationären Batterie

Betriebsszenario	Ziel	Herausforderung
Erhöhung der Eigenversorgung	Bisherige Ergebnisse mit beiden Algorithmen validieren	Prognosen erforderlich
Demand Side Management	Vorhandenen regel- und prognosebasierte Algorithmen testen	Einbindung der Elektrofahrzeuge für optimierungsbasierten Algorithmus
Einbindung in das Virtuelle Kraftwerk	Steuerung der Batterie mit Vorgaben aus High-LEIT-System der TU Berlin	Umsetzung der Protokolle
State of Health (SoH) Messungen	Erstellung eines Batteriemodells anhand der Finite Elemente Methode	Beschränkung durch rechtlich-regulatorische Rahmenbedingungen
Einbindung in koordinierte Spannungshaltung	Blindleistungsbereitstellung durch den Wechselrichter	Entscheidung zur Steuerung der Wirkleistung

Die Erprobung der Betriebsstrategie koordinierte Spannungshaltung und die Entwicklung von weiteren Betriebsstrategien für das MSG und die Second-Life-Batterie führten zu dem Abschluss folgender Meilensteine:

12◆: Tests Betriebsszenarien im MSG

13◆: Entwicklung Betriebsstrategien

b. Q.2.1 Verwertungsstrategie und Verwertung aus dem operativen Betrieb

Das Ziel des Arbeitspaketes Q.2.1 „Verwertungsstrategie und Verwertung aus dem operativen Betrieb“ ist das Schaffen eines Frameworks zur schnellen und effektiven wirtschaftlichen Verwertung von Projektergebnissen im Forschungscampus. Hierzu werden verwertbare Ideen aus dem Forschungscampus identifiziert und gemeinsam mit Partnern zu Geschäftsmodellen weiterentwickelt. Durch die Anwendung fundierter Methoden und Maßnahmen, sowie die

Organisation von Workshops mit interdisziplinären Teilnehmern werden die Projektpartner bei der Umsetzung der Verwertungsideen unterstützt. Außerdem soll durch die Workshops mit Teilnehmern die Bildung von Partnerschaften bei der Umsetzung der Verwertungsideen innerhalb des Projektkonsortiums gefördert werden.

Im Zeitraum von fünf Jahren wurde eine qualitative Recherche zu ähnlichen Forschungsprojekten, sowie Befragungen der wissenschaftlichen Partner zu Verwertungsideen durchgeführt. Die Unterstützung der Projektpartner findet in Form von Workshops statt. Konzepte für Verwertungsideen werden in einem Business Model Canvas festgehalten, um Geschäftsideen weiterzuentwickeln und diese auf ihre Marktfähigkeit zu überprüfen. Im Anschluss daran wird ein Geschäftsmodell mit Hilfe des Business Model Navigators erstellt. Hierbei sucht man erst eine Grundphilosophie und anschließend ein Modell zur Generierung von Geldflüssen. Je nach Verwertungsidee wird in den Workshops auch auf individuelle Bedürfnisse des Konzepts eingegangen. In Abbildung 11 ist die Vorgehensweise in dem Arbeitspaket Q2.1 innerhalb der Projektlaufzeit dargestellt. Die Vorgehensweise führte zum Abschluss folgender Meilensteine:

15♦: Potential-Screenings für Verwertung innerhalb der Themenfelder

16♦: Ausarbeitung Verwertungsstrategie

17♦: 1. Report – Verwertung

In der Tabelle 7 sind die durchgeführten Workshops mit den Themen aufgelistet. Ergebnisse der Workshops sowie Darstellungen anderer Forschungsprojekte können dem 1. und 2. Report – Verwertung entnommen werden.



Abbildung 11: Vorgehensweise im Arbeitspaket Q.2.1

Tabelle 7: Durchgeführte Workshops zum Verwertungsthema

Themenfeld	Name des Forschungsergebnisses	Datum des Workshops	Teilnehmer	Welches Problem wird gelöst?
TF1 / TF5	Beratungskonzept / Zielgruppenorientierte Weiterbildungsformate	11.12.2017	Bencon Energies (assoziiertes Partner), DB Energie, InnoZ, TU Berlin, MPM, WZB	Bei der Verbindung von Energie- und Verkehrswende in städtischen Arealen im Allgemeinen, und bei der Nutzung von Batterien elektromobiler Fahrzeuge als Speicher im intelligenten Stromnetz im Mobility2Grid-Modell im Besonderen, stellt sich das Problem, dass die dafür notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten nicht

				vorausgesetzt werden können. Daher besteht Bedarf, diese durch zielgruppene geeignete Weiterbildungsformate zu vermitteln.
Tf2	Einsatz autarker Stromversorgung mit erneuerbaren Energiequellen bei dezentralen Bahnanlagen	04.04.2017	Bencon Energies (assoziiertes Partner), DB Energie, InnoZ	Im 50 Hz Bahnnetz der DB Energie sind viele Verbraucher angeschlossen, die weit vom Netz entfernt sind und / oder eine geringe Volllaststundenzahl aufweisen (z.B. Bahnübergänge, Steuerungen von Weichenheizungen, Bahnhöfe...) Diese könnten sich besonders für eine autarke Versorgung eignen (Peak Shaving oder Inselnetzbetrieb). Dabei werden die hohen Netznutzungsentgelte zur Leistungsvorhaltung reduziert.
	Betreibermodell	12.04.2019 19.05.2019	DB Energie, Schneider Electric	Durch welche Unternehmen kann das Geschäftsmodell für den Betrieb von Ladeinfrastruktur betrachtet werden? (Komponentenhersteller, Netzbetreiber oder Fahrzeugflottenbetreiber)
	Produktentwicklung Lademanagement	11.06.2019	DB Energie, Schneider Electric, Inno2grid	Es wurde die Verwertungsidee für ein gemeinsames Lademanagement ausgewertet
TF4	Betrieb von Ladeinfrastruktur durch Netzbetreiber	20.06.2018	BSR, BVG, DB Energie, Schneider Electric, Siemens, Stromnetz Berlin (assoziiertes Partner), TU Berlin, SENSE, MPM	Was ist der Mehrwert beim Betrieb von Ladeinfrastruktur?

TF6	Digitale Mobility2Grid-Dienste: Campus Navi	01.06.2018 22.11.2018	Model Canvas: DB Energie, EICT, FZI, InnoZ, TU Berlin, DAI Labor Model Navigator: DB Energie, EICT, innoZ, FZI Workshop Ideenfindung: Schneider Electric, Inno2grid, DAI, FZI, EICT, DB Energie, TU Berlin	Besserer und komfortabler Zugang zu Ladeinfrastrukturen, Integration von (öffentlicher/ geshareter) Elektromobilität in das alltägliche Mobilitätsverhalten
Alle TF	Transfer Workshop	15.11.2019	DB Energie, TU Berlin (SENSE, ARTE, SPB), inno2grid, Fraunhofer ISE, HTW Berlin, Stromnetz Berlin, Siemens, Bencon Energies, Hsubject	Wie lassen sich in der I. Förderphase entwickelte Ergebnisse verwerten? Wie kann es ein Transfer von I Förderphase zu II. Förderphase gelingen und was für Formen von Transfer sind es in der II. Förderphase möglich?

Ausgehend von Ergebnissen des Projekt-Screenings wurden im Projektzeitraum Business Model Canvas Workshops zur Entwicklung von Geschäftsmodellen aus den Verwertungsideen mit allen Themenfeldern durchgeführt. Die Business Model Canvas¹¹ helfen die Verwertungsideen zu visualisieren und auf ihre wirtschaftlich sinnvolle Umsetzbarkeit zu prüfen. Hierzu werden im Workshop Schlüsselfaktoren des Geschäftsmodells diskutiert und in das Canvas eingetragen. Nach dem Ausfüllen der Canvas werden Handlungsfelder und fehlende Ressourcen sichtbar.

Die Methode der Business Model Canvas wurde mit dem Business Model Navigator¹² ergänzt. Bei einem Workshop nach der Methode des Business Model Navigator diskutieren die Teilnehmer die Anwendung von vorher ausgewählten Geschäftsmodellmustern auf die Verwertungsidee. Die Geschäftsmodellmuster gehen auf mindestens zwei der vier Dimensionen eines Geschäftsmodells ein:

¹¹ Osterwalder A. et al: "Business Model Generation – Ein Handbuch für Visionäre Spielveränderer und Herausforderer". Campus Verlag, 2011

¹² Gassmann O. et al: "Geschäftsmodelle entwickeln: 55 innovative Konzepte mit dem St. Galler Business Model Navigator", 2. Auflage, Carl Hanser Verlag GmbH Co KG, München, 2017

- Der Kunde – wer sind unsere Zielkunden?
- Das Nutzenversprechen – was bieten wir den Kunden an?
- Die Wertschöpfungskette – wie stellen wir die Leistung her?
- Die Ertragsmechanik – wie wird Wert erzielt?

Durch die Auswahl von Mustern für die Anwendung in der Umsetzung der Verwertungs idee wird bei diesem Workshop das Geschäftsmodell mit allen vier Dimensionen definiert. In Rahmen des Forschungsprojekt wurden verschiedene Verwertungsworkshops im Bereich Bildung bis zur Entwicklung und zum Betrieb der elektrischen Anlagen in einem Smart Grid durchgeführt.

Die wesentlichen Lessons Learned für den Prozess der Verwertungsunterstützung durch das übergeordnetes Querschnittsfeld sind im Folgenden zusammengefasst. Es wird empfohlen, die Lessons Learned aus dem Forschungscampus Mobility2Grid auf weitere Kooperationsprojekte in der anwendungsorientierten Grundlagenforschung zu übertragen.

- Abfragen von komplexen Inhalten über Fragebögen sind nicht zu empfehlen. Es ist besser, den direkten Dialog mit den zu Befragenden zu suchen. Ein telefonisches oder persönliches Gespräch wird als weniger aufwendig als das Ausfüllen eines Fragebogens wahrgenommen.
- Projektbeteiligte mit Aufgaben im gesamten Projekt müssen gute Beziehungen zu den Projektbeteiligten aufbauen. Das steigert die Bereitschaft die Angebote anzunehmen.
- Workshops mit der Methode der Business Model Canvas und des Business Model Navigators sind nur für die Entwicklung von neuen Ideen geeignet. Weitere Ausarbeitung dieser Ideen erfordert eine kreative Methodenwahl.
- Gemeinsame Verwertung ist nicht selbstverständlich und muss gefördert werden. Dies kann über das Verankern der gemeinsamen Verwertung in den Anträgen erfolgen oder über einen Projektbeteiligten, der übergeordnet agiert und über die Motivation verfügt, gemeinsame Verwertung zu fördern.
- Demonstratoren stellen einen wesentlichen Beitrag zur Verwertung bei, z. B. zum Anschließen von weiteren Technologienentwicklungen oder der Akquise von Kunden.
- Gemeinsame Verwertung kann über die Entwicklung eines gemeinsamen Produkts erfolgen, oder durch die Einbindung der Projektpartner in den Produktentwicklungsprozess als Kunden.

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurde die Umsetzung von Verwertungs ideen, die im Rahmen von M2G entstanden, begleitet. Die eingesetzte Methodik und Ergebnisse wurden in dem Paper¹³ veröffentlicht. Bei jedem Workshop waren interdisziplinäre Teilnehmer, aus sowohl geförderten als auch assoziierten Partnern von M2G, anwesend.

Mit Hinblick auf die II. Förderphase wurden Transfer- und Verwertungsthemen für diese neue Phase erstellt. Wichtig ist, dass diese Themen während der folgenden 5 Jahren auch weiter verfolgt werden. Da sich die Business Model Canvas und Business Navigator Workshops bewährt haben, sollen diese auch in Zukunft angewandt werden, um Ergebnisse von M2G zu verwerten.

Durch den Akteur QF7 im Forschungscampus konnte die Beziehungen zwischen den Projektpartnern verbessern werden. In den Workshops haben sich Partner kennengelernt,

¹³ M. Khemir, S. Bauer, R. Popova, T. Feizi, B. Böhm, "Experiences with Product Development Methodology in the Public-Private Research Campus Mobility2Grid", *8th International Conference on New Ideas in Budapest, Ungarn 2021*

welche nicht innerhalb der Pakete zusammengearbeitet haben. So konnten neue Geschäftsbeziehungen entstehen. Das QF7 hatte durch die Projektstruktur die Mittel und Motivation diesen Prozess zu treiben. Die Einbindung der wissenschaftlichen Partner und der Fokus des Projekts auf Grundlagenforschung hat sich im Verwertungsprozess herausfordernd dargestellt.

c. Q.2.2 Entwicklung und Implementierung eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells für das MSG

Die Arbeiten in diesem Arbeitspaket konzentrierten sich auf die Entwicklung eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells für das MSG. Ziel des Arbeitspaketes war es kooperative Geschäfts- und Marktmodelle zu generieren und evaluieren. In diesem Sinne wurde ein Leitfaden entwickelt, um die im MSG des EUREF-Campus gemachten Erfahrungen hinsichtlich der Organisationsmodelle auf andere Areale übertragbar zu machen und eine Handlungshilfe bei dem Aufbau eines Organisationsmodells zu sein.

Die Entwicklung eines Leitfadens für marktwirtschaftliche Organisationsmodelle in Micro Grids führten zu dem Abschluss folgender Meilensteine:

19♦: Konzeption des marktwirtschaftlichen Organisationsmodells

20♦: Abschluss Feststellung des Ist-Zustandes – rechtlich

- Prüfung und Würdigung aller rechtlich/regulatorisch tangierten Bereiche
- Expertengespräche/Recherche/

21♦: Abschluss Feststellung des Ist-Zustandes – technisch

23♦: Abschluss Aufbau und Implementierung der Energiemanagement- und ggf. Energieversorgungsgesellschaft

25♦: Abgabe Report für marktwirtschaftliche Organisationsmodelle in MSGs

Der Leitfaden dient dazu, den Übergang von einem Forschungsgegenstand zu einem marktwirtschaftlichen Organisationsmodell idealtypisch aufzuzeigen und dabei wesentliche Rollen, Typologien und rechtliche Rahmenbedingungen zu benennen, welche dabei Berücksichtigung finden sollen. Des Weiteren werden Möglichkeiten aufgezeigt marktwirtschaftliche Organisations- und Geschäftsmodelle für Micro Grids (MGs) auf Arealen unter den aktuell geltenden energiewirtschaftlichen Rahmenbedingungen mit Fokus auf die Wirtschaftlichkeit des Betriebs zu implementieren.

Das Vorgehen wird auf Basis der Erfahrungen des MSG auf dem EUREF-Campus und am SüdX dargestellt, wobei sichergestellt wird, dass sich die marktwirtschaftlichen Organisationsmodelle auf andere Arealtypen übertragen lassen.

Es wird der grundsätzliche Aufbau eines MG vorgestellt. Dies beinhaltet die Untersuchung der unterschiedlichen Typologien der infrage kommenden Areale, die Darstellung der notwendigen Systemkomponenten und Betriebsmittel sowie Vernetzungs- und Kommunikationsmodelle. Darüber hinaus wird der energierechtliche Rahmen beschrieben und verschiedene Geschäftsmodelle werden unter Einbeziehung der Betriebsweise verschiedener Anlagen inklusive Ladeinfrastruktur (LIS) für Elektrofahrzeuge erläutert. Um die Analyse zu veranschaulichen, wird an den entsprechenden Stellen Bezug auf die Praxisbeispiele EUREF-Campus und Südkreuz genommen und werden Handlungsempfehlungen für den Aufbau und Betrieb eines MG abgegeben.

In Bereich energietechnischer Rahmen wurden die Akteure in einem MG definiert, Möglichkeiten zum Erhalt von Förderungen für EE-Erzeugung und Vorgehensweisen zur Energiekostenreduktion vorgestellt. Der energierechtliche Rahmen wirkt sich auf die Dimensionierung der Anlagen beim Aufbau und den Betrieb eines MGs aus. Für den Eigentümer und/oder Betreiber von Anlagen zur erneuerbaren Energieerzeugung bestehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Inanspruchnahme von Förderungen. Diese sind von Anlagenbaujahr, als auch von der Anlagengröße abhängig. Das Anlagenbaujahr ist entscheidend dafür, welche Fassung des EEG gilt. Anlagen unterschiedlicher Größe erhalten unterschiedliche Fördersummen.

Das Aufsetzen eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells für das MG erfordert den Einbezug der Akteure. Für das Modell müssen die Akteure, sowie die Informations- und Mitteilungspflichten zwischen den Akteuren bekannt sein. An der Energieversorgung beteiligt sich ein geschlossener Kreis von Anlageeigentümern und Marktteilnehmern aus den Bereichen der Energieerzeugung, Energieverteilung und dem Energieverbrauch. Die Rollenträger bei Energielieferungen sind entweder über die physikalische, vertragliche und/oder informationstechnische Ebene miteinander verbunden.

Der Rahmen zur Inanspruchnahme der Förderungsmöglichkeiten von Erzeugungsanlagen im MG, wird durch die Beziehungsmuster Eigenversorgung, Direkteinspeisung, Direktvermarktung oder Direktlieferung festgelegt. Die Definition einzelner Förderungsmöglichkeit ist im Leitfaden ausführlich geschrieben. Die Muster können auch ohne Inanspruchnahme der Förderung im marktwirtschaftlichen Organisationsmodell des MG genutzt werden. Vorteile sowie Nachteile der Muster werden in der nachfolgenden Tabelle 8 zusammengefasst. Zusätzlich veranschaulicht Abbildung 12 die Vertragsbeziehungen, den Geldfluss und den Stromfluss zwischen den Akteuren im MG bei der Anwendung dieser Muster. Die nachfolgend aufgelisteten Akteure eines MG wurden im Leitfaden ausführlich definiert:

- Eigentümer
- Anlagenbetreiber
- Anschlussnehmer
- Anschlussnutzer
- Energieversorgungsunternehmen
- Elektrizitätsversorgungsunternehmen (Stromlieferant)
- Verteilnetzbetreiber (Betreiber von Elektrizitätsverteilernetzen)
- Übertragungsnetzbetreiber (Betreiber von Übertragungsnetzen)
- Messstellenbetreiber
- Bilanzkreisverantwortlicher
- Direktvermarktungsunternehmen
- Letztverbraucher
- Sonderrolle Speicher

Tabelle 8: Vor- und Nachteile der Muster

Muster	Eigenversorgung	Direkteinspeisung	Direktvermarktung	Direktlieferung
Gesetzliche Grundlagen	Def. Eigenverbrauch: Der Verbrauch von Strom, den eine natürliche oder juristische Person im unmittelbaren räumlichen Zusammenhang mit der Stromerzeugungsanlage selbst verbraucht, wenn der Strom nicht durch ein Netz durchgeleitet wird und diese Person die Stromerzeugungsanlage selbst betreibt (§3 Nr. 19 EEG 2017)	Verteilnetzbetreiber sind nach § 8 EEG 2017 verpflichtet, die Einspeisung dezentral produzierten Stroms aus EE und Grubengas zu ermöglichen. Der Anspruch auf eine Einspeisevergütung besteht für Strom aus Anlagen mit einer installierten Leistung von bis zu 100 kW (§21 EEG 2017).	Anlagenbetreiber sind verpflichtet für erneuerbaren Strom aus Anlagen mit einer installierten Leistung von über 100 kW direkt zu vermarkten (§21 EEG 2017).	Keine gesetzliche Definition. Als Direktlieferung wird der Verbrauch in unmittelbarem räumlichem Zusammenhang mit der Energieerzeugungsanlage an Dritte bezeichnet, ohne Nutzung eines öffentlichen Netzes, wie bspw. beim Mieterstrommodell.
Beteiligte Vertragspartner	Anlagenbetreiber Letztverbraucher Übertragungsnetzbetreiber	Anlagenbetreiber Verteilnetzbetreiber	Anlagenbetreiber Verteilnetzbetreiber Direktvermarktungsunternehmen	Anlagenbetreiber Letztverbraucher Verteilnetzbetreiber Übertragungsnetzbetreiber Direktvermarktungsunternehmen
Vorteile	Versorgungssicherheit, Netzentlastung, Kostenvorteile Entfall der Netzentgelte, Konzessionsabgaben, Stromsteuer und weiterer Umlagen Reduzierte EEG-Umlage bei der Erfüllung bestimmter anlagenspezifischer Voraussetzungen (§61-§61I EEG 2017)	für 20 Jahre gesicherte Einspeisevergütung (§ 25 EEG 2017)	Ausnutzung der Marktprämie steigende Akzeptanz gegenüber dezentraler Energieerzeugung Erzeuger folgen netzdienlich dem Energiemarkt	steigende Akzeptanz gegenüber dezentraler Energieerzeugung Entfall der Netzentgelte, Konzessionsabgaben, Stromsteuer und weiterer Umlagen Mieterstromzuschlag für Anlagenbetreiber (wenn Voraussetzungen für Anwendung Mieterstrommodell gegeben)
Nachteile	energierechtliche Pflichten wie bspw. Melde- und Mitteilungspflicht (§74a EEG 2017)	Belastung des Netzes Einschränkungen abhängig von Anlagengröße und Datum der Inbetriebnahme	Erhöhter Verwaltungsaufwand Anlagen müssen fernsteuerbar sein (§20 EEG 2017)	energierechtliche Pflichten wie bspw. Melde- und Anzeigepflichten, Gestaltung des Stromlieferungsvertrages oder Pflichten bei der Rechnungserstattung (§74 EEG 2017)

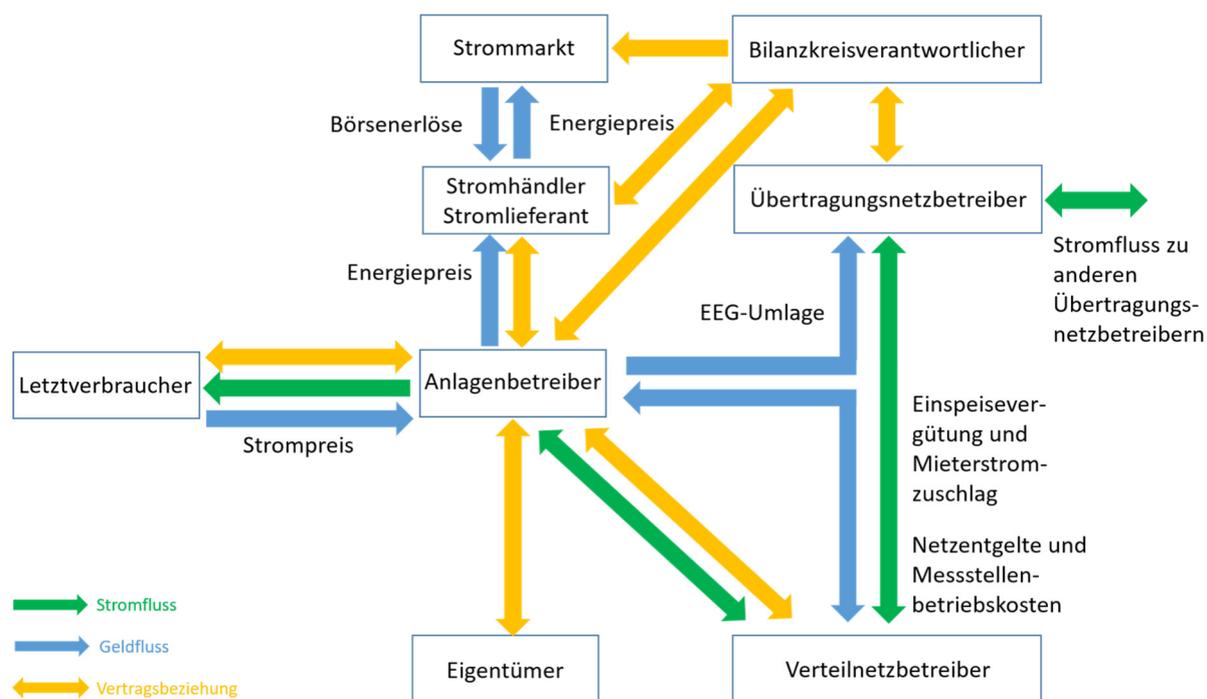


Abbildung 12: Vertragsbeziehungen, Geld- und Stromfluss zwischen den Akteuren im MG

In dem aktuellen rechtlich-regulatorischen Rahmen gibt es unterschiedliche auf die Verbraucher einwirkende Instrumente, welche den Netzbetreibern den Betrieb erleichtern sollen. Verbraucher erhalten dabei die Möglichkeit ihre Energiebezugskosten zu reduzieren. Denn Verbraucher stellen eine Belastung für die vorgelagerten Energienetze dar. Bei dem Energiebezug ist die Spitze der bezogenen Leistung, sowie die Energiemenge für eine Bemessung der Belastung relevant. Unterstützend für den Netzbetrieb ist eine Prognostizierbarkeit von Erzeugung und Lasten. Prognoseabweichungen werden über die Bereitstellung von Regelleistung ausgeglichen.

In der Abbildung 13 ist eine Übersicht von Maßnahmen zur Verringerung der Energiekosten aufgeführt. Diese kann man in fünf verschiedene Kategorien einteilen: Reduktion des Netzbezugs, Reduktion der Netzanschlusskosten, Reduktion der Netzentgelte, Reduktion der Energiekosten und Bereitstellung von Regelleistung. Die Rahmenbedingungen und Fördermöglichkeiten zur Reduktion des Netzbezugs durch die Installation lokaler Erzeugungsanlagen sind im Leitfaden erläutert. Eine andere Möglichkeit zur Verringerung der Kosten ist die Senkung der Netzanschlusskosten, die bei kleinerer Lastspitze sinken. Durch DSM kann die Last zeitlich gleichmäßig verteilt und die Lastspitze vermieden werden. Ist bei der Installation der Energieversorgung eine kleinere Lastspitze geplant, werden für den Transformator geringere Leistungen und kleinere Kabelquerschnitte benötigt. Diese Faktoren können zur Verringerung der Investitionskosten (CAPEX) führen. Zur Einsparung von Energiekosten (Betriebskosten/OPEX) mit dem DSM stehen nach den aktuellen rechtlichen Rahmenbedingungen folgende, weitere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Reduktion von Lastspitzen → kleinerer Leistungspreis
- § 19 StromNEV Erhöhung der Vollbenutzungsstunden → reduzierte Netznutzungsentgelte
- § 14 a EnWG Abschaltbare Lasten → reduzierte Netznutzungsentgelte
- § 26 a StromNZV Bereitstellung von Regelleistung → reduzierte Netznutzungsentgelte

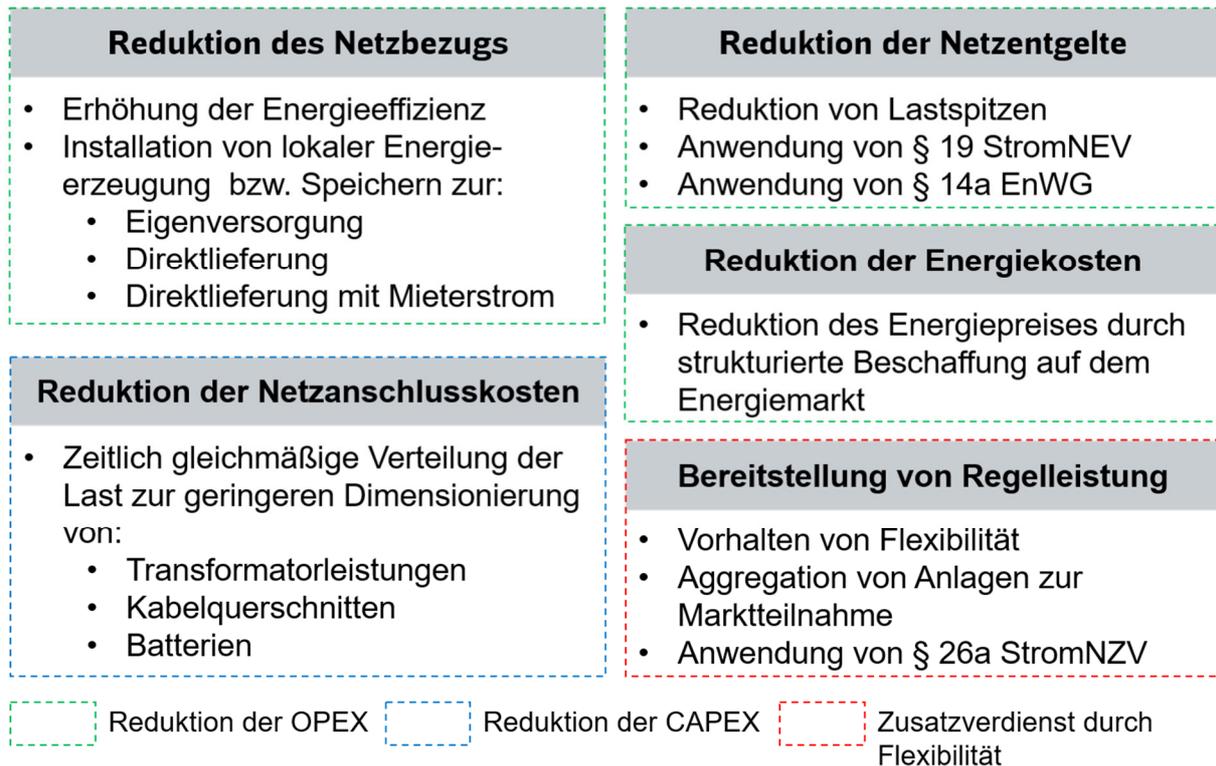


Abbildung 13: Maßnahmen zur Verringerung der Energiekosten

Verbraucher mit registrierter Leistungsmessung bezahlen bei den Netzentgelten neben dem Arbeitspreis (€/kWh) einen Leistungspreis (€/kWp). Der Leistungspreis wird auf den höchsten 15-Minuten-Leistungswert P_{max} innerhalb der Höchstlastzeitfenster im Jahr bezahlt. Die Preise sind von der Jahresbenutzungsdauer T abhängig. Diese ergibt sich aus der Energiemenge E und P_{max} .

$$T = \frac{E}{P_{max}}$$

Die Preise variieren in Abhängigkeit von Netzbetreiber und Region. Gemeinsam haben alle Netzbetreiber, dass bei $T > 2500$ h der Arbeitspreis steigt und der Leistungspreis sinkt. Nach § 19 StromNEV haben Verbraucher mit einer Jahresbenutzungsdauer ab 7000 h und einem Verbrauch über 10 GWh die Möglichkeit reduzierte Netznutzungsentgelte zu verhandeln, z. B. bei $7000 \text{ h} < T < 7500 \text{ h}$ auf minimal 20 %.

Eine Erhöhung der Jahresbenutzungsdauer kann somit zu erheblichen Einsparungen bei den Netznutzungsentgelten führen. Zur Erhöhung der Jahresbenutzungsdauer stehen zwei Möglichkeiten zur Verfügung: Erhöhung der Energiebezugsmenge oder Reduktion von Lastspitzen. Die Reduktion von Lastspitzen stellt die nachhaltigere Variante als die Erhöhung der Energiemenge dar. Die Reduktion von Lastspitzen kann durch Lastverschiebung, beispielsweise mit Elektrofahrzeugen, oder Eigenversorgung mit EE oder Energiespeichern erfolgen. Aufgrund der besseren Steuerbarkeit sind die Energiespeicher die geeigneteren Anlagen zur Durchführung von Lastspitzenreduktionen. Diese Betriebsstrategie wird auch DSM genannt.

Die andere Variante der Betriebsstrategie DSM ist die Anwendung des § 14a EnWG. Bei der Steuerung nach § 14a EnWG übernimmt der Energieversorgungsnetzbetreiber die Schaltungshoheit. Entsprechend der vertraglich vereinbarten Bedingungen kann dieser die Versorgung der Verbraucher abschalten. Sein Ziel ist die Netzentlastung.

Nach Anwendung des § 14a EnWG bezahlt der Anschlussnehmer geringere Arbeitspreise und Konzessionsabgaben und spart den Grundpreis ein. Eine weitere Ersparnis entsteht durch die Mehrwertsteuer. Da diese auf einen geringeren Bruttopreis bezogen wird, wird der erhobene Betrag der Mehrwertsteuer geringer. Höhere Kosten entstehen für die Abrechnung. Bei der Umsetzung des § 14a EnWG ist eine Steuereinheit, auf die der Netzbetreiber zugreifen kann, erforderlich. Als solche kann beispielsweise das Smart Meter Gateway dienen. Das aktuelle Umsetzungskonzept der Stromnetz Berlin für § 14a EnWG sieht die Steuerung von Netzanschlusspunkten anhand eines funkbasierten SG-Systems, des Stropagers, vor. Der Stropager ist eine Eigenentwicklung der Stromnetz Berlin.

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der Anwendung von § 14a EnWG müssen die Kosten für die Herstellung eines steuerbaren Netzanschlusses betrachtet werden. Im Falle des MSG EUREF-Campus würde bei der Anwendung von § 14a EnWG das gesamte MSG zu den Schaltzeiten abgeschaltet werden. Eine Lösung stellt die Herstellung eines eigenen Netzanschlusses pro abzuschaltenden Verbraucher dar. So wird nur dieser Verbraucher zu den Schaltzeiten abgeschaltet. Folgende Faktoren spielen bei der Preisbildung eine Rolle:

- Anschlussleistung
- Länge der Netzanschlussleitung
- Netzanschlusskosten
- Inbetriebsetzung
- Baukostenzuschuss

Für jede Herstellung eines neuen Netzanschlusses sind die Kosten der Ersparnis gegenüberzustellen. In Abbildung 14 ist dargestellt, welche Energiemenge jährlich verbraucht werden muss, damit die Kosten für die Herstellung eines Netzanschlusses sich in 5 Jahren amortisieren. Die Investitionskosten werden dem Verbrauch gegenübergestellt, weil die durch die Anwendung von §14a erzielte Ersparnis pro kWh berechnet wird.

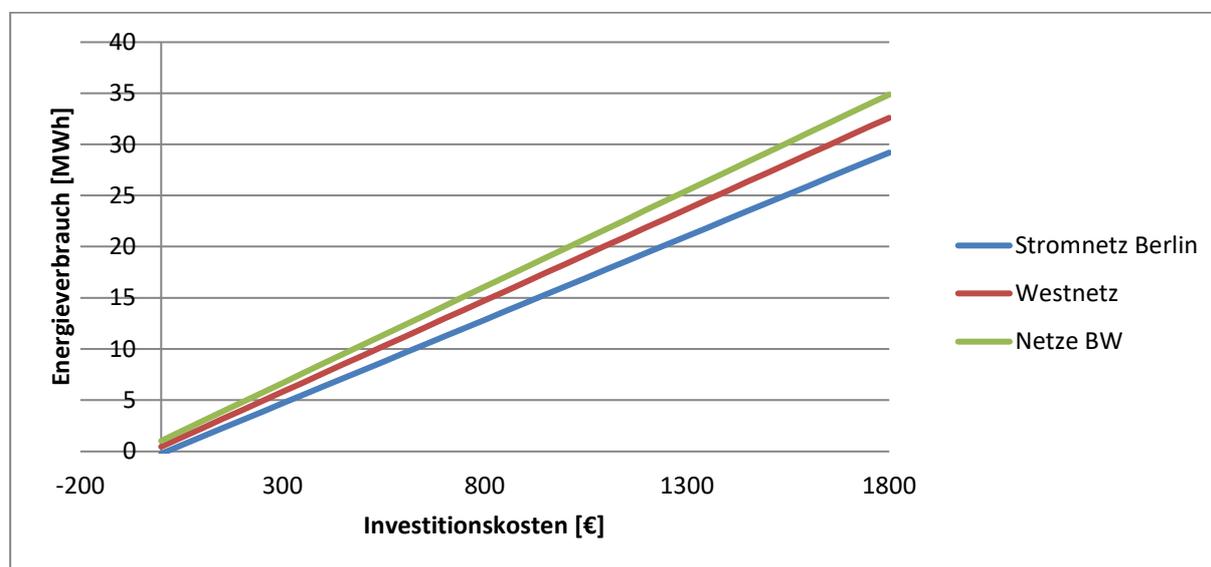


Abbildung 14: Gegenüberstellung Energiemenge/Investitionskosten Anwendung § 14a EnWG

Der marktbezogene Anteil des Energiepreises kann durch eine strukturierte Beschaffung von Energie auf dem Energiemarkt minimiert werden. Ist der Verbraucher flexibel, beispielsweise über Energiespeicher in seinem MG oder durch Eigenerzeugung, kann dieser seinen Verbrauch bzw. die Erzeugung lokaler Energie den Preisschwankungen auf dem Markt anpassen und so die Kosten minimieren.

Einen Zusatzverdienst mit ihren Anlagen können Betreiber von MGs erwirtschaften, indem sie Regelleistung anbieten. Hierfür muss das MG in den Bilanzkreis eines Regelkreises aufgenommen werden, der Betreiber einen Vertrag zur Regelleistungserbringung mit einem Aggregator schließen und die Steuerung der Anlagen zu den vertraglich vereinbarten Zeiten ermöglichen. Der § 26a StromNZV ermöglicht die vom Bilanzkreis unabhängige Erbringung von Regelleistung.

Im MSG werden drei Versorgungskonzepte für die Ladeinfrastruktur angeboten: „Laden & Parken“ für Spontanutzer, stellplatzbezogene Verträge auf Monatsbasis für Flottenbetreiber und stellplatzbezogene Verträge auf Monatsbasis für Unternehmen. In der Abbildung 15 ist die Anzahl der Ladevorgänge im MSG des EUREF-Campus dargestellt. Spontanutzer sind meist externe Besucher des EUREF-Campus und laden ihre Fahrzeuge während der Bürozeiten auf. Auffallend ist, dass in den Sommerferienmonaten Juli und August die Anzahl der Ladevorgänge durch die Spontanutzer im Untersuchungszeitraum zurückging. Dies traf jedoch nicht auf die Unternehmenskunden zu. Die Unternehmensfahrzeuge werden von einer Vielzahl von Mitarbeitern genutzt. Dies führt dazu, dass die Urlaubszeit keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl der Ladevorgänge nimmt. Unternehmenskunden nutzen die Fahrzeuge während der Arbeitszeit und laden diese außerhalb dieser auf. Für Flottenbetreiberkunden ist die Nutzung von den Geschäftszeiten abhängig. So lagen die Geschäftszeiten des im Jahre 2017 am EUREF-Campus ansässigen Unternehmens CleverShuttle in den Nachtstunden. Somit erfolgte die Aufladung der Fahrzeuge tagsüber. Durch die Versorgung von CleverShuttle war die Anzahl der Ladevorgänge im Jahr 2017 am größten, s. Abbildung 15. Im Jahr 2018 nahm die Nutzung durch Unternehmenskunden und ab Mitte des Jahres die Nutzung durch Flottenbetreiberkunden zu. Die Anzahl der Ladevorgänge stieg jedoch auf maximal 37 % der Ladevorgänge im Vorjahr an.

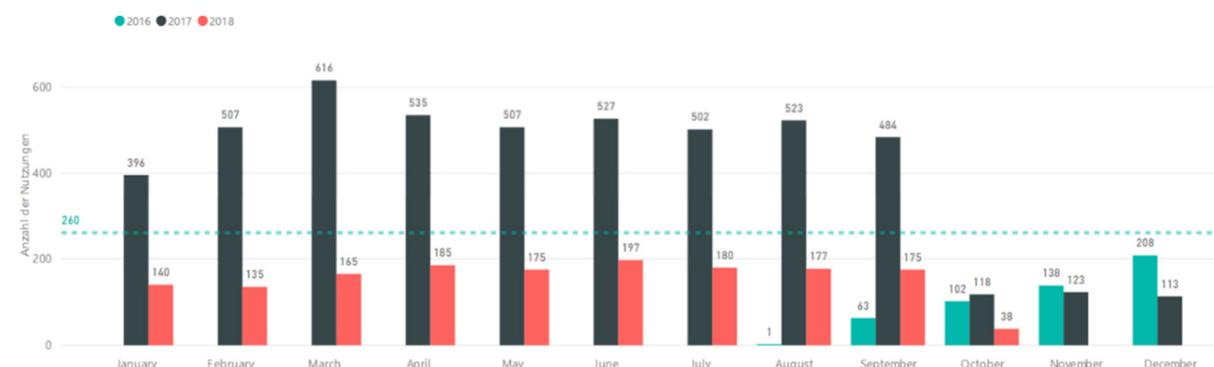


Abbildung 15: Anzahl Ladevorgänge MSG EUREF-Campus in den Jahren 2016-2018

Die Voraussetzung für die Umsetzung eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells in einem MG ist die Verteilung der Rollen auf Stakeholder und die Wahrnehmung der entsprechenden Aufgaben durch ebendiese. Entsprechende Kommunikationsstrukturen mit festgelegten Schnittstellen für Datenaustausch sind für den Erfolg des marktwirtschaftlichen Organisationsmodells entscheidend. Bei Übernahme der Verantwortung muss der Zustand der Anlagen aufgenommen werden. Die verwendete Betriebsstrategie muss aufgenommen werden. Zudem ist wichtig zu wissen, welche Rollen bereits besetzt sind und welche Geschäftsmodelle bereits Anwendung finden. Die beim Aufbau zu erstellende Kostenschätzung basiert auf den Kosten der Investitionen sowie der Kosten für die Aktivitäten der Akteure, welche sich wiederum aus dem Kostensatz ergeben, bei dem die Akteure wirtschaftlich agieren können. Bei dem Aufbau eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodell kann der in diesem Arbeitspaket erstellte Leitfaden genutzt werden, um die Strukturen zu organisieren. Diese Aufgabe kann durch den Arealbetreiber übernommen

werden oder durch den Akteur mit dem größten wirtschaftlichen Interesse am Aufbau eines marktwirtschaftlichen Organisationsmodells.

Zum Abschließen des Meilensteins 22 wurde die schadhafte Lithium-Ionen-Batterie durch eine Second-Life-Batterie ersetzt und in das SCADA-System integriert. Dabei hat die DB Energie eng mit Schneider Electric zusammengearbeitet.

22 ♦: Infrastrukturelle Anpassungen abgeschlossen

Die aktuell eingesetzten Zählerkonzepte beschränken den Betrieb von Batterien am Netz. Die Batterien können in Netzen mit dezentraler Energieerzeugung und EEG-Vergütung nur eingesetzt werden, wenn sie entweder kein Strom in das öffentliche Netz liefern oder kein Strom aus dem öffentlichen Netz beziehen. Grund hierfür ist das Erfordernis zur eindeutigen Zuordnung der Energieflussrichtung der EEG geförderten Strommengen. In diesem Arbeitspaket wurde ein Zählermodell entwickelt, welches mit Zwei-Tarif-Zählern und einer Komponente zum Triggern der Zählzeiträume eine eindeutige Zuordnung der Strommengen ermöglicht. In Abbildung 16 sind die Zähler und Datenflüsse in dem vorgeschlagenen Messkonzept dargestellt. Zur Trennung der Energiequelle im Speicher ist das Verhältnis lokale Erzeugung > lokaler Verbrauch relevant. Zähler Z_1 und Z_3 haben zwei Messwerterfassungen, Messzeiträume werden durch einen Trigger von einer Datenverarbeitung gesteuert. Datenverarbeitung wertet Beträge lokale Erzeugung > lokaler Verbrauch aus. Neuer Messzeitraum beginnt bei der Umkehrung des Verhältnisses. Zuordnung der Energiemenge erfolgt mit den Werten der Zähler Z_1 und Z_3 .

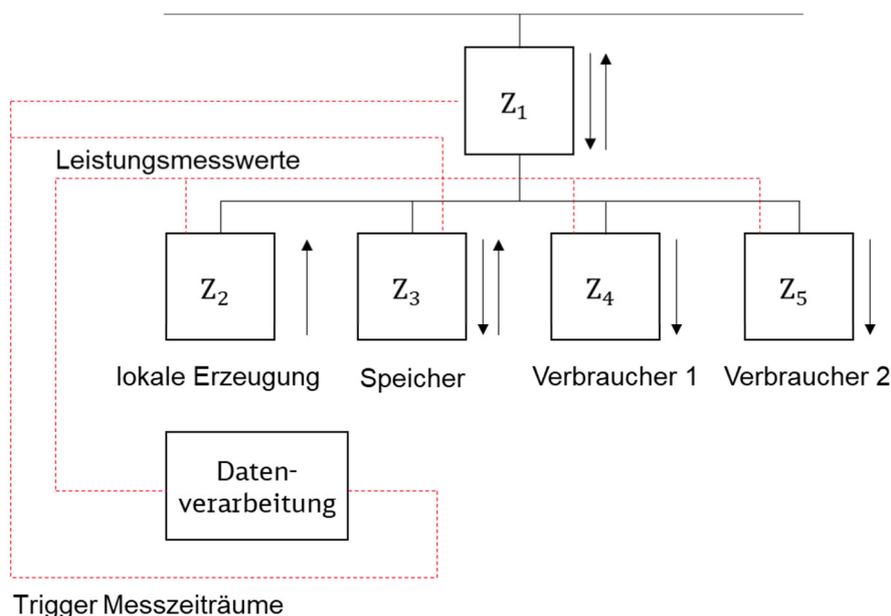


Abbildung 16: Messkonzept stationäre Batterie

d. Q.3 Demonstration der Forschungsergebnisse

Das Q.3 hatte das Ziel einer öffentlichkeitswirksamen Vermittlung von Projektergebnissen auf und außerhalb des EUREF-Campus. Auf dem EUREF-Campus wurden dafür die Räumlichkeiten des Reallabors genutzt, die zero emission electric mobility base (zeeMo.base, in den Vorhabensbeschreibungen als New Energy Plattform bezeichnet). Diese stellte mit Ihren Anlagen im Realbetrieb, aufgelistet in Tabelle 9, Tabelle 9: Übersicht der Anlagen im MSG am EUREF-Campus einen idealen Ort zur Demonstration des Fördervorhabens. Die PV-

Anlagen befinden sich auf dem Dach des Gebäudes 6, 7/8 und der zeeMo.base (Gebäude 15c), s. Abbildung 17. Ebenfalls stehen die Bleibatterie und die Lithium-Ionen-Batterie in der zeeMo.base. Ladeinfrastruktur für E-Mobilität ist vor der zeeMo.base und vor dem Gebäude 16 aufgestellt. Das BHKW befindet sich im Gebäude 7/8. Zu Anfang des Vorhabens wurden folgende Meilensteine gemeinsam mit der InnoZ abgeschlossen:

- 26♦: Stakeholder Workshop zu Forschungsthemen
- 27♦: Abfrage der Demonstration aus Themenfeldern
- 28♦: Entwicklung Demonstrationskonzept
- 29♦: Eröffnung „zeeMobase“

Tabelle 9: Übersicht der Anlagen im MSG am EUREF-Campus

Anlage	EUREF-Campus
PV	80 kW _p
Bleibatterie (DC gekoppelt)	150 kWh
Lithium-Ionen-Batterie	60 kWh
Ladeinfrastruktur	32 x 22 kW AC 1 x 50 kW DC
BHKW	50 kW _{th} 22 kW _{el}

Im Rahmen dieser Meilensteine wurde folgende Struktur für die Durchführung von Führungen im Forschungscampus erarbeitet, welche auch in Abbildung 17 visualisiert worden ist:

1. MSG Tisch – Erklärung des Micro Smart Grid Ansatzes auf spielerische Art und Weise
2. SCADA-System – Überblick zu dem Aufbau des Reallabors auf dem EUREF-Campus, Aufzeigen der Realdaten (z. B. Wird aktuell Energie vom MSG erzeugt oder verbraucht?)
3. Rundgang innerhalb der zeeMo.base – Zeigen des regelbaren Ortsnetztransformators, Second-Life-Batterie, Blei-Säure-Batterie
4. Rundgang auf der Car Sharing Station 1 – Zeigen der Elektroenergieverteilungen, Ladeinfrastrukturen mit unterschiedlichen Steckertypen
5. Rundgang auf der Car Sharing Station 2 – Fakten zum EUREF-Campus, Gasometer und Energiezentrale
6. eBus-Ladestation – Einbindung in das MSG erläutern

Führungen stellten einen wesentlichen Bestandteil der Demonstrationstätigkeiten dar. Es wurden Führungen durchgeführt für Studenten, MitarbeiterInnen der Deutschen Bahn AG und weitere nationale und internationale Unternehmen, interessierte nationale und internationale Öffentlichkeit bei auf dem EUREF-Campus stattfindenden Veranstaltungen. Ein Highlight der Führungen war der Besuch der Bundesministerin für Bildung und Forschung Anja Karliczek und des Regierenden Bürgermeisters von Berlin Michael Müller am 06.12.2018, s. Abbildung

18. In einem Teil der Führungen wurde die zeeMo.base und das Micro Smart Grid des Bahnhof Berlin Südkreuz vorgestellt.

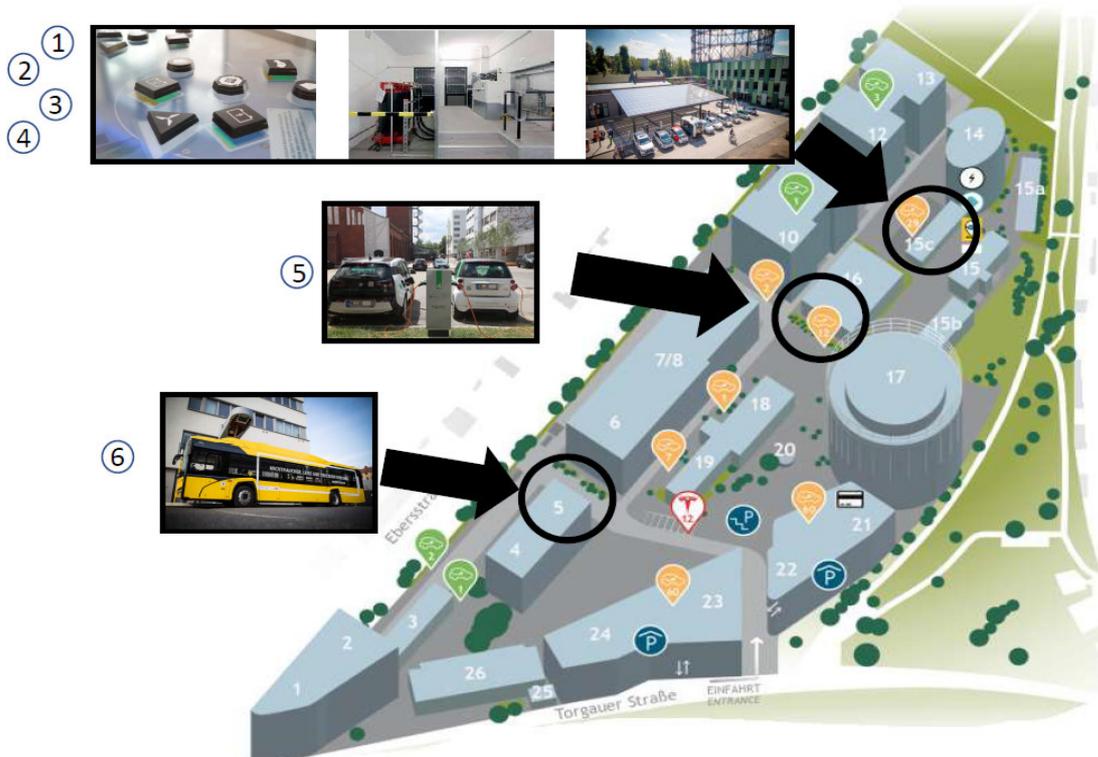


Abbildung 17: Führung durch den Forschungscampus (Eigene Darstellung nach Map EUREF-Campus¹⁴)



Abbildung 18: Besuch von Anja Karliczek und Michael Müller

¹⁴ Homepage EUREF Campus Berlin, Bild-URL: https://euref.de/wp-content/uploads/EUREF_Ladepunkte_2020_web-1-728x1030.png, Zugriff: 08.06.2021

Die Demonstrationsanlagen und die Inhalte der Führungen wurden stets den Entwicklungen angepasst. Folgende Anlagen kamen im Laufe der Projektlaufzeit hinzu: Solarcarport vor der zeeMo.base, regelbarer Ortsnetztransformator (rONT), unidirektionale eBusladestation, Second-Life-Batterie und bidirektionale eBusladestation. Für den rONT und die eBusladestationen wurden zusätzlich Schulungsunterlagen erstellt und an das TF5 „Bildung und Wissenstransfer“ übergeben. So wurden die folgenden Meilensteine abgeschlossen:

30 ♦: Demonstrationseinbindung e-Bus abgeschlossen

31 ♦: Demonstrationseinbindung Regelbarer Ortsnetztransformator abgeschlossen

Neben der Integration der Forschungsergebnisse aller Themenfelder in die Führungen, wurde ein Format zur Darstellung der Ergebnisse aller Themenfelder geschaffen. Präsentationen mit Ergebnissen wurden von allen Themenfeldern eingeholt. Diese wurden zur Demonstration auf den Bildschirmen in der zeeMo.base als Video aufbereitet. Leider wurde dieser Prozess abgeschlossen, als die Corona-Pandemie begann. Die Videos konnten in der Projektlaufzeit nicht mehr gezeigt werden, da keine Veranstaltungen stattgefunden haben.

Der MSG-Tisch 1.0 ermöglichte die Demonstration von abstrakten Inhalten auf eine anschauliche, anfassbare Art und Weise. Die Besucher hatten die Möglichkeit Bausteine des Micro Smart Grids auf eine Oberfläche zu legen und zu sehen, wie sich ein Energiesystem aufbaut. Der MSG Tisch 1.0 war zum Ende der Projektlaufzeit nicht mehr funktionsfähig und die dargestellten Inhalte entsprachen nicht mehr dem zu vermittelnden Stand der Wissenschaft und Technik. Die Entwicklung und Anschaffung des MSG Tisch 2.0 erfolgte gemeinschaftlich mit Schneider Electric. Die Oberfläche des MSG Tisch 2.0 ist auf der Abbildung 19 dargestellt. Dem Besucher eröffnet sich eine Stadt der Zukunft, in der Energie dezentral und gesteuert in den Straßenblöcken erzeugt und verbraucht wird. Es fahren Elektrofahrzeuge auf der Straße und auf der Schiene. Die Fahrzeuge werden mit Strom oder mit Wasserstoff versorgt. In der Stadt stellen Photovoltaikanlagen die Energie zur Verfügung, außerhalb der Stadt befinden sich Windkraft- und Biogasanlagen, welche größere Energiemengen für die Stadt erzeugen. Mit Hilfe eines Buttons auf dem Tisch lassen sich die Szenariengruppen auswählen. Den Szenariengruppen sind Szenarien zugeordnet, welche Energieflüsse zwischen den Anlagen zeigen und Infokarten verwalten. Die Infokarten enthalten Text, Bilder und Videos und sind den Szenarien oder den Anlagen zugeordnet. Inhalte können mit einem Wisch auf einen zweiten Bildschirm verschoben werden.



Abbildung 19: MSG Tisch 2.0 in Nachtansicht

Bei der Entwicklung des MSG Tisch 2.0 wurde ein großer Wert auf die Flexibilität des Tisches gelegt. In der I. Förderphase wurde im Rahmen der Praxis ermittelt, dass in dem stark entwickelnden Bereich der Energie- und Verkehrswende Anpassbarkeit der Präsentationsmedien von großer Bedeutung ist. Beim MSG Tisch 2.0 bestehen diverse Anpassungsmöglichkeiten auf einem BackEnd heraus. Die Szenarien lassen sich in den Farben, Quellen, Senken und Intensität der Energieflüsse anpassen. Die Infokarten können ebenfalls schnell über das BackEnd aktualisiert werden. Die Szenariengruppen lassen sich ebenfalls unterschiedlich konfigurieren. So lassen sich beispielsweise unternehmens- oder besucherbezogene Kategorien der Szenarien anlegen.

Der MSG Tisch 2.0 wird auch nach Abschluss der I. Förderphase für die Demonstration in der zeeMo.base und auf Messen für Präsentationen genutzt werden. Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden die Inhalte von M2G auf der eWorld, Hannover Messe und der Hauptstadtkonferenz Elektromobilität präsentiert. Der MSG Tisch 1.0 wurde bei der eWorld und der Hannover Messe zu Demonstrationszwecken eingesetzt.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Das Projektvolumen belief sich auf insgesamt 698.042,46 € Von der Summe wurden 50 % als Fördermittel von dem BMBF zur Verfügung gestellt. Das gesamte Budget wurde für Personalkosten aufgewendet.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die durchgeführten Arbeiten leisten einen substanziellen Beitrag zur Energie- und Mobilitätswende. Die Entwicklungen und Ergebnisse umfassen die Themenbereiche des Betriebs von MSGs, des Einsatzes von Betriebsstrategien, der Betriebsszenarien in MSGs, der Verwertung von Forschungsergebnissen in Projekten mit wirtschaftlich-wissenschaftlichen Partnern, der marktwirtschaftlichen Organisationsmodellen für MSGs, der Zählerkonzepte für Batterien und der Demonstration in Projekten mit wirtschaftlich-wissenschaftlichen Partnern. Das Micro Smart Grid ist als dezentrales Energienetz mit lokaler Energieerzeugung und Verbrauchssteuerung ein Baustein der Energie- und Mobilitätswende. Die Ergebnisse ermöglichen die Umsetzung von technischer und wirtschaftlicher Einbindung von Anlagen zur Energieerzeugung, Energiespeicherung und insbesondere von Ladeinfrastrukturen für ePKW's in dezentrale Energienetze. Die entwickelten Methoden ermöglichen es die Anlagen betrieblich und marktwirtschaftlich einzuordnen. Dies schafft die Voraussetzungen für die weite Verbreitung von MSGs. Projekte mit wirtschaftlich-wissenschaftlichen Partnern sind komplex aufgrund der unterschiedlichen Interessenslagen. Die Forschung im QF7 schaffte und erprobte Methoden, um die Partner näher zusammenzubringen, anspruchsvolle und verwertbare Ergebnisse zu schaffen und die Forschungsergebnisse der Öffentlichkeit zugänglich zu machen.

Durch die Förderung des BMBF bekam das Personal der DB Energie die Möglichkeit, sich mit diesen Themen tiefgehend im Sinne einer Grundlagenforschung zu befassen. Die daraus entstandenen Ergebnisse stellen einen Fortschritt für die Energie- und Mobilitätswende dar. Die Ergebnisse konnten der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden, s. dazu Kapitel 0. Die Förderung schaffte für die DB Energie den Raum, welcher ohne Förderung bei einem wirtschaftlichen Unternehmen nicht gegeben ist. Der Forschungscampus Mobility2Grid wurde durch die Förderung der DB Energie mit einem Partner bereichert, welcher praxisbezogenes Wissen aus der Haupttätigkeit als Netzbetreiber und Energielieferant geboten hat.

4. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im QF7 erzielten Ergebnisse konnten bereits während der Projektlaufzeit in Form einer Verbreitung verwertet werden. Die Ergebnisse wurden in wissenschaftlichen Publikationen veröffentlicht, in Führungen für die Öffentlichkeit und für die Deutsche Bahn AG dargestellt und bei Vorträgen innerhalb der Deutschen Bahn AG präsentiert.

Durch die Zusammenarbeit im QF7 konnten die Beziehungen und Zusammenarbeit zu den wirtschaftlichen Projektpartnern vertieft werden. So installierte die DB Energie im Projektzeitraum als erster Anwender eine neu entwickelte Ladeinfrastruktur von Schneider Electric bei einem Kunden. So wurde außerhalb der Förderung ein Beitrag zur Weiterentwicklung von Ladeinfrastrukturprodukten geleistet.

Das im QF7 erworbene Wissen zu Anlagen des Micro Smart Grids, sowie die Ergebnisse der Forschung werden innerhalb der DB Energie und in Aufträgen innerhalb der Deutschen Bahn AG verwertet. Die DB Energie agiert dabei als beratender Dienstleister für die Aufbau von Ladeinfrastruktur und Micro Smart Grids für andere Tochterunternehmen der Deutschen Bahn, sowie externe Kunden. In dieser Rolle ist die DB Energie an der Entwicklung einer nachhaltigen und innovativen Energieversorgung der Instandhaltungswerke der Deutschen Bahn AG beteiligt.

Die im Q.1 erzielten Ergebnisse wie Verträge und das Managementhandbuch werden bereits in anderen Projekten genutzt, wo die DB Energie den Betrieb der Anlagen übernimmt. Die

Betriebsstrategien werden genutzt, um Kunden über den Aufbau von Micro Smart Grids zu beraten. Die koordinierte Spannungshaltung wurde erfolgreich weiterentwickelt zu einem Algorithmus für Blindleistungssteuerung, mit dem Ziel die Verluste im Bahnstromnetz zu reduzieren.

Das im Q.2.1 gewonnene Wissen zur Methodik von Verwertungsworkshops wurde bereits intern bei der DB Energie eingesetzt. Die im Q.2.1 gesammelte Erfahrung ermöglicht es kurzfristig Workshops für interne und externe Kunden zu veranstalten.

Der Leitfaden für marktwirtschaftliche Organisationsmodelle aus dem Q.2.2 wird innerhalb der DB Energie verteilt. Die hier erzielten Ergebnisse werden bereits genutzt, um Kunden über den Aufbau von Micro Smart Grids zu beraten.

Der MSG Tisch 2.0 aus dem Q.3 wird kurzfristig bei Messen und Führungen für interne und externe Kunden genutzt werden. Mit Hilfe der Teilnahme am Forschungscampus können Führungen für Besuchergruppen zu Themen der Energie- und Mobilitätswende angeboten werden.

5. Bekanntgabe relevanter Ergebnisse von Dritter Seite

Von dritter Seite wurden während der Projektlaufzeit unterschiedliche Projekte mit ähnlichen Zielstellungen aus dem Bereich von dezentralen Energienetzen und Elektromobilität durchgeführt. Hierbei ist beispielsweise das Projekt WindNode (2017-2020) zu nennen. Dieses unterscheidet sich von Mobility2Grid durch den Fokus auf überregionale Themen und Industrie. Bei der technologischen Entwicklung ist die Entwicklung von eichrechtskonformen Ladeinfrastrukturen, sowie die Etablierung von Lastmanagementsystemen für Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge anzuführen. Die etablierten Lastmanagementsysteme sind meist Lösungen für homogene Ladeinfrastrukturstandorte.

6. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

a. Veröffentlichte Paper

1. M. Khemir, M. Rojas, H. Q. Nguyen, R. Popova, T. Feizi, H.Q. Nguyen, J. F. Heinekamp, K. Strunz, "Real-world application of sustainable mobility in urban micro smart grids", IEEE 3rd International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST) in Istanbul, Türkei 2020
2. M. Khemir, S. Bauer, R. Popova, T. Feizi, B. Böhm, "Experiences with Product Development Methodology in the Public-Private Research Campus Mobility2Grid", 8th International Conference on New Ideas in Budapest, Ungarn 2021

b. Bachelor-/Master-/Studienarbeiten

3. A. Moosmann, "Einsatz von Micro Smart Grids am Arealtyp Bahnhof - Prüfung der Anwendung hinsichtlich des Förderinstruments Mieterstrom für die DB Energie GmbH", Projektarbeit, Duale Hochschule Baden-Württemberg, DB Energie GmbH, 2018
4. R. Ott-Forysth, "Micro Smart Grid on the EUREF-Campus – Technical Data", Praktikumsbericht, DB Energie GmbH, 2016

5. S. Rabe, "Technische und ökonomische Untersuchung der Umsetzbarkeit einer 50Hz Bahnstromanlage mit regenerativer Energieversorgung", Bachelorarbeit, Technische Hochschule Wildau, DB Energie GmbH, 2016