

LINE-FEED: Plug-in Photovoltaik-Speicher für die Steckdose

Berichte aus Energie- und Umweltforschung 45/2025

Wien, 2025

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur,
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination: Abteilung III/3 - Energie und Umwelttechnologien

Leitung: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Autorinnen und Autoren:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Christoph Grimmer, Dipl.-Ing. Patrick Salcher, Dipl.-Ing. Stephan
Weinberger (EET – Efficient Energy Technology GmbH)

Dipl.-Ing. Zlatko Bonjic, Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Klaus Krischan (Institut für Elektrische
Antriebstechnik und Maschinen - TU Graz)

Wien, Graz, 2025. Stand: Juni 2023

Ein Projektbericht gefördert im Rahmen von



Rückmeldungen:

Ihre Überlegungen zu vorliegender Publikation übermitteln Sie bitte an iii3@bmimi.gv.at.

Rechtlicher Hinweis

Dieser Ergebnisbericht wurde von die/der Projektnehmer:in erstellt. Für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Aktualität sowie die barrierefreie Gestaltung der Inhalte übernimmt das Bundesministerium für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI) keine Haftung.

Mit der Übermittlung der Projektbeschreibung bestätigt die/der Projektnehmer:in ausdrücklich, über sämtliche für die Nutzung erforderlichen Rechte – insbesondere Urheberrechte, Leistungsschutzrechte sowie etwaige Persönlichkeitsrechte abgebildeter Personen – am bereitgestellten Bildmaterial zu verfügen.

Die/der Projektnehmer:in räumt dem BMIMI ein unentgeltliches, nicht ausschließliches, zeitlich und örtlich unbeschränktes sowie unwiderrufliches Nutzungsrecht ein, das übermittelte Bildmaterial in allen derzeit bekannten sowie künftig bekannt werdenden Nutzungsarten für Zwecke der Berichterstattung, Dokumentation und Öffentlichkeitsarbeit im Zusammenhang mit der geförderten Maßnahme zu verwenden, insbesondere zur Veröffentlichung in Printmedien, digitalen Medien, Präsentationen und sozialen Netzwerken.

Für den Fall, dass Dritte Ansprüche wegen einer Verletzung von Rechten am übermittelten Bildmaterial gegen das BMIMI geltend machen, verpflichtet sich die/der Projektnehmer:in, das BMIMI vollständig schad- und klaglos zu halten. Dies umfasst insbesondere auch die Kosten einer angemessenen rechtlichen Vertretung sowie etwaige gerichtliche und außergerichtliche Aufwendungen.

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Forschungs- und Technologieprogramm „Stadt der Zukunft“ des Bundesministeriums für Innovation, Mobilität und Infrastruktur (BMIMI). Dieses Programm baut auf dem langjährigen Programm „Haus der Zukunft“ auf und hat die Intention, Konzepte, Technologien und Lösungen für zukünftige Städte und Stadtquartiere zu entwickeln und bei der Umsetzung zu unterstützen. Damit soll eine Entwicklung in Richtung energieeffiziente und klimaverträgliche Stadt unterstützt werden, die auch dazu beiträgt, die Lebensqualität und die wirtschaftliche Standortattraktivität zu erhöhen. Eine integrierte Planung wie auch die Berücksichtigung aller betroffener Bereiche wie Energieerzeugung und -verteilung, gebaute Infrastruktur, Mobilität und Kommunikation sind dabei Voraussetzung.

Um die Wirkung des Programms zu erhöhen, sind die Sichtbarkeit und leichte Verfügbarkeit der innovativen Ergebnisse ein wichtiges Anliegen. Daher werden nach dem Open Access Prinzip möglichst alle Projektergebnisse des Programms in der Schriftenreihe des BMIMI publiziert und elektronisch über die Plattform www.NachhaltigWirtschaften.at zugänglich gemacht. In diesem Sinne wünschen wir allen Interessierten und Anwender:innen eine interessante Lektüre.

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract.....	9
3	Ausgangslage.....	11
	3.1. Alleinstellungsmerkmal (USP)	13
	3.2. Systeme des Mitbewerbs, Stand der Technik.....	13
	3.2.1. Das aktuelle System von EET	14
	3.2.2. Was geht über den Stand der Technik hinaus.....	14
4	Projekthalt.....	15
	4.1. Regelung und Kommunikation.....	16
	4.2. Entwicklung Messtechnologie	18
	4.3. Bidirektionale Ladeschaltung.....	18
	4.3.1. Hardware Leistungselektronik (LiBif)	20
	4.4. Implementierung des Reglers für Energiegemeinschaften am Server	20
5	Ergebnisse	22
	5.1. Zentralisiertes, informationsbasiertes Regelkonzept für Energiegemeinschaften errechnet in Echtzeit die optimale Leistungszuteilung.....	22
	5.1.1. Beispiel.....	22
	5.2. Eingliederung bestehender Balkonkraftwerke mittels Leistungserfassungshardware	25
	5.3. Patentfähige Optimierungen des Messkonzeptes zur Verbrauchserfassung in Einzelhaushalten.	25
	5.4. Line-Battery-Interface.....	26
	5.5. Erweitertes semianalytisches Verlustmodell für die Dual Active Bridge im Vergleich zur bestehenden Literatur	26
	5.6. Numerische Methode zur Ermittlung der bestmöglichen Kombination der Betriebsparameter mit den die Systemeigenschaften bestimmenden Schaltungsparametern....	26
6	Schlussfolgerungen	27
7	Ausblick und Empfehlungen	28
8	Verzeichnisse.....	29
9	Anhang.....	31
	9.1. Data Management Plan (DMP)	31

1 Kurzfassung

Photovoltaik und dazugehörige dezentrale Speichersysteme sind eine der Schlüsseltechnologien am Weg zum nachhaltigen Energiesystem und klimaneutralen Städten. Aufgrund der technischen Auslegung werden diese aktuell hauptsächlich in Einfamilienhäusern und Wirtschaftsgebäuden verwendet. Durch die geschaffenen rechtlichen Rahmenbedingungen kommen auch Gemeinschaftsanlagen auf Wohnhäusern vermehrt zum Einsatz.

Eine adäquate Photovoltaik-Speicherlösung auf Haushaltsebene gibt es für den urbanen Raum im Moment nicht.

Ziel dieses Projektes ist die technologische Entwicklung eines Stromspeichersystems (bzw. der notwendigen Komponenten), welches durch Anstecken an einer gewöhnlichen Steckdose in allen Haushalten, inklusive kleiner Stadtwohnungen, installiert wird. Das System wird in der Lage sein, Sonnenstrom (von Balkon-PV, Dach-PV oder Gemeinschaftsanlagen) zu puffern und ist somit eine intelligente und integrierte Lösung zur Energiebereitstellung im urbanen Raum. Wenn Sonnenstrom vorhanden ist, wird der Speicher aus der Steckdose geladen und nach Sonnenuntergang wird die Energie in die gleiche Steckdose zurückgespeist und versorgt den Haushalt.

Um ein derartiges System zu realisieren, müssen drei technologische Fragestellungen gelöst/entwickelt werden:

- Regelung (wann muss wieviel Leistung entnommen und zurückgespeist werden)
- Messtechnologie (wieviel Leistung wird im Haushalt aktuell verwendet)
- Line-Battery-Interface (LiBIf), eine bidirektionale Ladeschaltung, die mit vorgegebener Leistung den Akku aus dem Netz lädt und auch eine vorgegebene Leistung ins Netz zurückspeisen kann

Basis der Messtechnologie ist das patentierte Verfahren, welches vom Gründerteam an der TU Graz entwickelt wurde. Diese ist in der Lage durch eine hochfrequente Messung den aktuellen Strombedarf eines Haushalts ohne zusätzliche Hardware zu erfassen. Das Line-Battery-Interface **LiBIf** soll in der Lage sein effizient und steuerbar elektrische Leistung aufzunehmen und abzugeben (Stand-der-Technik Laderegler nehmen ausschließlich den Batterieladestand als Kriterium der Ladeleistung und sind nicht in der Lage Leistung einzuspeisen).

Im Projekt konnte zum einen Hardware entwickelt und geschützt werden, aber auch die nötige Firmware und Software für den Betrieb wurde erstellt bzw. weiterentwickelt. Die entwickelten Modelle werden auch in künftigen Projekten von Nutzen sein.

Es können nun bestehende Balkonkraftwerke mittels separater Leistungserfassungshardware an einen wechsellstromseitig gekoppelten Speicher angebunden werden. Ebenso können Energiegemeinschaften allfällige momentane Überschüsse - etwa in der PV-Erzeugung - nun über das öffentliche Wechselstromnetz an steuerbare Speichereinheiten, welche über das Line-Battery-Interface verfügen, übertragen werden. Die optimale Zuweisung der Leistungsflüsse wird mittels zentralem Optimierer, der in einem Server implementiert ist, errechnet und an die einzelnen

steuerbaren Geräte der Energiegemeinschaft ausgegeben. Die einzelnen steuerbaren Speichereinheiten behalten dabei die Freiheit, diese Vorgabewerte ganz oder nur teilweise zu übernehmen (um sich auf lokale Besonderheiten einzustellen). Dadurch wird der Eigenverbrauchsanteil in der Größenordnung von 10% gesteigert, ohne die Hardware anzupassen. Die erweiterte Messhardware auf Basis hochfrequenter Admittanzmessung zur Feststellung des lokalen Leistungsbedarfs wurde entwickelt und zum Patent angemeldet.

Durch die neuen Hardware-Bestandteile ergeben sich eine Vielzahl an neuen Nutzungsmodellen im Sinne der Stadt der Zukunft. Zum einen erhalten dadurch Energiegemeinschaften die Möglichkeit, durch Integration einfach installierbarer steuerbarer Speichereinheiten den Eigenverbrauchsanteil zu steigern. Es ergeben sich aber auch andere Anwendungen, wie zum Beispiel die Bereitstellung von dezentraler Energie im Sinne von virtuellen Speicherkraftwerken (VPPs).

Die Projektpartner werden deshalb die Weiterentwicklung der Hardware, Firmware und der Software verfolgen, um die Effizienz des entwickelten Line-Battery-Interfaces mithilfe der im Projekt entwickelten Modelle (Schaltungsverluste, Trafoverluste) zu steigern. Weiters wird die Hardware via Firmware an länderspezifische normative Anforderungen angepasst, damit diese in einer Vielzahl von Ländern angeboten werden kann.

2 Abstract

Photovoltaics and corresponding storage systems are one key element towards a sustainable energy system and zero carbon cities. State-of-the-art photovoltaic systems are difficult to install in urban areas, because those systems are designed for big roof applications on family homes or industry buildings. Due to regulatory changes, more and more shared photovoltaic systems are installed - also in urban areas.

However, an adequate solar storage solution for urban households does not exist at the moment.

This project aims for the technological development of an energy storage system (or more precisely the necessary components), which can be installed by anybody by simply plugging it in - including small apartments in a city. The storage system will be able to buffer photovoltaic energy (from any kind of photovoltaic system of any size) and does therefore represent an intelligent and integrated solution to provide energy in urban areas. If photovoltaic power is available, the storage is charged directly from the power plug and after sunset, the system supplies energy to the household by injecting it back into this very plug.

In order to realize this kind of system, three technological problems have to be overcome:

- Feedback control (target values to charge/discharge the system)
- Measurement technology (detection of the current power consumption of the household)
- Line-Battery-Interface (LiBIf) (bidirectional charging unit, which is able to charge and discharge the battery at a given power)

Technological basis of the measurement technology is the patented method, which was developed by the founder team of EET at Graz University of Technology. This measurement approach is able to detect the household's power consumption via a high frequency stimulus and without any further hardware. The Line-Battery-Interface LiBIf will be able to exchange a defined power between AC grid and battery in an efficient way (state-of-the-art charging units are uni-directional and the charging power is only a function of the state of charge).

In the project, hardware was developed and IP was protected, but also the necessary firmware and software for operation was created or further developed. The developed semianalytic models will also be useful in future projects.

Existing balcony pv systems can now be connected to an alternating current coupled storage system by means of separate power acquisition hardware. Likewise, energy communities can now transfer any momentary surpluses - such as in PV generation - via the public AC grid to controllable storage units that have the line-battery interface. The optimal allocation of the power flows is calculated by a central optimizer implemented on a remote server and outputs the best set values to the individual controllable devices of the energy community. The individual controllable storage units retain the freedom to adopt these set values or to adopt them only partially (in order to adapt to local peculiarities). This increases the self-consumption percentage in the order of 10% without adapting the hardware. The extended measurement hardware based on high-frequency admittance measurement to determine the local power demand has been developed and patented.

The new hardware components result in a variety of new usage models in the sense of the city of the future. On the one hand, energy communities are given the opportunity to increase their own consumption by integrating easy-to-install controllable storage units. But it also opens up other applications, such as the provision of decentralized energy in the form of virtual storage power plants (VPPs). The project partners will therefore pursue further development of the hardware, firmware and software in order to increase the efficiency of the developed line-battery interface using the models developed in the project (circuit losses, transformer losses). Furthermore, the hardware will be adapted to country-specific normative requirements via firmware so that it can be offered in a large number of countries.

3 Ausgangslage

Aktuelle Photovoltaiksysteme sind hauptsächlich im ländlichen Raum vorhanden und kommen erst langsam in Form von Gemeinschaftsanlagen oder Beteiligungsmodellen in die Städte.

Speichersysteme, welche im ersteren Fall bereits breiter in den Markt kommen, sind in Städten noch selten vorhanden. Um das Ziel klimaneutraler Städte zu realisieren, müssen die natürlichen Fluktuationen der erneuerbaren Energien ausgeglichen werden. Dazu gibt es für den urbanen Raum grundsätzlich zwei Ansätze:

1. zentrale Speicher für mehrere Haushalte oder
2. kleine dezentrale Speicher auf Haushaltsebene

Für den zweiten Ansatz gibt es nach unserem Wissensstand keine technischen Lösungen, obwohl diese für Bestandsgebäude eine äußerst vielversprechende Nachrüstmöglichkeit darstellen würden.

Ziel dieses Projektes ist ein nutzerfreundliches integriertes Speichersystem, welches Energie im urbanen Raum intelligent bereitstellt und im Neubau wie im Bestand verwendbar ist.

Durch plug-in Systeme sowie durch Gemeinschaftsanlagen dringt Photovoltaik auch vermehrt in städtische Räume vor. Das aktuelle System von EET besteht zusätzlich zu Photovoltaikpanelen aus einer Speichereinheit, welche DC-seitig angebunden ist. Das bestehende System leistet somit einen Beitrag zu dem Ziel die Nutzung erneuerbarer Energieträger im urbanen Raum zu verstärken. Zusätzlich bietet die Notstromfähigkeit einen Mehrwert im Kontext der Versorgungssicherheit bzw. der Resilienz in Folge von Netzausfällen. Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines Systems, welches unabhängig von der Lage der Photovoltaikmodule in den Haushalten der Städte Anwendung finden kann. Ein typischer Anwendungsfall ist hier dargestellt:

Eine Bewohnerin einer größeren Stadt lebt in einer Wohnung, in der ein eigenes Photovoltaiksystem nicht möglich ist (kein eigenes Dach, kein Balkon, vielleicht keine direkte Sonne, usw.). Diese Bewohnerin möchte dennoch von Photovoltaik profitieren und beteiligt sich an einer Photovoltaikanlage am Schuldach, welches 3 Häuser entfernt steht. Mit einem Smartmeter angebunden, kann sie so den Strom, den ihre Module erzeugen, kostenlos nutzen. Um das Potential voll zu schöpfen, kauft die Bewohnerin einen Speicher von EET, den sie in ihrer Wohnung an die Steckdose steckt. Dieser lädt sich mit Gratisstrom während der Sonnenstunden und gibt die Energie in die gleiche Steckdose zurück, wenn die Sonne untergeht.

Die Entwicklung im Projekt besteht darin, dass der Energiespeicher wechselstromseitig über das Hausnetz mit dem Photovoltaikpanelen verbunden wird. Dazu ist es nötig, eine Kommunikation zwischen Photovoltaik und Speicher zu gewährleisten und die Ladeleistung des Speichers steuern zu können (ein derartiges Ladegerät ist aktuell nicht erhältlich). Ein weiterer Entwicklungssprung ist die Zusammenlegung der Ladeelektronik und des netzgebundenen Wechselrichters in eine steuerbare bidirektionale Ladeschaltung mit dem Arbeitstitel „Line-Battery-Interface“ LiBif (in **Fehler!** **Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**blau dargestellt).

In Abbildung 2 sind die zu entwickelnden Komponenten blau dargestellt: (1) die bidirektionale Ladeschaltung LiBif, der die Lade- und Entladeleistung steuern kann, (2) die Messtechnologie

NetDetection und (3) die nötige Kommunikation (zu den diversen Photovoltaiksystemen) um die gerade einzuspeichernde Leistung zu erfassen.

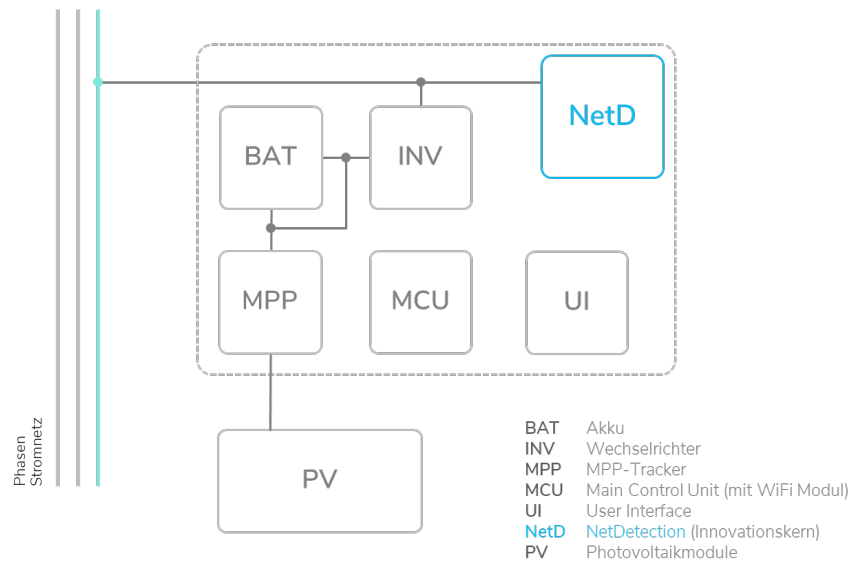


Abbildung 1: Status quo des Systems von EET, teilweise entwickelt im Vorprojekt (P3Power, FFG Nr. 861631)

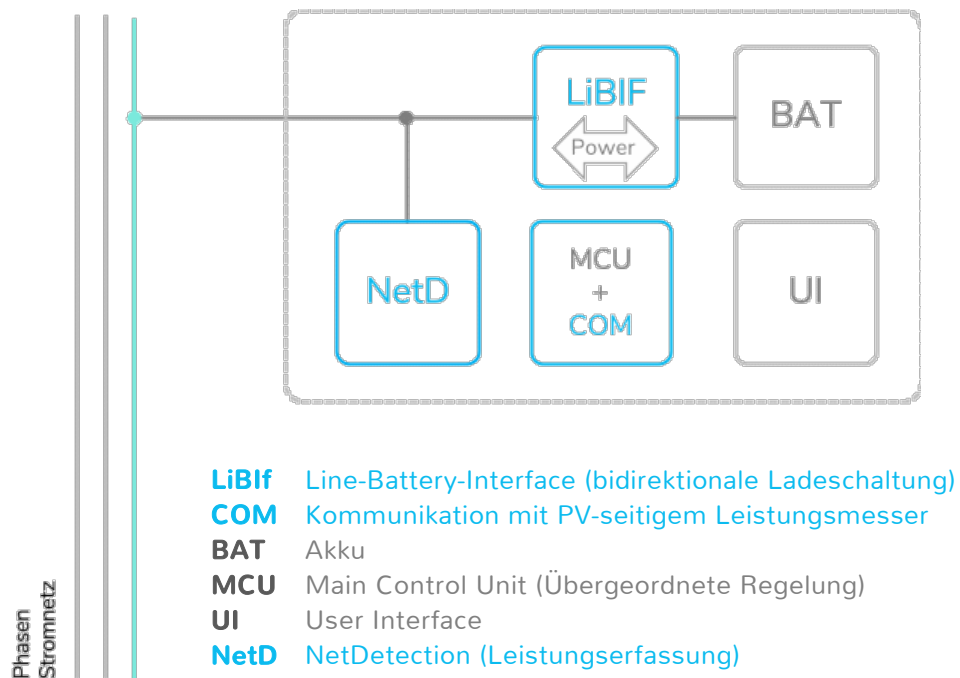


Abbildung 2: System nach diesem Projekt, Speicher im Innenraum unabhängig von Photovoltaik

Daraus ergeben sich für das Projekt folgende noch ungelöste Fragestellungen:

1. LiBIf: Ladegerät im Speichersystem, welches mit gezielter Leistung laden kann und gleichzeitig die Funktion des netzgeführten Wechselrichters übernimmt.
2. Messtechnologie NetDetection mit wesentlich gesteigerter Messgenauigkeit
3. Kommunikation zwischen Photovoltaik und Speichersystem.

Die Tätigkeiten der F&E-Arbeiten werden eng auf die Ziele der weiteren Entwicklungen abgestimmt und externe Entwicklungen (Smartmeter, Smart-Home-Anwendungen, Energy Communities, etc.) werden berücksichtigt.

3.1. Alleinstellungsmerkmal (USP)

Das Alleinstellungsmerkmal von EET ist die Nutzerfreundlichkeit der Systeme, welche mit diesem Projekt weiter gestärkt werden. Aus technologischer Sicht ist die Messtechnologie, welche weiterentwickelt wird, der USP. Auf diese Technologie besteht ein europäisches Patent und mit den Entwicklungen dieses Projektes wird ein weiteres internationales Patent angemeldet.

Diese Technologie ermöglicht die Alleinstellung am Markt für plug-in Energiespeicher.

Durch die Marketingaktivitäten des ersten Systems und die damit verbundenen Kundengespräche, sowie durch Gespräche mit Vertreter:innen aus der Branche der Energieversorger bzw. Systemintegrierer hat sich klar herausgestellt, dass einfache Systeme vom Markt gewünscht sind. Mit der Weiterentwicklung des Systems werden weitere Märkte eröffnet und dem entsprochen, was in der Branche nachgefragt wird.

3.2. Systeme des Mitbewerbs, Stand der Technik

Im Bereich der steckerfertigen Lösungen bieten Mitbewerber aktuell Photovoltaik-Wechselrichter-Systeme, welche bei Sonneneinstrahlung die erzeugte Leistung direkt in die Steckdose abgeben. Diese Lösungen sind bis zu maximalen Leistungen von 800 W zugelassen (basierend auf der Europäischen Niederspannungsrichtlinie). In der Regel kommt es vor, dass diese Systeme ohne Vergütung in das öffentliche Stromnetz zurückspeisen. Steckerfertige plug-in Speichersysteme sind am Markt aktuell nicht verfügbar, da das Messproblem nur mit der Messtechnologie von EET gelöst werden kann. Messproblem bedeutet in diesem Zusammenhang, dass der Leistungsbedarf eines Haushalts bekannt sein muss, um die Energieflüsse zwischen Photovoltaik, Speicher und Haushalt entsprechend steuern zu können. Diese Messtechnologie wurde vom Gründerteam an der Technischen Universität Graz entwickelt und zum Europäischen Patent angemeldet.

Mitbewerber aus Österreich sind Ökostrom AG (Produkt Simon®) sowie Kioto Solar (Produkt Mein Kraftwerk).

3.2.1. Das aktuelle System von EET

Das aktuelle System von EET (skizziert in Abbildung 1) ist im Bereich der steckerfertigen Lösungen das innovativste System am Markt. Durch die Innovation der Messtechnologie NetDetection ist es erstmals möglich, dass ein steckerfertiges System leistungsorientiert und intelligent in eine Steckdose einspeist.

3.2.2. Was geht über den Stand der Technik hinaus

AC-Verbindung Photovoltaik und Speicher

Das steckerfertige System aus Photovoltaik und Speicher hat drei einzigartige Eigenschaften, welche es auch einzeln am Markt nicht gibt:

- Es kann vom Endkunden ohne Baustelle installiert werden
- Versorgt den Haushalt intelligent und erneuerbar
- Verbindet die Komponenten über das Stromnetz wechselstromseitig

Der Kund:innennutzen der Weiterentwicklung besteht darin, dass der Speicher ortsunabhängig und unabhängig von verfügbaren Photovoltaikflächen aufgestellt werden kann.

Dieses System bietet eine intelligente und integrierte Lösung zur Energiebereitstellung in alten und neuen Gebäuden des urbanen Raums in Europa und darüber hinaus. Das Projektziel unterstützt darüber hinaus die Ziele des Europäischen Green Deals, die SDGs (nachhaltige Entwicklungsziele) 7, 11 und 13, das Ziel klimaneutraler Städte, sowie die Wettbewerbsfähigkeit durch Innovationsvorsprung.

4 Projektinhalt

Das langfristige Ziel ist ein Produkt, welches basierend auf den hier im Projekt LINE-FEED Technologien, die Speicherung von erneuerbarer Energie dezentral im urbanen Raum ermöglicht. Die Anwendungen, die sich mit diesem Produkt ergeben, reichen von der lokalen Speicherung von erneuerbarer Energie (etwa durch die Nachrüstung von bestehenden PV-Systemen) über die Möglichkeit im Sinne von Energiegemeinschaften¹ die Eigennutzung, der innerhalb der Energiegemeinschaft erzeugten Energie, zu optimieren, bis hin zur Bereitstellung von virtuellen Speicherkraftwerken zur Unterstützung des Stromnetzes.

In diesem Projekt wird basierend auf dem bestehenden Produkt SolMate bzw. dessen technologischem Kern ein neuartiger wechselstromseitig (AC) angebundener Stromspeicher entwickelt, aber auch die Messtechnik, welche den lokalen Strombedarf im Haushalt ermittelt verbessert und erweitert.

Dazu ist es nötig die lokale **Regelung und Datenerfassung** anzupassen. Für die lokale Regelung muss der AC gekoppelte Speicher jederzeit wissen wie viel Leistung von der sich am Balkon befindlichen PV-Anlage („Balkonkraftwerk“) ins Hausnetz eingespeist wird. Weiters muss dieser wissen, wie groß der tatsächliche Leistungsbedarf im Haushalt ist. Auf diese Weise kann der AC gekoppelte Speicher entscheiden, ob überschüssige Leistung vom „Balkonkraftwerk“ in den Speicher für die spätere Verwendung aufgehoben bzw. Gespeichert werden kann, oder ob nur ein Teil der produzierten Leistung aufgenommen werden sollte, oder ob Leistung vom Speicher über die AC-Anbindung ins Stromnetz abgegeben werden muss. Als Erweiterung dieser lokalen Regelung, wird ein übergeordneter Regler entwickelt, welcher im Falle von Energiegemeinschaften die Leistungsflüsse nicht nur entsprechend der Teilhaberschaft der einzelnen Nutzer verteilt („statische Regelung“), sondern auch in Grenzfällen die Zuweisung von Leistung verteilt, sodass die Energiegemeinschaft als Ganzes einen möglichst großen Eigenverbrauchsgrad erzielt. Im Idealfall werden solche Grenzfälle in denen einzelne Speicher zu voll sind, um Energie aufzunehmen gänzlich verhindert.

Da EET bei der Entwicklung auf die Installierbarkeit des Systems durch den Laien achtet, ist es nötig, den **Leistungsbedarf des Einzelhaushaltes** zu erfassen ohne Anpassungen am Zählerkasten durchführen zu müssen. Danach wäre eine Überprüfung der gesamten elektrischen Anlage durch eine Fachkraft erforderlich. Um die Leistungserfassung zu verbessern und Endkund:innen eine detaillierte Aufstellung seines Verbrauchsmusters zu ermöglichen, ist die Unterscheidung verschiedener Lasttypen (z.B. Beleuchtung, Unterhaltungselektronik etc.) wünschenswert. Die Weiterentwicklung der Lasterkennung auf Basis der im Patent ([EP3364156A1](#)) dargestellten Methode umfasst deshalb ein eigenes Arbeitspaket. Dazu wird die Hardware angepasst und die darauf aufbauende Software. Um Folgepatente durch eine patentschädliche Veröffentlichung nicht zu gefährden, kann derzeit nicht näher darauf eingegangen werden.

Als zentraler Entwicklungsaufgabe kommt der **bidirektionalen Ladeschaltung (Line-Battery-Interface, LiBif)** große Bedeutung hinzu. Sie ist das Bindeglied zwischen dem Wechselstromnetz und dem Akku. Diese Leistungselektronische Schaltung ermöglicht es, bei Bedarf Strom bzw. Leistung aus dem Wechselstromnetz über die gewöhnliche Schukosteckdose zu entnehmen und in einen DC-

¹ siehe <https://www.e-control.at/energiegemeinschaften>

Speicher zu überführen, als auch den Leistungsfluss vom DC Speicher in das AC Stromnetz. Für den Fall, dass kein Stromnetz verfügbar ist (z.B. Stromausfall), ermöglicht die hier entwickelte Hardware ebenfalls die Leistungsabgabe in Form einer bereitgestellten 50 Hz Wechselspannung.

Die Interaktionen der einzelnen Entwicklungen im System zu verifizieren, werden die entwickelten Hardwarebestandteile zunächst als Einzelkomponenten getestet und danach wird die Funktionsweise im **Testsystem** verifiziert. Die übergeordnete Regelung, welche die Leistungsflüsse von Energiegemeinschaften regelt, wird zunächst simuliert und nach Integration der Schnittstellenfunktionen am Server getestet.

Das Projekt ist folglich in Arbeitspakete aufgeteilt:

- Regelung und Kommunikation
- Entwicklung Messtechnologie
- Bidirektionale Ladeschaltung, LiBif (Line-Battery-Interface)
- Aufbau und Test des Systems

4.1. Regelung und Kommunikation

Das entwickelte **Regelkonzept für Gemeinschaftsanlagen** mit kleinen dezentralen Speichern auf Haushaltsebene sieht einen zentralen Steuerknoten vor. Dieser weist den dezentralen Speichern die Sollwerte zu. Das Konzept eines zentralen Servers ist im Besonderen vorteilhaft, wenn mehr als zwei Geräte in der Gemeinschaft vorhanden sind. Dies ist bei Energiegemeinschaften immer der Fall. Ohne zentralen Server müsste jedes teilnehmende steuerbare Gerät die Daten aller anderen teilnehmender Geräte in Echtzeit erfassen und denselben Regelalgorithmus ausführen, um seine eigene optimale Vorgabe zu berechnen.

Das Konzept sieht vor, dass über WLAN der PV-Produktionswert und die Verbrauchswerte mit den Speicher-Ladeständen der Haushalte in Echtzeit zentral erfasst werden.

Wie gut man mit wenigen historischen PV-Produktionswerten den nächsten PV-Produktionswert vorhersagen kann, konnte mittels Simulationen gezeigt werden. Das Konzept der PV-Vorhersage-Simulation kann auch für die Verbrauchsvorhersage angewendet werden.

Um das Optimierungsziel, die **Maximierung des Eigenverbrauches** der PV-Produktion gegenüber einer statischen festgelegten Verteilung zu verbessern, wurden in diesem Arbeitspaket zwei Lösungsansätze verglichen - die Modellierung des Optimierungsproblem als ein Reinforcement Learning Model und das direkte Lösen des Optimierungsproblem mittels Constrained Solver. Das Lösen mittels Constrained Solver ist effizienter, da der Aufwand für die Modellierung wesentlich

geringer ist.

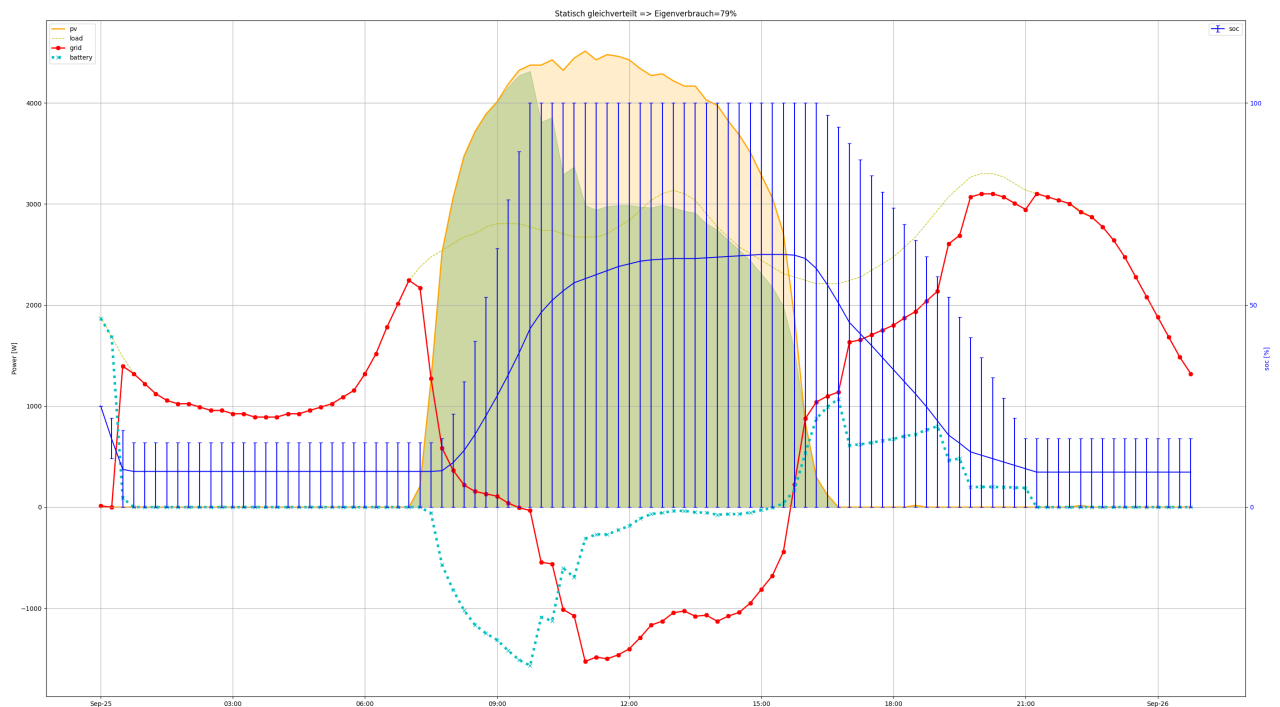


Abbildung 3: Beispiel Simulation der statischen Regelung, Eigenverbrauch an einem Tag 79%

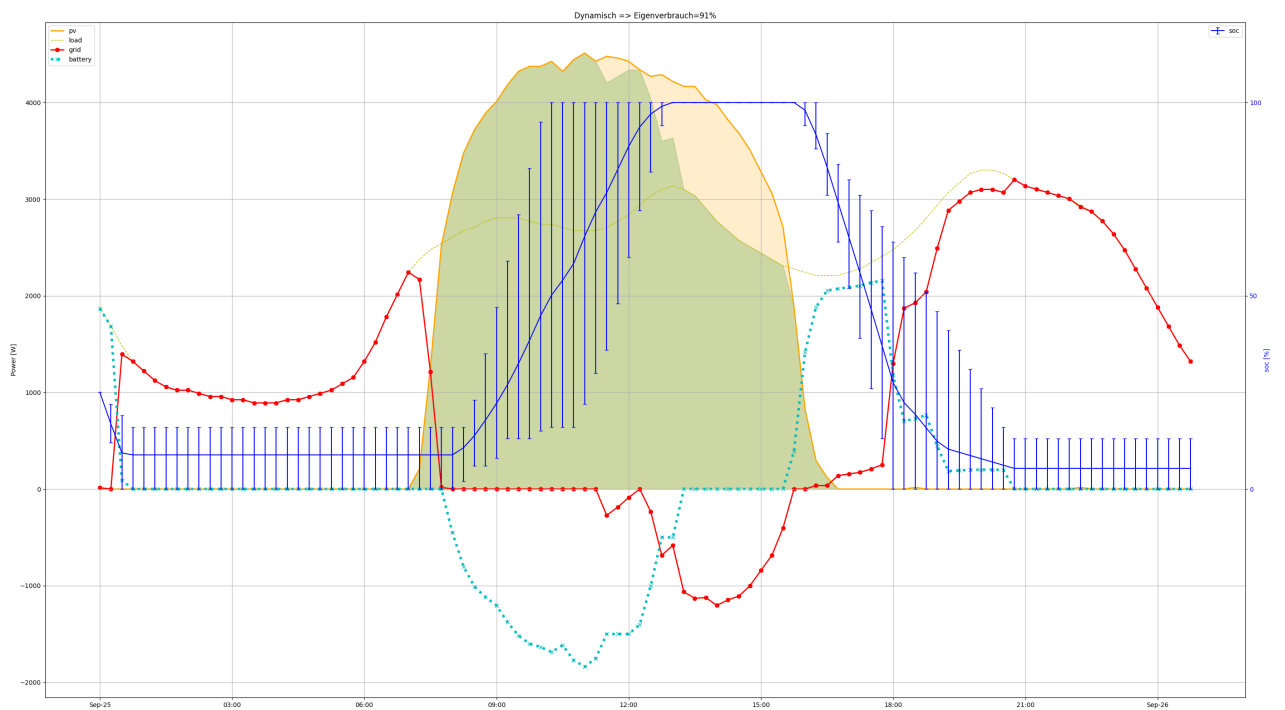


Abbildung 4: Beispiel Simulation der dynamischen Regelung, Eigenverbrauch an einem Tag 91%

Der Eigenverbrauch, der durch die dynamische Verteilung durch das Ergebnis des Constrained Solver in der Simulation erzielt werden kann, ist im Durchschnitt um etwa 10 % besser als bei statisch festgelegter Verteilung (siehe Abbildung 3 und Abbildung 4) Abbildung 3. Außerdem werden mithilfe

des Constrained Solvers alle dezentralen Speicher im Laufe eines sonnigen Tages voll, wie man an den soc Werten in Abbildung 4 erkennt.

Um den **lokalen PV-Produktionswert** (etwa eines Balkonkraftwerkes) zu bestimmen, wird ein Leistungserfassungsmodul verwendet, welches bereits im Laufe des eines Vorprojektes entwickelt wurde. Hierbei handelt es sich um ein steckbares Modul, welches zwischen dem erzeugenden Wechselrichter der PV-Anlage und der Steckdose angebracht wird. Nach dem Durchführen des onboarding Prozesses, um das Modul mit dem WLAN-Router der Endkundin oder des Endkunden bzw. des Speichers zu verbinden, wird die erfasste Leistung anschließend an den Speicher gesendet und in einer Datenbank abgelegt. Um eine hohe Reichweite der Funkverbindung zu garantieren, wird eine zusätzliche 2,4 GHz Antenne im Modul verbaut, wodurch eine Reichweite von 50 m bis 100 m erreicht werden kann. Um nachträglich Änderungen an der Leistungserfassung zu ermöglichen, wurde zusätzlich die Unterstützung von ferngesteuerten Softwareupdates implementiert.

Für die Erfassung von **PV-Produktionsdaten der Gemeinschaftsanlage** werden an den Gemeinschafts-PV-Anlagen vorerst Stromklemmen verwendet, welche die Daten an den zentralen Steuerknoten senden, damit dieser die Daten der Gemeinschaftsanlage als Eingangswerte für die Lösung mit dem Constrained Solver zur Verfügung hat.

4.2. Entwicklung Messtechnologie

Hierbei wird die bestehende Hardware erweitert und flexibler gestaltet. Sie verfügt nun über eine größere Bandbreite an Messfrequenzen und über eine zeitlich hoch aufgelöste Netzspannungsmessung. Aus patentrechtlichen Gründen wird dies hier nicht näher ausgeführt. Mit der neuen Hardware konnten im Testbetrieb Verbesserungen in der Leistungsdetektion erzielt werden.

4.3. Bidirektionale Ladeschaltung

Wie bereits erwähnt, ist das langfristige Ziel des Projekts die dezentrale Energiespeicherung (z.B. auf Haushaltsebene). Um dies zu erreichen, wird ein leistungselektronisches System entworfen und optimiert, das als Schnittstelle zwischen dem Niederspannungsnetz und der Batterie (LiBif) dient. Wie bei der Entwicklung von Leistungselektronik üblich, sollte das System einen hohen Wirkungsgrad bei kleinem Formfaktor bieten und gleichzeitig die Gesamtkosten niedrig halten.

Basierend auf umfangreichen Literaturrecherchen baut das endgültige Design der Netz-Batterie-Schnittstelle auf zwei parallel geschalteten und zeitlich versetzt gesteuerten "Dual-Active-Bridges" (siehe Abbildung 5) auf, die aus je acht aktiven Schaltern und einem Hochfrequenztransformator (siehe Abbildung 6) bestehen. Zusätzlich ist eine gemeinsame „Unfolding Bridge“ vorgesehen, die dazu dient, die pulsierende Gleichspannung in Wechselspannung zu wandeln. Ein Netzfilter sorgt für die Reduktion unerwünschter hochfrequenter Ströme.

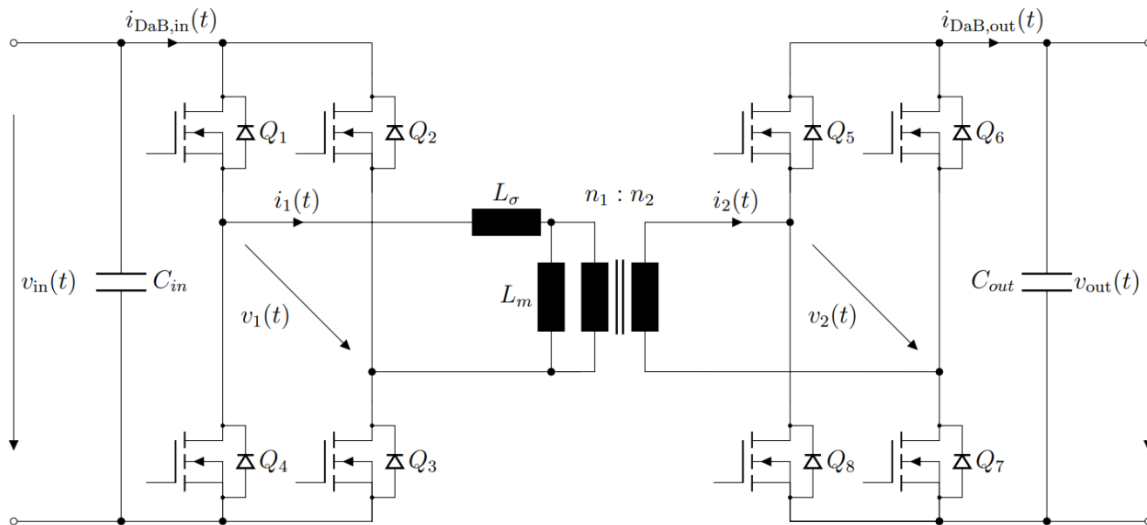


Abbildung 5: Schaltbild einer Dual-Active-Bridge

Der neuartige Ansatz in diesem Projekt besteht in einer Steuerungsstrategie mit vier Freiheitsgraden für die "Dual-Active-Bridge". Diese Freiheitsgrade – Schaltfrequenz, Phasenverschiebung sowie die Tastverhältnisse für die beiden Vollbrücken – werden abhängig vom Betriebspunkt so gesteuert, dass die Gesamtverluste minimiert werden. Die von der Regelung einzustellenden vom Betriebspunkt abhängigen Parameter werden vorab mit Hilfe eines Optimierungsalgorithmus ermittelt. Dafür werden detaillierte Verlustleistungsmodelle für die Halbleiterschalter sowie die Hochfrequenztransformatoren entwickelt, welche aus Datenblattangaben parametrisiert werden. Unter Verwendung dieser Verlustleistungsmodelle wird eine Optimierung durchgeführt, um durch Variation der oben genannten Freiheitsgrade die Umwandlungsverluste für jeden der erforderlichen Betriebspunkte zu minimieren. In einem übergeordneten Optimierungsschritt werden Bauteilparameter variiert, um aus einer gegebenen Menge an möglichen Bauteilen die im Hinblick auf Verluste, Kosten und Platzbedarf jeweils am besten geeignete Kombination zu finden.

Aufgrund der Komplexität des Verlustleistungsmodells und der hohen Anzahl von Freiheitsgraden ist der Optimierungsalgorithmus die größte Herausforderung beim LiBif-Design. Wie für solche Fälle zu erwarten, gibt es einen Kompromiss zwischen der Komplexität der Modelle, die sich in langen Laufzeiten der Optimierung niederschlagen, und der Genauigkeit der Ergebnisse. Es wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um einen geeigneten Optimierungsalgorithmus zu entwickeln, der Sätze von Steuerungsparametern erzeugt, die in die endgültige Hardware implementiert werden.

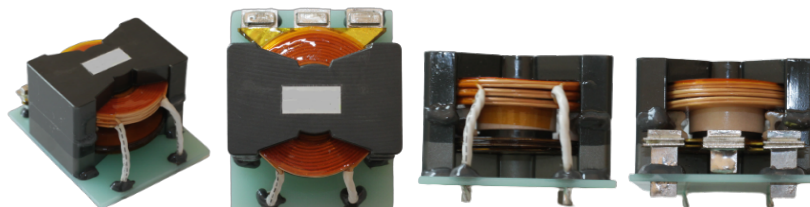


Abbildung 6: Hochfrequenztransformator zur Isolation und Energieübertragung in der Dual-Active-Bridge mit speziellem Design zur Vergrößerung der Streuinduktivität.

4.3.1. Hardware Leistungselektronik (LiBIf)

Nach der Auswahl der geeigneten Topologie wird die Schaltung mit der nötigen Peripherie wie Netzfilter, Spannungsversorgung und der jeweiligen Ansteuerung in die PCB-Design-Software übernommen. Mit dieser Software wird aus der Schaltung das Layout der PCB entworfen und dann bei einem entsprechenden Hersteller bestellt. Diese PCB wird dann im Haus bestückt und nacheinander werden einzelne Baugruppen und dann die komplette PCB in Betrieb genommen und getestet. Für die Ansteuerung und Regelung der kompletten Schaltung wird die Firmware für die Mikrocontroller geschrieben und bevor diese die Leistungsschalter Ansteuern werden alle Signale vorher nochmals überprüft, um eine Zerstörung der Schalter zu vermeiden. Da diese Ansteuerung mit den Mikrocontrollern auf einer separaten steckbaren PCB implementiert wird, ist dieser Schritt einfach umzusetzen. Um die nötige Redundanz für die sicherheitsrelevante Freischaltung der Netzverbindung zu erzielen, läuft dieser Teil der Firmware auf zwei separaten Mikrocontrollern und die entsprechende Schaltung zum Messen wird auch redundant ausgeführt.

Im Laufe des Projektes werden mehrere Revisionen des Line-Battery-Interfaces in Betrieb genommen und getestet. Dabei wurden nach jeder Revision die Erkenntnisse aus der vorherigen Version in die neue Revision übernommen. Dadurch wurde das Kühlkonzept, die Anordnung der einzelnen Komponenten, die Position der Ansteuerungselektronik (Auslagerung auf eine externe steckbare PCB), die Technologie der Leistungsschalter, das Transformatordesign und das Konzept der Spannungsversorgung optimiert.

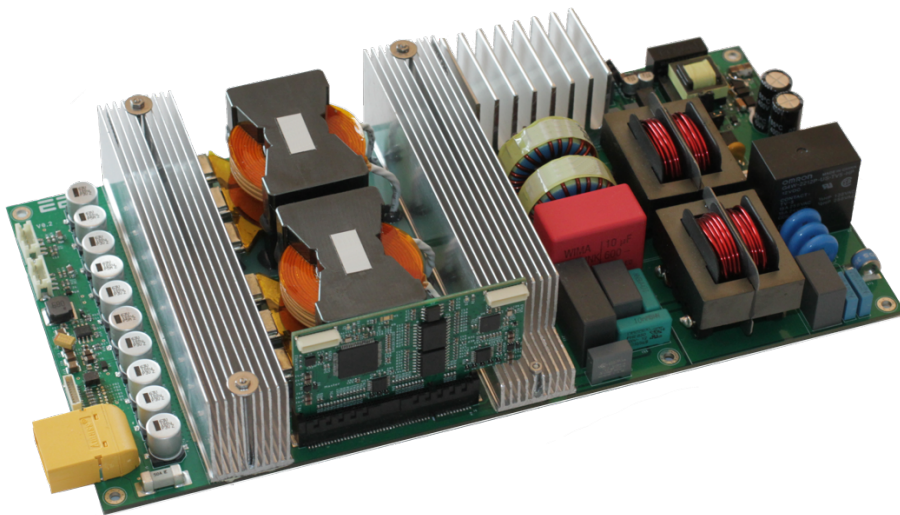


Abbildung 7: Line-Battery-Interface Platine

4.4. Implementierung des Reglers für Energiegemeinschaften am Server

Am Entwicklungsserver werden der Constrained Solver als Kern implementiert. Zusätzlich werden die Daten der an den Energiegemeinschaften teilnehmenden Geräte erfasst und spezifischen Teilnehmern der Energiegemeinschaft zugewiesen (siehe Abbildung 8).

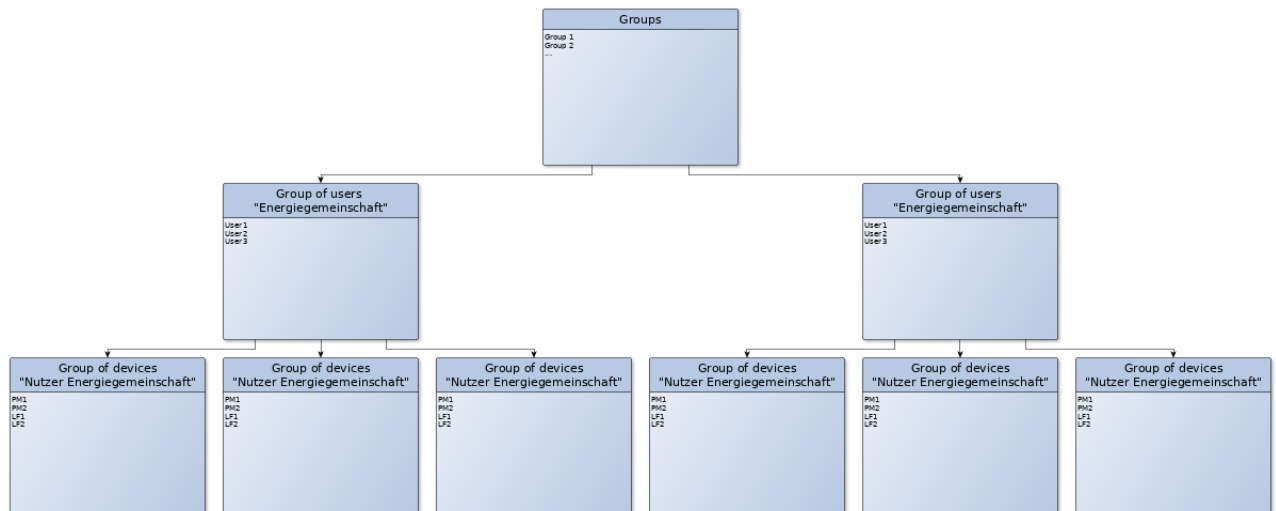


Abbildung 8: Hierarchische Struktur ordnet teilnehmende Geräte (Produktion oder steuerbare Speicher) Teilhabern zu, welche wiederum in Gruppen (bzw. Energiegemeinschaften) organisiert sind.

Für die Statuserfassung selbst kann auf bestehende Softwarebausteine zurückgegriffen werden. Hierzu bauen die teilnehmenden Geräte nach dem Herstellen der Internetverbindung eine persistente Verbindung zum Server auf, welcher eine bekannte Adresse hat. Dieser kann wiederum den Gerätestatus über die Verbindung ermitteln. Die Stati werden dann im Constrained Solver verwendet und so können aktualisierte empfohlene Sollwerte an die spezifisch teilnehmenden Geräte ausgeschickt werden.

5 Ergebnisse

Photovoltaik- und Speichertechnologien sind eine der vielversprechendsten Kandidaten für dezentrale und erneuerbare Energieversorgung. Im Moment werden diese Technologien nur eingeschränkt im urbanen Raum eingesetzt und leisten damit noch einen zu geringen aber umso steigerungsfähigeren Beitrag zur Erhöhung der Energieeffizienz, Dekarbonisierung und Klimaneutralität.

Kleine, unkomplizierte und zuverlässige Lösungen sind eine Möglichkeit (neben Gemeinschaftsanlagen), um diese Technologien in die Stadt zu bringen. Mit dem Projekt werden folgende Ziele des Programms „Stadt der Zukunft“ erfüllt:

- Dekarbonisierung der Energieproduktion
- Beitrag zu nachhaltigem Energiesystem und klimaneutralen Städten
- Reduktion der Klimawirkung
- Stärkung Technologieführerschaft und Wettbewerbsfähigkeit
- Entwicklung intelligenter integrierter Lösungen zur Energiebereitstellung im urbanen Raum
- Erhöhung der Energieflexibilität durch Speicher
- Energiespeicher für die Stadt
- Vertiefung Kooperation zwischen Start-ups und Forschungseinrichtungen

5.1. Zentralisiertes, informationsbasiertes Regelkonzept für Energiegemeinschaften errechnet in Echtzeit die optimale Leistungszuteilung

Der im Projekt entwickelte Regelkreislauf beginnt mit dem Erfassen aller Daten der teilnehmenden Geräte. Lokale PV-Produktionswerte und Verbrauchswerte werden bislang lokal beim Einzelspeicher zusammengefasst und am Server als ein Gerät dargestellt. PV-Produktionswerte von Gemeinschaftsanlagen werden ebenso vom Server erfasst. Dazu werden über eine verschachtelte Abfrage entsprechend der hierarchischen Zuordnung die Ist-Werte der teilnehmenden Geräte der aktuell zu verarbeiteten EG eingeholt (siehe Abbildung 8). Mit dieser Datenbasis kann der Constrained Solver am Server die optimale Leistungszuweisung ermitteln. Das Optimum wird dann an die steuerbaren Speicher als Sollwert ausgegeben. Die steuerbaren Speicher behalten dabei aber ein Overruling recht. d.h. Sie können entscheiden, ob sie diese Vorgabe zur Gänze oder nur teilweise übernehmen können.

5.1.1. Beispiel

Zur Veranschaulichung des Constrained Solvers wird eine Energiegemeinschaft mit 3 Haushalten evaluiert mit

- 1 Haushalt mit 1.44 kWh Speicher und einem Jahresverbrauch von 1000 kWh mit einem Hauptverbrauch am Abend.

- 1 Haushalt mit 1.44 kWh Speicher und einem Jahresverbrauch von 1000 kWh mit einem Hauptverbrauch am Abend unter der Woche und am Wochenende Hauptverbrauch zu Mittag.
- 1 Haushalt mit 5.76 kWh Speicher und einem Jahresverbrauch von 4000 kWh mit hohem Verbrauch zu Mittag und mäßigen Verbrauch abends.

Als Gemeinschafts-Photovoltaik-Anlage wurde eine PV mit 6.000 kWh Jahresproduktion gewählt.

Bei dynamischer Verteilung können die dezentralen Speicher gemeinschaftlich gesehen effizienter aufgeladen werden, wie man anhand eines Tagesverlaufes mit guter PV-Produktion in den folgenden zwei Grafiken (Abbildung 9 und Abbildung 10) Abbildung 9 sieht.

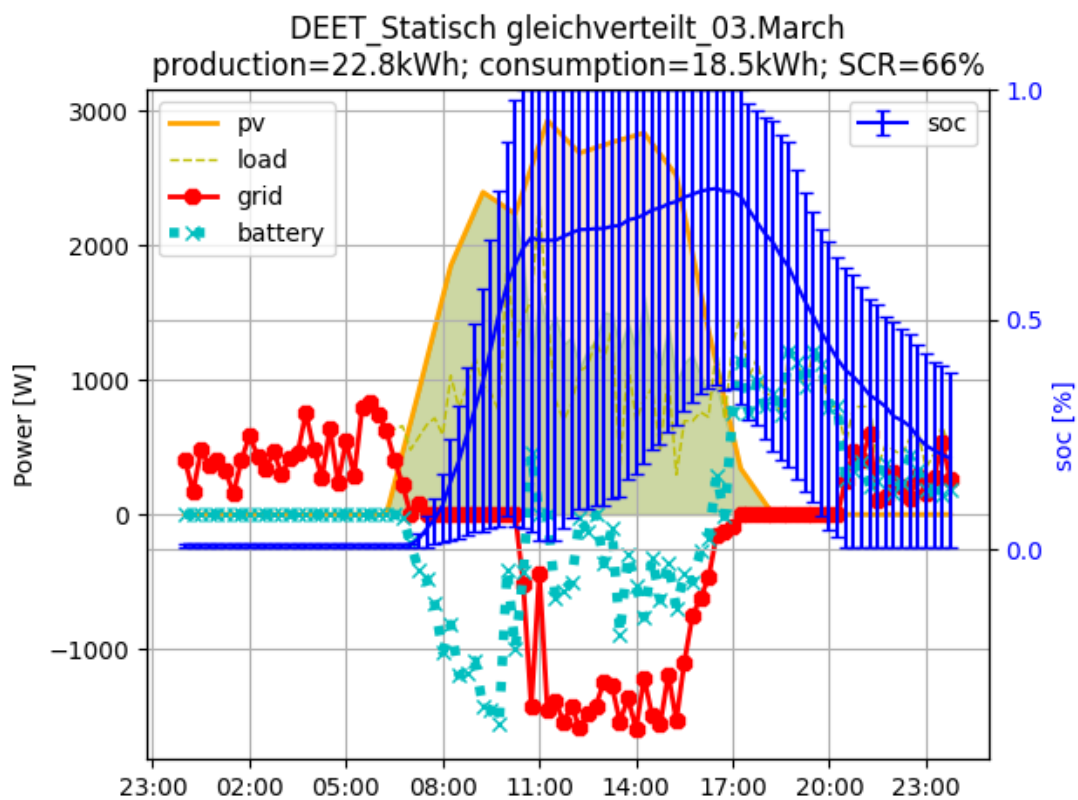


Abbildung 9: Statische Verteilung innerhalb der Energiegemeinschaft

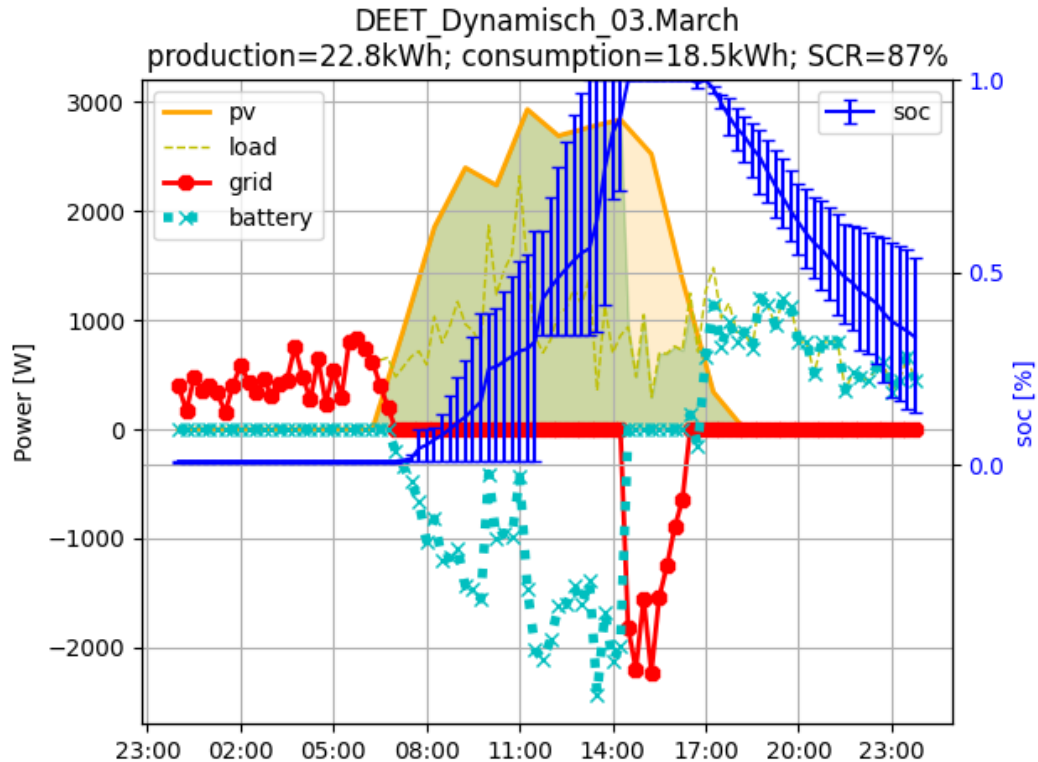


Abbildung 10: Dynamische Verteilung innerhalb der Energiegemeinschaft mittels DEET

Bei statischer Verteilung werden nicht alle Speicher voll. Bei dynamischer Verteilung können alle Speicher bis zu einem SOC von 100% geladen werden, somit wird statt 66% Eigenverbrauch ein Eigenverbrauch von 87% erzielt.

Betrachtet man den Eigenverbrauch monatsweise (Abbildung 11, sieht man, dass der Effekt saisonal abhängig aber zu jeder Jahreszeit gegeben ist. Die Produktion ist bei statischer und bei dynamischer Verteilung gleich groß. Die Steigerung des Eigenverbrauchsanteils, die durch dynamische Verteilung erzielt werden, sind in den Monaten mit weniger PV-Produktion anteilmäßig stärker ausgeprägt, aber absolut gesehen konstant gegeben.

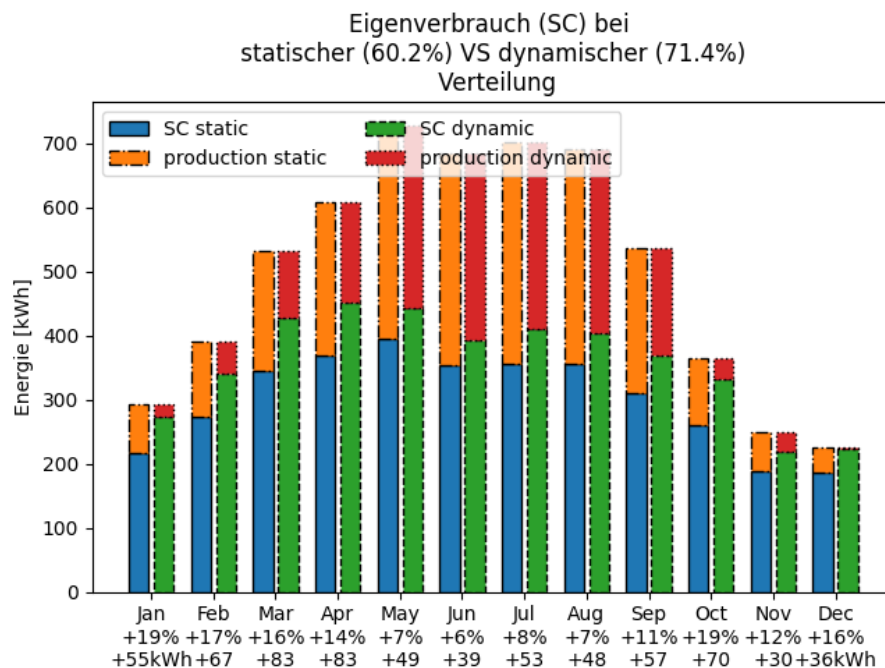


Abbildung 11: Eigenverbrauchsgrad unter statischer Verteilung und dynamischer Verteilung der Leistung innerhalb der Energiegemeinschaft unter Verwendung des entwickelten zentralisierten, informationsbasierten Reglers.

5.2. Eingliederung bestehender Balkonkraftwerke mittels Leistungserfassungshardware

Um den lokalen PV-Produktionswert einer AC-gekoppelten PV-Anlage (z.B. ein Balkonkraftwerk) zu bestimmen, wird im Projekt ein Leistungserfassungsmodul weiterentwickelt. Hierbei handelt es sich um ein steckbares Modul, welches zwischen dem erzeugenden Wechselrichter der PV-Anlage und der Steckdose angebracht wird. Nach Durchführen des on-boarding Prozesses, um das Modul mit dem WLAN-Router der Endkundin oder des Endkunden bzw. des Speichers zu verbinden, wird die erfasste Leistung anschließend an den Speicher gesendet und in einer Datenbank abgelegt. Um eine hohe Reichweite der Funkverbindung zu garantieren, wird eine zusätzliche 2,4 GHz Antenne im Modul verbaut, wodurch eine Reichweite von 50 m bis 100 m erreicht werden kann. Um nachträglich Änderungen an der Leistungserfassung zu ermöglichen, wurde zusätzlich die Unterstützung von ferngesteuerten Softwareupdates implementiert.

5.3. Patentfähige Optimierungen des Messkonzeptes zur Verbrauchserfassung in Einzelhaushalten.

Hierfür konnte ein Patent eingereicht, welches die nötige Messhardware schützt.

5.4. Line-Battery-Interface

Das im Projekt entwickelte Line-Battery-Interface ist eine leistungselektronische Platine, welche auf einer Dual-Active-Bridge Topologie basiert. Es dient der Anbindung von DC-Speichern an den Wechselstromanschluss des Hauses, über eine gewöhnliche Steckdose. Es ermöglicht damit die kontrollierte Speicherung von elektrischer Energie aus dem Wechselstromnetz in den Akku oder die Einspeisung von Energie aus dem Akku in das Wechselstromnetz. Dadurch können zum einen bestehende Balkonkraftwerke nahezu ortsungebunden mit einem Speicher erweitert werden, zum anderen werden neue Anwendungen im Bereich von Energiegemeinschaften und Virtuellen Speicherkraftwerken ermöglicht.

5.5. Erweitertes semianalytisches Verlustmodell für die Dual Active Bridge im Vergleich zur bestehenden Literatur

Die in diesem Projekt entwickelten semianalytischen Modelle zur Beschreibung der in den Bauteilen auftretenden Verluste erzielen im Vergleich zu den aktuellen in der wissenschaftlichen Literatur beschriebenen Modellen für die "Dual-Active-Bridge" genauere Ergebnisse bei verringerter Gesamtmodellkomplexität.

5.6. Numerische Methode zur Ermittlung der bestmöglichen Kombination der Betriebsparameter mit den die Systemeigenschaften bestimmenden Schaltungsparametern

Das im Rahmen dieses Projekts entwickelte Optimierungsverfahren liefert unter Verwendung der genannten Modelle Sätze von Modulationsparametern für die unterschiedlichen Arbeitspunkte, die einen Betrieb der "Dual-Active-Bridge" mit sehr großem Wirkungsgrad ermöglichen. Zudem ist das Optimierungsverfahren unter Anwendung der genannten Modelle dafür geeignet, Bauteilauswahl und Dimensionierung der Komponenten zu unterstützen.

6 Schlussfolgerungen

Im Projekt konnten nicht nur aber vor allem **Erkenntnisse** im Bereich

- der Modellierung von in aktiven und passiven Bauteilen während der verschiedenen Betriebszustände anfallenden Verlusten,
- der numerischen Optimierung der Konstruktionsparameter zur Verringerung der mit diesen Modellen berechneten Verluste,
- dem Aufsetzen von automatisierten Machine Learning Pipelines,
- der dynamischen Regelung von Energiegemeinschaften

für das Projektteam gewonnen und erweitert werden. Dieser Knowhow Gewinn wird den Projektpartnern unabhängig von den zukünftigen Aufgaben von großem Wert sein.

Die Ergebnisse der entsprechenden Literaturrecherche v.a. der Normenrecherche waren die Basis für Spezifikationen der im Projekt entwickelten Hardware und Firmwarebestandteile. Diese werden dem Entwicklerteam vor allem für weitere Entwicklungen, sowie bei der Firmwareanpassungen an verschiedene normative Situationen (länderspezifische Regelungen) von Wert sein.

Die Arbeiten an der Messhardware sind vorerst abgeschlossen und es kann sich auf die Weiterentwicklung der Auswertung der damit erhaltenen Messergebnisse konzentriert werden.

Die Arbeiten an der Leistungselektronik in Bezug auf das hier entwickelte LiBlf konnten noch nicht bis zur Marktreife abgeschlossen werden und werden dahingehend fortgeführt. Dabei wird hauptsächlich die Firmware optimiert bzw. an die länderspezifischen Normen angepasst, als Voraussetzung für darauf aufbauende Produktzertifizierungen. Eine weitere Verbesserung des Wirkungsgrads und der Leistungsdichte unter anderem durch Modifikation des Transformator-Konzeptes wird verfolgt.

Im Projekt wurde ein Patent eingereicht, welches noch keinen Veröffentlichungszwang steht. Dieses wird die über den Status Quo hinausgehenden Bestandteile der Projektergebnisse schützen. Dadurch ergeben sich künftig zum einen Verwertungsmöglichkeiten über den Vertrieb der Hardware. Daneben ergeben sich neue Geschäftsmodelle, welche auf dem bidirektionalen Speicher basieren. Hier sind vor die Integration einfach zu installierenden Speicher in Energiegemeinschaften, sowie die Einbindung einfach zu installierender bidirektionaler Speicher in virtuelle Speicherkraftwerke zu nennen.

7 Ausblick und Empfehlungen

Seitens EET wird die **Weiterentwicklung des Line Battery Interfaces** verfolgt. Dahingehend sind länderspezifische normative Situation zu überprüfen und "Ländercodes" müssen in die Firmware integriert werden, sowie die länderspezifischen Vorgaben validiert werden. Darauf aufbauend werden die Vorgaben für die elektromagnetische Verträglichkeit überprüft und die Erfüllung dessen in dafür geeigneten Laboratorien nachgewiesen.

Ebenso wird die **Integration von Energiegemeinschaften** weiter vorangetrieben. Hier sind neben der Weiterentwicklung des Optimier-Algorithmus selbst, der Einbindung von grafischen Benutzeroberflächen für Betreiber von Energiegemeinschaften, vor allem Aktivitäten zur geeigneten Visualisierung der erhaltenen Daten für Teilnehmer an Energiegemeinschaften nötig.

Im Projektverlauf haben sich weiters die Möglichkeiten aufgezeigt, die entwickelte **Hardware in virtuellen Speicherkraftwerken** (VPP Virtual Power Plants) zu nutzen. Es werden daher Entwicklungsaktivitäten für die API (Application Programming Interface) von VPPs angestrebt. Die Betreiber der VPPs erhalten dadurch die Möglichkeit, bei Bedarf dezentral Energie einzuspeisen und aufzunehmen. Die Verwertung erfolgt dabei über die Nutzung der API Funktionen und die Bereitstellung der Serverarchitektur.

Die für die Optimierung entwickelten **semianalytischen Modelle** zur Beschreibung der zu erwartenden Verluste in aktiven und passiven Bauteilen (Transistoren und Transformatoren) sowie die erworbene Erfahrung im Bereich der Optimierungsalgorithmen werden in künftigen Projekten weiterentwickelt werden.

Insbesondere die **Modellierung der ohmschen Verluste im Transformator** bei Betrieb mit Wechselgrößen mit höheren Frequenzanteilen wird in Folgeprojekten weiter zu entwickeln und messtechnisch zu verifizieren sein. Da die Konstruktion eines Transformators mit ausreichend großer Streuinduktivität auch Nachteile im Hinblick auf die Verluste zeigt, wird diese Realisierung einer Variante, bestehend aus jeweils getrennt optimierten Bauteilen für Transformator und Serieninduktivität gegenüber zu stellen sein. Möglichkeiten, Teile der Magnetkreise der beiden Bauteile gemeinsam zu nutzen, um Gesamtgewicht und -volumen zu verkleinern und zudem Verluste zu verringern, werden dabei ebenfalls Berücksichtigung finden.

8 Verzeichnisse

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Status quo des Systems von EET, teilweise entwickelt im Vorprojekt (P3Power, FFG Nr. 861631).....	12
Abbildung 2: System nach diesem Projekt, Speicher im Innenraum unabhängig von Photovoltaik	12
Abbildung 3: Beispiel Simulation der statischen Regelung, Eigenverbrauch an einem Tag 79%.....	17
Abbildung 4: Beispiel Simulation der dynamischen Regelung, Eigenverbrauch an einem Tag 91%.....	17
Abbildung 5: Schaltbild einer Dual-Active-Bridge	19
Abbildung 6: Hochfrequenztransformator zur Isolation und Energieübertragung in der Dual-Active-Bridge mit speziellem Design zur Vergrößerung der Streuinduktivität.	19
Abbildung 7 Line-Battery-Interface Platine.....	20
Abbildung 8: Hierarchische Struktur ordnet teilnehmende Geräte (Produktion oder steuerbare Speicher) Teilhabern zu, welche wiederum in Gruppen (bzw. Energiegemeinschaften) organisiert sind.	21
Abbildung 9: Statische Verteilung innerhalb der Energiegemeinschaft	23
Abbildung 10: Dynamische Verteilung innerhalb der Energiegemeinschaft mittels DEET	24
Abbildung 11: Eigenverbrauchsgrad unter statischer Verteilung und dynamischer Verteilung der Leistung innerhalb der Energiegemeinschaft unter Verwendung des entwickelten zentralisierten, informationsbasierten Reglers.	25

Literaturverzeichnis

Bosnjic, Zlatko; Krischan, Klaus *“Single-phase grid interface for home energy storage”* in: Elektrotechnik und Informationstechnik, Jahrgang 140, Nr. 1, 02.2023, S. 103–109.

Abkürzungsverzeichnis

DEET	DistributeEET (Constrained Solver Algorithmus zur Leistungszuweisung in EG)
EG	Energiegemeinschaft
LIBIF	Line-Battery-Interface
LINEFEED	Plug-in Photovoltaik-Speicher für die Steckdose (Projektakronym)
MPP.	Maximum Power Point
PCB	Printed Circuit Board (Leiterplatte)
PV	Photovoltaik
USP	Alleinstellungsmerkmal („Unique Selling Proposition“)
VPP	Virtual Power Plant (Virtuelles Speicherkraftwerk)

9 Anhang

9.1. Data Management Plan (DMP)

Es wurden lediglich Daten für interne Zwecke (Regelalgorithmen) generiert.

Im Rahmen dieses Projektes wurden Verbrauchsprofile aufgezeichnet und für die Entwicklung, sowie den Test der unterschiedlichen Regelstrategien weiter verarbeitet. Aus Gründen des Datenschutzes und zum Schutz der erzielten Ergebnisse können diese Verbrauchsprofile nicht veröffentlicht werden.

Zudem wurden Kennlinienfelder zur Verwendung in der Stromregelung des Line-Battery-Interfaces generiert, die ebenfalls zum Schutz der erzielten Ergebnisse nicht veröffentlicht werden können.

