

Energieforschungsprogramm

Publizierbarer Endbericht

Programmsteuerung:

Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)

Endbericht

erstellt am

02.12.2025

Greencharge EEG

Antragsnummer: 54546727

Energieforschungsprogramm – 2023 Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

Ausschreibung	2023 Ausschreibung Energieforschungsprogramm
Projektstart	01.09.2024
Projektende	30.11.2025
Gesamtprojektdauer (in Monaten)	13 Monate
ProjektnehmerIn (Institution)	Ed-energiedigital GmbH
AnsprechpartnerIn	Martin Moser
Postadresse	Petersgasse 35, 8010 Graz
Telefon	
Fax	...
E-mail	Martin.moser@energiedigital.at
Website	www.energiedigital.at

Greencharge EEG

Projektendbericht

AutorInnen:

Martin Moser

DI Christian Zingl

DI Eva Rott

Moritz Schwärzler

Dr. Stefano Coss

1 Inhaltsverzeichnis

1	Inhaltsverzeichnis	4
2	Einleitung	5
3	Inhaltliche Darstellung	5
3.1	Überprüfen der technischen Marktbarkeit	5
3.1.1	Prüfung Echtzeitdaten Verbrauch und Produktion	5
3.1.2	Überprüfung Hardware auf EEG Tauglichkeit	7
3.1.3	IT Architektur & Firmwareentwicklung	10
3.1.4	Analyse und Testing bestehender Algorithmen für Beladungsoptimierung	17
3.1.5	Konzeption und techn. Entwicklung eigener EEG PoC	22
3.2	Überprüfen der wirtschaftlichen Marktbarkeit	23
3.2.1	Bewertung Einsparung in EEGs	23
3.2.2	Quantifizierung Erzeugungs- und Verbrauchspotenzial in der EEG	25
3.3	Proof of Concept	26
3.3.1	Proof of Concept für Pilot EEG	27
3.3.2	Testing und Feedbackschleife	29
4	Ergebnisse und Schlussfolgerungen	31
4.1	Übergang F&E Projekt	31
4.2	Schlussfolgerungen	32
5	Ausblick und Empfehlungen	32
6	Literaturverzeichnis	33
7	Anhang	33
8	Kontaktdaten	33

2 Einleitung

In diesem Projekt wurde die technische Machbarkeit der greencharge Technologie überprüft sowie anhand eines Pilotquartiers getestet. Greencharge erlaubt die smarte Beladung von Warmwasserspeichern durch ein nachrüstbares IoT Modul, welches in der Lage ist, den Warmwasserspeicher dann zu laden, wenn günstige Strompreise oder Überschüsse aus der Energiegemeinschaft verfügbar sind. Zu diesem Zweck wurde das Pilotquartier Hart bei Graz ausgewählt, in dem insgesamt 20 Wohnungen mit diesem System ausgestattet worden sind. Der Aufbau dieses Endberichts orientiert sich grundsätzlich an den Arbeitspaketen und Tasks, wobei vor allem jene Tasks im Detail besprochen werden, welche den Hauptteil der Forschungsarbeiten ausmacht.

3 Inhaltliche Darstellung

3.1 Überprüfen der technisches Marktbarkeit

In diesem Arbeitspaket wurde die technische Machbarkeit der greencharge Technologie überprüft. Dies beinhaltet folgende F&E Arbeiten:

- Analyse der Lastprofile sowie Verbrauchs- und Erzeugungsdaten
- Entwicklung des Elektronikmoduls „greencharge“
- Entwicklung und Umsetzung der Firmware und des IT Systems
- Entwicklung eines intelligenten Beladungsalgorithmus
- Konzeption eines proof-of-concepts

Diese Arbeiten werden im Folgenden genauer dargestellt.

3.1.1 Prüfung Echtzeitdaten Verbrauch und Produktion

Grundsätzlich ladet ein Warmwasserspeichern unmittelbar nach der Zapfung, sobald eine gewisse min. Thermostattemperatur unterschritten wird. Einige Speicher heizen ausschließlich in der Nacht unabhängig davon wieviel Wasser untertags verbraucht wurde. In beiden Fällen ist der Strombezug in diesen Zeiten (Nacht, Morgen, Abend) nicht ideal, da in diesen Zeiten wenig Erneuerbare Energie im System ist. Dies äußert sich z.B. dadurch, dass Dynamische Strompreise zu diesen Zeiten hoch oder dass wenige Überschüsse aus einer lokalen Energiegemeinschaft vorhanden sind.

Die Grundidee von greencharge ist genau dies zu ändern und die Boilerbeladung in jene Stunden zu verschieben, in denen dynamische Preise günstig oder Überschüsse aus lokalen Energiegemeinschaften zu erwarten sind. Abbildung 1 zeigt den Verlauf des dynamischen Stromtarifs von Awattar der in dieser Arbeit als Referenz für ein Marktsignal für Netzstrom verwendet, wird:

Energieforschungsprogramm – 2023 Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

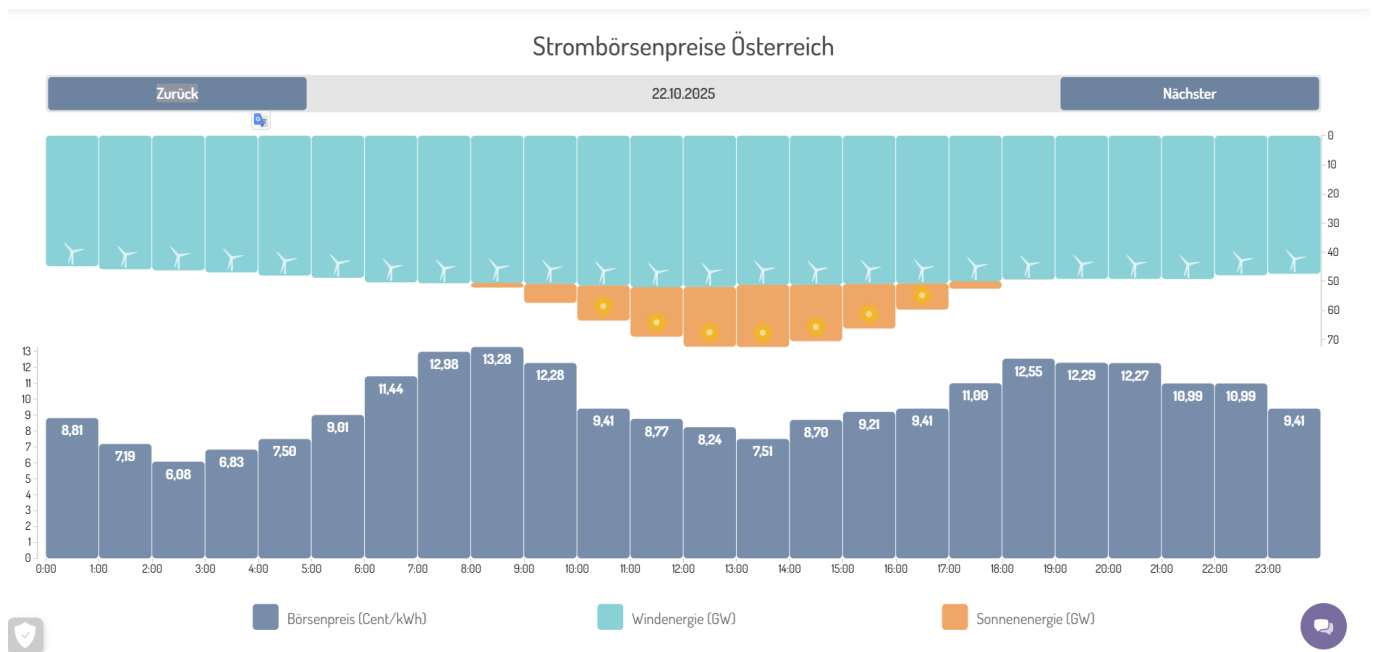


Abbildung 1: Dynamischer Strompreis am 22.10.2025 (Quelle: <https://www.awattar.at/services/charts/hourly>)

Man kann einfach erkennen, dass die günstigsten Strompreis in der Früh und zu Mittag auftreten. In den Sommermonaten ist dieser Effekt deutlich stärker, wobei sich in der Mittagszeit sogar negative Strompreise auftun und die Spreads zwischen größtem und kleinstem Strompreis bis zu 15 ct/kWh betragen können.

Ein ähnliches Bild ergibt sich wenn man die Verfügbarkeit von Überschuss aus der Energiegemeinschaft betrachtet, siehe Abbildung 2.

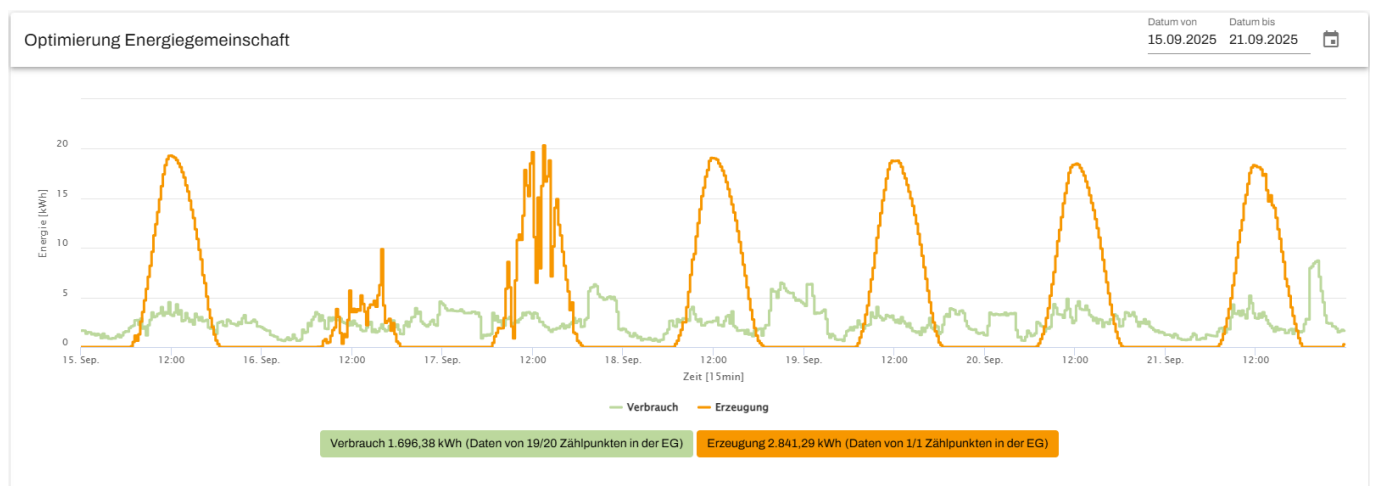


Abbildung 2: Erzeugung (orange) und Verbrauch (grün) im Pilotquartier (Quelle: energiedigital Plattform)

In dieser Grafik ist die Erzeugung sowie der Gesamtverbrauch an Strom im Pilotquartier Hart bei Graz für eine Woche im September abgebildet. Hier ist deutlich zu erkennen, dass zur Mittagszeit die Erzeugung den Verbrauch deutlich übersteigt, was in diesen Zeiten zu einem Überangebot an lokal-erzeugtem, grünen PV Strom führt. Hier ist anzumerken, dass diese Daten in Echtzeit vorhanden waren – sprich Erzeugung und Verbrauch aktuell minütlich für Lastmanagement zur Verfügung gestanden sind.

In beiden Fällen liegen die Vorteile auf der Hand. Egal ob man einen dynamischen Tarif angemeldet hat oder den Strom teilweise von einer Energiegemeinschaft bezieht; in beiden Fällen wäre eine intelligente Beladung des Warmwasserspeichers während der Mittagsstunden sinnvoll und würde helfen Kosten zu sparen bzw. das Stromnetz zu entlasten.

3.1.2 Überprüfung Hardware auf EEG Tauglichkeit

In diesem Kapitel besprechen wir die Umsetzung der Hardwarekomponente greencharge und die zugehörigen Smart Meter Reader, welche einen Grossteil der F&E Arbeiten in diesem Projekt waren. Das greencharge Modul ist eine geräteintegrierte Steuereinheit für den Pink DynaStrat Warmwasserbereiter. Es ersetzt bzw. ergänzt die in diesem Warmwasserbereiter zuvor rein mechanisch operierenden Thermostate und stellt weitere Funktionen zur Verfügung:

- Mobilfunkverbindung
- Cloud-Steuerung (z.B. Optimierung auf Energiegemeinschaft oder Börsenstrompreise)
- Zeitabhängige Steuerung
- Komfortfunktionen

Eine prototypische Version der Hardware ist in Abbildung 3 abgebildet.

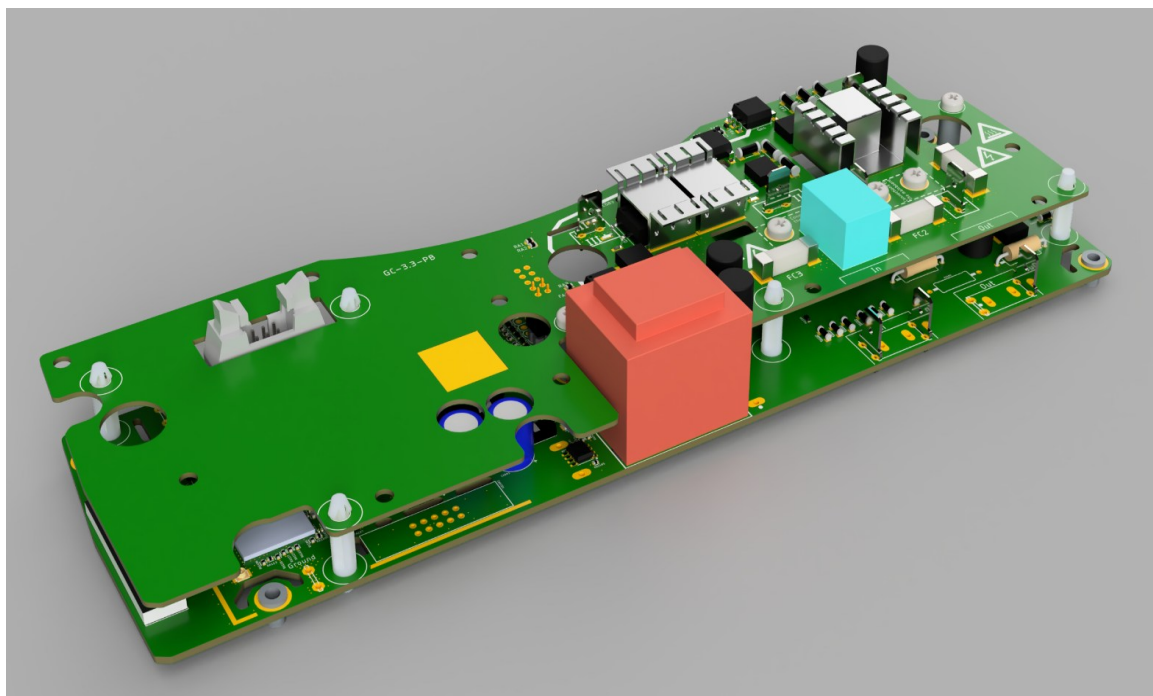


Abbildung 3: Prototypenversion greencharge Hardware Komponente (Quelle: energiedigital)

Diese Komponente wird als IoT Steuerungseinheit in den Warmwasser Speicher eingebaut und ist in der Lage die Steuerungssignale für die Dynamische Preisoptimierung bzw. die Optimierung in der Energiegemeinschaft umzusetzen. Abbildung 4 zeigt den Einbau des greencharge Moduls in den DynaStrat Speicher während der ersten Prototypentests.

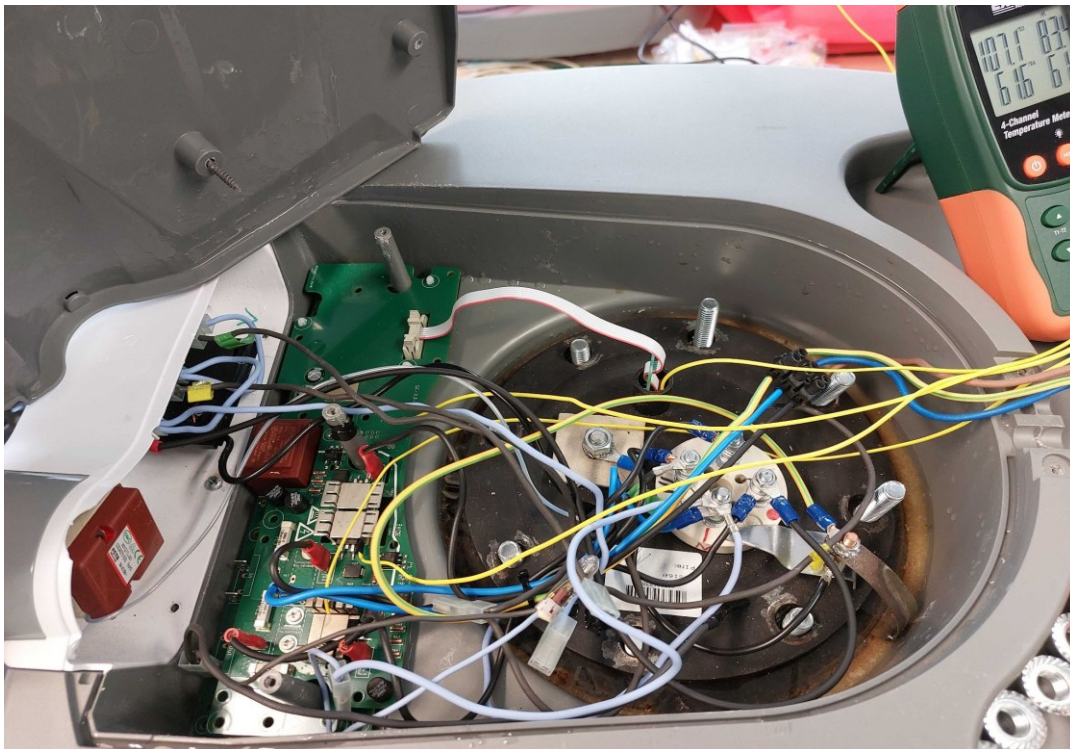


Abbildung 4: Einbau des greencharge Prototypen (Quelle: energiedigital)

Die Entwicklung des vernetzten greencharge Steuergeräts für den Pink DynaStrat Warmwasserspeicher erfolgte über mehrere Phasen, wobei anfangs nicht klar war, welche Form das Steuergerät annehmen soll.

Klar war nur, dass die Bedienerfreundlichkeit im Vordergrund stehen muss. Daher wurde die Vernetzung mittels einer integrierten Mobilfunkverbindung realisiert, welche für den Benutzer völlig unsichtbar ist, für die gesamte Gerätelebensdauer zur Verfügung steht und keine Konfiguration erfordert.

Gestartet wurde mit einem abgekapselten Gerät für die Montage auf DIN-Schiene. Da die Einbausituation noch nicht klar war, wurde dieses Steuergerät als eigenständige Komponente entwickelt, welche in einem Schaltschrank gemeinsam mit den zugehörigen Schaltelementen untergebracht wird. Während der Entwicklung wurde klar, dass der - von Natur aus - separat notwendige Einbau dieser Lösung eine große Hürde darstellt. Daher wurde parallel die Entwicklung einer geräteintegrierten Lösung gestartet. Ein Entwurf sah zu Beginn vor, dass die bestehende Hardware des Projektpartners Pink von der neu entwickelten, im Warmwasserbereiter zusätzlich integrierten, Elektronik angesteuert werden soll.

Aufgrund des Erfolgs bei der Zusammenarbeit wurde dann eine dritte Bauform erdacht, welche die gesamte bestehende Elektrik im Warmwasserbereiter ersetzen und damit zum einzigen Steuergerät werden soll.

Eine weitere Entwicklung welche teilweise in diesem Projekt durchgeführt wurde ist der Smart Meter Reader. Der Smart Meter Reader Universal stellt den Letztstand der Entwicklung eines Auslesegeräts für bereits bestehende Smart Meter dar. Er leitet Messwerte des Smart Meters an die energiedigital Cloud weiter, wo die Daten visualisiert und messwertabhängige Steuerbefehle - beispielsweise an das greencharge Modul - gesendet werden können.

Die Entwicklung des Smart Meter Readers wurde teilweise schon vor diesem Projekt begonnen. Gewünscht wurde ein für den Nutzer einfach zu integrierender Adapter, welcher Messwerte von bereits installierten Messsystemen im elektrischen Energienetz (Smart Meter) an die Server des Unternehmens übermittelt. Die Daten sollen zur Visualisierung des Zustands von Energiegemeinschaften verwendet werden, sowie als Eingangssignal für deren intelligente Optimierung dienen.

Die in Österreich verbauten Smart Meter müssen über eine aktivierbare Kundenschnittstelle zum lokalen Auslesen der Messdaten verfügen. Wie diese Schnittstelle umgesetzt wird, bleibt den Betreibern überlassen. Es sind daher einige unterschiedliche Schnittstellentypen mit unterschiedlichen elektrischen Eigenschaften im Einsatz.

Zuerst wurde sich nur auf einen Netzbetreiber beschränkt, welcher eine DSMR-Schnittstelle (mit Spezialkonfiguration ohne Energieversorgung an die Kundenschnittstelle) bietet. Das im ersten Schritt entwickelte Gerät konnte nur mit dieser DSMR-Schnittstelle verwendet werden. Im Design gab es keine großen Hürden zu überwinden. Nach erfolgreichen Feldtests wurde ein weiteres Gerät entwickelt, welches nun die meistgenutzten Schnittstellen unterstützen soll. Es wurde so gestaltet, dass für die Stromversorgung kein zusätzliches Netzteil benötigt wird. Die zum Betrieb notwendige Energie wird von der Kundenschnittstelle zur Verfügung gestellt.

Eine besondere Herausforderung stellte bei dieser Variante die elektrische Spezifikation der M-Bus-Schnittstelle. Diese stellt relativ wenig Energie bei einem ungünstigen Spannungslevel zur Verfügung. Es wurde daher eine darauf spezialisierte Wandlerschaltung entwickelt. Dennoch war der umsichtige Umgang mit der zur Verfügung stehenden Energie eine andauernde Anforderung für jede entwickelte Software- und Hardwarekomponente des Geräts. Abbildung 5 zeigt den Entwicklungsstand des SMR für die MBUS Schnittstelle.



Abbildung 5: SMR Prototyp für MBUS Schnittstelle (Quelle: energiedigital)

Um eine skalierbare Lösung für die Zukunft zu haben, wurde der SMR so weiterentwickelt dass er den Großteil der in Österreich bestehenden SM Schnittstellen auslesen konnte. Da einige Kundenschnittstellen ohne Energieabgabe existieren, ist der neu entwickelte Smart Meter Reader mit einer nur für die

elektrische Versorgung vorgesehenen USB-C-Schnittstelle ausgestattet. Ist eine Kundenschnittstelle mit Energieabgabe vorhanden, wird im Regelfall keine USB-C-Versorgung benötigt. Besonders für die Optimierung des Betriebs am M-Bus wurde bei diesem Gerät ein hoher Entwicklungsaufwand betrieben, der zum sogenannten Universal Smart Meter Reader (USMR) geführt hat. Erste Abbildung des Prototypen sind in Abbildung 6 und Abbildung 7 zu sehen.



Abbildung 6: Elektronik des USMR Prototypen (Quelle: energiedigital)

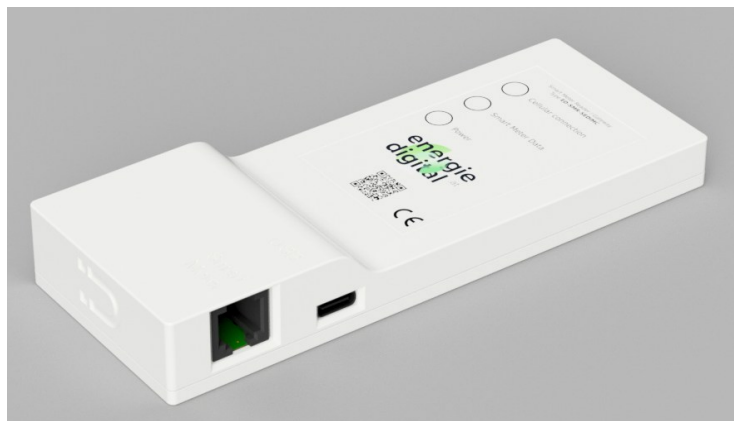


Abbildung 7: USMR Prototyp im Gehäuse (Rendering, Quelle: energiedigital)

3.1.3 IT Architektur & Firmwareentwicklung

Für das greencharge Modul wurden Firmware und Software entwickelt welche sowohl eine offline Steuerung des Boilers als auch eine intelligente online Cloud Steuerung ermöglichen. In den folgenden Abschnitten wird zunächst beschrieben, welche Betriebsmodi von der Firmware unterstützt werden. Anschließend folgen Details zu den entwickelten Firmwares. Zuletzt wird gezeigt, welche Softwarekomponenten an der intelligenten online Boilersteuerung für den Anwendungsfall der dynamischen Tarife beteiligt sind.

Derzeit stehen fünf Betriebsmodi sowie ein Zusatzmodus zur Verfügung: zwei für den Offline-Betrieb, drei für den Online-Betrieb und der Modus „Extern“ zur Nachrüstung bestehender Boiler mit externer PV. Im Offline-Betrieb kann das Gerät ausschließlich über Bluetooth Low Energy (BLE) gesteuert werden. Für einen Moduswechsel muss sich der Benutzer in der Nähe des Boilers befinden. Der Online-Betrieb ermöglicht optimiertes Heizen für dynamische Tarife und Energiegemeinschaften, gesteuert über die LTE-Verbindung des IoT-Moduls. Voraussetzung dafür ist, dass der Benutzer auf der *energiedigital-Plattform* registriert ist und die SIM-Karte des Geräts aktiviert wurde. Ist das Gerät über LTE verbunden, kann der Benutzer die Online-Modi standortunabhängig wechseln.

Im Offline-Betrieb stehen die Modi „Offline Standard“ und „Offline Manuell“ zur Verfügung. In beiden Fällen erfolgt das Heizen der Zonen kaskadiert: Zunächst wird die mittlere Zone bis zum Erreichen des Grenzwerts aufgeheizt, anschließend die untere. Die obere Zone wird im Offline-Betrieb ausschließlich über den Thermostat am Boiler gesteuert. Im „Offline Standard“ Modus wird rund um die Uhr (24/7) kaskadiert beheizt, solange die Temperatur unter dem Temperatursollwert der jeweiligen Zone ist. Aktuell ist dieser Wert für alle Boiler auf 62,5 °C eingestellt. Für den „Offline Manuell“ Modus müssen eine Start- und eine Endzeit festgelegt werden. Die Einstellungen werden per BLE übertragen. Danach wird der Boiler kaskadiert nur in dem vom Benutzer ausgewählten Zeitraum beheizt. Der Extern (PV-Modus) ermöglicht die Nachrüstung bestehender Boiler mit einem externen PV-Anschluss. Sobald ein Signal von der externen PV-Anlage anliegt, wird der Modus aktiviert, und die PV-Anlage steuert den Heizvorgang.

Eine stabile LTE-Verbindung ist Voraussetzung für alle Online-Modi. Die LTE-Verbindung bleibt immer aufrecht, unabhängig vom gewählten Online-Modus. Die App informiert den Benutzer über die aktuelle Verbindungsqualität. Im Online-Betrieb werden alle drei Zonen gleichzeitig beheizt, bis der Temperatursollwert der jeweiligen Zone erreicht ist. Für die Komfortzone wird diese Temperatur vom Benutzer über das Bedienelement eingestellt. Sollte der Benutzer die Temperatur unter den auf der Elektronik eingestellten Temperatursollwert einstellen (z.B. herunterdrehen auf 30°C), bleibt der Temperatursollwert jedoch bei dem in der Elektronik eingestellten Wert (62.5°C). Für die mittlere und untere Zone ist dieser Temperatursollwert - wie im Offline Modus auch - derzeit auf 62.5°C eingestellt.

Im Comfort- und Eco-Modus wird der Boiler zu den günstigsten Stunden basierend auf den Strombörsenpreisen oder dem Überschuss aus der Energiegemeinschaft beheizt. Die Anzahl der Heizstunden hängt von der Haushaltsgröße und dem gewählten Modus ab. Im Comfort-Modus wird doppelt so lange geheizt wie im Eco-Modus. Im Urlaubsmodus wird die Heizfunktion des Boilers deaktiviert.

Zur Umsetzung der genannten Modi am greencharge wurden zwei Firmwares geschrieben, welche eine UART-basierte Inter Chip Communication (ICC) miteinander verbindet und so die offline Steuerung des Boilers via Bluetooth und die online Cloud Steuerung via LwM2M ermöglichen. Eine Übersicht über beide Firmwares und deren Hauptaufgaben sind in Abbildung 8 zu sehen.

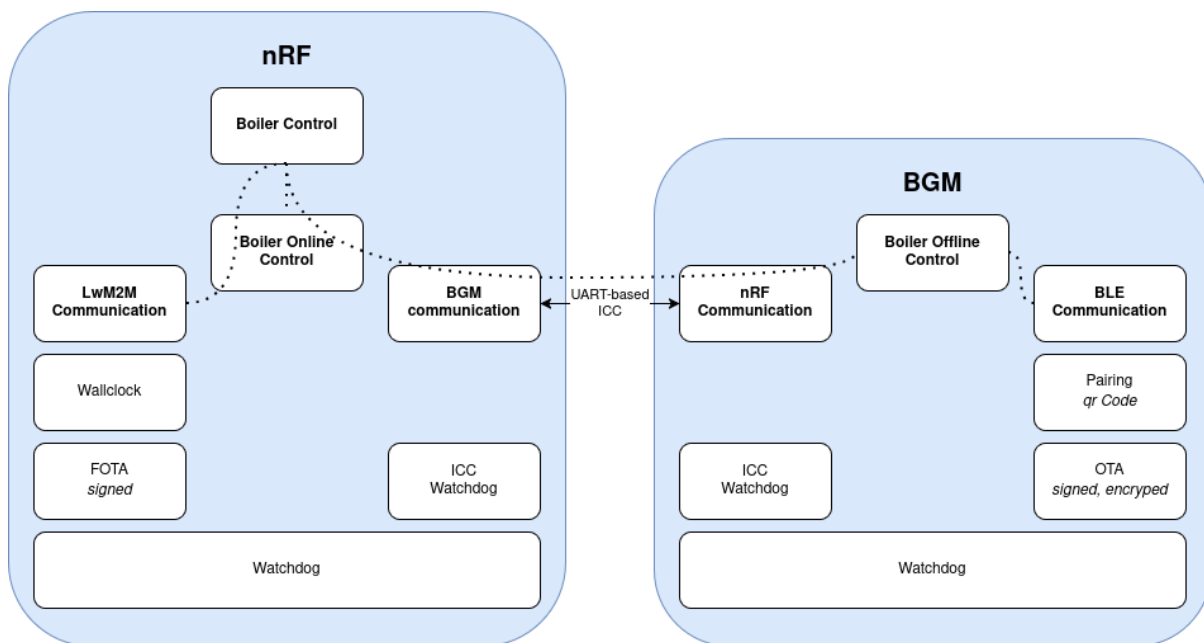


Abbildung 8: Firmware Architektur

Es werden zwei Firmwares benötigt: die Bluetooth Firmware am BGM sowie eine Firmware für die Boilerkontrolle sowie Serverkommunikation via LTE am nRF. Die Bluetooth Firmware läuft am BGM220SC22WGA2. Sie wird für die initiale Einrichtung des Boilers benötigt und ermöglicht die Auswahl des Betriebsmodus. Die BGM Firmware hat drei Hauptaufgaben. Diese sind in *Fig. F01* zu sehen: die Kommunikation mit der greencharge App, welche im nächsten Unterkapitel näher beschrieben wird, die Weiterleitung der Boiler-Kontrolleinstellungen bzw. der Messwerte, sowie die Kommunikation mit dem nRF. Um jederzeit ein laufendes System gewährleisten zu können, wird der globale Watchdog verwendet, welcher im Fehlerfall das BGM neu startet. Für die ICC gibt es noch einen zusätzlichen Watchdog welcher, wenn zu lange keine Nachrichten vom nRF erhalten werden, diesen über einen speziell dafür vorgesehenen Reset Pin neu startet. Zuletzt bietet noch das Over the Air (OTA) Modul die Möglichkeit eines Firmware Updates via BLE. Sobald dieses von der greencharge App gestartet wurde dauert es ca. 5 Minuten, bis die neue Firmware am BGM ist. Mittels OTA kann sowohl der Bootloader als auch die Firmware aktualisiert werden. Die übertragenen Dateien sind verschlüsselt und signiert. Zusätzlich dazu wurde im Bootloader die Rollback Prevention aktiviert. Diese Einstellungen unterbinden, dass eine alte Firmware oder eine Firmware aus anderer Quelle installiert werden kann bzw. die Firmware Datei im Klartext für einen Attacker lesbar ist.

Zum Datenaustausch zwischen der greencharge App und dem BGM wird BLE verwendet. Die Datenübertragung ist durch Pairing geschützt. Hierfür wurde ein Passkey auf das Gerät programmiert welcher mithilfe der greencharge App in Form eines QR Codes gescannt werden kann.

Der erste Verbindungsablauf ist in Abbildung 9 dargestellt.

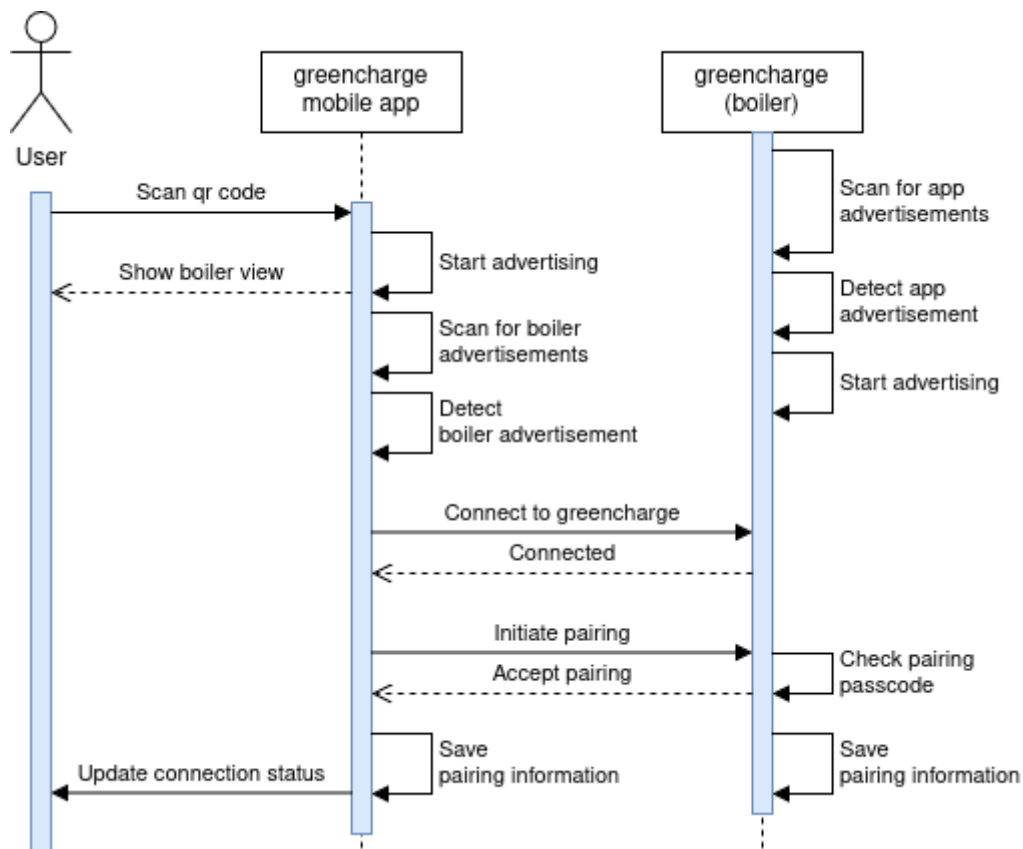


Abbildung 9: Verbindungslogik Speicher & App

Zu Beginn scannt der Benutzer in der App den qr Code, welcher am Boiler klebt. Daraufhin beginnt die App zu eine bestimmte Bytefolge zu advertisen. Das BGM scannt kontinuierlich nach Advertisements mit der Bytefolge. Erst wenn diese detektiert wird beginnt der BGM selbst zu advertisen. Es werden also keine BLE Daten gesendet, wenn der Benutzer diese nicht benötigt. Sobald das Advertising am BGM aktiv ist, kann sich die App mit dem BGM verbinden. Ist kein bestehendes Bonding vorhanden, startet die App das Passcode Pairing. Am BGM wird der erhaltene Passcode mit dem programmierten Passcode verglichen. Im Fall einer Übereinstimmung werden die Pairing Informationen auf beiden Geräten als Bonding abgespeichert. Nun kann die App auch die geschützten Werte lesen und schreiben, wie z.B.: der Betriebsmodus oder die Temperaturdaten.

Zur Steuerung des Boilers kann der Benutzer den Betriebsmodus in der greencharge App auswählen. Im Fall des Offline-Modus werden auch die Default oder durch den Benutzer gewählten Start- und Endzeit der Boiler Heizzeiten am greencharge Modul gesetzt. Im Hintergrund wird von der App automatisch die aktuelle Uhrzeit gesetzt, da der greencharge im Offline-Modus diese Information nur von der App abfragen kann.

Des Weiteren wird, im Fall vom Online-Modus, die LTE Signalstärke vom Boiler zur App geschickt. Dieser wird verwendet, um dem Benutzer sofort anzuzeigen, ob die LTE Verbindung des greencharge ausreichend gut für die Verwendung eines Online-Modus ist. Ist die LTE Signalstärke zu schwach, kann eine zuverlässige oder zeitnahe Übertragung der Steuersignale vom Server an das Gerät nicht garantiert werden. Infolgedessen ist eine zufriedenstellende Optimierung nicht möglich. Da die Signalstärke nur

einen Momentanwert darstellt, wird zusätzlich über die ersten 24h im Online-Betrieb am Server die Datenübertragung zum Gerät überwacht. Nach Ablauf der Zeit wird der Benutzer von der App informiert, falls nicht ausreichend Pakete in diesem Zeitraum erfolgreich an das Gerät geschickt werden konnten. In diesem Fall wird dem Benutzer ebenfalls zur Verwendung eines Offline-Modus geraten.

Die von der App an das BGM übertragenen Einstellungen müssen an den nRF weitergeleitet werden, da auf diesem die zentrale Logik zur Boilersteuerung umgesetzt ist.

Für die bidirektionale UART-basierte Kommunikation wurden ein neues Protokoll mit Frames entworfen, welche sowohl die Übertragung unterschiedlicher Nachrichtentypen unterstützen, als auch eine klare Unterscheidung der einzelnen Datenpakete sowie einen Integritätscheck ermöglichen.

Folgende Nachrichtentypen wurden benötigt:

- Die Einzelwertübertragung z.B.: zur Übertragung des Betriebsmodus
- Die Mehrfachwertübertragung zur Übertragung von internen Informationen
- Die Übertragung von Commands für interne Aktionen
- Die Übertragung von Werteanfragen z.B.: um die aktuelle LTE Signalstärke vom nRF in der greencharge App anzuzeigen.

Die Nachrichten ergeben das Payload eines Paketes, wie in Abbildung 10 abgebildet.

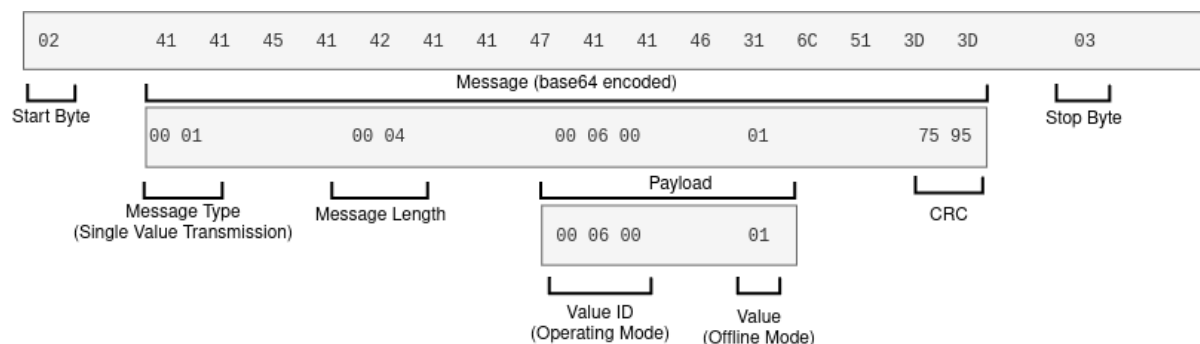


Abbildung 10: Payload

Zusätzlich zum Payload besteht ein Frame noch aus dem Nachrichtentyp, der Länge des Payloads und der Checksum. Diese Bytes werden anschließend base64 kodiert und mit dem Start- und Stop-Byte umfasst. Mithilfe der Base64 Kodierung wird garantiert, dass der Wert von Start- und Stop-Byte nicht in den anderen Bytes des Frames vorkommt. Diese Bytes werden benötigt, um die einzelnen Frames voneinander unterscheiden zu können, da die Kommunikation zwischen nRF und BGM asynchron erfolgt. Der Cyclic Redundancy Check (CRC) ist eine Maßnahme zur Erkennung von Modifikationen am Payload aufgrund von Übertragungsfehlern.

Wie auf Abbildung 8 dargestellt, umfasst die nRF Firmware, welche auf dem nRF9161 läuft, mehr Funktionen als jene des BGM. Die größte Aufgabe ist die Steuerung des Boilers. Hinzu kommen noch die Kommunikation mit dem BGM via UART und mit dem Server via LwM2M, ein Uhrenquarz zur Speicherung und Verwaltung der aktuellen Uhrzeit für den Offline-Modus, ein globaler Watchdog und das Firmware Over the Air (FOTA) Modul welches Firmware Updates via LwM2M ermöglicht.

Die Kommunikation mit dem BGM folgt der gleichen Implementierung wie beim BGM selbst. Das Gleiche gilt für die Watchdogs. Über das LwM2M Protokoll kann der Server allgemeine Geräteinformationen wie z.B.: Softwareversion oder Uptime, Messwerte wie die Temperaturen oder den Zustand der Heizstäbe auslesen und die Heizeinstellungen an den Boiler senden.

Die Boiler Steuerung besteht aus mehreren Schritten welche in einem eigenen Thread kontinuierlich laufen. Nach dem Initialisieren der Hardware Interfaces wird im ersten Schritt überprüft, ob der Extern-Modus aktiv ist. In diesem Fall überlässt das greencharge Modul die Boilersteuerung dem externen PV Signal. Dieser Fall ausschließlich für nachgerüstete Boiler mit direkter Verbindung zur PV relevant. Ist der PV Modus nicht aktiv, so wird im nächsten Schritt überprüft, ob der Offline-Modus aktiv ist. Falls ja, wird entsprechend den im Abschnitt Betriebsmodus genannten Bedingungen geheizt, sofern der Boiler noch nicht die gewünschte Temperatur erreicht hat. Eine Hysterese von 5°C verhindert häufiges ein- und ausschalten, wenn die Temperatur nahe am Zielwert liegt. Im Fall des Online-Modus wird der vom Server gesetzte Duty Cycle übernommen. Hier wird ebenfalls überprüft, ob die gewünschte Temperatur bereits erreicht ist. Zur Berechnung des Duty Cycles am Server und dessen Übertragung an greencharge werden mehrere Komponenten benötigt, welche im folgenden Kapitel näher beschrieben werden.

Am Server laufen mehrere Anwendungen, welche für die Verwaltung und Steuerung der Boiler benötigt werden, siehe Abbildung 11.

Der Leshan Server bietet anderen Softwarekomponenten Schnittstellen zur Kommunikation mit dem greencharge Modul. Das greencharge Modul ist direkt mit dem Java Leshan Server verbunden. Die Kommunikation folgt dem LwM2M Protokoll. Die zentrale Aufgabe des Leshan Servers ist die Kommunikation zwischen den Steuerkomponenten (Cloud Control / Optimizer) und dem greencharge. Der Leshan bietet APIs zum Auslesen der Temperaturen, der maximalen und aktuellen Leistung des Boilers, zum Lesen und Schreiben des Betriebsmodus und des globalen Duty Cycles. Zusätzlich werden die minütlichen Temperatur-Updates von greencharge an die energiedigital Plattform weitergeleitet.

Die Daten wie Geräte Uptime, Verbindungsstatus, Verbindungsdauer und Signalstärke werden regelmäßig an eine API des IoT Webs weitergeleitet.

Die Laravel Server Anwendung bietet Endnutzern eine Möglichkeit zur Verwaltung ihrer IoT Geräte, wie dem greencharge Modul und dem Smart Meter Reader für die EEG Optimierung. Der Mercure Hub ist zuständig für die Verteilung von Nachrichten zwischen Publisher und Subscriber gemäß dem Mercure Protokoll. Dieses ermöglicht eine schnelle Event-basierte Kommunikation, welche die Serverlast reduziert, indem Datenänderungen wie bei der Betriebsmodusänderung nun durch Events detektiert werden und nicht mehr durch Polling von APIs. Der Austausch der Daten erfolgt über POST Requests an den Mercure Hub, welcher dann die Events an alle zugriffsberechtigten Subscriber veröffentlicht.

Energieforschungsprogramm – 2023 Ausschreibung

Klima- und Energiefonds des Bundes – Abwicklung durch die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft FFG

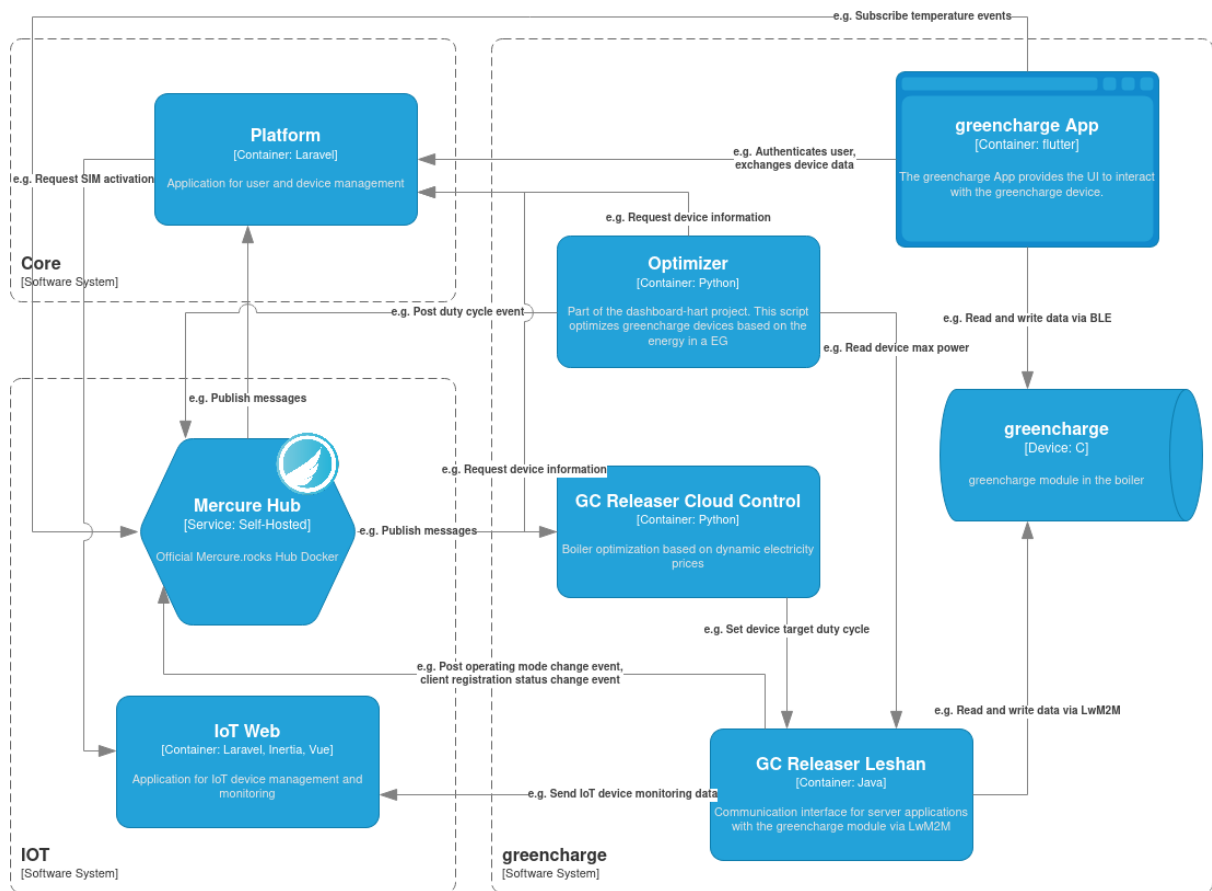


Abbildung 11: Serverarchitektur

Diese Laravel Anwendung ist der zentrale Verwaltungspunkt aller IoT Geräte. Abbildung 12 zeigt eine Übersicht über die Geräte, welche im Demoprojekt in Hart bei Graz verbaut sind.

Geräte				
8075				
nrf-351516179770771	releaser Reintalstraße (8075)	LTE-M		—
nrf-351516179770821	releaser Reintalstraße (8075)	LTE-M		—
nrf-351516179770839	releaser Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.3.0C_240129	—
nrf-351901935639371	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.9.0C_240516	—
nrf-351901935639512	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.9.0C_240516	—
nrf-351901935639793	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.9.0C_240516	—
nrf-351901935640007	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.9.0C_240516	—
nrf-351901935640163	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.9.0C_240516	—
nrf-351901936542855	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—
nrf-351901936542863	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—
nrf-351901936543135	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—
nrf-351901936543259	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—
nrf-351901936543267	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—
nrf-351901936543282	smreader Reintalstraße (8075)	LTE-M	v1.7.0C_230817	—

Abbildung 12: IoT Web (Quelle: energiedigital)

Die Farbe des Earth-Icons zeigt den Verbindungsstatus des Gerätes an. Das Shipped-Icon zeigt an, ob ein Gerät bereits ausgeliefert ist. Zusätzlich zur Statusübersicht bietet das IoT Web noch Gerätelauftzeitinformationen wie die Signalstärke, Uptime und letzte Serververbindung gespeichert.. Das IoT Web unterstützt E-Mail Alarme, für den Fall, dass ein Gerät die Verbindung zum Server verliert. Zusätzlich bietet es eine API zur Aktivierung der greencharge SIM Karten welche benötigt wird wenn der User das erste Mal einen online Modus verwendet.

Diese Anwendung implementiert die Optimierung für dynamische Stromtarife. Täglich um 18:00 werden die Strompreise für den nächsten Tag von der Plattform abgefragt, damit diese ab 00:00 bereitstehen.

Für jedes Gerät werden je nach Betriebsmodus und der Haushaltsgröße die Anzahl der zu heizenden Stunden berechnet. Je nach Ergebnis wird dann der zonenübergreifende, globale Duty Cycle auf 100% zum Heizen oder 0% zum Deaktivieren der Heizstäbe an die API des Leshan Servers geschickt. Um auf Änderungen des Betriebsmodus innerhalb weniger Sekunden reagieren zu können, ist Cloud Control zum Mercure subscribed.

3.1.4 Analyse und Testing bestehender Algorithmen für Beladungsoptimierung

Die effiziente Steuerung von Verbrauchern ist der Schlüssel zur erfolgreichen Energiewende, insbesondere im Rahmen lokaler Energiegemeinschaften (EG). Die Beladungsoptimierung bildet hierbei das zentrale Steuerungselement, um wirtschaftliche und ökologische Ziele zu vereinen.

Das vorrangige Ziel dieser Optimierung ist die Maximierung des Eigenverbrauchs. Dies wird erreicht, indem lokal erzeugter, erneuerbarer Energieüberschuss (z. B. PV-Spitzen) für flexible Lasten, wie Ladeinfrastruktur oder stationäre Speicher (z.B. greencharge Boiler), genutzt wird. Die Beladung wird dynamisch hochgeregelt, sobald Gemeinschaftsstrom verfügbar ist. Von ebenso entscheidender Bedeutung ist die Vermeidung von Netzbezugskosten. Geraten die lokalen Erzeugungskapazitäten in eine Unterdeckung, signalisiert dies die Notwendigkeit, teuren Strom aus dem öffentlichen Netz zu beziehen. An diesem Punkt greift der intelligente Lastmanagement-Mechanismus: Die Steuerung reduziert die Ladeleistung dynamisch auf ein Minimum oder schaltet die entsprechenden Lasten vollständig ab. Diese Strategie verhindert nicht nur unnötige Kosten durch den Netzbezug, sondern dient auch der Netzentlastung.

Das Optimierungs-Skript startet nach User-Wahl in der greencharge App des Betriebsmodus auf der Plattform und holt dort EG- sowie Geräte-Metadaten ab, siehe Abbildung 13.

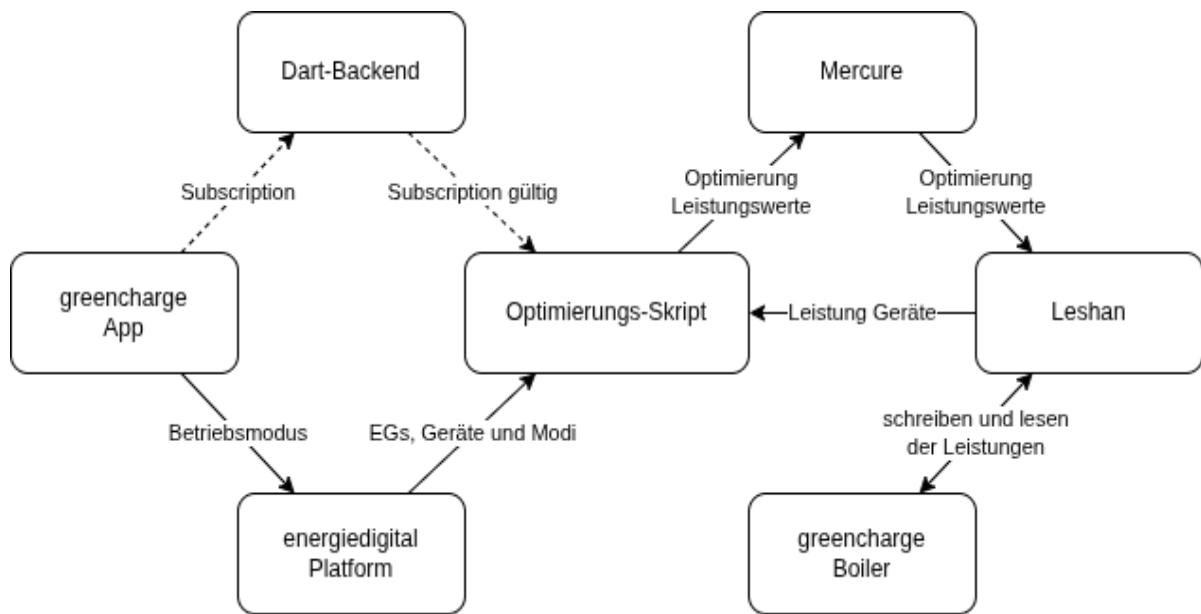


Abbildung 13: Ablauf der Optimierung

Optional wird am Dart-Backend die Subscription geprüft. Die Kommunikation mit den greencharge Boilern erfolgt via Leshan-Server, der aktuelle Leistungen liest und neue Optimierungs-Werte setzt. Für Messaging zwischen Leshan und Skript kann der Mercure-Server verwendet werden. Dies wird anhand eines einfachen Beispiels von drei Haushalten genauer erklärt.

Drei Haushalte innerhalb einer EG dienen als Setup für dieses Optimierungsbeispiel. Jeder Haushalt ist mit einem greencharge Boiler ausgestattet, wobei die Beladungsoptimierung für alle Geräte aktiv geschaltet ist. Jeder Boiler besitzt eine maximal einschaltbare Leistung von 2000 Watt. Für die Vereinfachung dieses Beispiels wird angenommen, dass keine Warmwasserentnahme stattfindet. Dies stellt sicher, dass die Boiler nicht nachladen und somit die Optimierung-Logik rein auf der Energieverfügbarkeit der EG basiert.

Das Ausgangs-Setup zeigt die drei Boiler mit einer aktuellen Leistung von

- 500 W (Boiler 1)
- 1000 W (Boiler 2)
- 0 W (Boiler 3).

an, siehe Abbildung 14. Da sich der Status der EG 0 W beläuft, werden die aktuellen Leistungen nicht verändert. Im nächsten Zeitschritt speist ein lokaler Erzeuger 1500 W in die EG ein, wodurch ein Energieüberschuss von 1500 W entsteht. Dieser wird gleichmäßig auf die drei aktiven Teilnehmer verteilt (500 W je Teilnehmer). Die Beladungsoptimierung addiert diesen Überschuss zur aktuellen Leistung der Boiler, woraus sich die neue Leistung ergibt: 1000 W, 1500 W und 500 W.

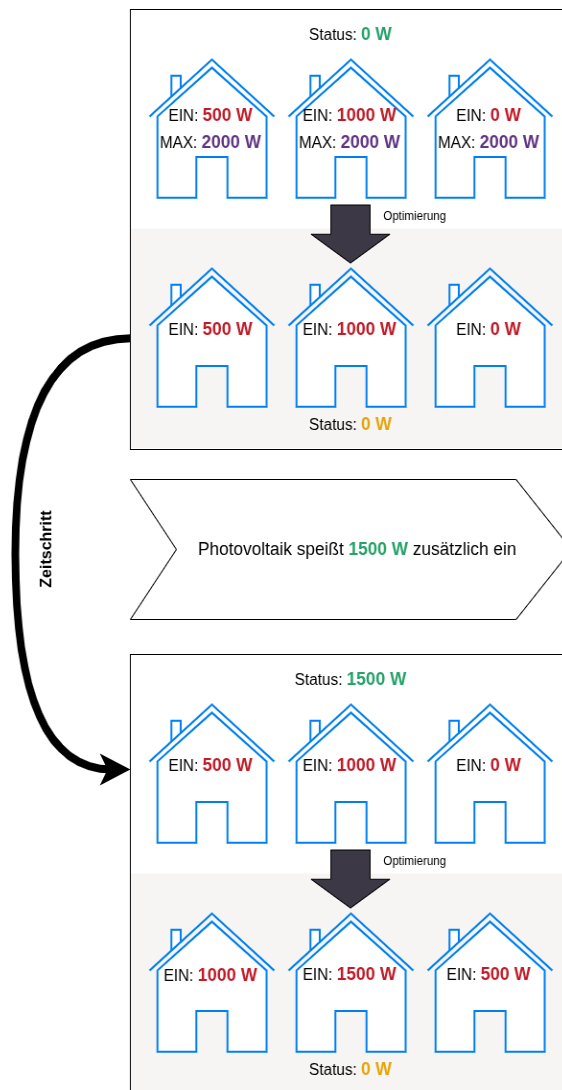


Abbildung 14: Optimierung Schritt 1

Ausgehend vom vorherigen Zustand beginnt der erste neue Zeitschritt mit einer signifikanten Reduktion der lokalen Energieeinspeisung um 3000 W. Dies führt zu einer Unterdeckung von 3000 W in der Energiegemeinschaft. Die summierte Last der Boiler beträgt auch 3000 W. Um den Bezug von Strom aus dem Netz zu verhindern, werden alle greencharge Boiler auf 0 W ausgeschaltet, siehe Abbildung 15.

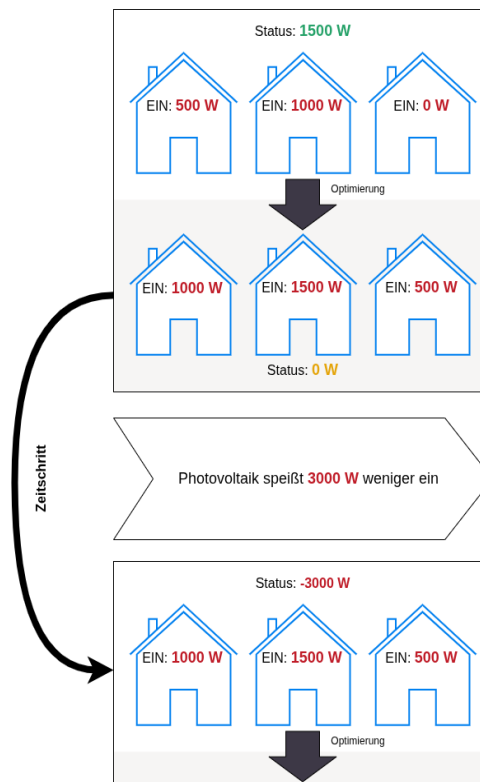


Abbildung 15: Optimierung Schritt 2

Nach dieser Lastreduzierung stellt sich der Status der EG wieder auf die gewünschten 0 W ein. Im unmittelbar folgenden Zeitschritt ändert sich die Situation wieder, da die lokalen Erzeuger nun einen Überschuss von 4500 W einspeisen, siehe Abbildung 16.

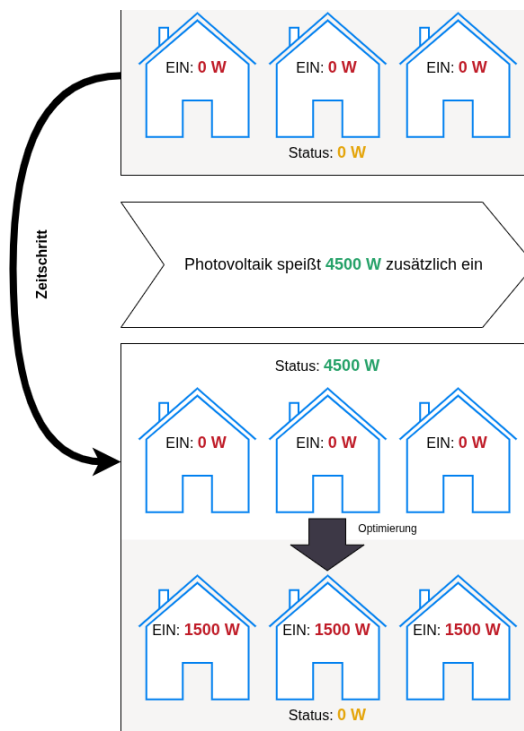


Abbildung 16: Optimierung Schritt 3

Das Optimierungs-Skript verteilt diesen Überschuss wiederum gleichmäßig unter den drei Teilnehmern. Daher werden alle Boiler mit einer Leistung von 1500W eingeschaltet, um die maximal verfügbare Energie optimal zu verwerten.

Das in Python geschriebene Optimierungs-Skript läuft andauernd als Prozess in einem Docker-Container. Die Architektur ist in Abbildung 17 dargestellt.

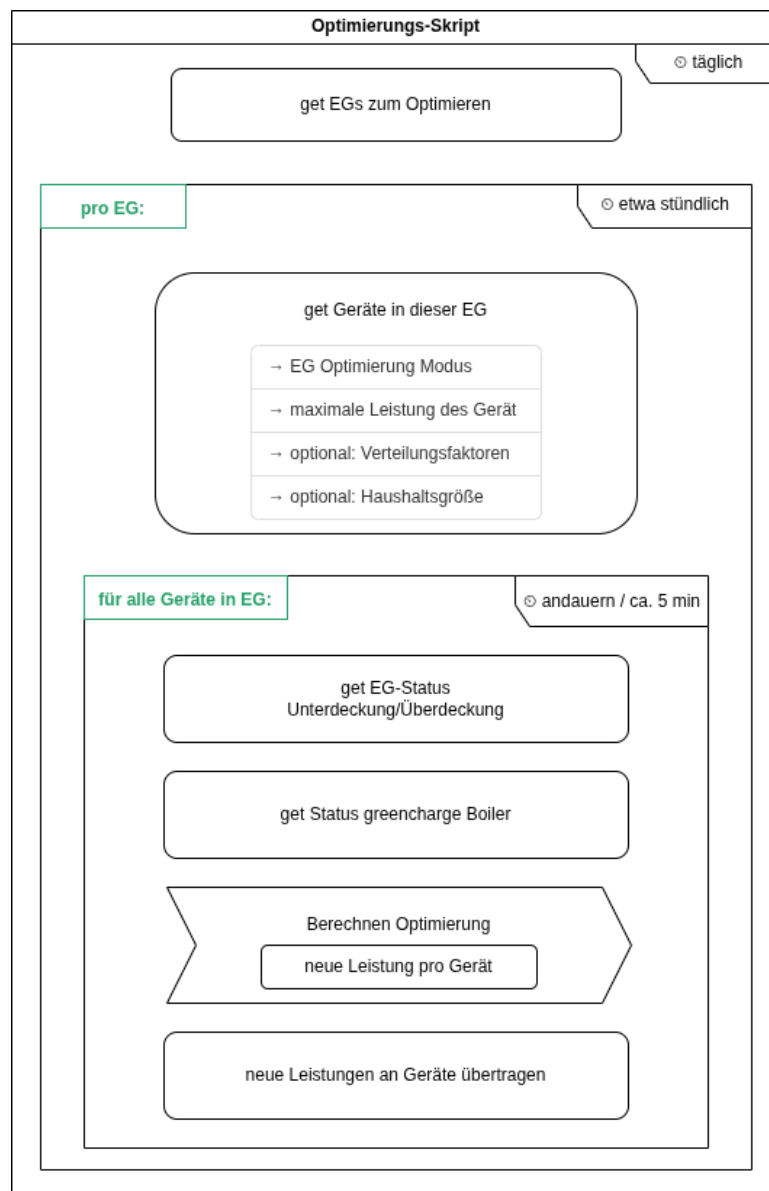


Abbildung 17: Architektur der Optimierung

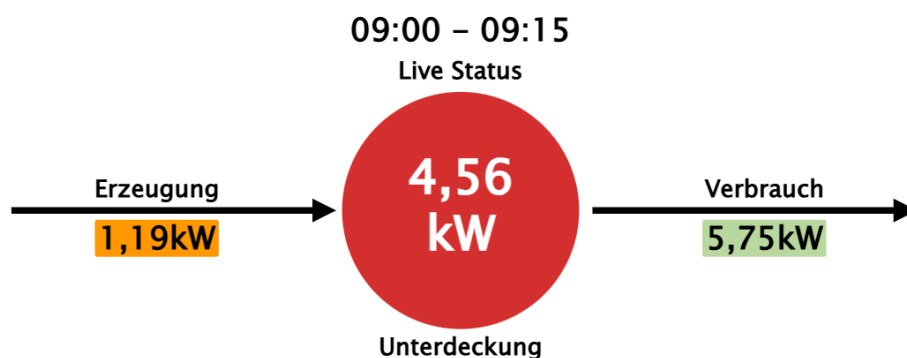
Im Rahmen des kontinuierlichen Betriebs werden die zur Steuerung anstehenden Energiegemeinschaften (EGs) täglich abgefragt und aktualisiert. Für jede EG wird daraufhin ein dedizierter Thread initialisiert, der den gesamten Optimierungsprozess für diese EG steuert.

Innerhalb dieses Threads erfolgt eine etwa stündliche Synchronisation aller Geräte und Metadaten von der zentralen Plattform. Zusätzlich werden der aktuelle Status der EG (Unterdeckung oder Überschuss) sowie die live gelesene Leistung der Boiler kontinuierlich erfasst. Mit diesem vollständigen Datensatz wird die Berechnung der Optimierung regelmäßig (etwa alle fünf Minuten) durchgeführt, wobei ein neuer Leistungswert pro Gerät ermittelt wird. Diese optimierten Leistungswerte werden anschließend an den Leshan-Server übermittelt, welcher sie abschließend an die jeweiligen Boiler überträgt und somit die dynamische Laststeuerung umsetzt.

3.1.5 Konzeption und techn. Entwicklung eigener EEG PoC

Für die Bewertung der technischen Machbarkeit des greencharge Konzepts, wird ein PoC beim Pilotquartier Hart bei Graz durchgeführt. Dabei werden alle Wohnungen mit Smart Meter Reader von energiedigital ausgestattet um den aktuellen Live-Verbrauch aller Gebäude zu messen damit der Gesamtverbrauch, wie in der grünen Kurve in Abbildung 2 dargestellt, bestimmt werden kann.

Des Weiteren wird die Einspeisung der PV Anlage über eine direkte Einbindung der Daten aus dem Fronius Wechselrichter gemessen. Dies stellt dann die orangene Kurve aus Abbildung 2 dar. Aus der Differenz der beiden Werte lässt sich der aktuelle Überschuss, oder eine aktuelle Unterdeckung in der Energiegemeinschaft bestimmen, wobei dieser sogenannte Live Status in Abbildung 18 dargestellt ist.



! Deine Energiegemeinschaft verbraucht aktuell um 4,56kW mehr als sie produziert. Bitte reduziere deinen Verbrauch um teure Netzgebühren zu vermeiden!

Abbildung 18: Live Status der Energiegemeinschaft (Quelle: energiedigital Plattform)

Diese Abbildung zeigt dass der aktuelle Verbrauch bei 5.75 kW und die aktuelle Erzeugung am 13.10.2025 um 09:00 bei 1.19 kW liegt. Dies bedeutet, dass mehr Strom verbraucht als erzeugt wird und damit eine Unterdeckung vorliegt. Jeder neue Verbraucher würde nun keinen Strom aus der Energiegemeinschaft

konsumieren und damit volle Netzgebühren bezahlen. Die Beladung des Warmwasserspeichers in diesen Zeiten ist daher zu vermeiden. Liegt die Erzeugung über dem Gesamtverbrauch, gibt es einen Überschuss. In diesen Fällen soll der Speicher aktiv beladen werden. Der Live Status der Energiegemeinschaft dient damit als Grundlage für ein Signal für den Beladungsalgorithmus ob und inwieweit EEG Strom zur Beladung der Speicher vorliegt.

Im Pilotquartier gibt es sowohl Haushalte, die einen dynamischen Tarif nützen, als auch jene die bei der lokalen Energiegemeinschaft mitmachen. Je nachdem wird die jeweilige Boilerbeladungsstrategie ausgewählt und über die App eingestellt.

3.2 Überprüfen der wirtschaftlichen Marktbarkeit

In diesem Kapitel beschreiben wir die Wirtschaftlichkeit der intelligent Beladung des Warmwasserspeichers mithilfe des dynamischen Tarifs bzw. der Einbindung des Live-Status der Energiegemeinschaft. Dabei werden aktuelle Preise für Strom aus dem Netz unterstellt um pot. Einsparungen zu ermitteln.

3.2.1 Bewertung Einsparung in EEGs

Für die Bewertung der Einsparungen, die durch die intelligente Beladung zu erzielen sind, werden der dynamische Tarif als auch die Verfügbarkeit von EEG Strom herangezogen. Als ersten wird die Einsparung mittels dynamischen Tarifen dargestellt, siehe Abbildung 19.

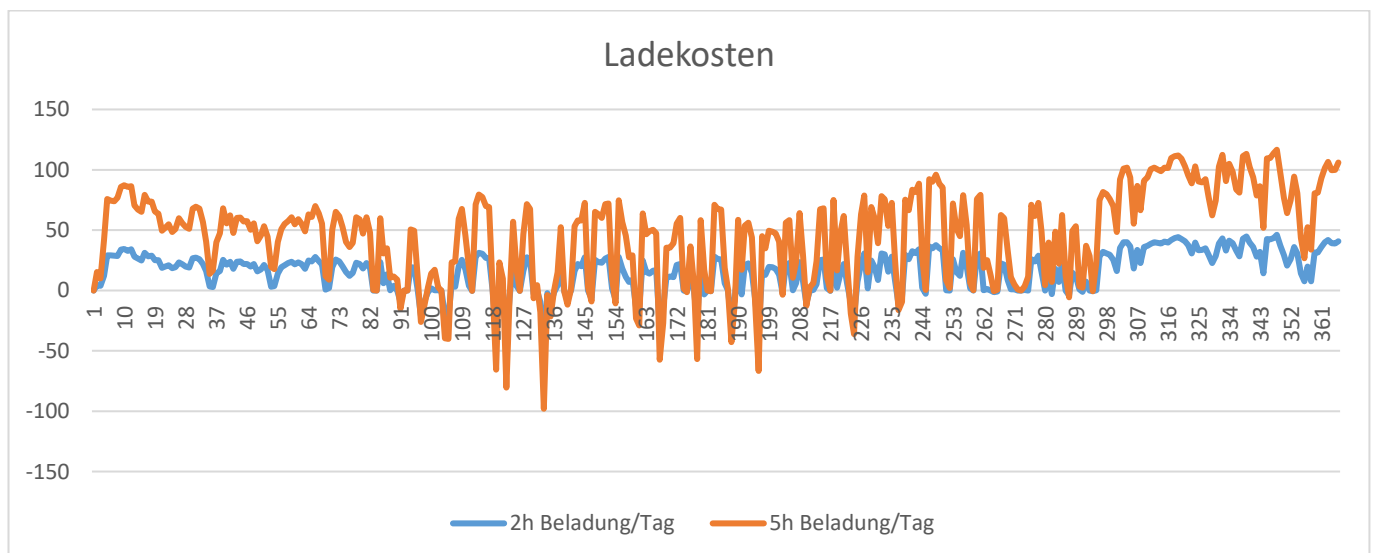


Abbildung 19: Ladekosten dyn. Tarif in €

Hier wurde als Basis das Jahr 2024 eangezogen und berechnet welche Kosten entstehen, wenn der Warmwasserspeicher immer genau zu den günstigsten 2h bzw. 5h ladet. Man kann erkennen, dass die Ladekosten bei 2h deutlich geringer sind, als bei 5h. Dies ergibt sich schlicht aus der geringen Stundenzahl

und damit aufgrund des geringeren Wassers welches aufgewärmt werden muss. Bei 5h Beladung - was einem durchschnittlichen 4-Personenhaushalt entspricht - sind die Ladekosten deutlich höher.

Interessant ist auch, dass bei der 5h Beladung deutlich öfter negative Stromtarife in den Sommermonaten ausgenutzt werden können. Die Ergebnisse dieser Berechnung sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1: Ergebnis mit dyn. Tarif

	2h Beladung/Tag (Single Haushalt)	5h Beladung/Tag (4P Haushalt)
Wärmeverbrauch kWh	1.464	3.660
Beladungskosten	€ 59.16	€ 167.74
Spez. Ladekosten ct/kWh	4.04	4.58
Kleinsten Stromtarif (12.07.2025) ct/kWh	10.2	10.2
Einsparungen durch greencharge p.a.	€ 90.17	€ 205.58

Der Wärmeverbrauch im 4P Haushalt ist immer als doppelt so hoch wie beim Single Haushalt. Damit sind auch die Beladungszeiten und Kosten höher. In Summe sind die spez. Ladekosten bei ca. 4 bzw. 4,5 ct/kWh was im Vergleich zum kleinsten verfügbaren Stromtarif eine Einsparung von 90 bzw. mehr als 200€ im Jahr entspricht.

Der Grund warum die Ladekosten bei der 5h Beladung höher sind als bei der 2h Beladung ist dass in diesem Fall vermehrt Stunden mit hohen dyn. Tarifen für die Beladung verwendet werden und die Beladung in günstigen oder sogar negativen zeiten diese etwas höheren Preise nicht vollständig neutralisieren kann.

Für die Bestimmung des Benefits bei Beladung während der Überschüsse in der Energiegemeinschaft, ist es notwendig den Eigenverbrauch der Energiegemeinschaft zu erhöhen. Generell wird der Eigenverbrauch in der Energiegemeinschaft als diejenige Energiemenge bestimmt, die zeitgleich mit der Erzeugung verbraucht wird. Ein Beispiel wie das am 13.04.2025 im Pilotquartier ausgesehen hat, gibt Abbildung 20.

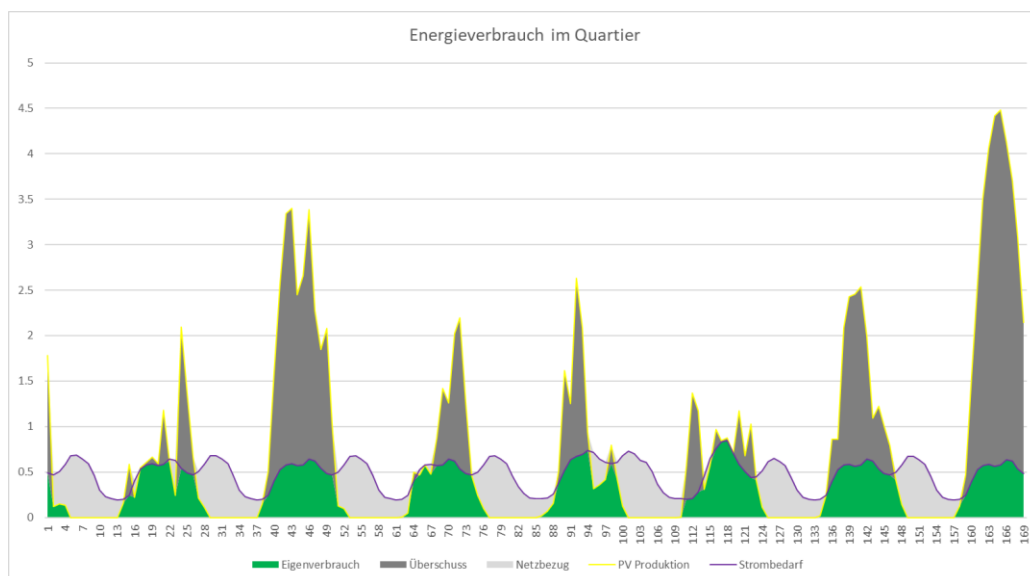


Abbildung 20: Eigenverbrauch in der Energiegemeinschaft des Pilotquartiers

Der grüne Bereich ist jene Energiemenge die zeitgleich mit der Erzeugung konsumiert wurde und daher von der EEG verrechnet wird. Der hellgraue Teil ist jener der vom Netz beziehen werden muss. Der dunkelgraue Teil ist jener PV Strom der nicht lokal verbraucht wird und daher ins Netz gespeist werden muss.

Genau jener dunkelgraue Teil ist nun als Potential zur Lastverschiebung mit greencharge Technologie verfügbar.

Erste Tests bez. des Potentials wurden schon theoretisch angestellt. Durch die Lastverschiebung von greencharge während des Überschusses in der Energiegemeinschaft, kann der Speicher zu etwa 2/3 aus der Energiegemeinschaft befüllt werden. Dieser Strom ist zum Arbeitspreis von 12 ct/kWh und einer Einsparung ca. 6 ct/kWh an Netzkosten verfügbar. Berechnet man nun das Potential mit den aktuellen Stromtarifen, bekommt man folgendes Resultat in Tabelle 2.

Tabelle 2: Ergebnis mit EEG Strom

	Single Haushalt	4P Haushalt
Wärmeverbrauch kWh	1.464	3.660
Beladungskosten	€ 88.82	€ 222.04
Spez. Ladekosten ct/kWh	6.07	6.07
Kleinster Stromtarif (12.07.2025) ct/kWh	10.2	10.2
Einsparungen durch greencharge p.a.	€ 60.51	€ 151.28

Im Gegensatz zum dynamischen Tarif wird bei der Optimierung in der Energiegemeinschaft die Speicher nicht stündlich geladen, sondern auf Basis des 15-minütigen Verrechnungsintervalls optimiert. Das bedeutet, dass jede Minute analysiert wird ob ein Überschuss in der EEG vorhanden ist oder nicht; und wenn ein Überschuss vorhanden ist wird genaue diese Überschussleistung dann mittels Optimierungslogik an alle Speicher der EEG übertragen. Eine detaillierte Beschreibung der Beladungslogik wurde schon in 3.1.4 gegeben.

Als Ergebnis kann man erkennen, dass die Optimierung der Speicher im Pilotquartier etwa 60 € für einen Single Haushalt und ca. 150 € für einen 4 Personen Haushalt beträgt und damit doch deutlich unter jenen Werten des dynamischen Tarifs liegt. Dabei muss auch berücksichtigt werden, dass Ersparnisse bei den Netzgebühren hier nicht mit einbezogen wurden und diese in der Steiermark für den Bezug von Energie aus regionalen Energiegemeinschaften bei etwa 7.5 ct/kWh liegt.

3.2.2 Quantifizierung Erzeugungs- und Verbrauchspotenzial in der EEG

Die Erzeugungs- und Verbrauchsprofile werden über die Smart Meter Reader von energiedigital, wie in Abbildung 2 abgebildet, gemessen und zentral gesammelt. Jeder Erzeuger und Verbraucher in der Energiegemeinschaft hat dann die Möglichkeit diese Daten einzusehen bzw. werden diese Daten als Grundlage für die Berechnung des Überschusses/Unterdeckung der EEG wie in Abbildung 18 abgebildet verwendet.

Ein Beispiel für die Erzeugungsanlage (PV mit ca. 180 kWp) ist in Abbildung 21 abgebildet.

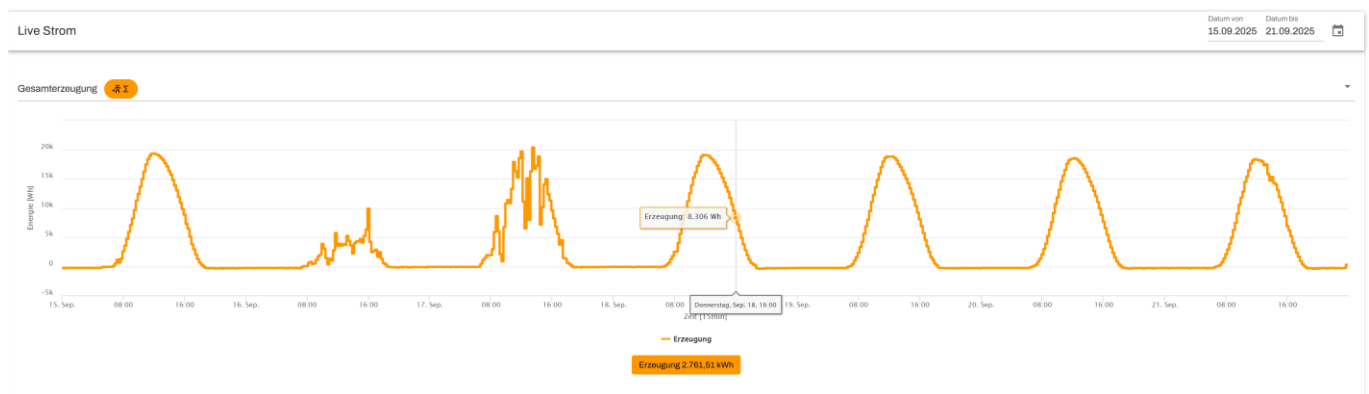


Abbildung 21: PV Erzeugung in der Pilot EEG, 1 Woche im September 2025 (Quelle: energiedigital Plattform)

Hier kann man klar die Erzeugung der PV während der Mittagzeiten erkennen. Bis auf den 16.09, der offensichtlich ein eher bewölkter Tag war, brachten die restlichen Tage sehr gute Ertragsleistungen. Auf Seiten der Verbraucher, werden die jeweiligen Verbrauchslasten auch mithilfe der Echtzeitmessgeräte – wie in Abbildung 5 dargestellt – gemessen und zentral zur Verfügung gestellt, siehe Abbildung 22

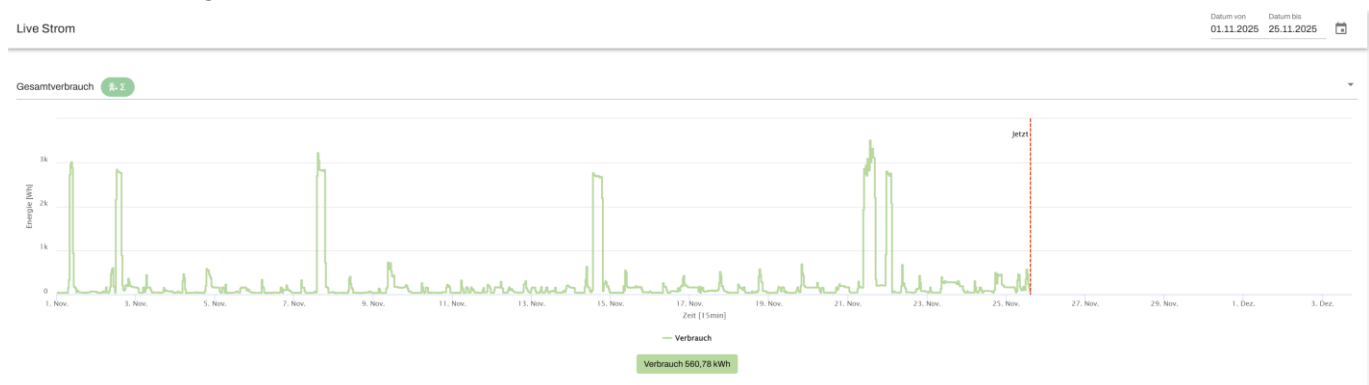


Abbildung 22: Verbrauch eine typ. Haushalts im Pilotquartier (Quelle: energiedigital Plattform)

Hier kann man erkennen, dass es eine niedrige Grundlast und mehrere sehr hohe Spitzenlasten gibt. Diese hohen Spitzen sind in dem Fall auf das Laden von E- Fahrzeugen zurückzuführen, welche mit etwa 12 kW geladen werden.

All dieses Energieströme werden zum Zwecke des Live Status der Energiegemeinschaft verwendet und bilden damit die Grundlage für die greencharge Optimierungslösung.

3.3 Proof of Concept

Zur Durchführung des Proof of Concept wurde das Pilotquartier Hart bei Graz ausgewählt. In diesem befinden sich eine zentrale Wärmepumpe, eine ca. 180 kWp PV Anlage, ein Niedertemperaturverteilnetz für Raumwärme sowie 20 Dynastrat Wärmespeicher mit greencharge Technologie. Ziel war es die Optimierung des Dynastrat Speichers mithilfe von Echtzeitdaten zu testen und Rückschlüsse auf die Machbarkeit im Feld zu erlangen.

3.3.1 Proof of Concept für Pilot EEG

Das Pilotquartier liegt im Süden von Graz und erstreckt sich auf 12 Baukörper mit insgesamt 20 Wohneinheiten. Ein Rendering des Quartiers findet sich in Abbildung 23.



Abbildung 23: Rendering Pilotquartier (Quelle: Eigentümer CEAS GmbH)

In diesem wurden zunächst 20 Smart Meter Reader verbaut damit die Echtzeitdaten aus den einzelnen Haushalten gemessen und der Gesamtverbrauch des Quartiers berechnet werden konnte. Dies dient in Verbindung der Messung der PV Anlage zur Bestimmung des aktuellen Überschusses oder Unterdeckung der Energiegemeinschaft, wie in Abbildung 18 dargestellt.

Das Ergebnis des Einbaus der Smart Meter Reader ist in Abbildung 24 fotografiert worden.



Abbildung 24: Smart Meter Reader im Einsatz (Quelle: energiedigital)

Hier sind insgesamt 12 Smart Meter von 12 Haushalten inkl. der jeweiligen Smart Meter Reader von energiedigital zu erkennen.

Im Anschluss wurden die greencharge Module nachgerüstet. Dies erfordert einen nachträglichen Einbau vor Ort und wurde von energiedigital durchgeführt, siehe Abbildung 25.



Abbildung 25: Nachrüstung des greencharge Moduls (Quelle: energiedigital)

Damit war die Hardwareinstallation Vor Ort abgeschlossen und die Testphase konnte durchgeführt werden.

3.3.2 Testing und Feedbackschleife

Im Rahmen der Pilottests, die in der Woche vom 20-26.10.2025 eingeplant waren, wurden detaillierte Tests des Lade- und Entladeverhaltens des Dynastratspeichers mit greencharge Technologie durchgeführt. Ziel war das Ladeverhalten in der Praxis aufzeichnen und mit den erwarteten Werten aus der Optimierung zu vergleichen. Dazu wurden sowohl die Lade und Entladevorgänge des Speichers (zu sehen in Abbildung 26) als auch die interne Steuerungskommunikation des IT Systems (siehe Abbildung 27) im Detail aufgezeichnet und mitgeloggt.

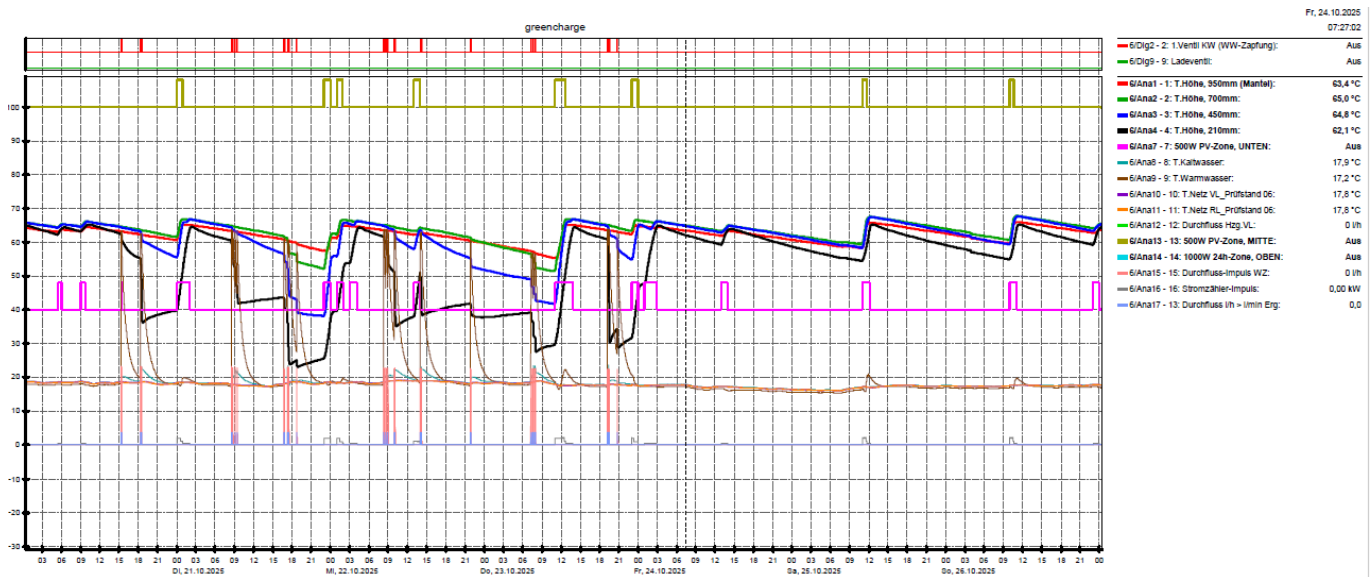


Abbildung 26: Logs des Dynastrat Betriebs (Quelle: Pink GmbH)

In dieser Abbildung sind zunächst insgesamt 4 Temperaturmesswerte für die 3 Zonen des Speichers mit den Farben Schwarz, blau, rot und grün abgebildet. Sie geben Aufschluss darüber welche Zone welche Temperatur hat und dient zur Nachverfolgbarkeit eines Ladevorgangs. Sprich wenn ein Heizstab geladen wird, dann erhöht sich naturgemäß die Temperatur der Zone. Die Zapfung des Warmwasser ist in orange dargestellt, und zeigt an wann Warmwasser aus dem Speicher entnommen wurde.

Nun kann man erkennen, dass der Speicher eben nicht sofort nach Entnahme des Warmwasser wieder auflädt, sondern der Aufladevorgang anhand des von der energiedigital Plattform übertragenen Steuersignals ausgelöst wird. Die Berechnung bzw. Übertragung des Steuersignals wird auf Basis der beschriebenen Algorithmen aus Kapitel 1.3.4 durchgeführt. Um den Beladevorgang mit den Steuersignalen aus der energiedigital Plattform zu vergleichen, wurden diese im Detail mitgeloggt, siehe: Abbildung 27.

1	Datetime	Source	Action	Client	Mode	Power [%]	Household Size	Cheapest Hours	Prices [c]
2	2025-10-20 00:00:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
3	2025-10-20 00:01:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
4	2025-10-20 00:02:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
5	2025-10-20 00:03:23, CC		WRITE power	Langenwang,	Dynamic Comfort,	100,	8,	"0,1,2,3,4,5,9,10,11,12,13,14,15,21,22,23",	"0: 8.81,1: 8.8,2: 8.81,3: 8.81,4: 9.35,5: 10.6,9:
6	2025-10-20 00:03:23, LS		WRITE POWER request	Langenwang,		100,			
7	2025-10-20 00:03:24, LS		WRITE POWER response	Langenwang,		100,			
8	2025-10-20 00:03:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
9	2025-10-20 00:04:30, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
10	2025-10-20 00:05:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
11	2025-10-20 00:06:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
12	2025-10-20 00:07:22, LS		UPDATE client registration	Langenwang,					
13	2025-10-20 00:07:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
14	2025-10-20 00:08:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
15	2025-10-20 00:09:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
16	2025-10-20 00:10:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
17	2025-10-20 00:11:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
18	2025-10-20 00:12:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
19	2025-10-20 00:13:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
20	2025-10-20 00:14:35, LS		UPTIME HOURS update	Langenwang,		100,			
21	2025-10-20 00:14:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
22	2025-10-20 00:15:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
23	2025-10-20 00:16:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
24	2025-10-20 00:16:53, LS		UPDATE client registration	Langenwang,					
25	2025-10-20 00:17:37, LS		MEASUREMENTS update	Langenwang,		100,			
26	2025-10-20 00:18:23, CC		WRITE power	Langenwang,	Dynamic Comfort,	100,	8,	"0,1,2,3,4,5,9,10,11,12,13,14,15,21,22,23",	"0: 8.81,1: 8.8,2: 8.81,3: 8.81,4: 9.35,5: 10.6,9:
27	2025-10-20 00:18:23, LS		WRITE POWER request	Langenwang,		100,			
28	2025-10-20 00:18:24, LS		WRITE POWER response	Langenwang,		100,			

Abbildung 27: Internes Logfile zur Datenkommunikation

Hier sieht man die einzelnen Updates des Betriebsmodus, die übertragene Leistung sowie die Berechnung wann der Speicher geladen werden soll. Aufgrund des Testvorgangs hat sich herausgestellt, dass die Übertragung der Vorgabewerte wann und mit welcher Leistung der Speicher geladen werden soll, sehr gut funktioniert hat. Der Vergleich der Daten aus dem Logfile lassen den Schluss zu, dass die

Datenübertragung sowie die Einschaltvorgänge am Speicher zeitlich sehr gut korreliert haben und man daher davon ausgehen kann, dass die zeitnahe Steuerung des Speichers über IoT Signale aus der zentralen IT Plattform in der Praxis funktioniert.

4 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Unser Projekt *greencharge* hat gezeigt, dass die intelligente Steuerung von Warmwasserspeichern in Kombination mit dynamischen Tarifen und Energiegemeinschaften technisch und wirtschaftlich umsetzbar ist. Die entwickelte Hardware- und Softwarearchitektur erwies sich als robust, skalierbar und hat im Pilotversuch sehr gute Ergebnisse geliefert. Dabei konnte ein stabiler End-to-End-Datenfluss vom Smart-Meter-Reader über die LwM2M-Kommunikation bis zur Optimierungslogik im Backend erfolgreich demonstriert werden. In der praktischen Erprobung im Pilotquartier Hart bei Graz wurde nachgewiesen, dass die automatische Lastverschiebung zuverlässig funktioniert und tatsächliche Energieeinsparungen sowie eine gesteigerte EEG-Eigenverbrauchsquote erzeugt. Damit wurden die Kernziele des Projekts – technische Validierung, Wirtschaftlichkeitsanalyse und Nachweis des Systemnutzens – erreicht.

4.1 Übergang F&E Projekt

Die im Projekt gewonnenen Erfahrungen bilden eine solide Grundlage für weiterführende Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Ein zentraler Bestandteil des Projekts waren die systematische Aufbereitung der Ergebnisse, speziell im Hinblick auf die Datenkommunikation. Dabei wurde deutlich, dass die Kopplung von Verbrauchergeräten mit Energiegemeinschaften zwar technisch beherrschbar ist, die tatsächliche Wirkung von Faktoren wie dem Nutzerverhalten und der Art der steuerbaren Last abhängt. Besonders wichtig war die Erkenntnis, dass Warmwasserspeicher zwar ein geeignetes Demonstrator-Objekt darstellen, aufgrund ihres geringen Jahresenergieverbrauchs im Haushalt jedoch nur begrenzte Flexibilitätspotenziale bieten. Die eigentliche Herausforderung und zugleich größte Chance liegt bei wesentlich größeren Verbrauchern – insbesondere Elektrofahrzeugen, deren Ladeenergie den Jahresverbrauch eines Warmwasserspeichers um ein Vielfaches übersteigt.

Auch die enge Kommunikation mit Stakeholderinnen – unter anderem Haushalten, Betreiberinnen von EEGs, technischen Partnern und lokalen Entscheidungsträgerinnen – erwies sich als wesentlicher Erfolgsfaktor. Rückmeldungen aus diesen Gruppen verdeutlichten, dass großes Interesse an automatisierten, benutzerfreundlichen Lösungen besteht, gleichzeitig aber die bisherige Kopplung von Energiegemeinschaften und flexiblen Lasten wie Warmwasserspeichern oder E-Fahrzeugen praktisch nicht existiert. Dieser Austausch bestätigte, dass sowohl auf Nutzerseite als auch auf Betreiberseite ein deutliches Bedürfnis nach smarter Ladeoptimierung besteht, das durch bestehende Technologien derzeit nicht abgedeckt wird. In mehreren Gesprächen wurde klar, dass es für EEG-Teilnehmerinnen derzeit keine Möglichkeit gibt, Elektrofahrzeuge priorisiert mit lokal verfügbaren Überschüssen zu laden oder diese als flexible Speicher im Sinne eines bidirektionalen Lastmanagements zu nutzen.

Aus diesen Erkenntnissen lassen sich klar die Problemstellung und die Zielsetzung für ein nachfolgendes F&E-Projekt ableiten. Das bestehende System greencharge bietet eine stabile technische Basis, adressiert jedoch ausschließlich thermische Speicher. Für eine signifikante Steigerung der EEG-Effizienz und Netzdienlichkeit müssen jedoch wesentlich größere Lasten erschlossen werden. Da Elektrofahrzeuge mittlerweile den größten Einzelstromverbrauch in vielen Haushalten darstellen und gleichzeitig aufgrund ihrer Batteriekapazität hohe Flexibilitätspotenziale bieten, ergibt sich daraus die logische Erweiterung des greencharge-Konzepts. Diese Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die Integration von E-Mobilität in EEGs nicht nur ein technologischer Entwicklungspfad ist, sondern eine zentrale Voraussetzung für eine deutliche Steigerung der erneuerbaren Nutzung, Netzstabilisierung und wirtschaftlichen Attraktivität von EEGs. Diese Erkenntnisse haben direkt zur Formulierung des weiterführenden Projekts GreenCharge Mobility geführt, das die intelligente, bidirektionale und räumlich-zeitliche Optimierung von E-Mobilität in Energiegemeinschaften zum Ziel hat.

4.2 Schlussfolgerungen

Insgesamt bestätigt das Projekt die technische und wirtschaftliche Machbarkeit eines IoT-gestützten Lastmanagements innerhalb von Energiegemeinschaften. Die Fähigkeit, Warmwasserspeicher bedarfsgerecht und automatisiert zu steuern, verbessert die Eigenverbrauchsquote und schafft reale wirtschaftliche Vorteile für Haushalte. Gleichzeitig zeigt das Projekt, dass die größten systemischen Potenziale noch unerschlossen sind: Elektrofahrzeuge bieten im Vergleich zu thermischen Speichern um ein Vielfaches mehr Flexibilität, Energieinhalt und Steuerbarkeit. Aus technologischer Sicht ist die Erweiterung der bestehenden greencharge-Architektur auf Wallboxen und bidirektionale Ladetechnologien naheliegend und effizient realisierbar. Die im Projekt identifizierten Herausforderungen wie z.B. Nutzerakzeptanz, Netzrestriktionen, Datenintegration und Lastprognosen lassen sich in einem weiterführenden Projekt gezielt adressieren. Das Projekt liefert daher eine klare Grundlage für den nächsten Entwicklungsschritt: Die vollständige Einbindung von E-Mobilität in Energiegemeinschaften, um zeitliche und räumliche Energieflexibilität zu ermöglichen und das volle Dekarbonisierungspotenzial lokaler Energiesysteme ausschöpfen zu können.

5 Ausblick und Empfehlungen

Aufbauend auf den Ergebnissen des Projekts greencharge und den Erkenntnissen aus der Stakeholder-Kommunikation ergibt sich ein klarer Entwicklungsweg für die Weiterführung der Forschung. Das Folgeprojekt GreenCharge Mobility verfolgt konsequent die Erweiterung der Technologie auf den Bereich der E-Mobilität und adressiert jene Herausforderungen, die im Sondierungsprojekt identifiziert wurden. Ziel ist die Entwicklung eines integrierten Systems, das Elektrofahrzeuge intelligent, automatisiert und mit hoher Nutzerfreundlichkeit in Energiegemeinschaften einbindet. Dazu gehören mathematische Modelle zur Kopplung von EEG-Erzeugung und Ladeverhalten, multi-objektive Optimierungsalgorithmen, Batteriemodelle einschließlich Degradationsanalysen sowie Hardware-Prototypen zur Ansteuerung von

Wallboxen und bidirektionalen Ladestationen. Darüber hinaus sollen verhaltenswissenschaftliche Untersuchungen sicherstellen, dass technische Lösungen mit realistischem Nutzerverhalten kompatibel sind und hohe Akzeptanz erreichen.

Die Weiterentwicklung von greencharge hin zu greencharge mobility eröffnet nicht nur neue technologische Möglichkeiten, sondern auch erhebliche ökologische und wirtschaftliche Potenziale. Elektrofahrzeuge können als mobile Speicher, flexible Lasten und Energie-Transportmittel fungieren und damit erstmals sowohl zeitliche als auch räumliche Flexibilitätsbedarfe innerhalb und zwischen Energiegemeinschaften abdecken. Eine solche Integration würde die Eigenverbrauchsquoten signifikant erhöhen, Lastspitzen reduzieren, Netzengpässe entschärfen und die Nutzung erneuerbarer Energie maximieren. Aus Sicht der Energiewirtschaft, der Nutzer*innen und der Technologieanbieter entsteht damit ein hochrelevantes Anwendungsszenario, das durch den kontinuierlichen Austausch mit Reallaboren, insbesondere Murau, sowie durch die Anbindung an die V2G Alliance rasch in die Praxis überführt werden kann.

6 Literaturverzeichnis

7 Anhang

8 Kontaktdaten

Martin Moser
ed-energiedigital GmbH
Petersgasse 35, 8010 Graz
www.energiedigital.at
martin.moser@energiedigital.at