

Forschungsbericht BWPLUS

Second-Life-Speicher in Smart Grids - SeLiG

von

Prof. Dr. Martina Hofmann, Florian Schirle

Hochschule Aalen

Prof. Dr. Bernd Thomas, Falko Tutsch

Hochschule Reutlingen

Norbert Saup, Christian Mayer

Stadtwerke Aalen GmbH

Förderkennzeichen: BWSGD19011-13

Laufzeit: 01.10.2019 - 30.04.2022

Die Arbeiten des Baden-Württemberg-Programms Lebensgrundlage Umwelt und ihre
Sicherung (BWPLUS) werden mit Mitteln des Landes Baden-Württemberg gefördert

April 2022

Inhalt

1	Kurzfassung	4
2	Abstract	5
3	Einleitung.....	6
4	Projektsteuerung.....	6
5	Übersicht der Reallabore.....	6
5.1	Reallabor Aalen	7
5.2	Reallabor Sachsenhausen.....	9
6	Simulation der Reallabore	10
6.1	Allgemeiner Überblick Simulationsmodell	10
6.2	Batterie-Modell	11
6.3	Reallabor Aalen	13
6.3.1	Implementieren der Module	13
6.4	Reallabor Sachsenhausen.....	15
6.4.1	Anpassung der Zielsetzung.....	15
6.4.2	Simulation Netzgebiet	15
6.4.3	Verifizierung der Simulation.....	16
7	Auswertung des Potentials der Reallabore	17
7.1	Rötenberg.....	17
7.1.1	Potential der Batteriespeicher	17
7.1.2	Potential des stromoptimierten Betriebs der BHKW	18
8	IKT & Implementierung im Gesamtsystem	19
8.1	Reallabor Aalen	19
8.2	Reallabor Sachsenhausen.....	19
9	Handling und Implementierung der Second Life Batterien.....	20
9.1	Transport und Lagerung	20
9.2	Auswahl Speicherstandort	21
9.2.1	Reallabor Aalen Rötenberg.....	21
9.2.2	Reallabor Sachsenhausen.....	24
9.3	Implementierung und Steuerung.....	26
9.4	Eingesetzte Peripherie.....	27
9.5	Steuerung und Gateway.....	28
9.5.1	Server Hintergrunddienst.....	29
9.5.2	Server GUI-Modus	29
9.5.3	Datenspeicherung	32
9.5.4	Modbus-Kommunikation.....	32

9.6	Ergebnisse aus dem Livebetrieb.....	45
9.7	Steuerung Sachsenhausen und Schließen von Datenlücken.....	46
10	Kostenaufstellung auf Basis des Reallabors Röttenberg	48
11	CE-Zertifizierung.....	51
11.1	Recherche Normen und Richtlinien	51
11.2	Risikobewertung.....	52
11.3	Technische Unterlagen.....	67
12	Entwicklung Geschäftsmodell	67
13	Fazit und Ausblick.....	68
14	Literaturverzeichnis.....	69
15	Abbildungsverzeichnis.....	69
16	Tabellenverzeichnis	70
17	Anhang.....	72
17.1	Schaltplan Röttenberg	72
17.2	Zeichnungen Batterieraum.....	79
17.3	Presseartikel	83
17.3.1	Stadtwerke-Dialog vom 26.11.2019	83
17.3.2	Aalener Nachrichten vom 16.11.2021.....	85
17.3.3	Schwäbische Post vom 16.11.2021	87
17.3.4	LIMES-Magazin vom 07.06.2022	89
17.4	Datenblätter	91
17.4.1	Datenblatt Industrie PC – Alderamin Pico.....	91
17.4.2	Datenblatt Hausanschlusszähler	93
17.4.3	Datenblatt Wechselrichter	95
17.4.4	Ausschnitt aus Angebot Rungen, anstelle von Datenblatt.....	102
17.5	Veröffentlichung: “Noise added on Interpolation as a Simple Novel Method for Imputing Missing Data from Household’s Electricity Consumption”	103

1 Kurzfassung

Ziel des Projektes „SeLiG“ war es, Second-Life-Traktionsspeicher in zwei unterschiedliche Reallabore einzubringen, um dort die Eigennutzung von PV- und BHKW-Strom zu verbessern. Das Reallabor Röntenberg in Aalen ist eine Neubausiedlung mit rund 70 Wohneinheiten. Eine zentrale Energiestation versorgt die Bewohner sowohl mit Strom als auch mit Wärme. Zum Einsatz kommen hierfür PV-Anlagen und zwei BHKW. Zusätzlich benötigter Strom wird über das öffentliche Netz bezogen.

Das Reallabor Sachsenhausen ist ein Dorf mit rund 220 Einwohnern. Die Wärmeversorgung erfolgt individuell, in großen Teilen basierend auf ein Wärmenetz der örtlichen Biogasanlage. Die Stromversorgung wird durch das öffentliche Netz sichergestellt. Eine Einspeisung erfolgt durch mehrere PV-Anlagen und zwei Biogas-BHKW.

Eine Simulation der Anlage in Aalen ergab für den standardmäßigen Betrieb ohne Batterien einen Autarkiegrad von 67,5 %. Durch das Einbringen der Batterien lässt sich dieser in der Simulation auf 86 % steigern. Die Implementierung eines Optimierungsalgorithmus für die Schaltzeitpunkte der BHKW bringt keinen Vorteil für den Autarkiegrad. Ein Grund hierfür wird die hohe Laufzeit der BHKW (ca. 6100 h/Jahr) und damit die mangelnde Flexibilität der Schaltzeitpunkte sein. Der Steuerungsalgorithmus wird hier dennoch implementiert, um die Ergebnisse der Simulation zu verifizieren. Hierfür steht ein Testbetrieb noch aus. Die Simulation der Gemeinde Sachsenhausen zeigt, dass durch die Implementierung von Batteriespeichern der Netzbezug um etwa 16,9 % gesenkt werden kann. Eine Optimierung der BHKW erfolgt hier nicht, da diese im Dauerbetrieb laufen und kein wirtschaftlicher Anreiz zum Ausschalten der Anlage vorhanden ist.

Für das physische Einbringen der Batterien wurde eine Risikoanalyse erstellt. Ebenso wurden die Batterien in einem Zwischenlager deponiert und ein Havarieplatz eingerichtet. In Abstimmung mit Feuerwehr und Ordnungsamt ist als Standort der Batterien in Aalen ein separates Batteriegebäude gebaut worden. Die Lagerung der Batterien erfolgt hier in Rungenregalen. Die notwendige Infrastruktur ist in der zentralen Energiestation integriert. Die Aggregate zum Betrieb der Batterien wurden festgelegt. Die softwaretechnische Anbindung, wurde umgesetzt und in Betrieb genommen. Im Reallabor Sachsenhausen wurden mögliche Standorte der Batterien aufgezeigt sowie auf eine Betriebsweise in der Zukunft eingegangen. Jedoch konnte hier eine Einbringung der Batterien aufgrund begrenzter zeitlicher und finanzieller Kapazitäten nicht mehr umgesetzt werden. Es wurde ein entsprechendes Geschäftsmodell entwickelt.

2 Abstract

Ambition of the project „SeLiG“ is the implementation of second-life-batteries into two test-environments to increase the self-usage of PV- and CHP-electricity. The test-environment „Rötenberg“ in Aalen is a new housing estate with roughly 70 flats. A central power station provides heat and electricity for the residents. PV and CHP-units are used for this purpose, combined with the public electricity grid.

The test-environment „Sachsenhausen“ is a village with about 220 inhabitants. The supply of heat is provided individually, mainly based on a heat network fed by the local biogas plant. The supply of electricity is done with the public grid. Power feeding happens through numerous PV-units and two CHP.

A simulation of the facility in Aalen shows a degree of self-sufficiency of 67,5% without batteries. With the use of batteries, the self-sufficiency can be increased to 86 %. The implementation of an algorithm to increase the degree of self-sufficiency by changing the operating times of the CHP did not lead to an increase. This might be due to the high operating time (about 6100 h per year) and therefore, missing flexibility. Nevertheless, the algorithm is implemented to verify the outcome of the simulation. Test-operation is pending. Simulation of the village „Sachsenhausen“ shows, that the implementation of batteries can reduce the electricity-drain from the public grid by up to 16,9%. An optimization of the CHP will not be done here because there is no economic incentive in shutting the CHP off.

For the physical implementation of the battery, a risk analysis has been performed. Likewise, the batteries were deposited in an interim storage facility and an emergency site was set up. In coordination with fire service and regulatory authorities a separate building was defined for the permanent location of the batteries. The batteries will be stored in stackable and easy-to-handle shelves, which are designed to fit the batteries. The necessary infrastructure is integrated in the central energy station. The aggregates for operating the batteries have been determined. The software connection was implemented and put into operation. For the test environment Sachsenhausen possible locations of the batteries were shown as well as a way of operation in the future. However, due to limited time and financial capacities, it was no longer possible to install the batteries. An appropriate business model was developed.

3 Einleitung

Im Projekt SeLiG wurde das Ziel der Entwicklung, Aufbau und Implementierung von Second-Life-Traktionsbatteriespeichersystemen in stationären Anwendungen zur Unterstützung der Energieversorgung von Gebäuden und Quartieren mit selbst erzeugter Energie verfolgt. Hierfür wurden zwei Reallabore untersucht, um dort solche Speicher unter realen Bedingungen einzubringen.

Neben der physischen Implementierung dieser Speicher wurde auch die Steuerung der Testanlagen entwickelt und optimiert. Da in den Testanlagen PV- und KWK-Anlagen verbaut sind, sollte sich die Optimierung nicht in den Batteriespeichern allein erschöpfen, sondern die Strom- und die Wärmeversorgung verknüpft und die Anlage als Ganzes betrachtet werden. Zudem wurden Geschäftsmodelle entwickelt, die das Einbringen von Second-Life-Traktionsspeichern in Smart Grids wirtschaftlich machen.

Projektpartner waren die Hochschule Aalen (Projektsteuerung) sowie die Hochschule Reutlingen und die Stadtwerke Aalen.

4 Projektsteuerung

Die Projektsteuerung oblag der Hochschule Aalen. Das Arbeitspaket beinhaltete die Durchführung von Statusmeetings mit den Projektteilnehmern, welche im monatlichen Rhythmus durchgeführt wurden. Als Dokumentation der Statusmeetings dienten die jeweiligen Präsentationen, welche zum Präsentieren des aktuellen Status dienten sowie zum Festhalten neuer Punkte genutzt wurden. Aufgrund der Corona-Pandemie wurden die Statusmeetings vorwiegend virtuell durchgeführt. Weitere individuelle Termine fanden nach Absprache zwischen den Projektpartnern statt. Der Projekt-Kick-off fand am 11.12.2019 bei den Stadtwerken Aalen statt. Den Projektteilnehmern wurden die Batterien sowie das Wohnquartier am Röttenberg präsentiert. Nach dem ersten Projektjahr fand am 26.08.2020 wieder ein Präsenztermin bei den Stadtwerken Aalen statt. Nachdem der Speicher im Sommer 2021 in Betrieb genommen wurde, trafen sich die Projektteilnehmer erneut am 15.11.2021 in Präsenz am Speicherstandort Röttenberg. Die lokale Presse war ebenfalls anwesend. Zum Abschluss des Projektes kamen die Projektteilnehmer am 27.04.22 an der Hochschule in Reutlingen zusammen.

Das Arbeitspaket *Projektsteuerung* enthielt zusätzlich das Thema Öffentlichkeitsarbeit. Dieses wurde federführend durch die Hochschule Aalen geleitet. Es entstanden daraus mehrere Artikel in der lokalen Presse (siehe Anhang) sowie ein Radiobeitrag bei Radio 7. Für Messen der Stadtwerke Aalen wurde eine Batterie als Anschauungsobjekt genutzt. Es wurde ersichtlich, dass besonders die Batterie- und die Energiespeicherthematik das Interesse der Besucher geweckt hat und dem intensiven Austausch am Stand gedient haben. Im Zuge der Datenauswertung aus dem Projektteil Sachsenhausen entstand ein Paper, welches auf der Konferenz „KES 2022 - 26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems“ unter dem Titel: „Noise added on Interpolation as a Simple Novel Method for Imputing Missing Data from Household’s Electricity Consumption“ veröffentlicht wurde. Auch dieses ist dem Anhang beigelegt.

Das Durchführen von Befragungen, was in der ursprünglichen Planung noch angedacht war, war im Zuge des Projekts nicht mehr nötig, weil kein zusätzlicher Nutzen erkennbar war.

5 Übersicht der Reallabore

Im Projekt SeLiG wurden zwei Anlagen in den Reallaboren Röttenberg in Aalen sowie dem Reallabor Sachsenhausen, welches auf den Arbeiten des Projekts SMASA – Smart Grids und Speicher Sachsenhausen aufbaut, betrachtet. Im Folgenden werden diese kurz mit den relevanten Verbrauchsdaten und Energieerzeugern vorgestellt.

5.1 Reallabor Aalen

Das Reallabor Rötberg in Aalen ist eine Neubausiedlung bestehend aus sieben einzelnen Häusern und insgesamt 71 Wohnungen, die über eine zentrale Energieversorgung mit Strom und Wärme beliefert wird. Dabei kommen sowohl zwei KWK-Anlagen als auch PV-Anlagen zum Einsatz. Die Wärme wird über ein Nahwärmenetz an die Verbraucher geliefert. Entgegen der ursprünglichen Planung und Auslegung der Wärmeerzeuger wird noch ein zusätzliches Wohngebäude („Saumweg 5“) mit Wärme versorgt. Diese Lösung wurde nachträglich in die Planung und Umsetzung aufgenommen, um über den erhöhten Wärmeabsatz die Laufzeiten der KWK-Anlagen und damit die Stromerzeugung und letztendlich die Wirtschaftlichkeit der Anlagen zu erhöhen. Die wichtigsten Daten zu Energieerzeugung und -verbrauch sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Der Energiebedarf wurde von den Stadtwerken Aalen auf Grundlage von Standardlastprofilen prognostiziert.



Abbildung 1: Reallabor Aalen Rötberg. Zu erkennen sind die sieben Wohngebäude mit den 71 Wohnungen sowie der Standort des Batteriegebäudes

Tabelle 1: Eckdaten des Reallabors in Aalen

Verbraucher	7 Wohngebäude mit insgesamt 71 Wohneinheiten	
	1 zusätzliches mit Wärme versorgtes Wohngebäude („Saumweg 5“)	
	Strombedarf (prognostiziert):	245 MWh pro Jahr
	Heizwärmebedarf (prognostiziert):	377 MWh pro Jahr
	Trinkwasserwärmebedarf (prognostiziert):	238 MWh pro Jahr
Wärmeerzeugung	2x BHKW:	je 44 kW _{th}
	Spitzenlastkessel:	272 kW _{th}
	Solarthermie:	16 m ²
	Zentrale Pufferspeicher:	2 x 2,5 m ³
	Dezentrale Pufferspeicher:	7 x 1,0 m ³
Stromerzeugung	2x BHKW:	je 20 kW _{el}
	PV-Anlage:	insgesamt 44,55 kWp
	Second Life Batteriespeicher:	143,2 kWh; 44 kWp

Hydraulikschemata

Die beiden BHKW versorgen das Quartier nicht nur mit Wärme, sondern sie werden auch für die Deckung des Stromverbrauchs im Quartier genutzt. Eine ausreichende Versorgung der Bewohner mit Wärme steht dabei aber hinsichtlich der Priorität über der Deckung des Strombedarfs, da Strom einfach parallel über das öffentliche Stromnetz bezogen werden kann. Wenn der Betrieb der BHKW stromoptimiert erfolgen soll, dann ist die Kenntnis der Heizungsanlage des Quartiers und dabei insbesondere die Einbindung und Kapazität der Energiespeicher unabdingbar. Abbildung 2 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Heizungsanlage im Röttenberg.

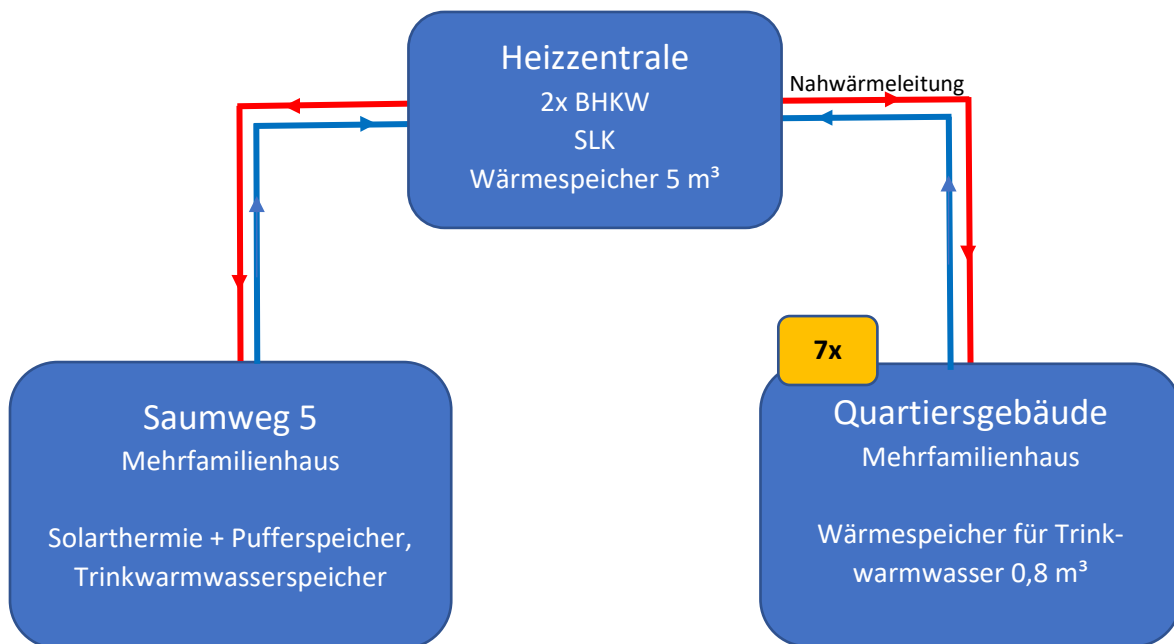


Abbildung 2: Heizungsschema Reallabor Aalen (Röttenberg)

Die in der Heizzentrale installierten BHKW und der Spitzenlastkessel versorgen alle Verbraucher mit der benötigten Wärme. Der Wärmespeicher in der Heizzentrale ist parallel zu den Wärmeerzeugern geschaltet, so dass dieser insbesondere von den BHKW geladen werden kann. Über einen Hauptverteiler wird die Wärme an das Nahwärmenetz übergeben und so an die einzelnen Quartiersgebäude und das zusätzliche Wohngebäude („Saumweg 5“) übertragen.

In den Quartiersgebäuden selbst sind Unterverteiler installiert, die die Weiterverteilung der Wärme übernehmen. An diese Unterverteiler sind die einzelnen Heizkreise im Gebäude angeschlossen. Einer dieser Kreise dient der Beheizung des jeweiligen dezentralen Trinkwarmwasserspeichers. Auf diese Weise wird die Wartezeit auf Warmwasser für die Bewohner verkürzt, da das Warmwasser nicht zentral in der Heizzentrale, sondern dezentral in den einzelnen Quartiersgebäuden bereit wird.

Zusätzlich zur Wärmeversorgung teilen sich die Quartiersgebäude mit der Heizzentrale den Stromanschluss ans öffentliche Netz. Der von den BHKW erzeugte Strom kann also zusätzlich zu den installierten PV-Anlagen den Stromverbrauch der Bewohner decken.

Die Wärmeverteilung für den Saumweg 5 ist ein wenig anders aufgebaut, da es sich hier um ein Bestandsgebäude handelt. Hier ist zunächst ein weiterer Pufferspeicher installiert, der zyklisch aus den Wärmespeichern der Heizzentrale geladen wird. Aus diesem Pufferspeicher heraus wird das Gebäude mit Heizwärme versorgt. Für die Versorgung mit Trinkwarmwasser ist im Saumweg 5 ebenfalls ein de-

zentraler Speicher installiert, der aber nicht aus der Heizzentrale, sondern ebenfalls aus dem Pufferspeicher versorgt wird. Die serielle Verschaltung der Wärmespeicher in der Heizzentrale und des Pufferspeichers im Saumweg 5 stellt eine besondere Herausforderung für die Prognose des Wärmebedarfs dar, wie später noch erläutert wird. Eine weitere Schwierigkeit diesbezüglich besteht darin, dass im Gebäude Saumweg 5 die Verbräuche an Trinkwarmwasserwärme und Heizwärme nur gemeinsam und nicht separat erfasst werden.

Außerdem ist auf dem Dach des Gebäudes im Saumweg 5 eine Solarthermie-Anlage installiert. Diese besitzt einen eigenen Wärmespeicher. Immer, wenn die Temperatur in diesem solaren Wärmespeicher groß genug ist, wird Wärme an den Pufferspeicher im Gebäude übertragen. Zwischen dem solaren Wärmespeicher und dem Pufferspeicher befindet sich ein weiterer Wärmemengenzähler. Dieser erfasst jedoch nur die zwischen den Speichern ausgetauschte Leistung und nicht direkt die erzeugte Leistung der Solarthermie-Anlage.

Der Saumweg 5 besitzt einen eigenen Anschluss ans öffentliche Stromnetz und ist damit nicht elektrisch mit dem Rest des Quartiers verbunden.

5.2 Reallabor Sachsenhausen

Sachsenhausen ist ein kleines ländliches Dorf und ein Teilort von Giengen an der Brenz. Alle Verbraucher sind hier über zwei Umspannstationen an das öffentliche Stromnetz angeschlossen. Die Wärmeversorgung erfolgt zum Teil über ein Wärmenetz der lokalen Biogasanlage und zum Teil dezentral direkt in den jeweiligen Gebäuden. Durch Forschungsprojekte konnten in der Vergangenheit bereits Stromverbrauchsdaten von Pilotkunden sowie das Erzeugungsprofil einiger PV-Anlagen aufgezeichnet werden. Die für das Projekt relevanten Eckdaten sind in Tabelle 2 zusammengestellt:

Tabelle 2: Eckdaten des Reallabors Sachsenhausen

Gesamt	87 Gebäude mit 223 Einwohnern, dazu kleine Industriebetriebe
Umspannstation „Brühlstraße“	Stromverbrauch (generiert aus Messdaten & Standardlastprofilen): 265 MWh in 8 Monaten
	PV-Leistung auf Privathäusern: 290 kWp
Umspannstation „Im Ebersbach“	Stromverbrauch (generiert aus Messdaten & Standardlastprofilen): 170 MWh in 8 Monaten
	PV- Leistung auf Privathäusern: 132 kWp

Zusätzlich befinden sich noch zwei weitere Großverbraucher sowie ein Groß-BHKW im Ort. Diese sind aber über einen separaten Anschluss direkt mit dem Mittelspannungsnetz verbunden. Abbildung 3 zeigt einen Bebauungsplan der Ortschaft zusammen mit dem elektrischen Netz.

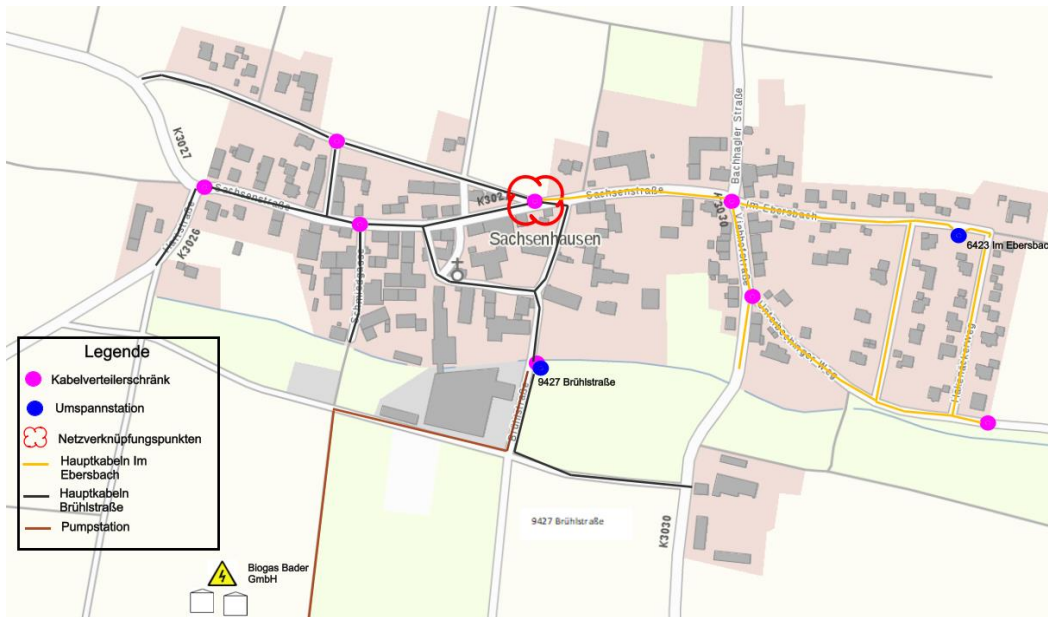


Abbildung 3: Bebauungsplan Sachsenhausen

6 Simulation der Reallabore

Die Simulation der Reallabore soll eine Abschätzung des Potentials zur Verringerung des Strombezuges aus dem vorgelagerten Netz sowohl aufgrund der Batteriespeicher als auch aufgrund der optimierten Steuerung der KWK-Anlage im Reallabor Aalen ermöglichen. Hierfür ist eine hinreichend genaue Abbildung der relevanten Komponenten erforderlich.

6.1 Allgemeiner Überblick Simulationsmodell

Die Simulation der Anlagen wurde mit Hilfe der Software Matlab Simulink umgesetzt. Hierfür wird auf die Open-Source Modulbibliothek Carnot zurückgegriffen. Es stehen hier Module sowohl für die Energieerzeuger als auch für die Energieverbraucher zur Verfügung sowie ein Modell für den Warmwasserspeicher. In vergangenen Projekten wurden die Module bereits auf die Anforderungen der entsprechenden Anlagen angepasst. Einzig das Modell für den Batteriespeicher ist im Rahmen des Projektes neu entwickelt worden.

Die einzelnen Module können im Simulationsmodell beliebig miteinander verknüpft werden. Nach dem Einstellen der Parameter der Aggregate muss der Anwender noch eine entsprechende Betriebslogik integrieren. Abbildung 4 zeigt ein Beispiel für ein simples Heizungsmodell bestehend aus den Modulen für einen Erzeuger, einen Wärmespeicher und einen Verbraucher.

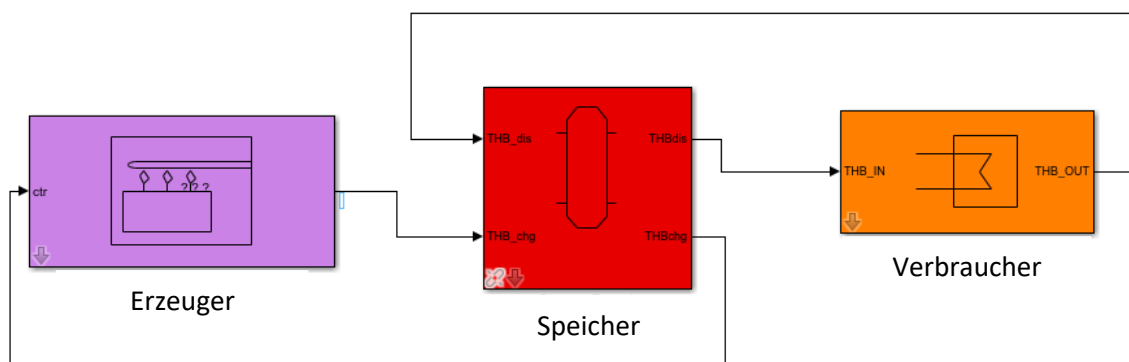


Abbildung 4: Simulink-Modell einer Heizungsanlage

Ist das Modell erstellt und sind entsprechende Verbrauchsdaten hinterlegt, kann die Simulation gestartet werden. Die Software berechnet nun ausgehend von einem initialen Zustand einzelne Zeitschritte, bis sie die geforderte Zeitspanne erreicht hat. Anschließend kann der Anwender für jeden Zeitschritt den Zustand des Systems analysieren.

6.2 Batterie-Modell

Da im Projekt SeLiG das Hauptaugenmerk auf den Batteriespeichern liegt, ist das Modell hierfür von besonderer Relevanz. Zu Beginn des Projekts stand bereits ein Batteriemodell zur Verfügung, welches allerdings bei näherer Betrachtung nicht zufriedenstellend erschien und aus diesem Grunde aktualisiert und an die vorhandenen Parameter und den Stand der Technik angepasst wurde.

Die Simulation der Betriebsanlagen konzentriert sich auf der Stromseite in erster Linie auf den Austausch von Energiemengen. Wo möglich, soll dies auch für die Batterie praktiziert werden. Um den Integrationsaufwand in folgenden Projekten zu minimieren, sollen sich die Eingabeparameter auf leicht zu recherchierende Werte beschränken. Die Simulation soll möglichst recheneffizient aufgebaut werden.

Das Batteriemodell besteht aus zwei Teilen: Dem Wechselrichter und der Batterie.

Da das neue Modell lediglich Energiemengen und deren Austausch simulieren soll, wurde zudem das Modell des Wechselrichters überarbeitet. Dieser wurde insofern vereinfacht, dass er lediglich die Lade- bzw. Entladeleistung limitiert und den Wirkungsgrad des Wechselrichters abhängig von seiner Auslastung simuliert. Abbildung 5 zeigt den Aufbau des Wechselrichters im Simulink-Modell.

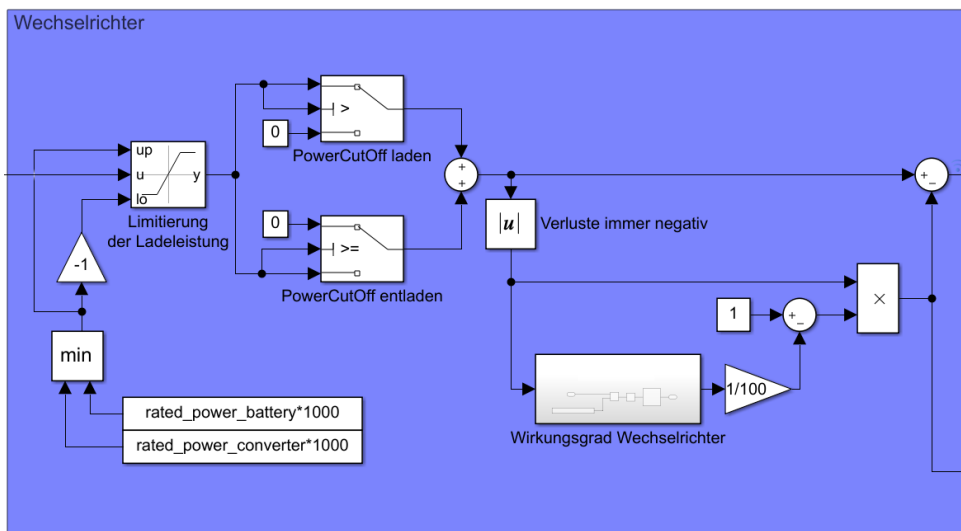


Abbildung 5: Simulink-Modell des Wechselrichters

Der Wirkungsgrad wird in Datenblättern meist in Form eines Diagramms über der Auslastung abgetragen. Um die Einbindung zu erleichtern, wurde hierfür eine Funktion hinterlegt. Diese wurde als Mittel der Wirkungsgrade von verschiedenen Wechselrichtern im Leistungsbereich von 15 kW bis 105 kW ermittelt. Da in den meisten Datenblättern der Bereich $< 5\%$ der Maximalleistung fehlt, wurde die Funktion in diesem Bereich extrapoliert. In Abbildung 6 sind der Wirkungsgrad einiger Wechselrichter und die ermittelte Näherungsformel abgetragen.

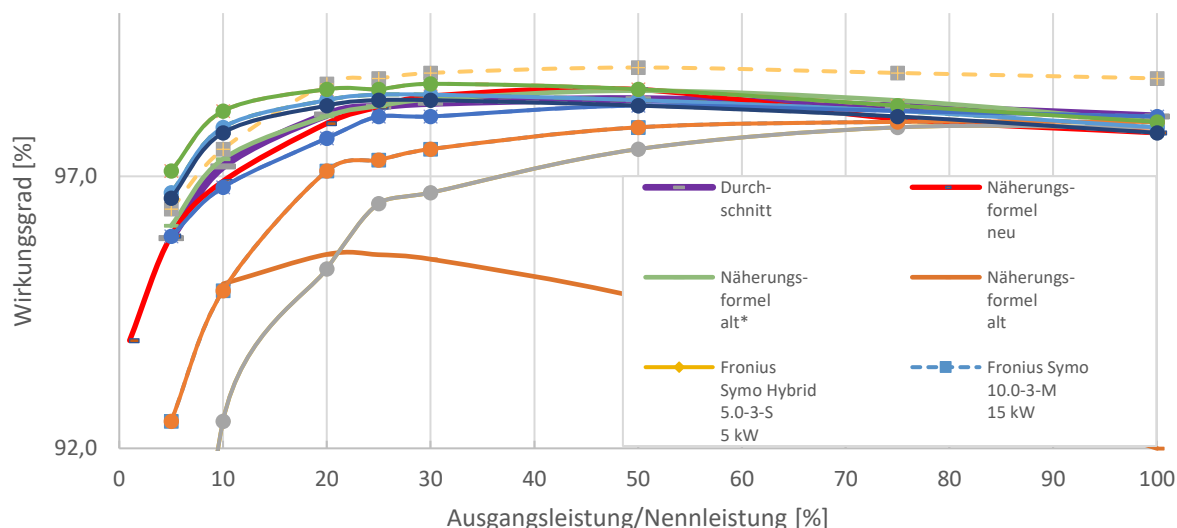


Abbildung 6: Wirkungsgrade verschiedener Wechselrichter

Wie zu erkennen ist, fällt der Wirkungsgrad bei geringer Auslastung des Wechselrichters sehr stark ab. Als zusätzliche Funktion wurde daher ein Power-Cut-Off integriert, der die Ladeleistung unterhalb einer festzulegenden Schwelle blockiert. So wird ein Laden oder Entladen der Batterien bei sehr geringen Wirkungsgraden verhindert.

Bei der Simulation der eigentlichen Batterie wurde der Wirkungsgrad beim Laden bzw. Entladen jeweils als konstant angesetzt. Des Weiteren wurde ein konstanter Kapazitätsverlust je Zyklus und ein konstanter Standby-Verbrauch angenommen.

Die Selbstentladung ist bei der verwendeten Lithium-Ionen-Technologie sehr gering. Sie beträgt je nach Quelle zwischen 1-5 % pro Monat und 2 % pro Jahr [1] [2] [3]. Der Verbundpartner Varta AG geht von einer Selbstentladung von 1 - 3 % pro Jahr aus. Je aktueller die Quelle, desto geringer fällt die Selbstentladung aus. Dies lässt auf einen technologischen Fortschritt hin zu geringerer Selbstentladung schließen. Auf das vorliegende Projekt bezogen bedeutet das eine jährliche Selbstentladung von 1,4 kWh (1 % pro Jahr) bis 84 kWh (bei 5 % pro Monat). Bei einem Stromverbrauch in den Projekten von > 200.000 kWh ist die Selbstentladung damit vernachlässigbar.

Ein weiteres Phänomen in der Batterietechnik sind die sogenannten Peukert-Verluste. Die Speicherkapazität von Batterien verringert sich bei hohen Ladeströmen [1]. Da jedoch die Batterien im vorliegenden Anwendungsfall nur mit einer geringen Lade- bzw. Entladerate von maximal 1 C betrieben werden, kann dieser Effekt ebenfalls vernachlässigt werden. Abbildung 7 zeigt den Aufbau des Batteriemodells in Simulink.

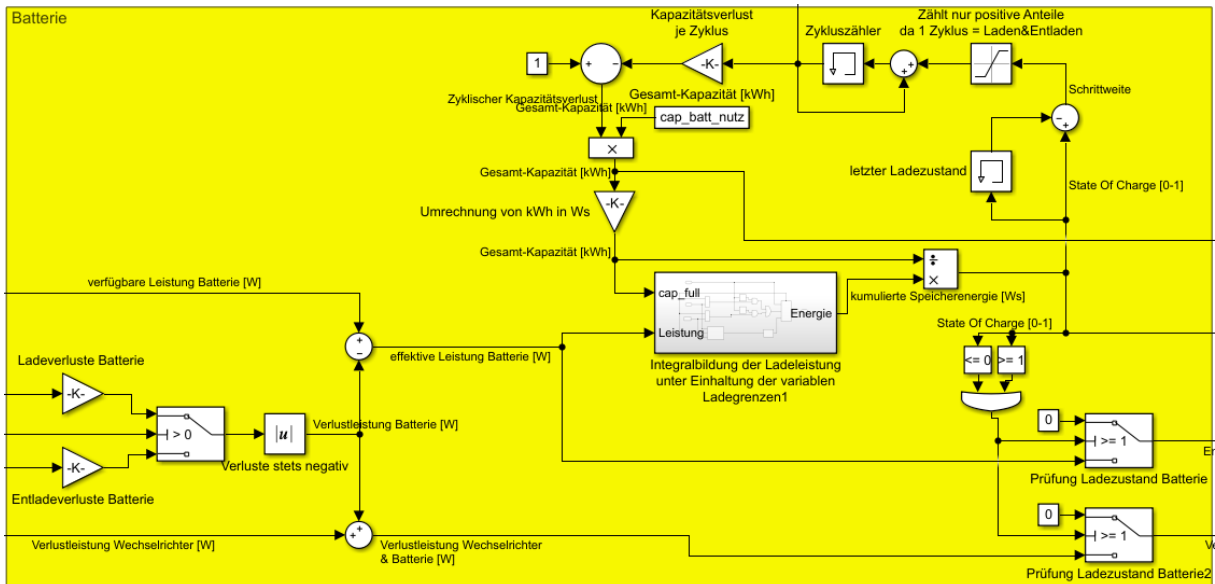


Abbildung 7: Simulink-Modell der Batterie

Auf diese Weise ist ein Modell für Batterie und Wechselrichter entstanden, welches lediglich Eingabeparameter nutzt, die leicht aus Datenblättern der jeweiligen Speicherlösung entnommen werden können. Zudem wird durch den einfacheren Aufbau des Modells die Rechenzeit erheblich reduziert. Ermöglicht wurde dies durch einige Vereinfachungen, die jedoch zum einen im Toleranzbereich der übrigen Simulation liegen und zum anderen in Rücksprache mit dem Verbundpartner Varta AG zulässig sind.

6.3 Reallabor Aalen

Neben der Simulation des Batteriespeichers und der PV-Anlage wurde für das Reallabor Aalen auch eine Simulation der Heizungsanlage für die Gebäude erstellt, da nur so der Einsatz der KWK-Anlage sinnvoll betrachtet werden kann. Das Modell ist allerdings an einigen Stellen vereinfacht. Beispielsweise werden die dezentralen Brauchwarmwasser-Speicher in den Gebäuden nicht simuliert. Ebenso werden die Versorgungsleitungen zwischen den Gebäuden nicht berücksichtigt. Die dadurch entstehenden Fehler und Abweichungen wurden nach Inbetriebnahme der realen Anlage durch Abgleich der Simulationsergebnisse mit Messdaten ausgeglichen und angepasst.

6.3.1 Implementieren der Module

Für alle relevanten Komponenten wurden die jeweiligen Parameter nach Daten der realen Anlage hinterlegt. Ebenso wird die Betriebslogik dem realen Aufbau nachempfunden. Als Grundlage dient im ersten Schritt der wärmegeführte Betrieb (s. Kap. 2.2.1). Die Stadtwerke Aalen nutzen einen aus Temperatursensoren ermittelten Füllstand des zentralen Wärmespeichers, um die BHKW und den Gaskessel zu steuern.

Als zweiter Betriebsmodus ist eine Regelstrategie hinterlegt, die eine stromoptimierte Steuerung der BHKW durch den Steuerungsalgorithmus der Hochschule Reutlingen ermöglicht. Da der Algorithmus nicht auf Echtzeitdaten basiert, sondern auf Prognosen der Lastgänge angewiesen ist, besteht eine gewisse Fehleranfälligkeit. Um den Wärmebedarf der Bewohner zu jeder Zeit sicherzustellen, wurde eine neue Regelstrategie entwickelt. Der wärmegeführte Betrieb wurde als Not-Betrieb mit deutlich erweiterten Eingriffsgrenzen definiert. Solange diese Grenzen nicht über- oder unterschritten werden, kann der Algorithmus frei über den Betrieb der BHKW bestimmen. In Abbildung 8 ist dieser durch den Energieinhalt im Speicher (in %) angegeben. Solange sich der Energieinhalt zwischen 0 und 100% bewegt, kann die KWK-Anlage stromoptimiert betrieben werden. Beträgt der Energieinhalt 100% oder

mehr müssen die BHKW abgeschaltet werden. Bei einem Energieinhalt kleiner oder gleich 0% müssen die BHKW eingeschaltet werden.

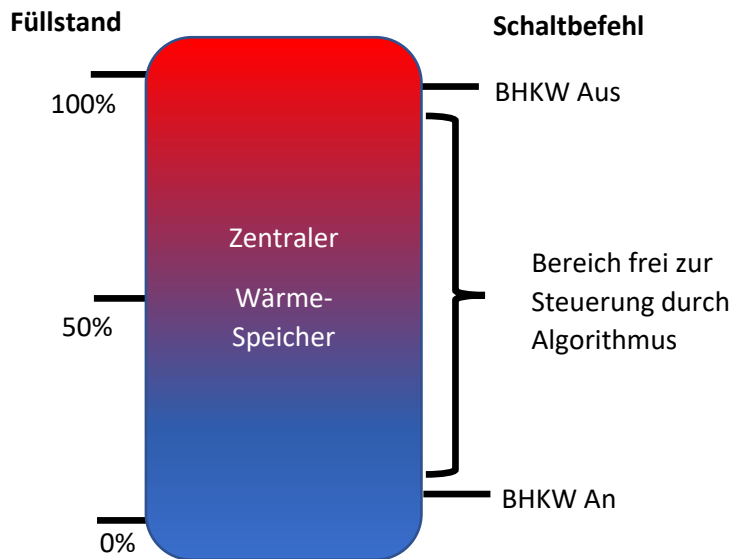


Abbildung 8: Schema des Notbetriebs

Anpassung Steuerungsalgorithmus

In die Simulation ist auch ein Steuerungsalgorithmus implementiert, der auf den Betrieb mit Batteriespeichern und einem zweiten BHKW angepasst wurde. Mit Hilfe dieses Algorithmus ist es möglich, die KWK-Anlage bedarfsorientiert zu betreiben, so dass die BHKW primär dann in Betrieb sind, wenn Stromverbrauch im Objekt vorliegt. Die dafür notwendige Flexibilität wird über den Wärmespeicher bereitgestellt. Dabei ist durch entsprechend hinterlegte Randbedingungen sichergestellt, dass die Wärmeversorgung durch die BHKW gesichert bleibt. D.h., immer wenn der Wärmespeicher energetisch entladen ist, laufen die BHKW an, selbst wenn zu diesem Zeitpunkt kein oder nur geringer Strombedarf vorliegt. Im umgekehrten Fall, d.h., bei energetisch vollständig beladenem Wärmespeicher, ist ebenso sichergestellt, dass die BHKW abgeschaltet werden, sofern kein ausreichender Wärmebedarf im Gebäude vorliegt. Detaillierte Beschreibungen des Steuerungsalgorithmus sind in der Literatur veröffentlicht [1; 2].

Mit dem Simulationsmodell können Jahressimulationen für das Reallabor durchgeführt und so die Effekte der bedarfsorientierten BHKW-Steuerung sowie des Batteriespeichers studiert werden. Als Basis hierfür werden Referenzlastprofile für den Strom- und Wärmebedarf verwendet, da noch keine Daten aus dem realen Betrieb vorliegen. Die Referenzdaten stammen von den Stadtwerken Aalen, die verwendeten Wetterdaten basieren auf einem Referenzjahr des Deutschen Wetterdienstes (DWD).

Als Referenz des Standes der Technik dient der wärmegeführte Betrieb der KWK-Anlage. Hier bleibt der Steuerungsalgorithmus außen vor und die BHKW werden über einen internen Regler gesteuert. Die Regelgröße ist dabei allein der energetische Füllstand des Wärmespeichers.

Als Zielgröße für die Optimierung der BHKW im bedarfsorientierten Betrieb wird der verbleibende Strombezug aus dem Netz der öffentlichen Versorgung gewählt, da der Betreiber der Anlage bei einem reduzierten Netzbezug einen wirtschaftlichen Vorteil erreichen kann. Die Batterien sind dabei passiv eingebunden, d.h. bei Stromverbrauch oder -bezug am Netzverknüpfungspunkt wird zunächst Strom

aus der Batterie entnommen oder in diese zurückgespeist bis die Batterie entweder komplett entladen oder komplett beladen ist.

In beiden Fällen, wärmegeführt ohne und wärmegeführt mit Batterie, weisen die BHKW eine vergleichsweise hohe Laufzeit von etwa 6.100 h (gemittelt über beide BHKW) je Jahr auf. Zusammen mit dem bereits hohen Autarkiegrad lässt sich daraus bereits ableiten, dass aufgrund der eingeschränkten Flexibilität der BHKW das Optimierungspotential durch einen Steuerungsalgorithmus eher gering sein wird.

Durch die Implementierung des Steuerungsalgorithmus wird ein als „stromoptimiert“ bezeichneter Betrieb der BHKW erreicht. Der Algorithmus übernimmt hier die Steuerung der BHKW. Dies geschieht, wie zuvor bereits beschrieben, jedoch nur in festgelegten Grenzen. Wird der Wärmespeicher zu heiß oder zu kalt, so überschreibt die interne Regelung der BHKW die Steuervorgabe des Algorithmus. Somit ist der sichere Betrieb der Anlage gewährleistet. Die Simulation im stromoptimierten Betrieb mit Batteriespeicher ergab Folgendes: Unter der Annahme einer perfekten Prognose der Lastprofile und Wetterdaten wird ein verbleibender Netzbezug von 34.900 kWh errechnet. Wird der in der Realität auftretenden Fehler durch die Lastprognose hinzugenommen, so wird ein Netzbezug von 35.400 kWh erreicht. Im Autarkiegrad spiegelt sich dies mit 85,8 % für die perfekte Prognose bzw. 85,6 % für die reale Prognose wieder. Der stromoptimierte Betrieb bietet in dieser Konstellation in der Simulation daher keinen Vorteil in Anbetracht des durch die Installation ohnehin schon geringen Netzbezugs. Zu beachten ist zudem, dass die Verwendung des Steuerungsalgorithmus zu mehr Startvorgängen der BHKW führt. In einem Jahr starten die zwei BHKW in Summe etwa 800-mal im wärmegeführten Betrieb und etwa 1400 mal im stromoptimierten Betrieb. Es ist dennoch geplant, den Algorithmus im Reallabor Aalen einzusetzen, um seine Tauglichkeit an einer realen Anlage zu testen und unter Beweis zu stellen. Auf diese Weise ist eine Übertragung auf KWK-Anlagen mit höherer Flexibilität möglich, wo dann auch die Vorteile der stromoptimierten Betriebsweise vollständig zu Tage treten werden.

6.4 Reallabor Sachsenhausen

In Sachsenhausen war zunächst geplant, die stromoptimierte Steuerung auf eine KWK-Anlage an einer Biogasanlage in Verbindung mit einem Batteriespeicher anzuwenden. Der Betreiber der BHKW bekommt jedoch aufgrund des Installationszeitpunktes der BHKW eine hohe Förderung durch das EEG. Dadurch ist der Betrieb unabhängig vom eigenen Verbrauch des Betreibers wirtschaftlich. Es besteht somit für ihn kein Anreiz, die KWK-Anlage am Eigenbedarf orientiert zu steuern. Aus diesem Grund wird für das Reallabor Sachsenhausen auf eine Implementierung des Steuerungsalgorithmus sowie das Entwickeln einer Simulation der Heizungsanlage verzichtet.

6.4.1 Anpassung der Zielsetzung

Da eine bedarfsorientierte Steuerung der BHKW in dieser Anlage nicht wirtschaftlich darstellbar ist, wurde die Zielsetzung für das Reallabor Sachsenhausen angepasst. Anstelle des Eigenstrombedarfs am Biogas-BHKW wird jetzt die Auswirkung der Batterien auf den Reststrombezug der Gemeinde aus dem vorgelagerten Stromnetz betrachtet. Da die Gemeinde im Verhältnis zu ihrem Eigenverbrauch viel PV-Strom erzeugt, sollte in sonnenreichen Stunden genug Strom anfallen, um die Batterien zu laden. Dieser Strom kann in sonnenarmen Zeiten wieder für die Gemeinde zur Verfügung gestellt werden.

6.4.2 Simulation Netzgebiet

Um das Potential der Batteriespeicher im Gemeindennetz Sachsenhausens festzustellen, wird das Netzgebiet mit seinen Stromerzeugern und -verbrauchern simuliert.

Hierfür liegen für 20 Haushalte gemessene Stromprofile aus einem vorangegangenen Forschungsprojekt [SMASA] vor. Es sind dabei sowohl Verbrauchsprofile als auch die Erzeugungsprofile der im Rahmen des Projektes untersuchten PV-Anlagen enthalten. Bei Gebäuden, für die keine Messdaten zur

Verfügung stehen, dienen Referenzlastprofile nach [VDEW] zur Abschätzung des Strombedarfsgangs über das Jahr. Die Gebäude sind dabei in verschiedene Typen (Wohngebäude, Industrie, Agrarbetrieb, etc.) unterteilt und mit entsprechenden Lastgängen hinterlegt.

Aus den gemessenen Erzeugungsprofilen der PV-Anlagen wird ein Mittelwert gebildet und dieser entsprechend auf alle PV-Anlagen des Ortes hochgerechnet.

Weiterhin ist in der Simulation berücksichtigt, dass Verbraucher und Erzeuger jeweils einem von zwei Teilnetzen zugeordnet sind. Die Lastgänge der zugehörigen Umspannstationen wurden vom zuständigen Netzbetreiber zur Verfügung gestellt. Auf dieser Grundlage sind mit dem entsprechend erstellten Simulationsmodell Berechnungen zur Strombilanz in Sachsenhausen für verschiedene Konfigurationen des Batteriespeichers über den Zeitraum von acht Monaten durchgeführt worden. Dieser Zeitraum entspricht dem Umfang der „SMASA“-Messdaten. Abbildung 9 zeigt einen Überblick des Modellaufbaus in Simulink.

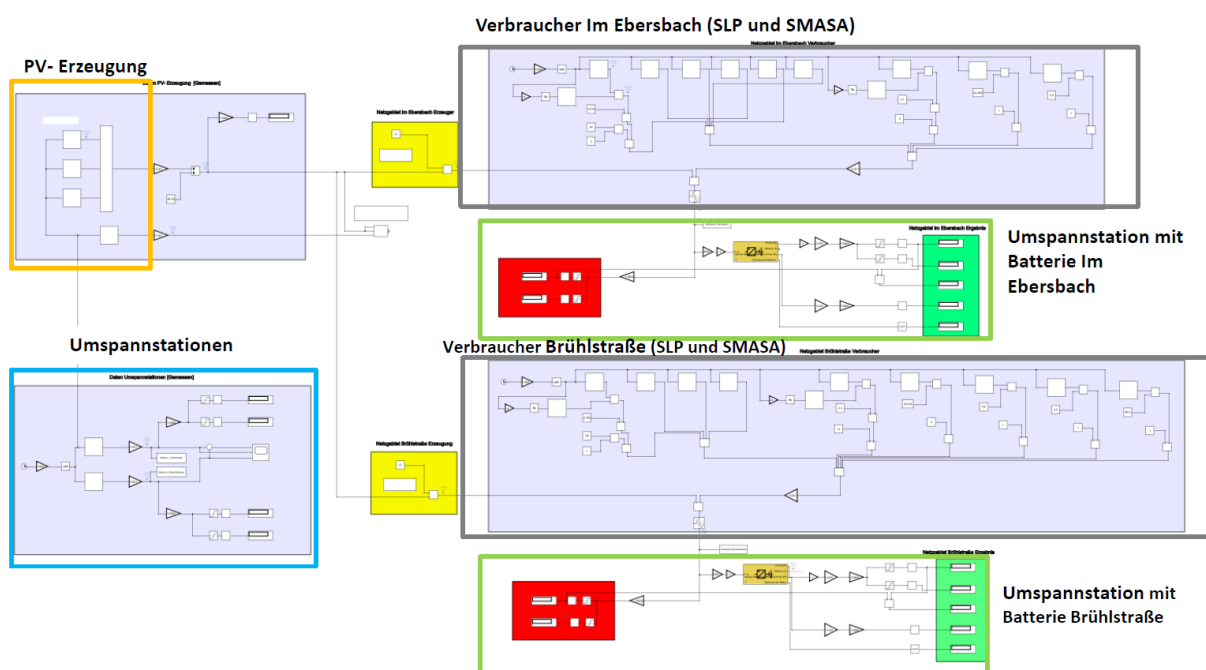


Abbildung 9: Simulink-Modell Reallabor Sachsenhausen

6.4.3 Verifizierung der Simulation

Zur Verifizierung des Modells wird der Vergleich zwischen dem gemessenen Strombezug am Umspannwerk und dem simulierten Wert betrachtet. Ein Ausschnitt aus dem Simulationsergebnis für beide Teilnetze zeigt Abbildung 10. Es ist zu erkennen, dass der simulierte Verlauf dem gemessenen Verlauf hinreichend genau folgt.

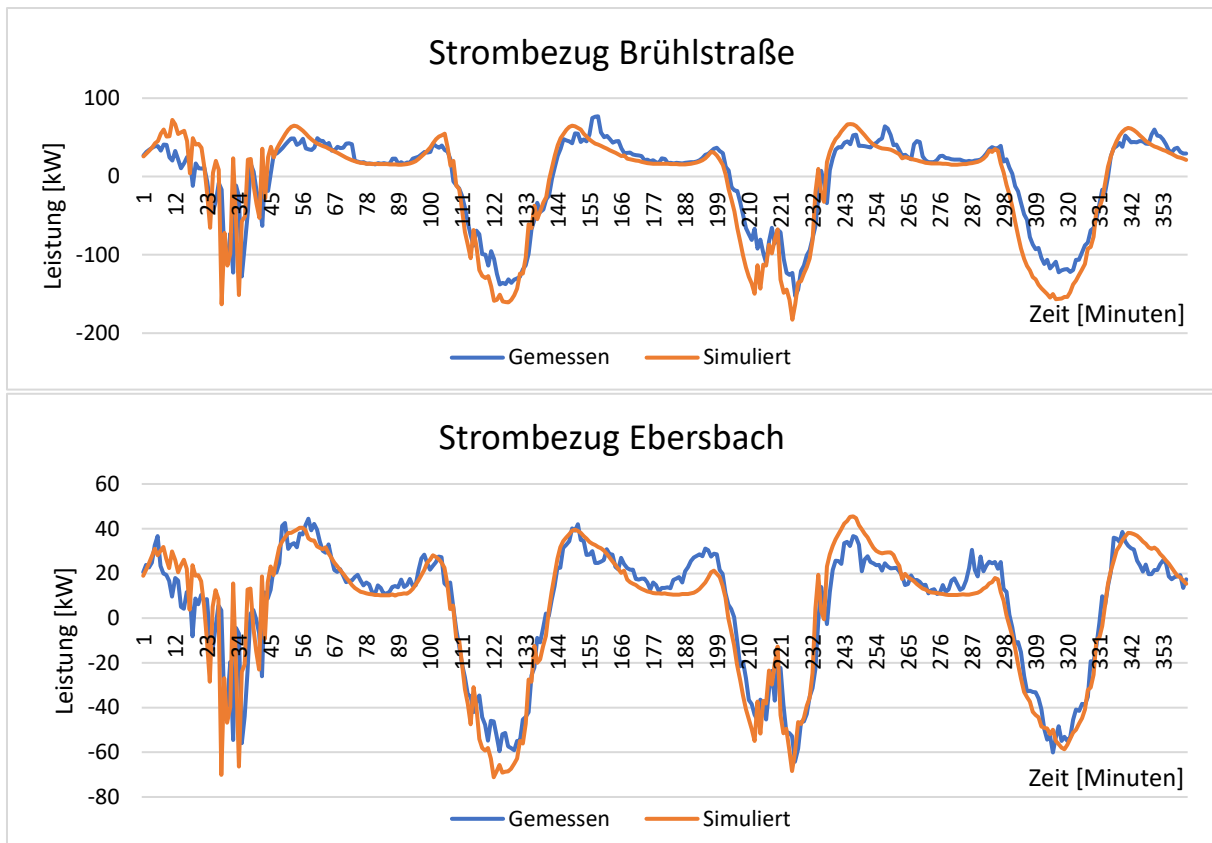


Abbildung 10: Vergleich der simulierten und gemessenen Strombezüge der Teilnetze in Sachsenhausen

7 Auswertung des Potentials der Reallabore

In den beiden Reallaboren Röttenberg und Sachsenhausen wurde der Strombezug aus dem öffentlichen Netz als zu minimierende Zielgröße ausgewählt. Auf Grundlage der erarbeiteten Modelle wurden nun Simulationsrechnungen durchgeführt. Zum einen jeweils eine Referenzrechnung ohne Optimierung und zum anderen eine Rechnung mit Maßnahmen, die den Netzbezug senken sollen.

7.1 Röttenberg

Im Reallabor Röttenberg beträgt der prognostizierte Verbrauch der Bewohner etwa 245.000 kWh pro Jahr. Aus einer Simulationsrechnung über ein Jahr lässt sich abschätzen, dass die PV-Anlagen den Netzbezug auf 212.000 kWh reduzieren. Wird die Stromerzeugung der BHKW im wärmegeführten Betrieb integriert, wird ein Netzbezug von 79.700 kWh ermittelt. Dies entspricht einem Autarkiegrad von etwa 67,5 %.

7.1.1 Potential der Batteriespeicher

Die Batteriespeicher sind so in die Anlage integriert, dass sie nicht aktiv von einem vorausschauenden Algorithmus gesteuert werden, sondern lediglich die Netzinteraktion am Bezugspunkt zum öffentlichen Netz auszuregeln versuchen. Ist der momentane Verbrauch des Quartiers also größer als die Erzeugung, werden die Batteriespeicher entladen. Wird mehr Strom erzeugt als verbraucht, wird dieser zunächst nicht in das öffentliche Netz gespeist, sondern zuerst benutzt, um die Batteriespeicher wieder zu laden. Werden die Batteriespeicher wie beschrieben in die Anlage eingebunden, so sinkt der Netzbezug in der Simulation deutlich auf 36.800 kWh, der Autarkiegrad steigt entsprechend auf etwa 85 % an.

7.1.2 Potential des stromoptimierten Betriebs der BHKW

In beiden Fällen, wärmegeführt ohne und wärmegeführt mit Batterie, weisen die BHKW eine vergleichsweise hohe Laufzeit von etwa 7.000 h (gemittelt über beide BHKW) je Jahr auf. Zusammen mit dem bereits hohen Autarkiegrad lässt sich daraus bereits ableiten, dass aufgrund der eingeschränkten Flexibilität der BHKW das Optimierungspotential durch einen Steuerungsalgorithmus eher gering sein wird.

Durch die Implementierung des Steuerungsalgorithmus wird ein als „stromoptimiert“ bezeichneter Betrieb der BHKW erreicht. Der Algorithmus übernimmt hier die Steuerung der BHKW. Dies geschieht, wie zuvor bereits beschrieben, jedoch nur in festgelegten Grenzen; wird der Wärmespeicher über 100% geladen oder unter 0% entladen, so überschreibt die interne Regelung der BHKW die Steuervorgabe des Algorithmus. Somit ist der sichere Betrieb der Anlage gewährleistet, wie zuvor ausgeführt wurde.

Die Simulation im stromoptimierten Betrieb mit Batteriespeicher ergab unter diesen Randbedingungen folgendes Ergebnis: Unter der Annahme einer perfekten Prognose der Lastprofile und Wetterdaten wird ein verbleibender Netzbezug von 31.000 kWh errechnet. Werden die in der Realität auftretenden Fehler durch die Lastprognose hinzugenommen, so wird ein Netzbezug von 32.500 kWh erreicht. Im Autarkiegrad spiegelt sich dies mit 87,4 % für die perfekte Prognose bzw. 86,8 % für die reale Prognose wieder. D.h., die Verbesserung des Autarkiegrades gegenüber dem wärmegeführten Betrieb mit Batterie beträgt lediglich 2,4 bei perfekter bzw. 1,8 Prozentpunkte bei realer Prognose, was als sehr gering einzustufen ist.

Die vom Algorithmus für die BHKW berechneten Fahrpläne weisen dagegen selbst mit der realen Prognose eine sehr hohe Güte auf, was sich daran zeigt, dass sie über weite Strecken umgesetzt werden können. Die BHKW laufen im Jahr etwa nur 300 Stunden außerhalb des vorgegebenen Fahrplans, in dem sie zwangsweise ein- oder ausgeschaltet werden müssen, um ein Über- oder Unterladen des Wärmespeichers zu verhindern.

8 IKT & Implementierung im Gesamtsystem

Um den Steuerungsalgorithmus in den Reallaboren zu implementieren, müssen alle relevanten Messdaten erfasst und zusammengeführt werden. Hierfür ist eine Kommunikation zwischen den verschiedenen Anlagenteilen notwendig. Außerdem muss eine Recheneinheit den Algorithmus ausführen und der Fahrplan muss anschließend in der Anlage umgesetzt werden.

8.1 Reallabor Aalen

Im Reallabor Aalen erfolgt die Messwertaufnahme der kompletten Anlage im zentralen Leitsystem des Betreibers, den Stadtwerken Aalen. Die Messwerte werden digital aufgenommen und in Form eines Tagesberichts elektronisch gespeichert. Um Änderungen am Steuerungsalgorithmus flexibel vornehmen zu können, wurde dieser nicht direkt auf dem Leitsystem implementiert, sondern auf einem externen PC an der Hochschule Reutlingen. Hier werden einmal am Tag auf Grundlage des letzten Tagesberichts, der per Email vom Leitsystem bei den Stadtwerken Aalen an die Hochschule übermittelt wird, Prognosen für den Strom- und Wärmeverbrauch der Anlage ermittelt. Zudem wird eine aktuelle Wetterprognose eingeholt. Mit der Wetterprognose und auf Basis der Messdaten aus der Anlage wird daraufhin ein optimierter Fahrplan errechnet und anschließend per Email an das zentrale Leitsystem der Stadtwerke zurückgesendet. Die Kommunikation erfolgt dabei komplett automatisiert, d.h., die Emails werden automatisch versendet und auch der Algorithmus startet die Berechnung automatisch. Das Leitsystem setzt den Fahrplan dann innerhalb der sicherheitsrelevanten Grenzen an der Anlage um.

8.2 Reallabor Sachsenhausen

Im Reallabor Sachsenhausen kommt der Algorithmus zur bedarfsgerechten Steuerung von KWK-Anlagen nicht zum Einsatz. Somit ist eine kommunikationstechnische Verbindung zur Hochschule Reutlingen wie im Reallabor Aalen nicht erforderlich.

9 Handling und Implementierung der Second Life Batterien

Die praktische Umsetzung der Batteriespeicher beginnt mit der Planung von Transport und Lagerung. Für das Einbringen und Steuern der Speicher wurde eine Risikoanalyse erstellt. Diese wurde während des gesamten Prozesses fortgeführt und optimiert. In den beiden Reallaboren wurden unterschiedliche Ansätze für die Steuerung der Batteriespeicher verfolgt.

9.1 Transport und Lagerung

Die Batterien wurden mit Gefahrguttransporten zu Lagerorten in die Nähe der Reallabore auf das Gelände der Stadtwerke Aalen bzw. zu einem Landwirt in Sachsenhausen transportiert. Die Batterien wurden in speziellen Transportkisten, welche von VW zur Verfügung gestellt wurden, angeliefert. Mit einer speziellen Traverse, welche aus einem VW-Autohaus geliehen werden konnte, wurden die Batterien nach der Anlieferung aus den Transportkisten gehoben (siehe Abbildung 11) und auf extra angefertigte Holzpaletten montiert. Dabei muss beachtet werden, dass die Traverse ordnungsgemäß angebracht wird, da sonst die Batterie brechen könnte. Anschließend wurden die Batterien in einem Kragarmregal (SWA) bzw. auf dem Hof des Landwirts (Sachsenhausen) untergebracht und abgedeckt (siehe Abbildung 12). Für die Sicherheit wurde ein Havarieplatz definiert, auf welchen die Batterien im Falle eines Aufblähens oder Brandes zur Beobachtung oder einem gezielten Abbrennen gestellt werden können. Bei den Stadtwerken Aalen wurde hier die örtliche Feuerwehr und ein Mitarbeiter der beauftragten Arbeitssicherheitsfirma (Garbes) hinzugezogen.



Abbildung 11: Entladen einer Batterie mit der Traverse



Abbildung 12: Kragarmregal bei den Stadtwerken Aalen zur Lagerung der Batterien. Diese sind im Normalfall durch Planen abgedeckt.

9.2 Auswahl Speicherstandort

9.2.1 Reallabor Aalen Rötenberg

Für der Suche nach einem geeigneten Standort für den Batteriespeicher wurden in Abstimmung mit dem Eigentümer (Wohnungsbau Aalen), dem Architekturbüro, dem Bauordnungsamt, der Feuerwehr und den Projektpartnern mehrere Standorte auf dem Baugebiet am Rötenberg untersucht. Ein innenliegender Hausmeisterraum sowie der außenliegende, aber angrenzende Müllraum wurden aus brand- und lüftungstechnischen Bedenken der Feuerwehr und des Bauordnungsamtes verworfen. Die Feuerwehr forderte unter anderem einen direkten Zugang von außen. Das Bauordnungsamt forderte einen Abstand der Batterien von mindestens fünf Metern zum nächstgelegenen Wohnhaus. Von den zwei so verbliebenen, möglichen Standorten auf dem Baugebiet wurde der Standort nördlich von Haus 4 (Saumweg 2) gewählt. Der Standort neben der Tiefgarageneinfahrt wurde aufgrund der abschüssigen Andienung und dem damit verbundenen höheren Sicherheitsrisiko bei der Ein- und Ausbringung der Batterien ausgeschlossen. Die endgültige Position des Batteriegebäudes wurde durch einen über das Grundstück laufenden Abwasserkanal definiert. Dieser darf nicht belastet werden. Die Fundamente des Batteriegebäudes werden daher links und rechts davon platziert. Eine Inspektion des Kanals muss, als Vorgabe der zwischenzeitlich erteilten Baugenehmigung, vor und nach der Errichtung durchgeführt werden.

Mit der Installation der Wärmezentrale im Jahr 2020 wurden auch alle notwendigen Infrastrukturen in den Häusern für den späteren Anschluss des Batteriespeichers gebaut. Zähler- und Verteilerschränke sowie Steuer- und Anschlussleitungen wurden entsprechend des Messkonzepts ausgelegt und umgesetzt. Innerhalb der Gebäude mussten aufgrund der festen Termine für die Schließungen der Brandschotte alle Leitungen bereits im Jahr 2020 verlegt werden.

Die Vergaben für das Batteriegebäude und die sonstigen, notwendigen Arbeiten (Fundamentarbeiten, Malerarbeiten, Kanalinspektion) wurden ebenfalls im Jahr 2020 getätigt. Die Errichtung des Batteriegebäudes fand im März 2021 statt.

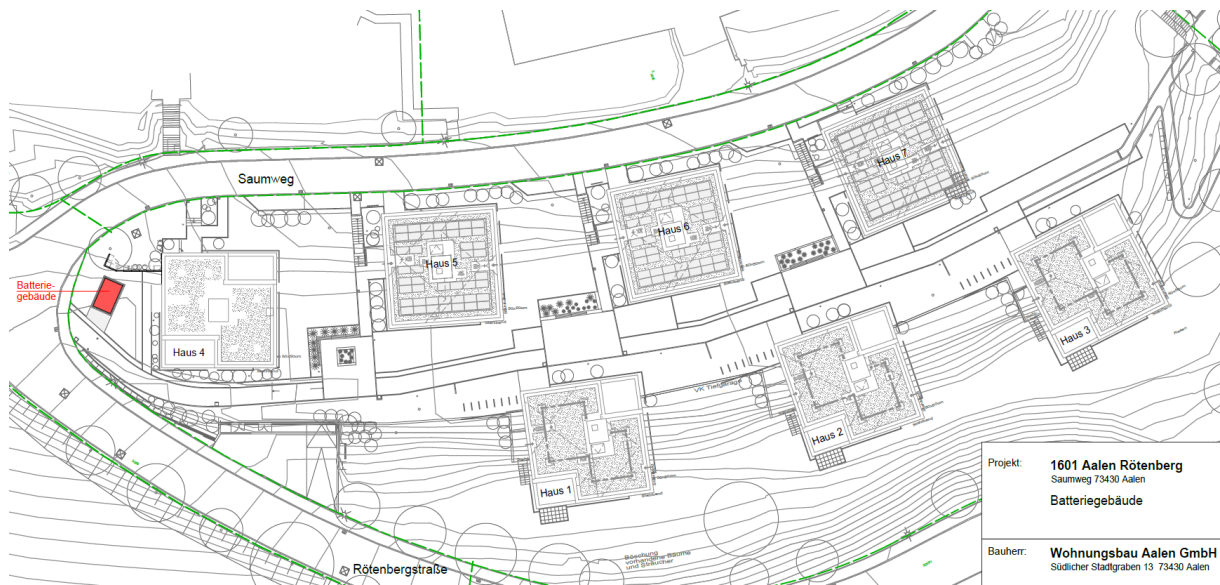


Abbildung 13: Planausschnitt zur Lage des Batterieraums am Rötberg in Aalen

Für den Einsatz im Reallabor wurden die Batterien auf Rungenpaletten umgelagert und im Batterieraum gestapelt. Der Vorteil der Rungen ist, dass sie transportabel sind und dennoch ohne Verankerungen im Boden gestapelt werden dürfen. Rungenpaletten sind leicht an unterschiedliche Batterietypen anpassbar. Auch das Stapeln unterschiedlicher Batterietypen kann mit diesen einfach realisiert werden. Ein einfaches Handling ist möglich. Durch seitliche Metallträger sind die Batterien zudem vor äußeren Einflüssen geschützt. Der Einsatz einer Haube zur wetterfesten Lagerung der Batterien in Rungen ist möglich. Für weitere Projekte wird daher von Beginn an die Lagerung der Batterien in Rungen vorgesehen.

Abbildung 14 zeigt eine Planung der Anordnung der Peripherie im Batterieraum am Rötberg. Die roten Quader stellen die Batterien in den Rungen dar, die blauen Quader stehen für die vier zugehörigen Wechselrichter, der orangene Quader stellt den Schaltschrank für den AC-Netzanschluss und der hellgrüne Quader stellt den Schaltschrank der Steuerung dar. Zur Verdeutlichung des Aufbaus sind in Abbildung 15 drei gestapelte Batterien in Rungen dargestellt. Abbildung 16 und Abbildung 17 zeigen, wie die Batterien im Reallabor Rötberg eingebracht werden.

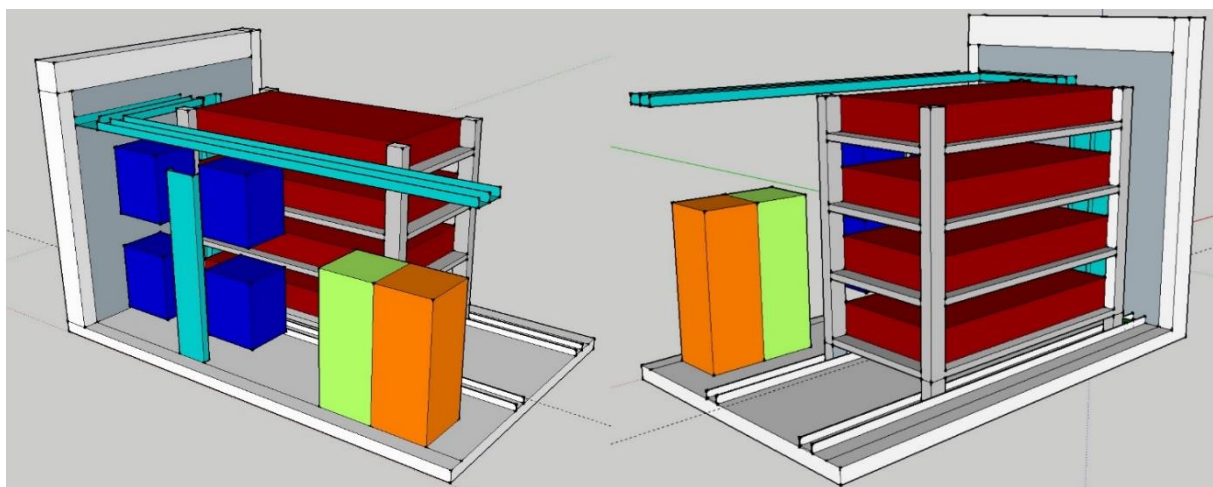


Abbildung 14: Planung zur Einrichtung des Batterieraums am Rötberg. Rot: vier Batterien in den Rungen. Blau: Anordnung der Wechselrichter. Orange: Schaltschrank für AC-seitigen Netzanschluss. Hellgrün: Schaltschrank für Steuerung. In hellblau sind die Kabeltrassen eingezeichnet.

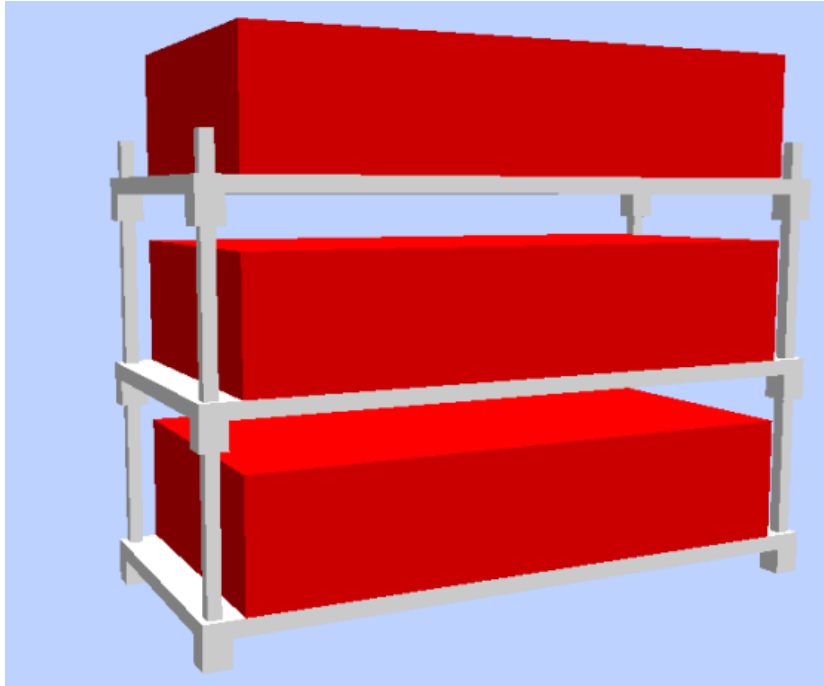


Abbildung 15: Ansicht zum Einbringen der Batterien in den Rungenpaletten.



Abbildung 16: Gestapelte Batterien in den Rungenpaletten. Die Batterien können über das Schienensystem ins Gebäude gefahren werden.



Abbildung 17: Stapeln der Batterien mithilfe eines Bordladekrans

9.2.2 Reallabor Sachsenhausen

In Sachsenhausen sollte das geplante Speichersystem (Batterien, Wechselrichter, Anschlüsse, Ansteuerung) in einem Seecontainer untergebracht werden.

Für den Standort des Containers wurden in Sachsenhausen zwei potenzielle Grundstücke gefunden. In Abbildung 18 sind diese durch die Punkte B1 und B2 gekennzeichnet. B1 befindet sich bei einem lokalen Landwirt und Biogasanlagenbetreiber. An diesem Standort liegt auch bereits ein Kabel zum Anschluss des Speichers. B2 wurde durch Untersuchungen der Hochschule Reutlingen ermittelt. An dieser Stelle befindet sich der Kabelverteilerschrank SS6. Dieser ist ein Kuppelschrank, an dem die zwei Niederspannungsnetze (UST Brühlstr. und UST Im Ebersbach) anstehen. In unmittelbarer Nähe des SS6 befindet sich das Flurstück 67 der Gemarkung Sachsenhausen. Dieses ist in öffentlichem Eigentum. Mit der Stadt Giengen wurde besprochen, dass an dieser Stelle ein Speichercontainer für Sachsenhausen aufgestellt werden darf.

Eine Simulation der Hochschule Reutlingen zeigt, dass die Aufteilung der Batterien von vier Batterien für Teilnetz A und zwei Batterien für Teilnetz B eine optimale Verteilung bzw. Aufnahme von Energie beider Teilnetze gewährleistet (hierzu mehr in Kapitel 3.2).

An beiden Standorten in Sachsenhausen waren weitreichende bauliche Eingriffe nötig. Für den Container war zur Verteilung der Last ein Fundament nötig. Präferiert wurde ein Pfahlfundament, da dieses nur einen geringen Eingriff in die Umgebung erfordert und ein Rückbau einfach erfolgen kann. Um solch ein Fundament ausführen zu können, müssen im Voraus Bodengutachten erstellt werden. Das Einbringen der Pfahlfundamente muss mithilfe von Spezialmaschinen erfolgen.



Abbildung 18: Ansicht von Sachsenhausen mit den beiden Teilnetzen A und B. Außerdem dargestellt sind die teilnehmenden Pilotkunden aus dem Projekt SMASA und ihre jeweilige Zugehörigkeit zum jeweiligen Teilnetz. Grün dargestellt sind die beiden möglichen Batteriestandorte. B1 ist der Standort des lokalen Landwirts, B2 ist der Standort, an welchem auf beide Teilnetze zugegriffen werden kann.

Es wurden umfassende Recherchen und Konzepte zur Unterbringung der Batterien in Containern getätigt. Unter anderem wurde untersucht, wie ein Speichercontainer, wie er am Standort Sachsenhausen eingesetzt werden sollte, platztechnisch optimal ausgenutzt werden kann. Hierzu wurden Skizzen angefertigt. Das Konzept basiert auf Basis eines 20-Fuß-Side-Door-Containers. Einzelne Daten zu diesem finden sich in Tabelle 3. Es können bei den einzelnen Lösungen zwischen Einer und 16 Batterien im Container untergebracht werden, siehe Abbildung 16.

Tabelle 3: Daten 20 Fuß-Side-Door-Container

	Außenmaße [mm]	Innenmaße [mm]
Länge	6.058	5.898
Breite	2.438	2.350
Höhe	2.591	2.390
Türbreite		2.340
Türhöhe		2.280
Leergewicht		3.200 kg
Gesamtgewicht		27.000 kg
Rauminhalt		31 m ³

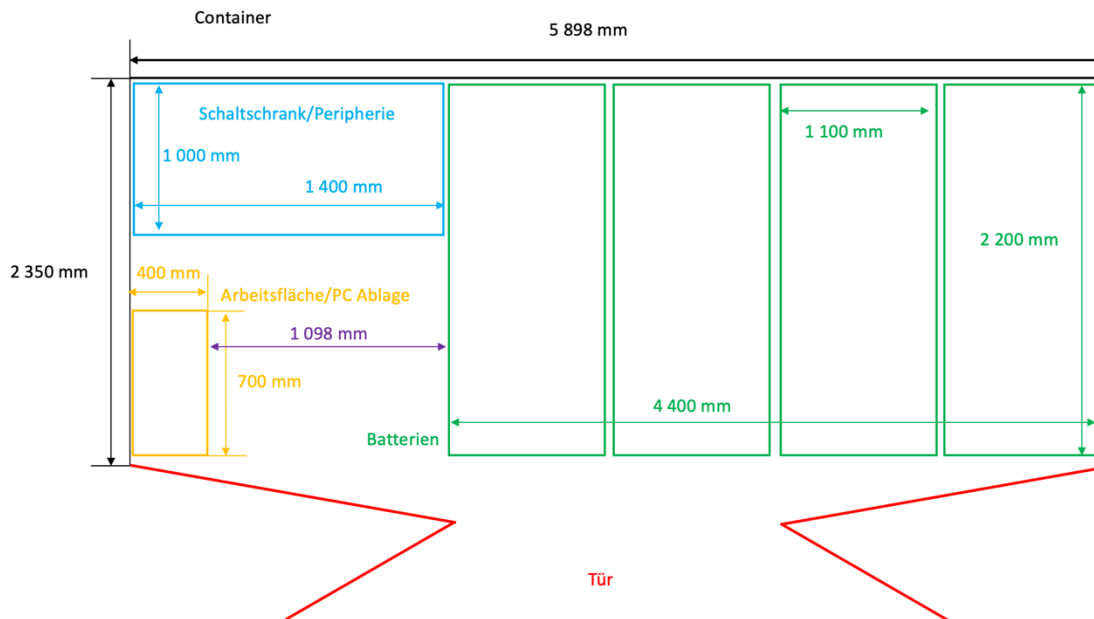


Abbildung 19: Aufteilung Batterien und Peripherie im Speichercontainer. Es können insgesamt vier Batteriestapel à vier Batterien eingebracht werden.

9.3 Implementierung und Steuerung

Die Batterien wurden nicht in Module oder bis zur Einzelzelle zerlegt, sondern sollten wie aus dem Fahrzeug entnommen im Speichersystem eingesetzt werden. Dies sollte dafür sorgen, dass kostenaufwendige Maßnahme beim Zerlegen und Prüfen der Batterie, wie bei Second Life Batteriespeichern üblich, bei der Umwidmung entfallen. Für die Steuerung und Überwachung der Zellen wurde die bereits aus dem Fahrzeugbetrieb integrierte Messtechnik und das interne Batterie Management System (BMS) der Batterie verwendet. Das BMS ist ein Steuergerät, welches im Fahrzeug mit anderen Steuergeräten kommuniziert. Die im stationären Fall fehlende Kommunikation wird durch die sogenannte Restbussimulation nachgebildet. Meldet das BMS der Batterie keine Fehlfunktion und Fehlkommunikation, wird dieses die Traktionsbatterie freischalten. Dieser Schritt ermöglicht die Steuerung der Batterien im stationären Zustand.

Im Reallabor am Röttenberg sollen die Batterien die Leistungsübertragung am Hausanschluss gegen Null regeln. Erzeugte überschüssige Energie durch vorhandene BHKWs und PV-Anlagen wird dann durch den Speicher aufgenommen. Ist die Erzeugung im Quartier geringer als der Verbrauch, führt der Speicher dem Quartier Energie zu.

In Sachsenhausen war es vorgesehen, dass die übergeordnete Steuerung der Batterien auf Basis der aufgenommenen Livedaten der Pilotkunden aus dem Projekt SMASA erfolgt. Hierbei sollten unter anderem der Energiebedarf, die Erzeugung aus Photovoltaik und die abgegebene Energie an das Netz mithilfe eines selbst entwickelten Systems gemessen und auf einen Server geladen werden. Es wurden Daten in 20 Haushalten in Sachsenhausen aufgenommen. Da bei der Aufnahme der Daten Lücken entstanden, war eine sichere Steuerung der Batterien mithilfe dieser Daten nicht möglich.

Im SeLiG-Projekt wurden Lösungen erarbeitet, die Datenlücken im Nachgang zu schließen. Eine echtzeitfähige Lösung, welche zur Steuerung nötig ist, konnte allerdings nicht fertig entwickelt werden. Dies hatte vor allem zeitliche Gründe, die durch die Entwicklung der Restbussimulation und der Steuerung aber auch durch bauliche Verzögerungen und Lieferschwierigkeiten aufgetreten sind. Aus diesem Grund wurde entschieden, dass sich der weitere Fokus des Projekts auf das Reallabor am Röttenberg legen soll. Ein Aufbau des entwickelten Systems in Sachsenhausen ist aber in der Zukunft jederzeit

möglich. Eine Anpassung der umgesetzten Steuerung auf die Bedingungen in Sachsenhausen kann vorgenommen werden. Hier wäre zum Beispiel eine Regelung der Übergabestationen nun eine Möglichkeit. Eine Analyse der aktuell geltenden Regularien bezüglich Speichern in öffentlichen Netzen müsste hier dann noch vorgenommen werden.

9.4 Eingesetzte Peripherie

Es wurden verschiedene Wechselrichter für den Einsatz in den Reallaboren betrachtet. Die Auswahl der Wechselrichter beschränkt sich dabei ausschließlich auf spezielle Batteriewechselrichter, welche im Gegensatz zu PV-Wechselrichtern die Eigenschaft haben, bidirektional zu arbeiten, damit ein Laden und Entladen möglich ist.

Recherchen haben ergeben, dass wenige passende Batteriewechselrichter mit der entsprechenden Betriebsspannung der Traktionsbatterie (302 - 366 V DC) am Markt erhältlich sind. Die Auswahl wird zusätzlich eingeschränkt, da die meisten Wechselrichter in Zusammenarbeit mit einem oder mehreren Batterieherstellern entwickelt wurden und nur mit den jeweiligen Batterien der Hersteller kompatibel sind.

Für weitere Projekte mit Traktionsbatterien neuerer Generation dürfte die Auswahl leichter fallen, da bei neueren Batteriegenerationen ein Anstieg der Betriebsspannungen zu verzeichnen ist.

Für den Einsatz in SeLiG konnten drei einsetzbare Wechselrichter gefunden werden (siehe Tabelle 4). Die Kompatibilität ist bei diesen durch einen passenden Spannungsbereich sowie eine offene Kommunikation per Modbus-Protokoll gegeben.

Tabelle 4: Auswahl der Wechselrichter

Wechselrichtertyp	
GMDE GEatom 315/318KTL-WSO/WMO	Der Wechselrichter von GMDE wurde zu Beginn präferiert. Die Spannungsgrenzen der Batterie können mit diesem abgedeckt werden. Die Kommunikation des Wechselrichters ist nicht auf einen speziellen Batterietypen ausgelegt. Es wurde dennoch ein anderer Wechselrichter ausgewählt, da der Dienstleister Stodia bereits Erfahrungen mit dem anderen Modell vorweisen konnte.
Myrra AC/DC POWER SUPPLY	Der bidirektionale Wechselrichter von Myrra wurde für das Projekt am Röttenberg eingesetzt. Er zeichnet sich durch eine kleine Bauform aus. Negativ ist bei diesem Modell der nicht regelbare Lüfterbetrieb, welcher u.a. auf die kleine Bauform zurückzuführen ist. Dies macht den Wechselrichter auch bei geringen Leistungen laut.
SolaX X3-Hybrid	Ein Folgeprojekt von SeLiG untersucht die Nutzung der Batterien im Inselbetrieb. Hierfür muss ein Wechselrichter eingesetzt werden, welcher selbst ein Netz aufbauen kann. Die Wechselrichter von SolaX sind sowohl für On-Grid, als auch für Off-Grid-Anwendungen geeignet. In der Beschaffung sind diese teurer als die Wechselrichter von Myrra. Aufgrund der höheren Flexibilität wird in Folgeprojekten dieser Wechselrichtertyp eingesetzt.

Abbildung 20 stellt den Aufbau des Speichersystems dar. Im Mittelpunkt stehen die Batterien. Auf der Hochvoltseite werden diese an die Wechselrichter von Myrra angeschlossen, welche wiederum Energie des Quartiers in die Batterien schieben oder von diesen an das Netz abgeben. Schaltpläne des Reallabors Röttenberg sind im Anhang zu finden.

Die Bedarfe werden durch die Steuerung durch Abgleich mit dem Hausanschlusszähler ermittelt. Die Steuerung wurde so umgesetzt, dass möglichst keine Energie über den Hausanschluss gehen muss.

Dies ist nicht immer möglich. Begrenzende Faktoren sind die Kapazität der Batterien sowie die Leistung der Wechselrichter.

Die Kommunikation der Steuerung mit den Komponenten Batterie, Wechselrichter und Hausanschlusszähler erfolgt über die von Stodia entwickelten Slave-CAN-Port-Platinen, welche eine Kommunikation und eine Übersetzung der CAN-Daten der Batterie ermöglichen. Die hier erzeugten Daten werden über die baugleiche Master-CAN-Port-Platine an den Steuer-PC weitergegeben und dort ausgewertet. An die Master-CAN-Port-Platine werden zusätzlich die Daten des Hausanschlusszählers gesandt.

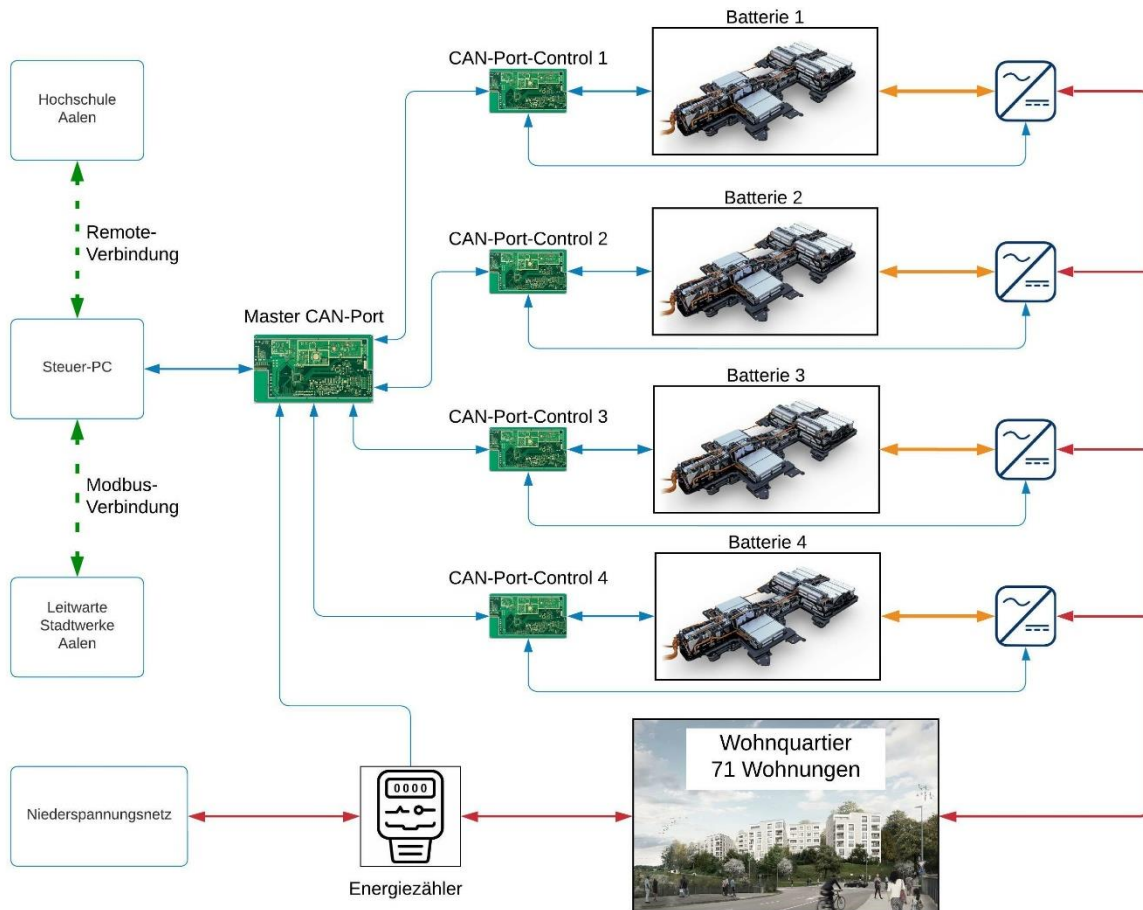


Abbildung 20: Aufbau des Speichersystems. Blau dargestellt sind die Kommunikationswege zwischen den einzelnen Komponenten. Orange dargestellt ist die Hochvolt-DC-Kopplung zwischen Batterie und Wechselrichter. Rot dargestellt ist die Niederspannungsebene im und außerhalb des Quartiers. Die Steuerung des Batteriespeichers kann vor Ort am PC selbst, aber auch per Remote-Verbindung bzw. über die Leitwarte der Stadtwerke Aalen (grün dargestellt) bedient bzw. ausgelesen werden.

9.5 Steuerung und Gateway

Ursprünglich sollte im Projekt eine SPS (Speicherprogrammierbare Steuerung) von Siemens eingesetzt werden. Die SPS ist eine gängige Steuerung, welche in vielen Automatisierungsanwendungen zum Einsatz kommt. Da die Stadtwerke Aalen Erfahrungen mit der Programmierung solcher Steuerungen haben, wurde ursprünglich geplant, die Batterien mit diesem Steuerungstypen umzusetzen. Hiermit würde der Einsatz für ähnliche Anwendungen einfach und übertragbar. Zudem stellt solch ein System eine hohe Ausfallsicherheit dar.

Da das einzusetzende Gateway (CAN-Port-Control) nicht mit einer SPS kompatibel ist, wurde zur Steuerung des Batteriesystems ein Windows-basierter PC eingesetzt. Die Steuerung selbst wurde in C programmiert.

Die Batteriesteuerung besteht aus zwei funktionalen Hauptsystemen:

- Mikrocontrollerbasierte CAN-Kommunikation mit Batterie und MYRRA-Wechselrichter mit Prozessdatenerfassung und -weiterleitung
- PC-basierte Software mit grafischer Oberfläche, Datenspeicherung und Modbusanbindung zur Fernsteuerung

Die Mikrocontrollerbasierte Kommunikation besteht hierbei aus je einem Controller pro Batterie-Wechselrichter-Einheit und einem Hauptcontroller, der über USB und virtuelle COM-Kommunikation die Anbindung an die PC-Software realisiert. Die PC-Software gliedert sich in ein Server-Modul, das die Prozessdaten der Batteriesteuerung über Modbus bereitstellt und einem Client-Modul, mit dem über Ethernet eine Modbus-Verbindung zum Server aufgebaut werden kann.

Das System besteht in der derzeitigen Maximal-Auslegung aus insgesamt fünf baugleichen Controllern, von denen vier die Kommunikation mit je einer Batterie und dem dazugehörigen Wechselrichter realisieren. Der fünfte Mastercontroller übernimmt die wechselseitige Weiterleitung der Prozessdaten und Steuersignale zwischen Batteriecontrollern und dem Steuerungs-PC. Die Kommunikation der Slave-Controller mit der Batterie sowie dem Wechselrichter und auch die Kommunikation mit dem Master-Controller erfolgen hierbei über CAN. Die Firmware der Controller ist selbstparametrierend gestaltet und kann drei Modi annehmen:

1. Master-Modus: Der Controller ist an den PC über USB angeschlossen und erkennt mindestens einen nachgelagerten Slave-Controller (Batteriecontroller). Er übernimmt die Kommunikation zwischen den Batterie-Controllern und der PC-Software.
2. Slave-Modus: Der Controller ist an einen Master-Controller angeschlossen und erkennt eine direkt angeschlossene Batterie mit Wechselrichter
3. Single-Modus: Der Controller ist mit dem PC über USB verbunden und erkennt eine direkt angeschlossene Batterie mit Wechselrichter. Die einzeln angeschlossene Batterie wird direkt über die PC-Software gesteuert.

Die Umschaltung der Betriebsmodi findet vollautomatisch innerhalb der ersten 5 bis 10 Sekunden nach Systemstart je nach erkanntem Anschlussschema statt. Die Vergabe der Batterienummern an die Slave-Controller erfolgt vom Mastercontroller automatisch anhand des jeweils genutzten CAN-Terminals (1-4) auf der Masterplatine.

9.5.1 Server Hintergrunddienst

Das Server-Modul ist standardmäßig als selbststartender Service auf dem Steuerrechner installiert. Hierdurch wird gewährleistet, dass auch bei einem Programmfehler (Absturz) ein Neustart des Moduls nach 30 s automatisch - ohne manuellen Zugriff auf den Steuerrechner - erfolgt. Ebenso wird das Modul bei einem Rechner-Neustart automatisch gestartet. In diesem Modus stellt das Server-Modul selbst keine GUI zu Verfügung. Die Batteriesteuerung kann über Modbus entweder von einem externen Rechner oder auch über eine lokale Instanz des Client-Moduls erfolgen.

9.5.2 Server GUI-Modus

Sollte in Ausnahmefällen eine direkte Steuerung des Server-Moduls notwendig sein, muss zunächst der Server-Dienst beendet und der GUI-Modus manuell gestartet werden. Die USB-Verbindung zum Master-Controller wird hierbei unterbrochen und alle laufenden Ladevorgänge werden abgebrochen.

Im Anschluss des manuellen Betriebs ist die GUI zu schließen und der Service wieder zu aktivieren.

Entsprechende Routinen hierfür sind auf dem Desktop des Steuerrechners verlinkt.

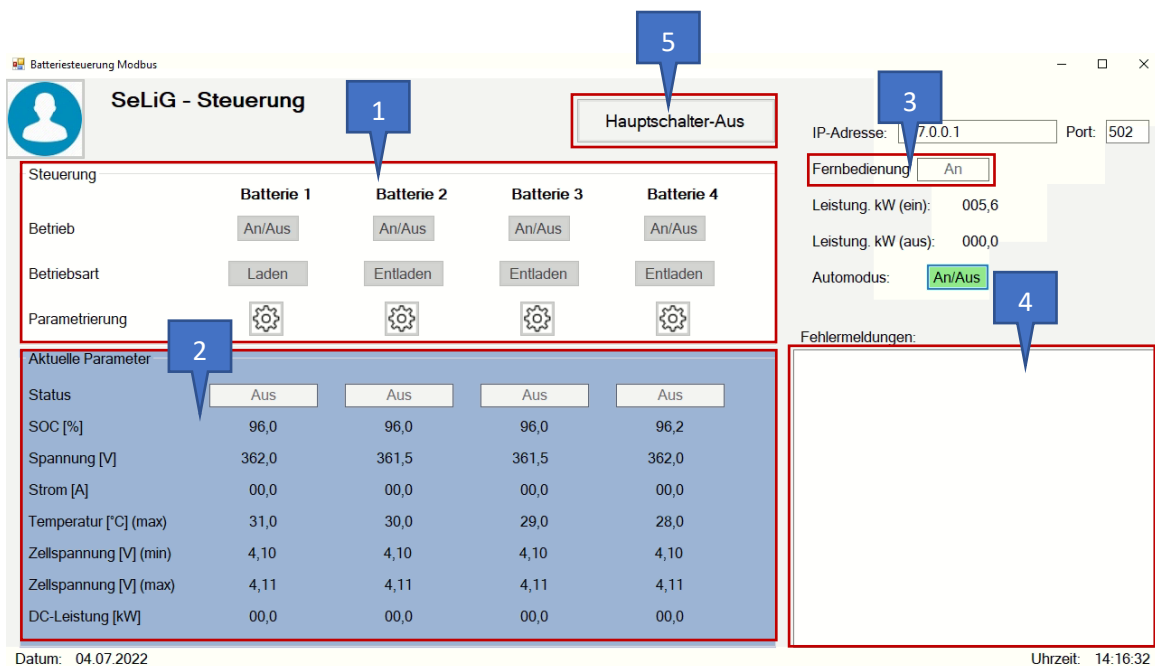


Abbildung 21: Oberfläche des Server-Moduls im GUI-Modus

Die Oberfläche der Anwendung besteht aus den folgenden Bereichen, siehe Abbildung 21:

1. Steuerung
2. Batterieinfo
3. Fernbedienung
4. Fehlermeldung
5. Hauptschalter

Bei aktiver Fernsteuerung ist die Bedienung über die Oberfläche des Servers gesperrt. Über den Hauptschalter können alle Batterien und der Automatikmodus beendet werden.

Bereich Steuerung

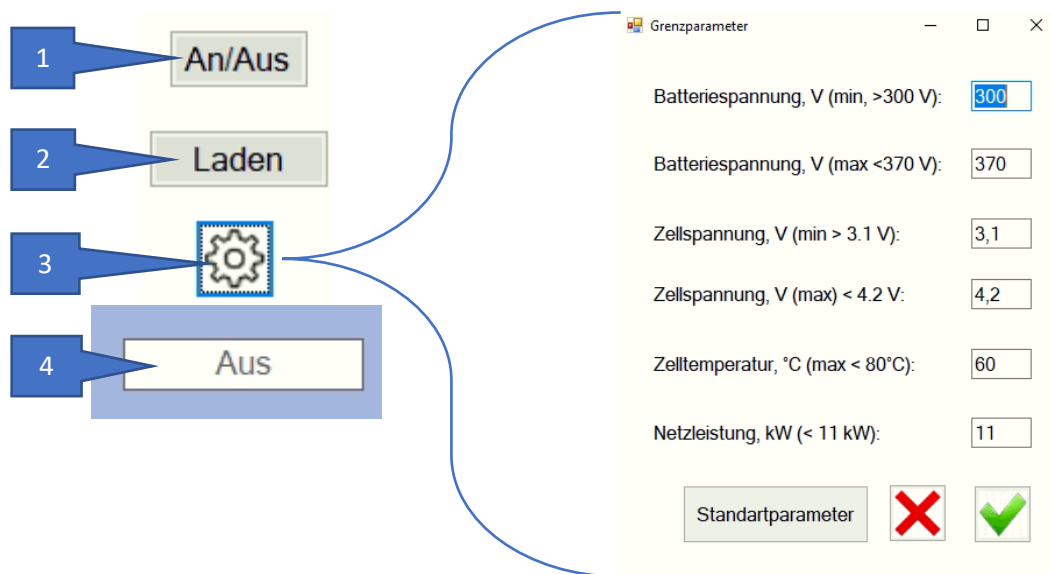


Abbildung 22: Bereich Steuerung und Parameterfreigabe

Jedes Batteriesteuerfeld enthält die folgenden Funktionsschaltflächen, siehe Abbildung 22.

1. An/Aus: Der entsprechende Akku wird ein-/ausgeschaltet
2. Laden: Es wird zwischen Lade- und Entlademodus umgeschaltet

3. Setup: Ein Fenster mit Grenzwerten wird geöffnet. Dieses enthält min./max.-Werte für Zell- und Batteriespannungen, Temperatur und Sollwert für Leistung. Nach der Einstellung werden die neuen Werte in einer Datei gespeichert, die auch bei einem Neustart der App neu gelesen wird.
4. Aus: die aktive Client-Steuerung wird beendet.

Bereich Batterieinfo:

Das Infofeld zeigt die Ist-Werte folgender Parameter für vier Batterien: Status, SOC, Spannung, Strom, Temperatur, minimale und maximale Zellspannung und die Leistung. Der Status wird durch den Button "Laden" definiert. Die Werte der Parameter werden von der Batterie empfangen.

Bereich Fernbedienung

Die Schaltfläche „Fernbedienung“ ermöglicht es, die Fernbedienung bei Bedarf auszuschalten.

Bereich „Fehlermeldungen“

Das Fehlerfeld zeigt Fehlermeldungen an. Diese sind in Tabelle 8 aufgeführt.

Kommunikation Server – Mastercontroller

Die Server-Anwendung sendet alle 0,5 s rotierend die Steuerbefehle für die Batteriemodule an den Mastercontroller:

- Lade- / Entladeanforderung
- gewünschte Leistung
- Freigabe

Der Master-Controller sendet ebenfalls rotierend im 0,5 Sekundentakt die aktuellen Prozessdaten der Batterien an die Server-Anwendung. Diese lauten wie folgt:

- Batterienummer
- Batteriespannung (bat_u_100v)
- Batteriestrom (bat_i_100a)
- SOC (bat_soc_10pcnt)
- Temperatur (hvb_temp_deg)
- maximale Batteriespannung (bat_u_max_100v)
- minimale Batteriespannung (bat_u_min_100v)
- maximaler Batteriestrom während des Ladevorgangs (bat_i_max_chrg_100a)
- maximaler Batteriestrom beim Entladen, (bat_i_max_dchrg_100a)
- 88 Zellspannungen (cell_u_100v[])
- 27 Modultemperaturen (mod_t[])
- Batteriestatus (bat_status_bmp)
- Batteriemodus (bat_mode)
- Bitmap für Batteriefehler (bat_error_bmp)
- Prüfsumme für Batterieanforderungen (bat_request_cs)
- Wandlerleistung (conv_u_act_100v)
- Wandlerstrom (conv_i_act_100a)
- Wandlerleistung (conv_p_act_100kW)
- Konverterstatus Bitmap 1 (conv_status_bmp_1)
- Konverterstatus Bitmap 2 (conv_status_bmp_2)
- Konverterfehler Bitmap (conv_error_bmp)

- Steuerelementstatus Bitmap 1 (control_status_bmp_1)
- Steuerstatus Bitmap 2 (control_status_bmp_2)

Die Prozessdaten werden auf Plausibilität geprüft, mit den vorliegenden Grenzparametern verglichen und die Batterien so überwacht. Bei Grenzwertüberschreitungen oder Verbindungsabbrüchen zwischen Server Batteriecontrollern werden die aktiven Vorgänge abgebrochen, die Bedienung / Aktivierung der Batterie gesperrt und entsprechende Fehlermeldungen im Infofeld angezeigt.

Die Steuerung des Server-Moduls erfolgt über das Modbus-Client-Modul der PC-Software sowohl lokal als auch von einem Remote-PC. Ebenso ist die Steuerung über eine Leitstandssoftware und direkten Zugriff auf die Modbus-Register möglich.

Die Oberfläche des Clients entspricht in Ihrem Aufbau der des Servers, stellt zusätzlich jedoch die IP-Adressauswahl und eine Schaltfläche zur Aktivierung der Fernsteuerung zur Verfügung. Die im Client eingestellten Parameter und Sollwerte werden über Modbus an den Server übermittelt und von diesem übernommen. Im Gegenzug werden die vom Server über Modbus bereitgestellten Prozessdaten grafisch dargestellt und in einer Client-Datenbank analog zum Server gespeichert.

9.5.3 Datenspeicherung

Die Speicherung der Prozessdaten erfolgt sowohl zentral vom Server-Modul als auch vom angeschlossenen Client-Modul. Die Daten werden hierbei tagesweise mit 10 s-Raster in einer SQLite-Datenbank gespeichert. Zusätzlich findet im Fehlerfall eine Speicherung der letzten 60 s im 0,5 s-Raster in einer getrennten Datenbank statt. Die Datenbanken können auch im laufenden Betrieb mit den auf dem Steuerrechner installierten Datenbank-Browsern geöffnet und betrachtet werden.

9.5.4 Modbus-Kommunikation

Die Modbus-Kommunikation wird über eine separate, physikalisch getrennte Ethernet- Schnittstelle mit folgenden Parametern aufgebaut:

IP-Adresse: 192.168.0.20
 Port: 502
 Unit-ID: 60

Input-Register - Prozessdaten

Die Prozessdaten werden in Input-Registern im Big-Endian-/ Motorola-Format abgebildet (Funktionscode 04). Status- und Fehlermeldungen werden als 16 bit Bitmaps dargestellt, siehe Tabelle 8. Alle analogen Werte sind als vorzeichenbehaftete 16 bit- Integer implementiert. Einheiten, Skalierung und Offsets werden in Tabelle 5 bis Tabelle 21 beschrieben.

Tabelle 5: Input Register: Prozessdaten

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.-Nr.
1	Batterie 1 Nummer	-	0
2	Spannung B1	0,1 V	1
3	Strom B1	10 mA	2
4	Minimale Zellspannung B1	10 mV	3
5	Maximale Zellspannung	10 mV	4
6	Maximale Modultemperatur B1	1 °C	5
7	State of Charge – SOC B1	0,1 %	6
8	Umrichter Spannung B1	0,1 V	7
9	Umrichter Strom B1	0,1 A	8
10	Umrichter DC-Leistung B1	10 W	9

11	BMS Fehler-Bitmap B1	-	10
12	Control Status-Bitmap B1	-	11
13	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B1	-	12
14	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B1	-	13
15	Fehlerstatus Batterie B1	-	14
16	Batterie 2 Nummer	-	15
17	Spannung B2	0,2 V	16
18	Strom B2	20 mA	17
19	Minimale Zellspannung B2	20 mV	18
20	Maximale Zellspannung	20 mV	19
21	Maximale Modultemperatur B2	2 °C	20
22	State of Charge – SOC B2	0,2 %	21
23	Umrichter Spannung B2	0,2 V	22
24	Umrichter Strom B2	0,2 A	23
25	Umrichter DC-Leistung B2	20 W	24
26	BMS Fehler-Bitmap B2	-	25
27	Control Status-Bitmap B2	-	26
28	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B2	-	27
29	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B2	-	28
30	Fehlerstatus Batterie B2	-	29
31	Batterie 3 Nummer	-	30
32	Spannung B3	0,2 V	31
33	Strom B3	20 mA	32
34	Minimale Zellspannung B3	20 mV	33
35	Maximale Zellspannung	20 mV	34
36	Maximale Modultemperatur B3	2 °C	35
37	State of Charge – SOC B3	0,2 %	36
38	Umrichter Spannung B3	0,2 V	37
39	Umrichter Strom B3	0,2 A	38
40	Umrichter DC-Leistung B3	20 W	39
41	BMS Fehler-Bitmap B3	-	40
42	Control Status-Bitmap B3	-	41
43	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B3	-	42
44	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B3	-	43
45	Fehlerstatus Batterie B3	-	44
46	Batterie 4 Nummer	-	45
47	Spannung B4	0,2 V	46
48	Strom B4	20 mA	47
49	Minimale Zellspannung B4	20 mV	48
50	Maximale Zellspannung	20 mV	49
51	Maximale Modultemperatur B4	2 °C	50
52	State of Charge – SOC B4	0,2 %	51
53	Umrichter Spannung B4	0,2 V	52
54	Umrichter Strom B4	0,2 A	53
55	Umrichter DC-Leistung B4	20 W	54
56	BMS Fehler-Bitmap B4	-	55
57	Control Status-Bitmap B4	-	56
58	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B4	-	57
59	Batterie Betriebs-Status-Bitmap B4	-	58
60	Fehlerstatus Batterie B4	-	59

61	Fernsteuerung Ausschalten (aus Server GUI)	-	60
62	COM-Status (PC Controller Kommunikation)	-	61
63	Berechnete Eingangsleistung Energiezähler	0,1 kW	62
64	Berechnete Ausgangsleistung Energiezähler	0,1 kW	63
65	Ladungsmenge bei Aufladung B1	0,1 Ah	64
66	Ladungsmenge bei Entladung B1	0,1 Ah	65
67	Betriebszeit Ladung B1	0,1 h	66
68	Betriebszeit Entladung B1	0,1 h	67
69	Ladungsmenge bei Aufladung B2	0,1 Ah	68
70	Ladungsmenge bei Entladung B2	0,1 Ah	69
71	Betriebszeit Ladung B2	0,1 h	70
72	Betriebszeit Entladung B2	0,1 h	71
73	Ladungsmenge bei Aufladung B3	0,1 Ah	72
74	Ladungsmenge bei Entladung B3	0,1 Ah	73
75	Betriebszeit Ladung B3	0,1 h	74
76	Betriebszeit Entladung B3	0,1 h	75
77	Ladungsmenge bei Aufladung B4	0,1 Ah	76
78	Ladungsmenge bei Entladung B4	0,1 Ah	77
79	Betriebszeit Ladung B4	0,1 h	78
80	Betriebszeit Entladung B4	0,1 h	79
81	Aktuelle Sollleistung Batteriespeicher	0,1 kW	80
82	Betriebszeit Batteriespeicher	0,1 h	81
83	Status Automatikmodus	-	82
84	Ungenutzt		83 - 99
85	Minimale Zellspannung B1	10 mV	100
86	Maximale Zellspannung B1	10 mV	101
87	Minimal zulässige Batteriespannung B1	0,1 V	102
88	Maximal zulässige Batteriespannung	0,1 V	103
89	Maximale Modultemperatur B1	1 °C	104
90	Soll-Leistung B2	10 W	105
91	Minimale Zellspannung B2	10 mV	106
92	Maximale Zellspannung B2	10 mV	107
93	Minimal zulässige Batteriespannung B2	0,1 V	108
94	Maximal zulässige Batteriespannung	0,1 V	109
95	Maximale Modultemperatur B2	1 °C	110
96	Soll-Leistung B3	10 W	111
97	Minimale Zellspannung B3	10 mV	112
98	Maximale Zellspannung B3	10 mV	113
99	Minimal zulässige Batteriespannung B3	0,1 V	114
100	Maximal zulässige Batteriespannung	0,1 V	115
101	Maximale Modultemperatur B3	1 °C	116
102	Soll-Leistung B4	10 W	117
103	Minimale Zellspannung B4	10 mV	118
104	Maximale Zellspannung B4	10 mV	119
105	Minimal zulässige Batteriespannung B4	0,1 V	120
106	Maximal zulässige Batteriespannung	0,1 V	121
107	Maximale Modultemperatur B4	1 °C	122
108	Soll-Leistung B4	10 W	123
109	Ungenutzt		124 - 198
110	Batterie 1 - Nummer		199

111	Batteriespannung B1	10 mV	200
112	Batteriestrom B1	10 mA	201
113	SOC B1	0,1 %	202
114	Batterietemperatur B1		203
115	Maximal zulässige Batteriespannung B1	0,1 V	204
116	Minimal zulässige Batteriespannung B1	0,1 V	205
117	Maximaler Aufladestrom B1	10 mA	206
118	Maximaler Entladestrom B1	10 mA	207
119	88 Zellspannungen B1	10 mV	208 - 295
120	27 Modultemperaturen	1 °C	296 - 322
121	BMS Status-Bitmap B1	-	323
122	BMS Modus (Integer) B1	-	324
123	BMS Fehler-Bitmap B1	-	325
124	(Checksumme Batterieanforderung B1)	-	326
125	Umrichter Spannung B1	10 mV	327
126	Umrichter Strom B1	10 mA	328
127	Umrichter Leistung B1	10 W	329
128	Umrichter Status-Bitmap 1 B1	-	330
129	Umrichter Status-Bitmap 2 B1	-	331
130	Controller Reserve Bitmap B1	-	332
131	Controller Status Bitmap 1 B1	-	333
132	Controller Status Bitmap 2 B1	-	334
133	Ungenutzt		335 - 398
134	Batterie 2 - Nummer		399
135	Batteriespannung B2	10 mV	400
136	Batteriestrom B2	10 mA	401
137	SOC B2	0,1 %	402
138	Batterietemperatur B2		403
139	Maximal zulässige Batteriespannung B2	0,1 V	404
140	Minimal zulässige Batteriespannung B2	0,1 V	405
141	Maximaler Aufladestrom B2	10 mA	406
142	Maximaler Entladestrom B2	10 mA	407
143	88 Zellspannungen B2	10 mV	408 - 495
144	27 Modultemperaturen	1 °C	496 - 522
145	BMS Status-Bitmap B2	-	523
146	BMS Modus (Integer) B2	-	524
147	BMS Fehler-Bitmap B2	-	525
148	(Checksumme Batterieanforderung B2)	-	526
149	Umrichter Spannung B2	10 mV	527
150	Umrichter Strom B2	10 mA	528
151	Umrichter Leistung B2	10 W	529
152	Umrichter Status-Bitmap 1 B2	-	530
153	Umrichter Status-Bitmap 2 B2	-	531
154	Controller Reserve Bitmap B2	-	532
155	Controller Status Bitmap 1 B2	-	533
156	Controller Status Bitmap 2 B2	-	534
157	Ungenutzt		535 - 598
158	Batterie 3 - Nummer		599
159	Batteriespannung B3	10 mV	600
160	Batteriestrom B3	10 mA	601

161	SOC B3	0,1 %	602
162	Batterietemperatur B3		603
163	Maximal zulässige Batteriespannung B3	0,1 V	604
164	Minimal zulässige Batteriespannung B3	0,1 V	605
165	Maximaler Aufladestrom B3	10 mA	606
166	Maximaler Entladestrom B3	10 mA	607
167	88 Zellspannungen B3	10 mV	608 - 697
168	37 Modultemperaturen	1 °C	698 - 722
169	BMS Status-Bitmap B3	-	723
170	BMS Modus (Integer) B3	-	724
171	BMS Fehler-Bitmap B3	-	725
172	(Checksumme Batterieanforderung B3)	-	726
173	Umrichter Spannung B3	10 mV	727
174	Umrichter Strom B3	10 mA	728
175	Umrichter Leistung B3	10 W	729
176	Umrichter Status-Bitmap 1 B3	-	730
177	Umrichter Status-Bitmap 2 B3	-	731
178	Controller Reserve Bitmap B3	-	732
179	Controller Status Bitmap 1 B3	-	733
180	Controller Status Bitmap 2 B3	-	734
181	Ungenutzt		735 - 798
182	Batterie 4 - Nummer		799
183	Batteriespannung B4	10 mV	800
184	Batteriestrom B4	10 mA	801
185	SOC B4	0,1 %	802
186	Batterietemperatur B4		803
187	Maximal zulässige Batteriespannung B4	0,1 V	804
188	Minimal zulässige Batteriespannung B4	0,1 V	805
189	Maximaler Aufladestrom B4	10 mA	806
190	Maximaler Entladestrom B4	10 mA	807
191	88 Zellspannungen B4	10 mV	808 - 895
192	47 Modultemperaturen	1 °C	896 - 922
193	BMS Status-Bitmap B4	-	923
194	BMS Modus (Integer) B4	-	924
195	BMS Fehler-Bitmap B4	-	925
196	(Checksumme Batterieanforderung B4)	-	926
197	Umrichter Spannung B4	10 mV	927
198	Umrichter Strom B4	10 mA	928
199	Umrichter Leistung B4	10 W	929
200	Umrichter Status-Bitmap 1 B4	-	930
201	Umrichter Status-Bitmap 2 B4	-	931
202	Controller Reserve Bitmap B4	-	932
203	Controller Status Bitmap 1 B4	-	933
204	Controller Status Bitmap 2 B4	-	934

Holding-Register – Steuerung und Grenzparameter

Die Steuerung und Einstellung der Grenzwerte erfolgt über Holdingregister (FC 06). Alle analogen Werte sind als vorzeichenbehaftete 16 bit-Integer implementiert.

Tabelle 6: Holding Register

 Nr. 	 Parameter 	 Einheit und Auflösung 	 Reg.-Nr.
 1 	 Steuerbefehle siehe Tabelle 7 		 0
 2 	Minimale Zellspannung B1	10 mV	1
 3 	Maximale Zellspannung B1	10 mV	2
 4 	Minimale Batteriespannung B1	1 V	3
 5 	Maximale Batteriespannung B1	1 V	4
 6 	Maximale Batterietemperatur B1	1 °C	5
 7 	Maximale DC-Leistung B1	1 kW	6
 8 	Minimale Zellspannung B2	10 mV	7
 9 	Maximale Zellspannung B2	10 mV	8
 10 	Minimale Batteriespannung B2	1 V	9
 11 	Maximale Batteriespannung B2	1 V	10
 12 	Maximale Batterietemperatur B2	1 °C	11
 13 	Maximale DC-Leistung B2	1 kW	12
 14 	Minimale Zellspannung B3	10 mV	13
 15 	Maximale Zellspannung B3	10 mV	14
 16 	Minimale Batteriespannung B3	1 V	15
 17 	Maximale Batteriespannung B3	1 V	16
 18 	Maximale Batterietemperatur B3	1 °C	17
 19 	Minimale Zellspannung B3	1 kW	18
 20 	Minimale Zellspannung B4	10 mV	19
 21 	Maximale Zellspannung B4	10 mV	20
 22 	Minimale Batteriespannung B4	1 V	21
 23 	Maximale Batteriespannung B4	1 V	22
 24 	Maximale Batterietemperatur B4	1 °C	23
 25 	Maximale DC-Leistung B4	1 kW	24

Steuerbefehle Bitmap (Holding Register 0)

Tabelle 7: Holding-Register

 Nr. 	 Parameter
 0 	Laden / Entladen beenden
 1 	Ladevorgang starten manuell
 2 	Entladen starten manuell
 3 	Deaktivierung Hauptschalter (Not-Aus beenden)
 4 	Aktivierung Hauptschalter (Not-Aus aktiv)
 5 	Automatikmodus aus
 6 	Automatikmodus ein
 7 	Fernbedienung aus
 8 	Fernbedienung ein
 9 	Übernahme Grenzparameter (Holding Register 1 - 24)

Status und Fehler

GUI-Fehlermeldungen

Table 8: Fehlermeldungen GUI

Start-bit	Name
COM-Port nicht verbunden	COM-Port-Kabel ist getrennt
Batterie nicht angeschlossen	CAN-Kommunikation mit Batterie ist getrennt
Batteriespannung überschritten	Batteriespannung überschreitet einen Maximalwert
Zellspannung überschritten	Zellspannung überschreitet einen Maximalwert oder einen Minimalwert
Temperatur überschritten	Batterietemperatur überschreitet einen Maximalwert
BMS Fehler	Batteriefehler-Bitmap $\neq 0$
Steuerung Fehler	Steuerungsbitmap $\neq 0$
Umrichter Fehler	Konverterfehler Bitmap $\neq 0$
Fehler Serververbindung / Server suchen (nur Client)	Modbus-Server ist geschlossen

Batteriesteuerung

Batterie Betriebsstatus Bitmap

Input Register: 14, 29, 44, 59

Table 9: Input-Register Batterie 3

Start-byte	Start-bit	Wert Dezimal	Parameter
0	0	1	Batterie aus
0	1	2	Batterie wird geladen
0	2	4	Batterie wird entladen
0	3	8	Batterie gesperrt (Fehler- / Grenze überschritten)
0	4	16	Balancing Start
0	5	32	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 1
0	6	64	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 2
0	7	128	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 3
1	0	256	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 4
1	1	512	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 5
1	2	1024	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 6
1	3	2048	Balancing / SOH-Berechnung Stufe 7
1	4	4096	Automodus – Standby
1	5	8192	Automodus – Aufladung
1	6	16384	Automodus – Entladung

Balancing

Das Balancing wird in sieben Stufen durchgeführt:

- Bal.-Stufe 1 – Batterie ausschalten
- Bal.-Stufe 2 – Batterie Aufladen bis auf 96 % starten
- Bal.-Stufe 3 – Batterie Aufladung stoppen 10 s
- Bal.-Stufe 4 – Balancierung starten KL15 aus, CAN aus, 3 h warten
- Bal.-Stufe 5 – Zellspannungen prüfen
- Bal.-Stufe 6 – Balancierung stoppen, wenn die Kriterien erfüllt sind (wenn nicht – Stufe 1)
- Bal.-Stufe 7 – Batterie entladen bis 6 %, danach Zelldiagnose.

Batterie-Management-System

BMS Modbus (Integer)

Input Register: 122, 146, 170, 194

Tabella 10: Bitmap "bat_modus"

Wert	Name
0	Standby; Kommunikation Aktiv
1	Hauptschütze geschlossen / HV-Netz aktiviert / Norm. Fahrbetrieb
2	Hauptschütze geschlossen / Balancing-Modus aktiviert
3	Ext. Laden über Ladegerät (HVN unterbrochen) oder MSG (HVN aktiv)
4	Externes laden / HV-Netz aktiv
5	Interner Batteriefehler / angeforderter Modus nicht möglich
6	Externes DC laden / HV Netz aktiv
7	Initialisierung

BMS Fehler-Bitmap

Input Register: 11, 26, 41, 56 - 123, 147, 171, 195

Tabella 11: Bitmap "bat_error_bmp"

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	BMS_FEHLER_NOTABSCHALTUNG_CRASH
0	1	BMS_FEHLER_NOTABSCHALTUNG_PILOTFEHLER
0	2	BMS_FEHLER_HVB_ABSCHALTUNG_ANFORDERUNG
0	3	BMS_FEHLER_HVB_ABSCHALTUNG
0	4	BMS_FEHLER_HAUPTSCHÜTZ_VERSCHWEISST
0	5	BMS_FEHLER_HAUPTSCHÜTZ_OFFEN
0	6	BMS_FEHLER_LEISTUNGSREDUZIERUNG
0	7	BMS_FEHLER_ISOLATION
1	0	BMS_FEHLER_KALTSTARTLEISTUNG
1	1	BMS_FEHLER_PILOTLINIE
1	2	BMS_FEHLER_HVB_SICHERUNG

BMS Status-Bitmap

Input-Register: 121, 145, 169, 193

Tabella 12: Bitmap "bat_status_bmp"

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	STATUS_LADESCHÜTZ_PLUS
0	1	STATUS_LADESCHÜTZ_MINUS
0	2	STATUS_HOCHVOLTSCHÜTZ_PLUS
0	3	STATUS_HOCHVOLTSCHÜTZ_MINUS
0	4	STATUS_INIT
0	5	STATUS_LEISTUNGSREDUZIERUNG
0	6	STATUS_PILOTLINIE
0	7	STATUS_VORLADESCHÜTZ
1	0	STATUS_SPANNUNGSFREIHEIT
1	1	STATUS_NOTENLADUNG
1	2	STATUS_RESERVE
1	3	STATUS_ENTLADUNG (1: Entladen der Batterie, 0: Laden der Batterie)
1	4	BMS_STATUS_SERVICEDISCONNECT
1	5	BMS_STATUS_SPANNUNGSFREIHEIT
1	6	BMS_NOTFALLKUEHLUNG

Umrichter

Umrichter Status-Bitmap 1

Input Register: 128, 152, 176, 200

Tabella 13: Bitmap "conv_status_BMP_1"

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	STATUS_PFC_AC_INPUT_IN_OVERVOLTAGE_MODE
0	1	STATUS_PFC_AC_INPUT_IN_UNDERVOLTAGE_MODE
0	2	STATUS_PFC_AC_FREQUENCY_ABNORMAL
0	3	STATUS_PFC_AC_THREE_PHASE_IMBALANCE
0	4	STATUS_PFC_AC_PHASE_LOST
0	5	STATUS_PFC_AC_ISLAND_PROTECTION
0	6	STATUS_PFC_A_PHASE_IN_OVERCURRENT
0	7	STATUS_PFC_B_PHASE_IN_OVERCURRENT
1	0	STATUS_PFC_C_PHASE_IN_OVERCURRENT
1	1	STATUS_PFC_IO_IN_OVERCURRENT
1	2	STATUS_PFC_BUS_IN_OVERVOLTAGE_MODE
1	3	STATUS_PFC_BUS_IN_UNDERVOLTAGE_MODE
1	4	STATUS_PFC_BUS_IO_IN_OVERVOLTAGE_MODE
1	5	STATUS_PFC_BUS_SOFT_START_FAILURE
1	6	STATUS_PFC_OTHER_FAILURE
1	7	STATUS_PFC_AC_INPUT_DERATING

Umrichter Status-Bitmap 2

Input Register: 129, 153, 177, 201

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	STATUS_DC_CURRENT_IMBALANCE
0	1	STATUS_DC_PFC_INTERNAL_TEMPERATURE
0	2	STATUS_DC_ENVIRONMENT_TEMPERATURE
0	3	STATUS_EEPROM_ABNORMAL
0	4	STATUS_FAN_FAILURE
0	5	STATUS_PRI_AND_SEC_PHASE_COMM_BREAKDOWN
0	6	STATUS_DC_DISCHARGING_IN_OVERVOLTAGE_MODE
0	7	STATUS_DC_DISCHARGING_IN_OVERCURRENT_MODE
1	0	STATUS_DC_CHARGING_IN_CURRENT_LIMIT_MODE
1	1	STATUS_DC_CHARGING_IN_SHORT_CIRCUIT_MODE
1	2	STATUS_DC_DISCHARGING_BUS_VOLTAGE_IN_UNDERVOLTAGE_MODE
1	3	STATUS_DC_DISCHARGING_OUTPUT_IN_UNDERVOLTAGE_MODE
1	4	STATUS_CAN_COMMUNICATION_FAILURE_BETWEEN_MODULE
1	5	STATUS_DC_TEMPERATURE_DERATING
1	6	STATUS_DC_SOFT_START_FAILURE
1	7	STATUS_DC_PWM_SHUT_DOWN

Controller Bitmaps

Controller Status-Bitmap 1 – Ladekontrolle

Input Register: 131, 155, 179, 203

Tabelle 14: Bitmap "control_status_bmp_1"

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	CHARGECTRL_IDLE
0	1	CHARGECTRL_STARTING
0	2	CHARGECTRL_PRECHARGE
0	3	CHARGECTRL_CHARGING
0	4	CHARGECTRL_DISCHARGING
0	5	CHARGECTRL_CHANGE_DIR
0	6	CHARGECTRL_ABORTED_BMC
0	7	CHARGECTRL_ABORTED_MCD
1	0	CHARGECTRL_ABORTED_CANPORT
1	1	CHARGECTRL_ABORTED_PWRCTRL
1	2	CHARGECTRL_ABORTED_USER
1	3	CHARGECTRL_ABORTED_UNKNOWN
1	4	CHARGECTRL_ABORT_UNDERCURRENT
1	5	CHARGECTRL_FINISHED

Controller Status-Bitmap 2 – Energiezähler und Globale Fehler

Input Register: 132, 256, 280, 204

Tabella 15: Bitmap "control_status_bmp_2"

Start-byte	Start-bit	Name
0	0	HVB_COUNT_E_00
0	1	HVB_COUNT_E_01
0	2	HVB_COUNT_E_02
0	3	HVB_COUNT_E_03
0	4	HVB_COUNT_E_04
0	5	HVB_COUNT_E_05
0	6	HVB_COUNT_E_06
0	7	HVB_COUNT_E_07
1	0	HVB_COUNT_E_08
1	1	HVB_COUNT_E_09
1	2	HVB_COUNT_E_DIR
1	3	HVB_STAT_RES_11
1	4	HVB_COM_ERROR
1	5	HVB_CAN_ERROR
1	6	HVB_BMC_ERROR
1	7	HVB_CHG_ERROR

Input-Register Zuordnung zu GUI (Client)

Batterie 1

Tabella 16: Input-Register Batterie 1

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.- Nr.
1	Batterienummer	-	0
2	Spannung	0,1 V	1
3	Strom	10 mA	2
4	Minimale Zellspannung	10 mV	3
5	Maximale Zellspannung	10 mV	4
6	Maximale Modultemperatur	1 °C	5
7	State of Charge – SOC	0,1 %	6
8	Umrichter C-Leistung	10 W	9
9	Batterie Betriebs-Status-Bitmap	-	13

Batterie 2

Tabella 17: Input-Register Batterie2

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.- Nr.
1	Batterienummer	-	15
2	Spannung	0,1 V	16
3	Strom	10 mA	17
4	Minimale Zellspannung	10 mV	18
5	Maximale Zellspannung	10 mV	19
6	Maximale Modultemperatur	1 °C	20

7	State of Charge – SOC	0,1 %	21
8	Umrichter DC-Leistung	10 W	24
9	Batterie Betriebs-Status-Bitmap	-	28

Batterie 3

Tabella 18: Input-Register Batterie 3

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.- Nr.
1	Batterienummer	-	30
2	Spannung	0,1 V	31
3	Strom	10 mA	32
4	Minimale Zellspannung	10 mV	33
5	Maximale Zellspannung	10 mV	34
6	Maximale Modultemperatur	1 °C	35
7	State of Charge – SOC	0,1 %	36
8	Umrichter C-Leistung	10 W	39
9	Batterie Betriebs-Status-Bitmap	-	43

Batterie 4

Tabella 19: Input-Register Batterie 4

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.- Nr.
1	Batterienummer	-	45
2	Spannung	0,1 V	46
3	Strom	10 mA	47
4	Minimale Zellspannung	10 mV	48
5	Maximale Zellspannung	10 mV	49
6	Maximale Modultemperatur	1 °C	50
7	State of Charge – SOC	0,1 %	51
8	Umrichter C-Leistung	10 W	54
9	Batterie Betriebs-Status-Bitmap	-	58

Batterie Betrieb-Status-Bitmap

Tabella 20: Input-Register Betriebs-Status

Start-byte	Start-bit	Parameter
0	0	Batterie aus
0	1	Batterie wird geladen
0	2	Batterie wird entladen
0	3	Batterie gesperrt (Fehler / Grenzwert überschritten)
0	4	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 1
0	5	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 2
0	6	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 3
0	7	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 4
1	0	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 5
1	1	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 6
1	2	Batterie im Balancing / SOH-Berechnung Stufe 7
1	3	Batterie im Automodus – Standby

1	4	Batterie im Automodus – Aufladung
1	5	Batterie im Automodus – Entladung

Balancing

Das Balancing wird in sieben Stufen durchgeführt:

- Bal.-Stufe 1 – Batterie ausschalten
- Bal.-Stufe 2 – Batterie Aufladen bis auf 95 % starten
- Bal.-Stufe 3 – Batterie Aufladung stoppen 10 s
- Bal.-Stufe 4 – Balancierung starten KL15 aus, CAN aus, 3 h warten
- Bal.-Stufe 5 – Zellspannungen prüfen
- Bal.-Stufe 6 – Balancierung stoppen, wenn die Kriterien erfüllt sind (wenn nicht – Stufe 1)
- Bal.-Stufe 7 – Batterie entladen bis 8 %, danach Zelldiagnose.

Globale Daten

Table 21: Input-Register Globale Daten

Nr.	Parameter	Einheit und Auflösung	Reg.- Nr.
1	Fernsteuerung Ausschalten (aus Server GUI)	-	60
2	COM-Status (PC Controller Kommunikation)	-	61
3	Berechnete Eingangsleistung Energiezähler	0,1 kW	62
4	Berechnete Ausgangsleistung Energiezähler	0,1 kW	63
5	Status Auto-Modus (1 = aktiv)		82

9.6 Ergebnisse aus dem Livebetrieb

Der Second-Life-Speicher ist im Reallabor am Rötberg seit dem 30.10.2021 in Betrieb. Einsatzzweck ist das Puffern von Energie aus der PV-Anlage sowie aus den BHKWs. Die Auswertung der Daten hat ergeben, dass vor allem in den Wintermonaten durch den hohen Wärmebedarf zum Heizen der Wohnungen die BHKWs durchgängig in Betrieb sind. Die zusätzliche Versorgung des Gebäudes am Saumweg 5, welches nicht in der ursprünglichen Planung vorgesehen war, verstärkt diesen Effekt nochmals. Es lässt sich beobachten, dass der stromseitige Energiebedarf in den Gebäuden am Rötberg in den Wintermonaten deutlich geringer ist, als die stromseitige Energieproduktion durch die BHKWs. Dies führt dazu, dass permanent überschüssige Energie aus dem Quartier abgegeben werden muss. Dieser wird durch die Second-Life-Speicher aufgenommen, bis diese gefüllt sind. Da die BHKWs zur Wärmebereitstellung permanent in Betrieb sind, ergeben sich im Winter keine Lücken. Dem Speicher werden hierdurch kaum Möglichkeiten gegeben, sich zu entladen, siehe Abbildung 23.

Seit April ist zu erkennen, dass die Produktion der Heizenergie nicht mehr permanent erfolgen muss. In Folge dessen kann der Speicher an manchen Tagen Energie abgeben. Seit Mai ist dieser Effekt fast täglich zu verzeichnen. Allerdings ist auch zu verzeichnen, dass sich der Speicher in den meisten Fällen maximal 20 % entlädt. Die maximal aufgezeichnete Entladung wurde bislang im Juni aufgezeichnet. Hier wurden knapp 45 % des Speichers entladen, was einer berechneten Energiemenge (alle vier Batterien gesamt) von ca. 56 kWh entspricht. Die Aufzeichnung der Energiedaten wird im weiteren Betrieb fortgesetzt. Auswertungen und Optimierungen werden auf Basis studentischer Arbeiten fortgeführt.

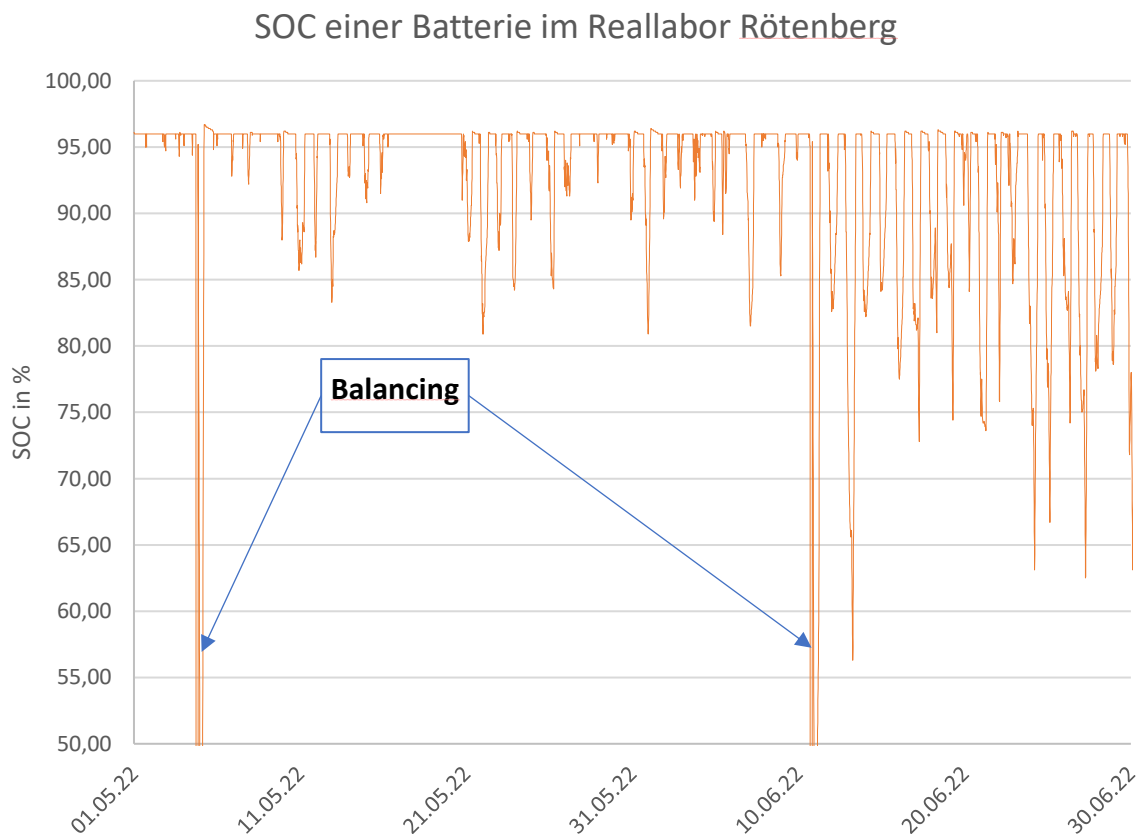


Abbildung 23: Aufzeichnung des SOC in Prozent von Mai 2022 bis Juni 2022. Es wird ersichtlich, dass sich nach Ende der Heizperiode der Speicher relativ oft entlädt. Die Tage, an welchen der Speicher bis auf 5 % entlädt, sind die Tage, an welchen das Balancing einsetzt. Hierbei wird der Speicher einmal komplett entladen.

9.7 Steuerung Sachsenhausen und Schließen von Datenlücken

In Sachsenhausen sollte die Steuerung des Speichers auf Basis der Messungen in den 20 Pilothaushalten aus dem Projekt SMASA durchgeführt werden. Da in der Datenaufnahme Lücken entstanden sind, konnten diese nicht wie zu Beginn des Projekts geplant im Livebetrieb verwendet werden. Die Lücken entstehen aufgrund von immer wieder vorkommendem kurzzeitigem Ausfall der Netzwerkanbindung. Die Livedaten der Haushalte haben aber für eine bedarfsgerechte Versorgung bzw. die Aufnahme von Energie eine hohe Relevanz. Um die Lücken zu schließen wurde ein Algorithmus entwickelt, welcher dafür sorgt, die fehlenden Messwerte so realistisch wie möglich auf Basis der vorangegangenen und folgenden Daten durch eine künstliche Intelligenz zu simulieren. Die entstandenen Ergebnisse wurden in einem Paper für die „26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems“ – KES 2022 veröffentlicht (Original Veröffentlichung siehe Kapitel 17.5). Im Folgenden werden die Ergebnisse kurz zusammengefasst.

Um einen Überblick zu erhalten, wird in Abbildung 24 ein Beispiel für den Lastgang eines Haushalts über den Zeitraum einer Stunde gezeigt. Dieser verdeutlicht die starke Fluktuation (Rauschen) der Haushaltslastdaten. Zeitreihenattribute wie Trends, Saisonalitäten und Ortsabhängigkeiten sind ebenfalls in den Lastdatenmustern zu erkennen. Daher könnte ein genaues Modell für die Generierung fehlender Werte bei Lastdaten dasjenige sein, welches die vergangenen und zukünftigen Variablen angemessen interpoliert und gleichzeitig das verrauschte Muster der Lastdaten darstellen könnte.

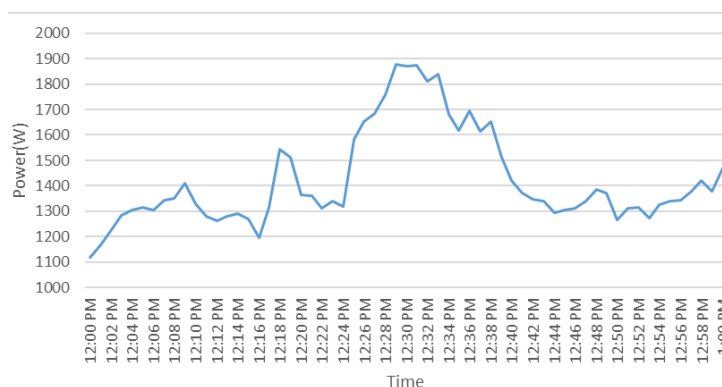


Abbildung 24: Beispiel einer Leistungskurve eines einzelnen Haushalts über den Zeitraum einer Stunde.

Es gibt zwei bekannte Arten der Interpolation. Polynomielle Interpolation und Spline-Interpolation [4]. Für periodisch korrelierte Daten wie Lastdaten liefert die kubische Interpolation, die eine Art der Spline-Interpolation ist, die besten Ergebnisse. Um das verrauschte Muster der Lastdaten darzustellen, wird in der vorgeschlagenen Methode ein „begrenzt weißes Gaußsches Rauschen“ zu der Interpolationsfunktion hinzugefügt.

Das vorgestellte Verfahren stellt eine einfache aber relativ genaue Simulation des Verhaltens von Haushaltslastdaten dar, um kurzzeitig fehlende Werte zu ersetzen. Zunächst wird die Lücke durch eine Interpolation gefüllt, um im zweiten Schritt weißes Gaußsches Rauschen in einem begrenzten Bereich hinzuzufügen. Da diese Methode speziell für real gemessene Daten entwickelt wurde, ist es von entscheidender Bedeutung, dass sie auf einen experimentell gewonnenen Datensatz angewendet und bewertet wird. Durch das Einfügen mehrerer künstlicher Lücken in gemessenen Daten in charakteristischen Abschnitten, wie z.B. bei maximaler und minimaler Belastung, wird die Genauigkeit der vorgestellten Methode durch Vergleich mit den original gemessenen Daten bewertet. Das entstandene Gesamtschema ist in Abbildung 25 dargestellt.

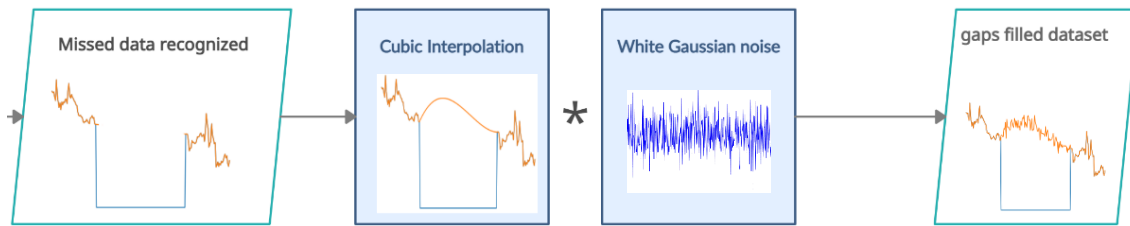


Abbildung 25: Ablauf des vorgestellten Verfahrens mit kubischer Interpolation in Kombination mit dem Einsatz des weißen Gaußschen Rauschens, um Lücken in einem Messdatensatz zu füllen.

Für die Erfassung der Genauigkeit wurden Szenarien mit acht verschiedenen Datensätzen für den Zeitraum jeweils einer Woche durchgeführt. In den Datensätzen wurden jeweils Lücken von insgesamt fünf Minuten fehlender Werte eingefügt. Die Ergebnisse in Tabelle 22 zeigen den Durchschnitt der acht Durchläufe. Dabei wurde erkannt, dass die besten Ergebnisse mit einer kubischen Interpolation in Kombination mit einem weißen Gaußschen Rauschen von $\sigma = 0,1$

Tabelle 22: Performance der vorgestellten Interpolationsmethoden. Die Methode mit der besten Performance ist hervorgehoben. Alle Werte sind Durchschnittswerte aus acht verschiedenen Szenarien.

Applied method	RMSE	MAPE
Linear Interpolation	586,815	19,136
Quadratic Interpolation	439,276	14,41
Cubic Interpolation	373,74	12,84
Linear with noise ($\sigma = 0,05$)	312,11	10,119
Linear with noise ($\sigma = 0,1$)	217,65	7,96
Linear with noise ($\sigma = 0,2$)	336,42	11,638
Quadratic with noise ($\sigma = 0,05$)	304,738	9,12
Quadratic with noise ($\sigma = 0,1$)	172,12	5,542
Quadratic with noise ($\sigma = 0,2$)	297,35	8,981
Cubic with noise ($\sigma = 0,05$)	164,65	5,128
Cubic with noise ($\sigma = 0,1$)	93,586	3,19
Cubic with noise ($\sigma = 0,2$)	175,94	6,486

10 Kostenaufstellung auf Basis des Reallabors Röttenberg

In Tabelle 23 werden die Kosten des Reallabors Röttenberg aufgestellt. Diese beziehen sich auf den Einsatz in einer Fertigarage, welche zusätzlich einen verstärkten Boden erhalten hat. Alternativ wird der Einsatz eines Speichercontainers aufgezeigt. Diese Möglichkeit wurde durch die Architekten des Bauprojekts aus optischen Gründen allerdings abgelehnt.

Unter den stromführenden Komponenten befinden sich die Kosten für Wechselrichter, CAN-Port-Controls, Steuer-PC, aber auch die Komponenten des Schaltschranks, Anschluss ans Quartiersnetz und Anbindung der Batterien an die Wechselrichter. Die Personalkosten können in weiteren Projekten reduziert werden, da die Konzeption abgeschlossen ist. Kleinere Anpassungen können anhand vorhandener Pläne schnell umgesetzt werden.

Tabelle 23: Grobkostenaufstellung auf Basis des Reallabors Röttenberg. Einsatz von vier Batterien. Batterien sind in Garage untergebracht. Es wurde ein Angebot für einen Side-Door-Container eingeholt. Dieser kann als Alternative verwendet werden.

Anzahl Batterien:	4
Verfügbare Kapazität:	bis zu 130 kWh (je nach Entladetiefe)
Kosten Garage:	≈ 15.600 €
Alternative Container:	≈ 9.600 €
Stromführende Komponenten:	≈ 16.800 €
Tragende Komponenten:	≈ 5.800 €
Sicherheitseinrichtung:	≈ 200 €
Personalkosten:	≈ 17.000 €
Gesamtkosten Containerlösung:	≈ 50.000 €

In Tabelle 24 bis Tabelle 26 werden die Kosten der stromführenden und der tragenden Komponenten sowie der Fertigarage im Detail aufgelistet.

Tabelle 24: Auflistung stromführender Komponenten

Name	Menge	Einzelkosten	Kosten
Abschluss- und Zwischenplatte 2002-1292	4	0,21 €	0,84 €
Abschluss- Zwischenpl. Doppels 2002-2292	4	0,19 €	0,76 €
Abschlusspl. Etagenklemme orange 2003-7692	4	0,20 €	0,81 €
Aderendhülsen 0,5 mm²	600	0,01 €	4,49 €
Aderendhülsen 2,5 mm²	1000	0,01 €	12,47 €
Anpassungen Fahrplanimport bzgl. Röttenberg	1	1.565,38 €	1.565,38 €
Bidirektionaler Inverter	2	783,00 €	1.566,00 €
CC Can-Port Platine, Alderamin-pico Welotec	1	611,00 €	611,00 €
CC Can-Port Platine, Alderamin-pico Welotec	4	611,00 €	2.444,00 €
Converter, Bidirectional 15 kW	4	1.500,00 €	6.000,00 €
Crimpkontakt	1	27,23 €	27,23 €
Dichtelement Kommunikation KD 5/5-21	1	22,40 €	22,40 €
Dichtelement Strom ED 1/20-34	1	19,33 €	19,33 €

Dichtelement Strom ED 1/43-46	1	27,39 €	27,39 €
Doppelstockklemme grau 4 mm ² 2002-2231	30	1,07 €	32,10 €
Durchgangsklemme bis 10 mm blau 2006-1204	4	0,71 €	2,85 €
Durchgangsklemme bis 10 mm grau 2006-1201	12	0,68 €	8,18 €
Durchgangsklemme bis 10 mm PE 2006-1207	4	1,67 €	6,67 €
Durchgangsklemme bis 4 mm ² blau 2002-1204	2	0,19 €	0,38 €
Durchgangsklemme bis 4 mm ² grau 2002-1201	16	0,37 €	5,92 €
Durchgangsklemme bis 4 mm ² PE 2002-1207	6	1,30 €	7,80 €
Erdungsanlage Saumweg + WZ Röttenberg	1	952,78 €	952,78 €
FI-Schutzschalter	1	1.221,92 €	1.221,92 €
Hutschiene gelocht verzinkt	4	1,28 €	5,12 €
Hutschienen-Netzteil	1	118,83 €	118,83 €
Industriecomputer	1	945,00 €	945,00 €
Kabel CAT 7 Leitung	100	0,38 €	37,79 €
Kabel Installationsl. J-Y(ST)Y 10*2*0,8	50	0,83 €	41,36 €
Leuchte Feuchtraumwanne LED 1,5 m Pracht	1	47,00 €	47,00 €
Litze H07VK 4,0 mm ² schwarz	100	0,32 €	32,34 €
Netzwerk Dose Hutschiene	4	10,12 €	40,48 €
Potential Ausgleichsschiene bis 25 mm ²	1	4,19 €	4,19 €
Rittal Anschlussadapter	1	51,81 €	51,81 €
Rittal Board	1	34,11 €	34,11 €
Rittal Geräteadapter Comfort 32 A	1	158,81 €	158,81 €
Rittal Sockel-Blenden	1	19,11 €	19,11 €
Schalter Steckdosen Kombination	1	13,29 €	13,29 €
Serienschalter, Steckdose, Dichtungsflansch	1	19,62 €	19,62 €
Sicherung Automat C32 3-polig	4	26,80 €	107,18 €
Sicherungseinsatz Mersen	10	4,16 €	41,60 €
Speise Trennverstärker Display 4501	1	44,50 €	44,50 €
Speise Trennverstärker uni 2 Relais 4116	1	157,19 €	157,19 €
Spelsberg Leergehäuse silbergrau	1	146,94 €	146,94 €
Steckdose Hutschienen	4	8,72 €	34,88 €
PC-Bildschirm	1	96,39 €	96,39 €
Tastatur	1	12,56 €	12,56 €
Maus	1	2,58 €	2,58 €

Tabelle 25: Auflistung tragender Komponenten und der Inneneinrichtung des Batterieraums

Name	Menge	Einzelkosten	Kosten
Abstandsbolzen	25	2,03 €	50,75 €
Arbeitsplatz/Wandtisch	1	56,66 €	56,66 €
Blech Aluminium; 2,5 mm	1	71,79 €	71,79 €
Bolzenklemme	1	263,82 €	263,82 €
Dübel Universal W-ZX 6x35 8	200	0,06 €	12,05 €
Endklammer Tragschiene 249-117	29	0,31 €	8,92 €

Flachstahl, U-Stahl	1	298,80 €	298,80 €
Gewindestange VERZ M 8 1 M	1	1,15 €	1,15 €
Installationsklemme N/L/PE 2003-7646	8	1,14 €	9,14 €
Kabel Kanal 110*60	4	5,17 €	20,68 €
Kabel Kanal 40*60	2	1,86 €	3,72 €
Kabelbinder 200 x 2,6 mm	200	0,04 €	7,28 €
Kabelbinder 365 x 7,6 mm	200	0,13 €	26,02 €
Kabelbinder 4,7*210 UV beständig	200	0,04 €	7,02 €
Kabelbinder 4,7*300 UV beständig	200	0,07 €	13,66 €
Kanal Verdrahtung 80*40	6	4,97 €	29,84 €
Kanal Verdrahtung 80*80	4	7,28 €	29,12 €
KOTFLÜGELSCHIBE M 10,5 x 40 x 2 DIN 522	40	0,07 €	2,79 €
LSA Plus Leiste 10 DA	2	3,68 €	7,35 €
LSA Plus Montagewanne 60 DA 6 Leisten	2	8,10 €	16,19 €
LSA Plus TRENNLEISTE 10 DA mit Klemmen	2	24,24 €	48,47 €
Montage Schiene C 41/22/2,5 6 m lang	6	6,76 €	40,56 €
Polyamid-Rad	4	36,84 €	147,36 €
PROFILDICHTRING FÜR KABELSCHUTZR. DN 75	6	0,47 €	2,83 €
Rittal Anreih-Schranksystem u. Zubehör	2	1.111,77 €	2.223,54 €
Rohr EN 50 FFKUS	2	1,93 €	3,86 €
Rohr KABELSCHUTZ PE-HD ZELLBAU DA 75	35	0,63 €	22,05 €
Rohr Kunststoffpanzer H25	6	0,36 €	2,16 €
Rungenpalette	4	529,25 €	2.117,00 €
Schraube DÜBEL PAN HEAD 4,5x50	40	0,05 €	1,83 €
Schraube PAN HEAD 6,0 x 60	10	0,12 €	1,16 €
SCHRAUBE SENK HOLZ 8,0 x 80 / 50	40	0,21 €	8,35 €
Schraube Spanplatte 4 X 30	20	0,01 €	0,27 €
Spanplatten-Zuschnitte, Rahmenschenkel	1	188,27 €	188,27 €
Tangit M 3000 Expansionsharz 300 ml	6	12,72 €	76,30 €
Walze Schaum 11 cm Superfein	10	0,97 €	9,70 €

Tabelle 26: Kosten des Batterieraums (Fertigarage)

Name	Menge	Betrag
AZ Saumweg 2 Röttenberg	1	6.260,00 €
Filterlüfter, Crimpzange	1	204,90 €
Garage Röttenberg, Saumweg 2 SR	1	7.849,66 €
Kanalreinigung und TV Untersuchung	1	650,00 €
Lüftungsgitter Batteriegebäude	1	456,00 €
Hauseinführung esh polysafe set	2	162,64 €
Muffe doppelsteck f. Kabelschutzr. Dn 75	2	1,69 €

11 CE-Zertifizierung

Richtlinien und Verordnungen der Europäischen Union (EU) legen grundlegende Sicherheits- und Gesundheitsanforderungen von Produkten fest. Mit der CE-Kennzeichnung wird die Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben bestätigt. Damit darf das Produkt innerhalb des Europäischen Wirtschaftsraumes – die EU-Mitgliedsstaaten und die EFTA-Mitgliedsländer Island, Norwegen und Lichtenstein – sowie in der Türkei bereitgestellt werden.

Die CE-Kennzeichnung ist keine Bestätigung der Produktsicherheit durch eine Behörde oder die EU. Sie gibt auch keinen Hinweis, dass ein Produkt im Europäischen Wirtschaftsraum hergestellt wurde. Sie bestätigt jedoch, dass ein Produkt die grundlegenden Sicherheitsanforderungen einschlägiger Richtlinien oder Verordnungen erfüllt.

Um den entwickelten Batteriespeicher als Produkt vertreiben zu können, wurden die nötigen Schritte für die Erlangung einer CE-Zertifizierung recherchiert und soweit möglich umgesetzt.

11.1 Recherche Normen und Richtlinien

Für die Entwicklung des Batteriespeichers wurden die zu verwendenden Normen und Richtlinien recherchiert. Diese sind in Tabelle 27/Tabelle 25 dargestellt.

Tabelle 27 Normen die bei der Entwicklung eines Second-Life-Batteriespeichers beachtet werden sollten

Name	Kennzeichnung	Geltungsbereich
Allgemeine Produktsicherheit	2001/95/EG	Mit dieser Richtlinie soll sichergestellt werden, dass die in den Verkehr gebrachten Produkte sicher sind. In der Richtlinie befinden sich Informationen zur Risikobeurteilung (DIN 12100) und der Risikoeinschätzung nach DIN 13849-1
Niederspannungsrichtlinie	2014/35/EU	Die Richtlinie gilt für elektrische Betriebsmittel bei einer Nennspannung zwischen 50 und 1.000 V für Wechselstrom und zwischen 75 und 1.500 V für Gleichstrom
Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) Richtlinie	2014/30/EU	Eine ortsfeste Anlage, die elektromagnetische Störungen verursachen kann oder dessen bzw. deren Betrieb durch elektromagnetische Störungen beeinträchtigt werden kann. Zur Einhaltung der Richtlinie muss eine EMV-Prüfung aufgrund der Störungssicherheit erfolgen
Messgeräterichtlinie	2014/32/EU	Elektrizitätszähler für Wirkverbrauch (MI-003). Der Hausanschlusszähler wurde nach der Kategorie MI-003 geprüft

11.2 Risikobewertung

Der Hersteller hat alle Risiken zu ermitteln, die von dem Produkt ausgehen können. Dazu muss eine Risikoanalyse durchgeführt und deren Ergebnisse dokumentiert werden. Außerdem muss eine Beurteilung vorgenommen werden, wie mit den festgestellten Risiken umgegangen wird und wie diese gemindert werden können, damit das Produkt die grundlegenden Sicherheitsanforderungen erfüllt.

Es wurde eine Risikoanalyse und Risikobeurteilung für den Batteriespeicher erstellt. Unter anderem sind eine EMV-Prüfung des Batteriespeichers sowie eine Prüfung der Rungen mit den Rollen durch einen Statiker notwendig.

Tabelle 28 Risikobewertung zur Entwicklung des Second-Life-Batteriespeichers

Risiko Szenario (Beschreibung eines möglichen Vorfalls)	Ursache / Grund für das Eintreten des Szenarios (= Schwachstelle)	Schadensklasse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Handlung	Geplante Zusatzmaßnahmen
Entladen aus LKW	Allgemein nur Arbeiten mit PSA!!! Arbeitshandschuhe, Sicherheitsschuhe, Helm, Warnweste				
Batterie wird langsam vom Stapler angefahren, bekommt Beule	Explosion / Brand	mittel	gering	Separieren und 24 Stunden beobachten	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer Geplante Schulung
Batterie wird beim Entladen Durchstoßen	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer
Batterie fällt beim Entladen vom LKW/den Zinken des Staplers → Explosion / Brand	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer
Batterie fällt beim Entladen vom LKW/den Zinken des Staplers	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer

→ mechanische Verformung					
Palette rutscht mit Batterie von den Staplerzinken	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer
Entladen aus Transportbox in Runge	Allgemein nur Arbeiten mit PSA!!! Arbeitshandschuhe, Sicherheitsschuhe, Helm, Warnweste				
Traverse bricht, falsch angeschraubt	Explosion / Brand	mittel	unwahrscheinlich	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen; zweite Palette direkt neben erste, damit sie darauf fällt und nicht auf dem Boden liegt	Anleitung von Traversenaufbau, Personalschulung
Traverse fällt auf Batterie	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer Verwendung des Portalkrans der SWA
Stapler drückt Batterie mit Zinken ein	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Anweisungen an Staplerfahrer Langsames Arbeiten Unterweisung Staplerfahrer
Schlupf zum anheben des Akkus reißt	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Kranvorrichtung verwenden Verwendung des Portalkrans bei den SWA
Palette bricht (alter Stand)	Explosion / Brand	mittel	unwahrscheinlich	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen mit der Traverse versuchen den Akku vom Boden aufzunehmen und auf andere Palette legen	Paletten vor Verwendung prüfen
Lagerung am Boden	Allgemein nur Arbeiten mit PSA!!! Arbeitshandschuhe, Sicherheitsschuhe, Helm, Warnweste				

Batterie erwärmt sich in Halle	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	aktive Wärmedetektion anbringen
Batterie brennt in Halle	Explosion / Brand	hoch	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Brandmeldeanlage installieren
Lagerung im Regal	Allgemein nur Arbeiten mit PSA!!! Arbeitshandschuhe, Sicherheitsschuhe, Helm, Warnweste Einbindung der Feuerwehr / Polizei / Rettungsdienst → gemeinsamer Notfallplan				
Hitze	Explosion / Brand	hoch	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Akkus verschatten / aktiv kühlen z.B. mit Wasser (Kontakte abdecken!)
Kälte	Lebensdauer des Akkus sinkt	mittel	gering		
Blitzeinschlag ins Regal	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Regal erden
Blitzeinschlag in benachbarten Strommast Kabel fällt auf Regal	Explosion / Brand	mittel	gering	Von Regal fern bleiben	Regal sollte geerdet sein Einbindung Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Netzbetreiber
Sturm, Akkus fallen aus Regal	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Regal fest mit Boden verschrauben Paletten gegen herunterfallen sichern Akkus auf Palette fixieren
Hagel, Akkus werden durch große Hagelkörner mechanisch beschädigt	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Akkus vor Hagelkörnern schützen z.B. Überdachung Dicke der Einhausung der Akkus prüfen
Kondenswasserbildung an den Kontakten	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Kontakte regelmäßig kontrollieren

HV-Leitung Wartung	Explosion / Brand	mittel	unwahrscheinlich	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Regal sollte geerdet sein Einbindung Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Netzbetreiber
HV-Leitung Bruch	Explosion / Brand	mittel	unwahrscheinlich	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	Regal sollte geerdet sein Einbindung Feuerwehr, Polizei, Rettungsdienst, Netzbetreiber
Brennmaterial in der Nähe der Akkus z.B. Öltrafo, Holzhack-schnitzel	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	leicht brennbare Medien aus dem Gefahrenbereich entfernen
Gefahrgut in der Nähe der Akkus	Explosion / Brand	mittel	gering	Wenn möglich auf Havarieplatz stellen, kontrolliert abbrennen lassen; Feuerwehr rufen	anderes Gefahrgut aus dem Gefahrenbereich entfernen. Gemeinsame Definition der Größe des Gefahrenbereichs nach Lagersituation
Eine Batterie brennt; kann nicht mehr aus Regal entnommen werden	Andere Batterien fangen Feuer	hoch	gering	Wenn möglich andere Akkus aus Regal entfernen mit Wasser löschen, auch um andere Akkus und das Regal zu kühlen	Sicherheitsabstand des Regals zur Halle min. 5 m Mit Feuerwehr einen Notfallplan ausarbeiten
Lagerung in der Runge					
Schutz vor Regen	Defekte Kontakte Wasser in Gehäuse	gering	mittel	Abdeckung anbringen/Regenschutz	
Kontakte abdecken	Defekte Kontakte	gering	mittel	Abdeckungen auf Kontakte anbringen	
Einbringen der Akkus im Fertiggarage	Einbringen in Lagerregal				

Regal kippt durch Beladen mit Stapler	Regal kippt, Batterien fallen heraus Brand, Explosion, Beschädigung der Batterien Gefahr für Leib und Leben	sehr hoch	gering	Regal muss nach BGR234 fest in einem Betonboden verankert sein	Im Betonboden verankern Zusätzlich mit dem Boden / Decke verstreben. Alternative zu Regal ist eine stapelbare Rungenpalette.
Batterien stürzen aus Runge		sehr hoch	gering	Batterien sind auf Runge mit Bolzen befestigt. Dadurch ist eine große Auflagefläche garantiert. Regal hat eine durchgängige Tragfähige Platte Alternativ: stapelbare Rungenpalette	Regal hat eine durchgängige Tragfähige Platte Alternativ: stapelbare Rungenpalette
Zu wenig Platz	Stapler kommt nicht ans Regal / In die Fertiggara	gering	gering	Zufahrt muss gewährleistet sein	
Schlupf des Bordladekrans	Beim Abladen der Runge mit dem Ladekrans reißt der Schlupf	hoch	gering	Schlupf kontrollieren Ordnungsgemäß anbringen	

Risiko Szenario (Beschreibung eines möglichen Vorfalls)	Ursache / Grund für das Eintreten des Szenarios (= Schwachstelle)	Schadensklasse	Eintrittswahrscheinlichkeit	Handlung	Norm	Geplante Zusatzmaßnahmen
Elektrische Gefahren						
Kurzschluss	Kurzschluss extern	mittel	gering	Sichere, schnelle Abschaltung der Batterie Kein Wiedereinschalten ohne Überprüfung durch Schutzbeschaltung und/oder geschulte Fachkraft	DIN EN 61427-2 ADR für den Transport DIN EN 62109-1 Abs. 14.8	Sicherungskonzept unter Berücksichtigung der Zelleigenschaften Maßnahmen sind sinnvoll und je nach Konstruktion auch notwendig. Einfehlersicherheit entweder auf Packebene oder zusammen im System ist notwendig.
	Kurzschluss extern (batterieseitig)	mittel	gering	Vermeidung von externen Kurzschlüssen und im Kurzschlussfall einen sicheren Zustand erhalten. Abdeckung der Kontaktpole und Abschaltung und gegen Wiedereinschalten gesichert im Transport, isoliertes Werkzeug, Körperschmuck entfernen (Hinweis in Installationsanleitung), Gehäuse mit entsprechendem IP-Schutz, Abschottung der stromführenden Systembauteile mit Berührungsschutz (IPXXB intern) Überstromsicherungen	UN38.3, EN 50272-2, IEC 62619, DIN EN 62109-1	

	Kurzschluss intern	mittel	gering	Konstruktive Vermeidung, sichere, schnelle Abschaltung der Batterie und kein Wiedereinschalten Konstruktive Maßnahmen um interne Kurzschlüsse zu vermeiden, Isolationskoordination und IP Schutzklassen		Sicherungskonzept unter Berücksichtigung der Zelleigenschaften; Sicherheitskonzept für parallelgeschaltete Zellen
	Überladung	mittel	gering	Überladeschutz auf Pack- oder Systemebene	Forced Discharge nach UN38.3	Negative Auswirkungen einer Überladung vermeiden (dies kann allein auf Zellebene nicht gelöst werden)
	Überladung Überspannung	mittel	gering	Sichere, schnelle Abschaltung der Batterie Kein Wiedereinschalten ohne Überprüfung der Zellspannungen Einzelzellenüberwachung ist notwendig (unter Berücksichtigung der auftretenden Ripple-Ströme) parallelgeschaltete Zellen können über eine Spannungsmessung überwacht werden	DIN EN 62619 Abs. 5.5.2	Abschaltung bei Überspannung Kommunikation mit dem Ladegerät, um dies zu verhindern Ladegerät / Restbussimulation sollte dies verhindern
	Überladung Überspannung (Batterieseitig)	mittel	gering	Überspannung und Überladung muss im System redundant (1 Fehlersicher) verhindert werden Überwachung der Zellspannungen und Ausschluss von Überladung oder Überspannung durch Batteriemanagementsystem(BMS), BMS muss auch bei eigenem Fehler in sicheren Zustand schalten. Überwachung der Kommunikation, um Überladung sicher zu verhindern. Mehrstufige Überwachung im Lade-/Entladegerät	UN38.3, EN 50272-2, IEC 62619, DIN EN 62109-1	

	Tiefentladung	mittel	gering	Tiefentladeschutz auf Pack- oder Systemebene	Forced Discharge nach UN38.3	Negative Auswirkungen einer Tiefentladung vermeiden. (dies kann allein auf Zellebene nicht gelöst werden)
	Tiefentladung	mittel	gering	Extern: sichere, schnelle Abschaltung der Batterie nach dem Erreichen der Entladeschlussspannung (Einzelzellspannungen). Kein Wiedereinschalten nach Tiefentladung und ohne Überprüfung der Zellspannungen unter Berücksichtigung, dass die OCV u. U. trotz vorheriger Zell-Tiefentladung im erlaubten Bereich ist Intern: erkennen, verhindern, kommunizieren, kein Wiedereinschalten	DIN EN 61427-2 Abs. 8.3	Herstellerangaben beim Wiedereinschalten müssen berücksichtigt werden BMS (z. B. redundant, mit BMS-Überwachung) und System sollten Tiefentladungen verhindern Gegen Wiedereinschalten sichern gemäß den Herstellerangaben. Abschalten und nicht wieder zuschalten bei Kommunikationsausfall
	Tiefentladung	mittel	gering	Vermeidung von Tiefentladung zur Erhaltung des sicheren Zustandes. Nach einer Tiefentladung ist Laden zu vermeiden. Der sichere Betriebsbereich der Module/Packs muss eingehalten werden. Überwachung der Zellspannungen und Ausschluss von Tiefentladung durch Batteriemanagementsystem(BMS), BMS muss auch bei eigenem Fehler in sicheren Zustand schalten. Überwachung der Kommunikation, um Tiefentladung sicher zu verhindern. Mehrstufige Überwachung im Lade-/Entladegerät	UN38.3, EN 50272-2, IEC 62619, DIN EN 62109-2	

Bei Überstrom darf kein Feuer usw. auftreten (beschrieben durch: Hazard Level 4 nach EUCAR darf nicht überschritten werden)	Überstrom	mittel	gering	Die Deratingkurve muss entsprechend berücksichtigt werden Auswahl von entsprechend qualitativ hochwertigen und typgeprüften Technologie/Zelle, CID, beschichtete Separatoren Derating Kurven des Zellherstellers müssen im Sicherheitskonzept angegeben werden. Abschalten der Batterie oder des Ladegeräts		
	Überstrom	mittel	gering	Sichere Abschaltung der Batterie nach den Derating-Vorgaben des Herstellers	DIN EN 62619 Abs. 6.1.4.2	Temperaturabhängige Stromüberwachung und Trennen bei Überstrom
	Überstrom	mittel	gering	Vermeidung von Überströmen von außen, DC und AC (Hausnetz, Wechselrichter, induktive Lasten) sowie Querströme zwischen Modulen/Packs Balancing zwischen Zellen und zwischen Modulen/Packs zur Vermeidung von Querströmen, Hinweise in Installationsanleitung zur Auswahl der Überstromsicherungen. Stromüberwachung und Ausschluss von Überstrom z. B. durch Abschaltung der Batterie oder des Ladegerätes Derating in Abhängigkeit der Zelltemperatur durch das Lade- / Entladegerät	UN38.3, IEC 62619	

	Übertemperatur	mittel	gering	<p>Übertemperatur auf Packebene überwachen, ggf. Maßnahmen (Stilllegung, Erholung nach Herstellerangaben) einleiten Lüftungssystem</p> <p>Sichere Abschaltung der Batterie im Betrieb beim Überschreiten der maximal zulässigen Herstellerangaben, die einen Schaden in der Zelle verursachen.</p> <p>Kein Wiedereinschalten, wenn maximale Temperatur überschritten wurde.</p> <p>Die Umweltbedingungen müssen benannt und beachtet werden.</p>	<p>UN38.3 DIN EN 62619 5.5/6.1 (Herstellerangaben können von den UN-Tests abweichen)</p>	<p>Zelle darf niemals Temperaturen über den vom Hersteller erlaubten Werten ausgesetzt werden.</p> <p>-30°C bis +55°C</p> <p>Abschalten des Lade- / Entladebetriebs</p> <p>Wird durch Restbussimulation eingeleitet</p>
	Zu tiefe Temperatur	mittel	gering	<p>Heizung</p> <p>Sichere Abschaltung der Batterie bzw. kein Wiedereinschalten der Batterie sobald die minimal zulässigen Herstellerangaben, die zu einem Schaden der Zelle führt, unterschritten werden.</p>	<p>UN38.3 DIN EN 62619 5.5/6.1 (Herstellerangaben können von den UN-Tests abweichen)</p> <p>DIN EN 61427 (Lagerung)</p>	<p>Zelle darf niemals Temperaturen unterhalb der vom Hersteller erlaubten Werte ausgesetzt werden.</p> <p>Abschalten bei Untertemperatur; abschalten des Lade- / Entladebetriebs</p>

	Mechanische Schäden	mittel	gering	Sachgerechte Handhabung, Transport, Lagerung, Montage Keine Inbetriebnahme von sichtbar/zu vermutend beschädigten Modulen/Packs	UN38.3 definiert Impact / Crash-Test (Handling der Zellen ist entscheidend)	
	Mechanische Schäden	mittel	gering	Ausreichende Widerstandsfähigkeit der Konstruktion gegen Schwingung, Vibration, Schock.	UN38.3, DIN EN 50272, DIN EN 62109-1, Schlagprüfung IK nach IEC 62262	Entsprechend stabile Konstruktion von Gehäuse, Transportgriffen, Befestigungspunkten, gedämpfte Lagerung kritischer Komponenten im System, Schockindikatoren für Transport, Warnhinweise am Gerät, Hinweise in Installationsanleitung zu sicherem Transport und sicherer Aufstellung
	Defekte Zelle im Pack	mittel	gering	Eine defekte Zelle im Pack darf keinen sich ausbreitenden Fehler zur Folge haben. Erkennen einer defekten Zelle und Abschalten (Bei einem internen Kurzschluss und hohem SOC kann auch die Zwangsentladung sinnvoll sein) Parallelschaltete Zellen können wie eine Einzelzelle behandelt werden.	DIN EN 62619 8.3.3	Eindämmung möglicher Ausbreitung auf die Systemebene
	Fehlinstallationen	mittel	gering	Fehlinstallationen dürfen nicht zu unsicheren Zuständen führen. (z. B. Verpolung, fehlerhafte Befestigung) Bevorzugt sind diese durch konstruktive Maßnahmen und fehlertolerantes Design zu vermeiden. Z.B: Poka Yoke (Verpolschutz bei Stecker)	VDE AR 2510-2/-50, IEC 62619	Hinweise in Installationsanleitung und am Gerät, konstruktive Vermeidung von Verpolung, eindeutige Kennzeichnung aller Anschlüsse, Produktschulungen

	Fehlbedienung	mittel	gering	Fehlbedienung darf nicht zu unsicheren Zuständen führen. Die Bedienung sollte fehlertolerant und selbstbeschreibend sein.	VDE AR 2510-2/-50, IEC 62619	Hinweise in Installationsanleitung und am Gerät, fehlertolerante und selbsterklärende Bedienung, Risikoanalyse vorhersehbarer Fehlbedienung
	Gefährliche Berührungsspannung	mittel	gering	Gefährliche Berührungsspannungen dürfen im Einfehlerfall nicht auftreten!	VDE AR 2510-2/-50, VDE 0100/410, EN 50272-2, IEC 62619, DIN EN 62109-1	Isolation, Einhaltung der normativen Luft- und Kriechstrecken, Schutzleiter sind so anzuschließen, dass dieser bei Kabelzug zuletzt gelöst wird, geerdete Gehäuse, Berührungsschutz für Teile mit gefährlichen Berührungsspannungen. FI-Schutzschalter
	Missbrauch	mittel	gering	Verschlussstechniken und Reinigungshinweise sind so auszuführen, dass Missbrauch verhindert wird	UN38.3, VDE AR 2510-2/-50, VDE 0100/410, EN 50272-2, BATSO 02, IEC 62619	(Warn)Hinweise in Installationsanleitung und am Gerät, Risikoanalyse zur vorhersehbaren Fehlanwendung, konstruktive Vermeidung von Missbrauch, Geräteöffnung nur mit Spezialwerkzeug Ggf. Abschaltung bei unzulässiger Geräteöffnung
	Unklarer Betriebszustand	mittel	gering	Unklare Betriebszustände sind im Design zu vermeiden.	VDE AR 2510-2	Hinweise in Installationsanleitung und am Gerät zum Verhalten bei Fehlermeldungen oder unklaren Betriebszuständen

	Schadstoffemissionen (gasförmig, flüssig, fest)	mittel	gering	Schadstoffhaltige Flüssigkeiten dürfen das System nicht verlassen. Gefährliche Gase müssen (im Havariefall) ausreichend abgeleitet werden.	UN38.3, VDE AR 2510-2/-50, EN 50272-2, BATSO 02, IEC 62619	Konstruktive Maßnahmen um Schadstoffe einzuschließen, aufzufangen oder kontrolliert abzuleiten (Auffangwannen, Tropfschutz, Entlüftungsöffnungen usw.), ggf. Verdünnung durch entsprechende aktive Lüftung, Gehäuse mit entsprechendem IP-Schutz
	Unzureichende funktionale Sicherheit. Fehler in der Gefährdungsanalyse und/oder der Risikobewertung	mittel	gering	Korrekte Gefährdungsanalyse, Risikobewertung und richtige Festlegung des Sicherheits-Integritätslevel (SIL), richtige Dimensionierung der Abschaltetelemente, Einfehlersicherheit bei sicherheitsrelevanten Funktionen.	E DIN EN 62619, DIN EN 61508	Durch das Prüflabor überprüfte funktionale Sicherheit Produktrevision (z. B. Software- und/oder Hardware-Updates), Rückrufaktionen bei sehr kritischen Fehlern
	Unzulängliche mechanische Verarbeitung	mittel	gering	Sicheres und stabiles mechanisches Design (keine scharfen Ecken und Kanten, Quetschstellen) zur sicheren Installation, Handhabung und Betrieb sowie Kontrolle während der Installation auf mechanische Einwirkungen.	EN 50272-2, Schlagprüfung IK IEC 62262	
	Vandalismus	hoch	gering	Grundschutz gegen Aufbruchsversuche und äußere mechanische oder körperliche Kräfte einschließlich Benutzung von einfachen Werkzeugen (RC2 = Schraubendreher, Zange, Keil etc.) sobald das System öffentlich oder durch dritte zugänglich, beziehungsweise dafür vorgesehen ist.	EN 50272-2, Schlagprüfung IK IEC 62262	Stabile Gehäuse, Anbringen von Schlössern, Materialauswahl, Auswahl Aufstellungsort (abschließbare Räume etc.). Eindeutige Hinweise an den Aufstellungsort in der Installationsanleitung.
	Brand	sehr hoch	gering	Brand von innen und außen; grundlegende Widerstandsfähigkeit gegen Hitze/Feuer, Vermeidung von Brandübertritt von innen	EN 50272-2, EN 61010-1; BATSO 02, E-	Vermeidung von Brandbeschleunigung, geeignete Designauswahl (Gehäuse, Ab-

				nach außen sowie bersten. Vermeidung von Weiterleitung von äußeren Bränden	VDE AR 2510-50, o.a.	schottungen etc.), Anforderungen an Aufstellort in Installationsanleitung, Materialauswahl des Gehäuses, Aufbau entsprechend der von der Landesbauordnung geforderten Brandschutzvorschriften.
	Wasserschaden durch Starkregen	mittel	gering	Durch zu viel Regenwasser können die Abflüsse volllaufen und das Gebäude unter Wasser stellen		Anbringen von Regenrinnen und Abläufen
	Blitz/Überspannung	hoch	gering	Kurzfristige/transiente Überspannung/-Strom darf keinen Einfluss auf die System-sicherheit haben, Berücksichtigung von Selektivität	VDE 0100/440, VDE 0185-305, IEC 62619	Überspannungsschutz (grob, mittel, fein) (sicherheitsrelevantes BMS erfordert ggf. Feinschutz)
	Verschmutzung	mittel	gering	Vermeidung von unsicheren Betriebszuständen durch Verschmutzungen wie Staub/Flüssigkeiten und Fremdkörper	IEC 62619 E-VDE AR 2510-50	Luft- und Kriechstrecken in Abhängigkeit des voraussichtlichen Verschmutzungsgrades, Kennzeichnungen müssen dauerhaft sichtbar sein, Zuluftfiltereinsatz und regelmäßige Wartung, Gehäuse mit entsprechendem IP-Schutz Filterwechsel, Reinigung, Sichtprüfung
	Druck	mittel	gering	Wenn im System Druck aufgebaut wird, muss dieser abgefangen/kompensiert oder kontrolliert abgebaut werden können, kein unsicherer Betriebszustand durch äußeren Luftdruck/Luftdruckwechsel	UN38.3, EN 50272-2, IEC 62619	Einsatz von Überdruckventilen oder sonstigen Maßnahmen zur Druckregulierung, Hinweise zum Aufstellort in der Installationsanleitung (Höhenlagen)

	Besondere Anforderungen aus der Umgebung (Korrosion, Gase, Überschwemmung)	mittel	gering	Bei entsprechend vorgesehenen Aufstellbedingungen in korrosiver Atmosphäre oder bei Überschwemmungsgefahr, sind besondere Anforderungen an das Design des Systems zu berücksichtigen.	E-VDE AR 2510-2, BATSO 02	Eindeutige Hinweise zum Aufstellort in der Installationsanleitung, Wahl der Isolierungen in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen
	Einhaltung gesetzlicher Vorgaben	mittel	gering	Einhaltung der Niederspannungsrichtlinie, Produktsicherheitsgesetz, Batteriegesetz, EMV-Richtlinie, UN-Transporttests, Gefahrgutverordnung und andere Sollte durch die Verwendung im Voraus genormter und zertifizierter Bauteile gegeben sein.		
	Batterien beeinflussen sich gegenseitig	mittel	gering	Batterien sind gegenseitig isoliert. Entsprechende EMV-Maßnahmen werden getroffen		
	Überladung der Batterien per Fernsteuerung	mittel	gering			
Remote Zugang	Angriff auf die Online-Steuerung	mittel	gering	Schutz vor Hacker Angriffen		Sicherheitspasswörter erstellen

11.3 Technische Unterlagen

Anhand der technischen Unterlagen muss es möglich sein, die Übereinstimmung des Gerätes mit den grundlegenden Anforderungen dieser Richtlinie zu beurteilen. Die technischen Unterlagen enthalten Informationen über den Entwurf, die Fertigung und die Funktionsweise des Produktes. Der genaue Inhalt wird in den EU-Richtlinien bzw. EU-Verordnungen festgelegt.

Grundsätzlich zählen dazu:

- eine geeignete Risikoanalyse und -bewertung, siehe 11.2.
- eine allgemeine Beschreibung des Gerätes, siehe 9.3 bis 9.5.
- Entwürfe, Fertigungszeichnungen und -pläne von Bauteilen, Baugruppen, Schaltplänen, usw.
- Beschreibungen und Erläuterungen zu Zeichnungen und Plänen sowie zur Funktionsweise des Produktes, siehe 17.1 und 17.2.
- eine Aufstellung, welche harmonisierten Normen oder Teile davon und/ oder welche anderen technischen Spezifikationen angewendet wurden, siehe 11.1.
- Ergebnisse von Konstruktionsberechnungen und Prüfungen. Vor allem für die EMV-Messung soll hier in der Zukunft eine zertifizierte Stelle zu Rate gezogen werden, um Messungen durchzuführen.

Für die Erstellung des Speichers wurden ausschließlich zertifizierte Produkte verwendet, oder alternative Produkte für die zukünftige Erstellung solch eines Speichers recherchiert. Die Datenblätter der eingesetzten Peripherie sind im Anhang in Kapitel 17.4 hinterlegt. Zertifizierungen und Erklärungen zur eingesetzten CAN-Port-Platine sowie der Batterie selbst sind zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht verfügbar.

12 Entwicklung Geschäftsmodell

Für den Einsatz im Reallabor Sachsenhausen wurde ein Geschäftsmodell basierend auf den Ergebnissen des Projekts *SMASA – Smart Grids und Speicher Sachsenhausen* entwickelt, welches die Integration von PV-Anlagen auf Kundendächern und einen Netzspeicher vorsieht. Durch den Wegfall des Reallabors Sachsenhausen wurde das Geschäftsmodell nicht mehr weiterentwickelt. Im Folgenden wird die Entwicklung der Geschäftsmodelle kurz beschrieben. Die genaue Dokumentation ist dem Projekt *SMASA – Smart-Grids und Speicher Sachsenhausen* zu entnehmen.

Es wurde die Überführung vom entwickelten Geschäftsmodell, welche in Form eines Business Model Canvas (BMC) beschrieben sind, hin zu Business-Ecosystem, welche in e3Value-Ontologien modelliert werden, untersucht. Es wurden die Grundlagen und die der Arbeit zugrunde liegende Methodik beschrieben. Anschließend wurde die Entwicklung von Geschäftsmodellen im Rahmen eines Innovationsworkshops betrachtet. Für die Entwicklung der Geschäftsmodelle wurde die Digitrans-Methode eingesetzt. Diese Innovationsmethode zur Entwicklung von Geschäftsmodellen wurde extra auf die Bedürfnisse von KMUs ausgerichtet. Die Geschäftsmodelle, welche im Workshop entwickelt wurden, sind in Form von BMCs dokumentiert. Die Modellierung und Quantifizierung der Modelle in Form von Business-Ecosystems ermöglichte die Analyse der unterschiedlichen Ausprägungen der Geschäftsvorhaben und die Analyse einer Vielzahl von Business Cases. Dadurch kann eine Evaluierung der ökonomischen Tragfähigkeit im BMConfig realisiert werden. Zur besseren Darstellung der Simulationsergebnisse wurde die Berechnung des BMConfig in Excel nachgebaut. Die Geschäftsmodelle unter anderem Post-EEG und Strom-Community, wurden aufgrund des großen Interesses der Stadtwerke in der Literatur und durch eine Internetrecherche weiter analysiert. Das Geschäftsmodell Stromcommunity wurde in einer ersten Analyse als unwirtschaftlich eingestuft aufgrund der hohen Vertriebskosten und nicht weiterverfolgt. Für Post-EEG wurde ein Positionspapier kleine Direktvermarktung herangezogen und analysiert. Hierbei ergaben sich zwei Geschäftsmodellkonfigurationen, die sich als ökonomisch sinnvoll

erwiesen. Das Betreibermodell für Second-Life-Batterien konnte ebenfalls als ein ökonomisch tragfähiges Geschäftsmodell identifiziert werden.

Die einzelnen Ergebnisse der Geschäftsmodell-Simulation müssen durch weitere Analysen und Experimente evaluiert werden, um eine mögliche Implementierung des Geschäftsmodells zu realisieren. Ein Geschäftsmodell sollte auf diese vier Aspekte hin untersucht werden: Ökonomisch tragfähig, technisch möglich, rechtlich umsetzbar und die Zahlungsbereitschaft des Kunden ist nachzuweisen. Zur ökonomischen Tragfähigkeit gehört auch die Verankerung in der bestehenden Organisation oder eine eventuelle Ausgründung in einer neuen Organisation. Zusätzlich sind Lücken in der Infrastruktur, beim Personal, Prozessen, IT-Systeme oder sonstigen Ressourcen zu identifizieren, um weitere Kosten abzuschätzen. Hierbei könnte Enterprise-Architecture eine mögliche Anwendung sein, um die Lücken im Unternehmen zu identifizieren. Dies ist essenziell für die Implementierung und den Betrieb des Geschäftsmodells.

13 Fazit und Ausblick

Im Projekt SeLiG wurde ein Second Life Batteriespeicher für Wohnquartiere oder ganze Siedlungen erfolgreich entwickelt und implementiert. Der Speicher ist nun bereits seit Oktober 2021 störungsfrei in Betrieb. Er wird über den Hausanschluss des Quartiers Röttenberg in Aalen gesteuert. Eine Weiterentwicklung des Speichers zur Regelung von einer gesamten Siedlung ist möglich, wenn diese zum Beispiel an einen Ortsnetztrafo angebunden ist. Hierbei muss dringend die geltende Regulatorik beachtet werden, um ein entsprechendes Geschäftsmodell im Voraus zu entwickeln. Im Projektteil Röttenberg wurde überschüssige Energie aus den vorhandenen Energieerzeugern Photovoltaikanlage und BHKW aufgenommen. Durch eine verbrauchs- und wetterbezogene Datenanalyse konnte eine Prognose der Energiedaten im Voraus erstellt werden. Anhand dieser wurden täglich neue, optimierte Fahrpläne für die Steuerung der KWK-Anlagen bereitgestellt. Durch die unabhängige Steuerung des Speichers, also durch Regelung auf Basis der Hausanschlusszählerdaten, ist ein Übertrag auf andere Projekte einfach umsetzbar. Die entwickelte Steuerung lässt eine Nutzung unterschiedlicher Batterien von Volkswagen zu. Kleinere Softwareanpassungen aufgrund unterschiedlicher CAN-Bus-Belegungen müssen unter Umständen aber erfolgen. Wie groß der softwareseitige Aufwand ist, Batterien anderer Hersteller einzubinden, konnte im Projekt nicht geprüft werden. Hardwareseitig müssen entsprechend passende DC-Anschlussleitungen sowie passende Kommunikationsleitungen eingesetzt und ggf. ausgetauscht werden.

Es ist geplant, das Speicherkonzept an der dualen Hochschule Heidenheim umzusetzen. Der Speicher soll hier für studentische Ausarbeitungen und Optimierungen als Laboreinrichtung eingesetzt werden. Die Planungen hierzu werden aktuell fertiggestellt. Gewünscht ist, dass durch den Einsatz an der dualen Hochschule Studierende für das Thema Batteriespeicher sensibilisiert werden.

Durch die entstandenen Beiträge und Veröffentlichungen gibt es regelmäßig Anfragen, Speicher bei Privatpersonen, Firmen und Kommunen zu implementieren. Hierzu sind Mitarbeitende der Hochschule Aalen aktuell in Gesprächen und werden Möglichkeiten zusammen mit den Stadtwerken Aalen bewerten, um weitere Projekte gegebenenfalls in die Wege zu leiten.

14 Literaturverzeichnis

- [1] P. Kurzweil und O. Dietlmeier, Elektrochemische Speicher, ISBN 978-3-658-10899-1 Hrsg., Springer Vieweg, 2015.
- [2] Umweltbundesamt, Batterien und Akkus, Umweltbundesamt, 2015.
- [3] „Bundesministerium für Forschung und Bildung,“ Bundesministerium für Forschung und Bildung, [Online]. Available: <https://www.batterieforum-deutschland.de/infoportal/lexikon/selbstentladung/>.
- [4] M. M. A. B. Abdullah, „Filling Missing Data Using Interpolation Methods: Study on the Effect of Fitting Distribution.,“ Key Engineering Materials. 594-595. 889-895., 2014.

15 Abbildungsverzeichnis

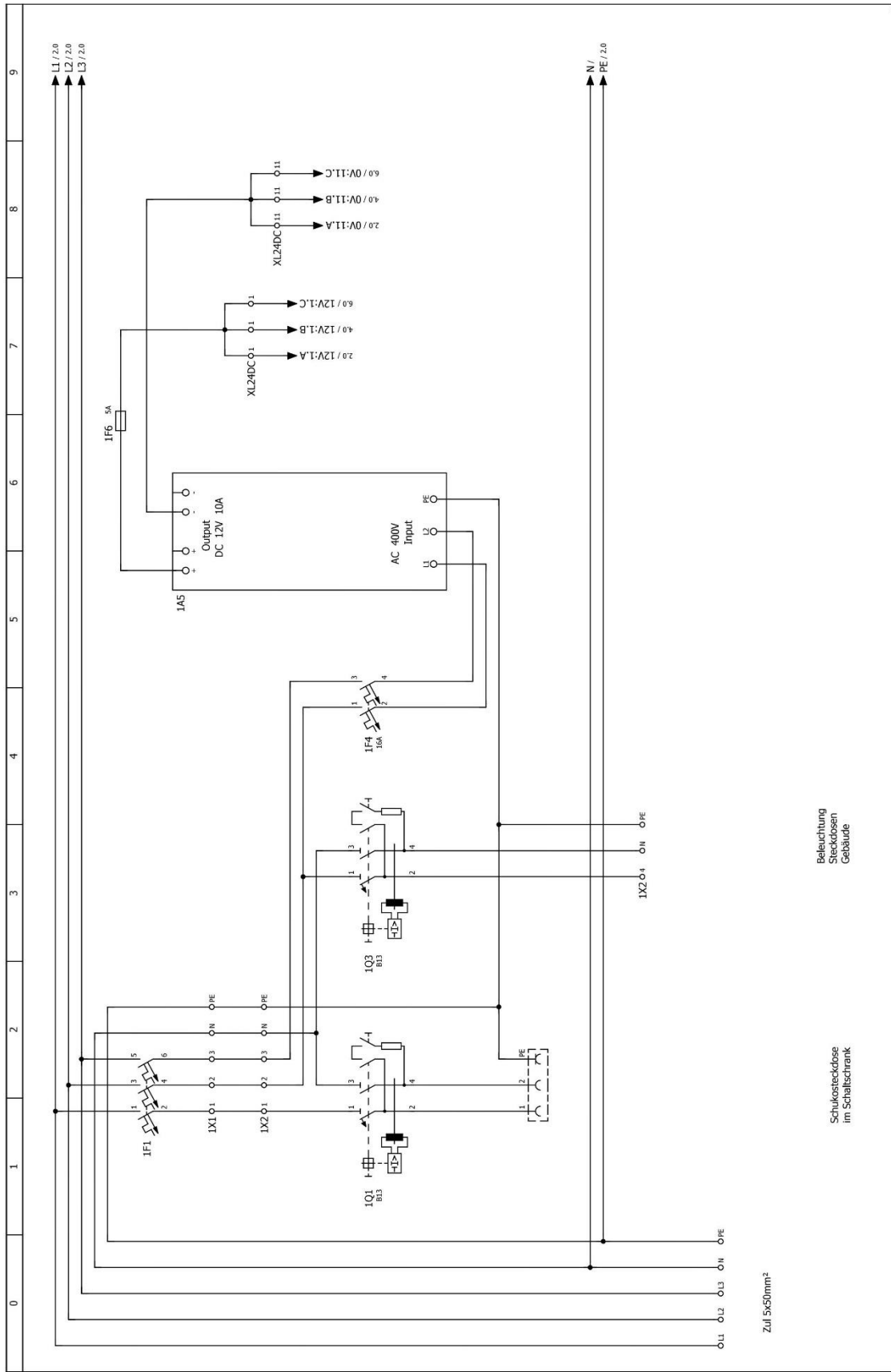
Abbildung 1: Reallabor Aalen Röttenberg. Zu erkennen sind die sieben Wohngebäude mit den 71 Wohnungen sowie der Standort des Batteriegebäudes	7
Abbildung 2: Heizungsschema Reallabor Aalen (Röttenberg).....	8
Abbildung 3: Bebauungsplan Sachsenhausen.....	10
Abbildung 4: Simulink-Modell einer Heizungsanlage.....	10
Abbildung 5: Simulink-Modell des Wechselrichters.....	11
Abbildung 6: Wirkungsgrade verschiedener Wechselrichter.....	12
Abbildung 7: Simulink-Modell der Batterie.....	13
Abbildung 8: Schema des Notbetriebs	14
Abbildung 9: Simulink-Modell Reallabor Sachsenhausen	16
Abbildung 10: Vergleich der simulierten und gemessenen Strombezüge der Teilnetze in Sachsenhausen	17
Abbildung 11: Entladen einer Batterie mit der Traverse.....	20
Abbildung 12: Kragarmregal bei den Stadtwerken Aalen zur Lagerung der Batterien. Diese sind im Normalfall durch Planen abgedeckt.	21
Abbildung 13: Planausschnitt zur Lage des Batterieraums am Röttenberg in Aalen.....	22
Abbildung 14: Planung zur Einrichtung des Batterieraums am Röttenberg. Rot: vier Batterien in den Rungen. Blau: Anordnung der Wechselrichter. Orange: Schaltschrank für AC-seitigen Netzanschluss. Hellgrün: Schaltschrank für Steuerung. In hellblau sind die Kabeltrassen eingezeichnet.	22
Abbildung 15: Ansicht zum Einbringen der Batterien in den Rungenpaletten.	23
Abbildung 16: Gestapelte Batterien in den Rungenpaletten. Die Batterien können über das Schienensystem ins Gebäude gefahren werden.	23
Abbildung 17: Stapeln der Batterien mithilfe eines Bordladekrans.....	24
Abbildung 18: Ansicht von Sachsenhausen mit den beiden Teilnetzen A und B. Außerdem dargestellt sind die teilnehmenden Pilotkunden aus dem Projekt SMASA und ihre jeweilige Zugehörigkeit zum jeweiligen Teilnetz. Grün dargestellt sind die beiden möglichen Batteriestandorte. B1 ist der Standort des lokalen Landwirts, B2 ist der Standort, an welchem auf beide Teilnetze zugegriffen werden kann.	25
Abbildung 19: Aufteilung Batterien und Peripherie im Speichercontainer. Es können insgesamt vier Batteriestapel à vier Batterien eingebracht werden.....	26

Abbildung 20: Aufbau des Speichersystems. Blau dargestellt sind die Kommunikationswege zwischen den einzelnen Komponenten. Orange dargestellt ist die Hochvolt-DC-Kopplung zwischen Batterie und Wechselrichter. Rot dargestellt ist die Niederspannungsebene im und außerhalb des Quartiers. Die Steuerung des Batteriespeichers kann vor Ort am PC selbst, aber auch per Remote-Verbindung bzw. über die Leitwarte der Stadtwerke Aalen (grün dargestellt) bedient bzw. ausgelesen werden.	28
Abbildung 21: Oberfläche des Server-Moduls im GUI-Modus	30
Abbildung 22: Bereich Steuerung und Parameterfreigabe	30
Abbildung 23: Aufzeichnung des SOCs in Prozent von Mai 2022 bis Juni 2022. Es wird ersichtlich, dass sich nach Ende der Heizperiode der Speicher relativ oft entlädt. Die Tage, an welchen der Speicher bis auf 5 % entlädt, sind die Tage, an welchen das Balancing einsetzt. Hierbei wird der Speicher einmal komplett entladen.....	45
Abbildung 24: Beispiel einer Leistungskurve eines einzelnen Haushalts über den Zeitraum einer Stunde.	46
Abbildung 25: Ablauf des vorgestellten Verfahrens mit kubischer Interpolation in Kombination mit dem Einsatz des weißen Gaußschen Rauschens, um Lücken in einem Messdatensatz zu füllen.....	47
Abbildung 26: Interpolationen in einem Datensatz mit Lücken. (a) Lineare Interpolation, (b) quadratische Interpolation, (c) kubische Interpolation	Fehler! Textmarke nicht definiert.
Abbildung 27: Lineare (a), quadratische (b) und kubische (c) Interpolation in Kombination mit dem Gaußschen Rauschen.	Fehler! Textmarke nicht definiert.

16 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Eckdaten des Reallabors in Aalen	7
Tabelle 2: Eckdaten des Reallabors Sachsenhausen	9
Tabelle 3: Daten 20 Fuß-Side-Door-Container	25
Tabelle 4: Auswahl der Wechselrichter.....	27
Tabelle 5: Input Register: Prozessdaten	32
Tabelle 6: Holding Register.....	37
Tabelle 7: Holding-Register	37
Tabelle 8: Fehlermeldungen GUI.....	38
Tabelle 9: Input-Register Batterie 3	38
Tabelle 10: Bitmap "bat_modus"	39
Tabelle 11: Bitmap "bat_error_bmp".....	39
Tabelle 12: Bitmap "bat_status_bmp"	40
Tabelle 13: Bitmap "conv_status_BMP_1"	40
Tabelle 14: Bitmap "control_status_bmp_1"	41
Tabelle 15: Bitmap "control_status_bmp_2"	42
Tabelle 16: Input-Register Batterie 1	42
Tabelle 17: Input-Register Batterie2	42
Tabelle 18: Input-Register Batterie 3	43
Tabelle 19: Input-Register Batterie 4	43
Tabelle 20: Input-Register Betriebs-Status.....	43
Tabelle 21: Input-Register Globale Daten	44
Tabelle 22: Performance der vorgestellten Interpolationsmethoden. Die Methode mit der besten Performance ist hervorgehoben. Alle Werte sind Durchschnittswerte aus acht verschiedenen Szenarien.	47

Tabelle 23: Grobkostenaufstellung auf Basis des Reallabors Röttenberg. Einsatz von vier Batterien. Batterien sind in Garage untergebracht. Es wurde ein Angebot für einen Side-Door-Container eingeholt. Dieser kann als Alternative verwendet werden.....	48
Tabelle 24: Auflistung stromführender Komponenten	48
Tabelle 25: Auflistung tragender Komponenten und der Inneneinrichtung des Batterieraums	49
Tabelle 26: Kosten des Batterieraums (Fertigarage).....	50
Tabelle 27 Normen zur Entwicklung eines Second-Life-Batteriespeichers.....	51
Tabelle 28 Risikobewertung zur Entwicklung des Second-Life-Batteriespeichers.....	52



Zul. 5x50mm²

Schuko Steckdose
im Schaltschrank

Beleuchtung
Steckdosen
Gebäude



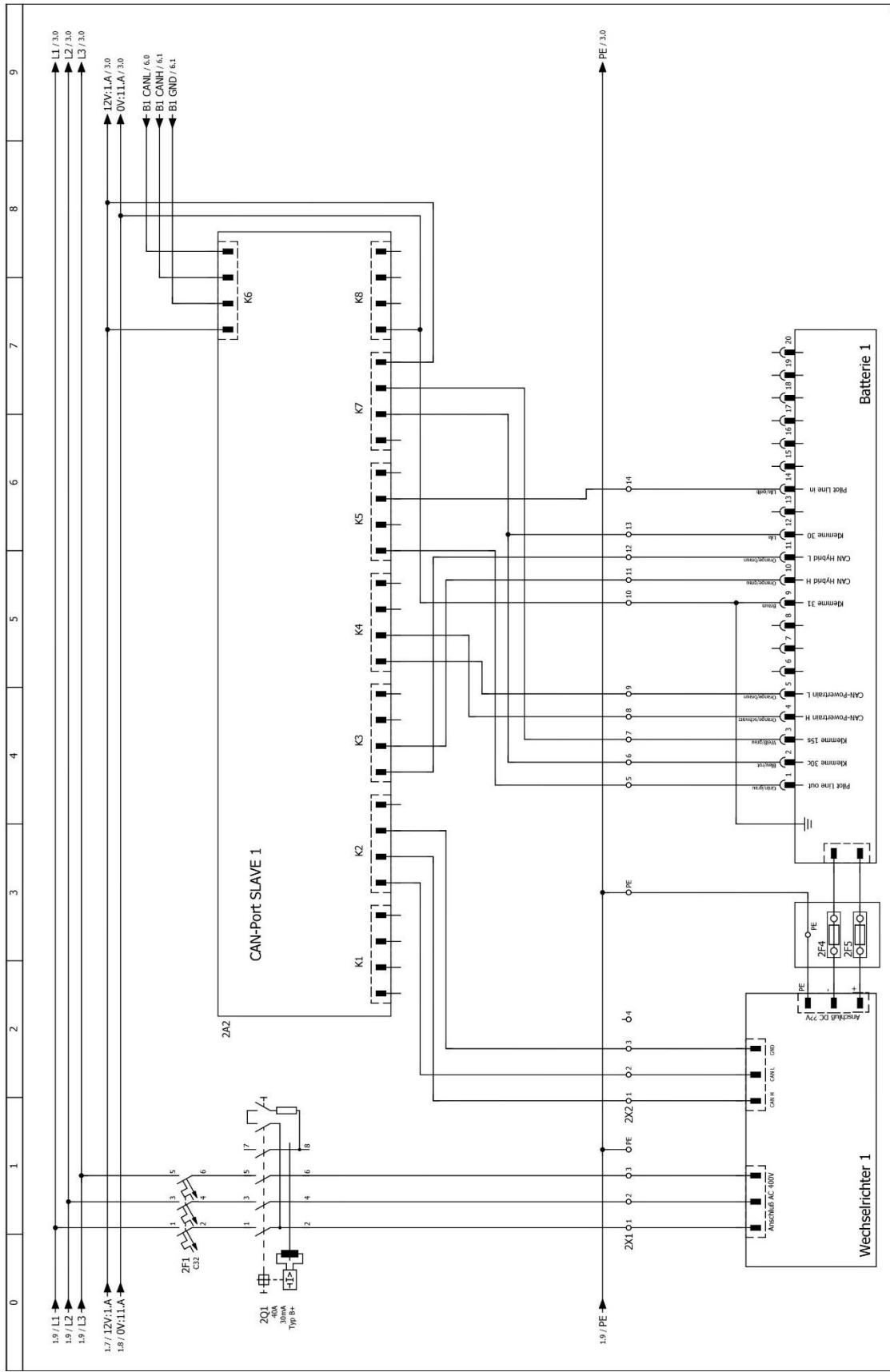
Datum	09.07.2021	SWA
Bearb.	Gemmer	
Gepr.		
Urspr.		
Name		Ersetzt von

Einspeisung / 12V Versorgung

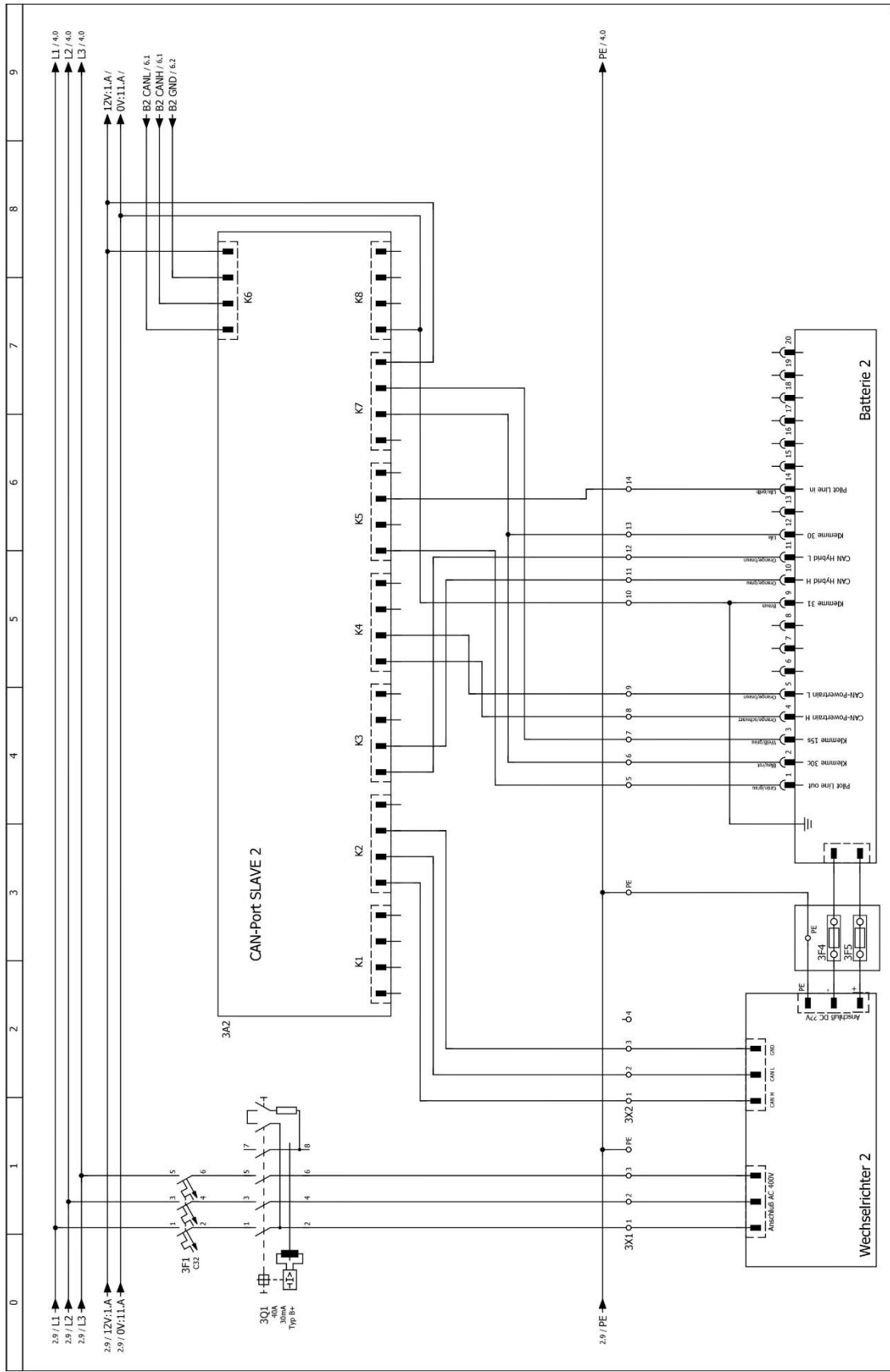
IEC_bas001

Seite

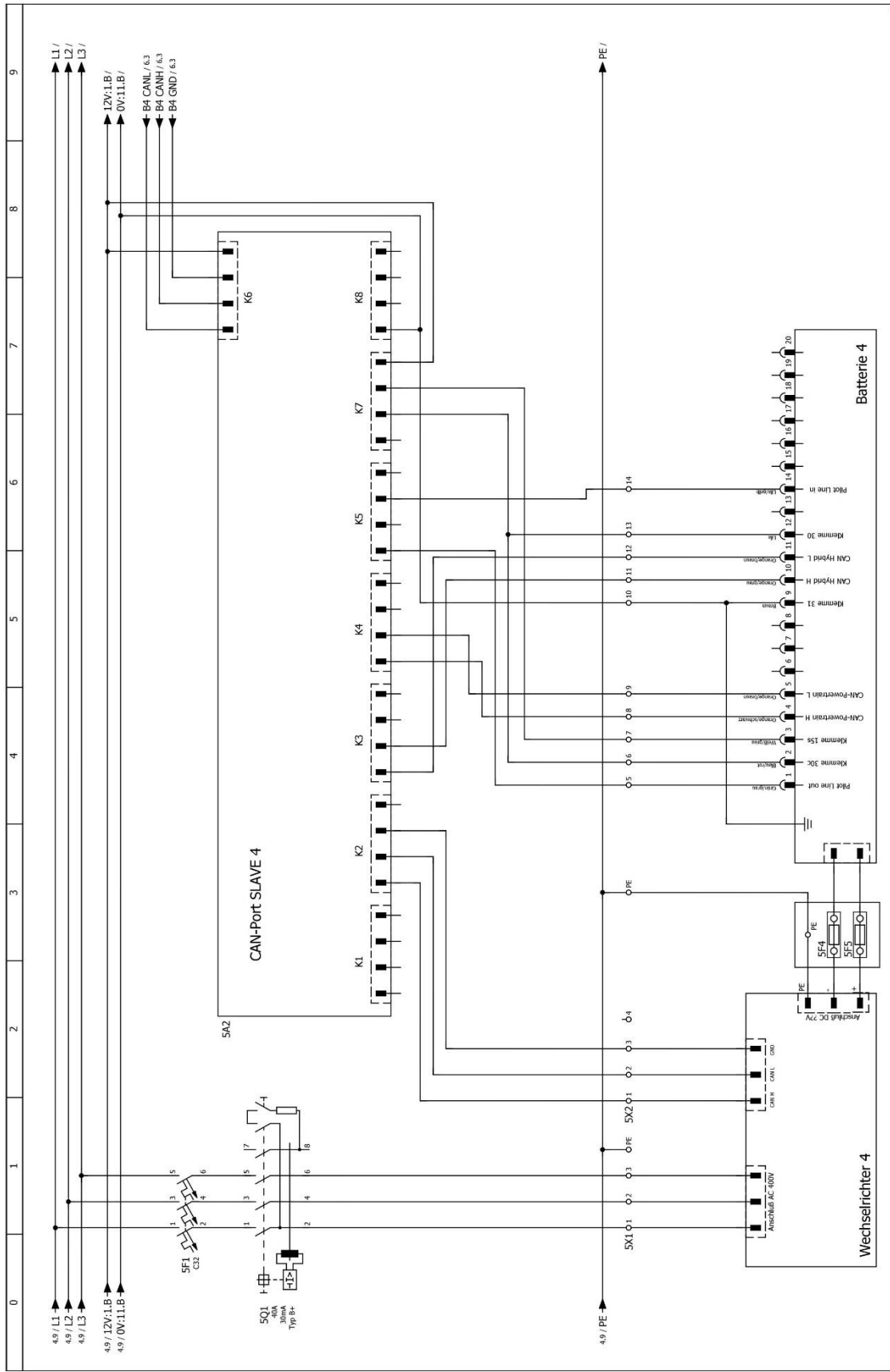
1



Dateiname		IEC_bas001	
Seite		2	
Dateiname		WR1 / Batterie 1	
Ersatz durch			
SWA			
Datum	09.07.2021		
Bearb.	Gerstner		
Gepr.			
Urspr.			
Name			
Datum			

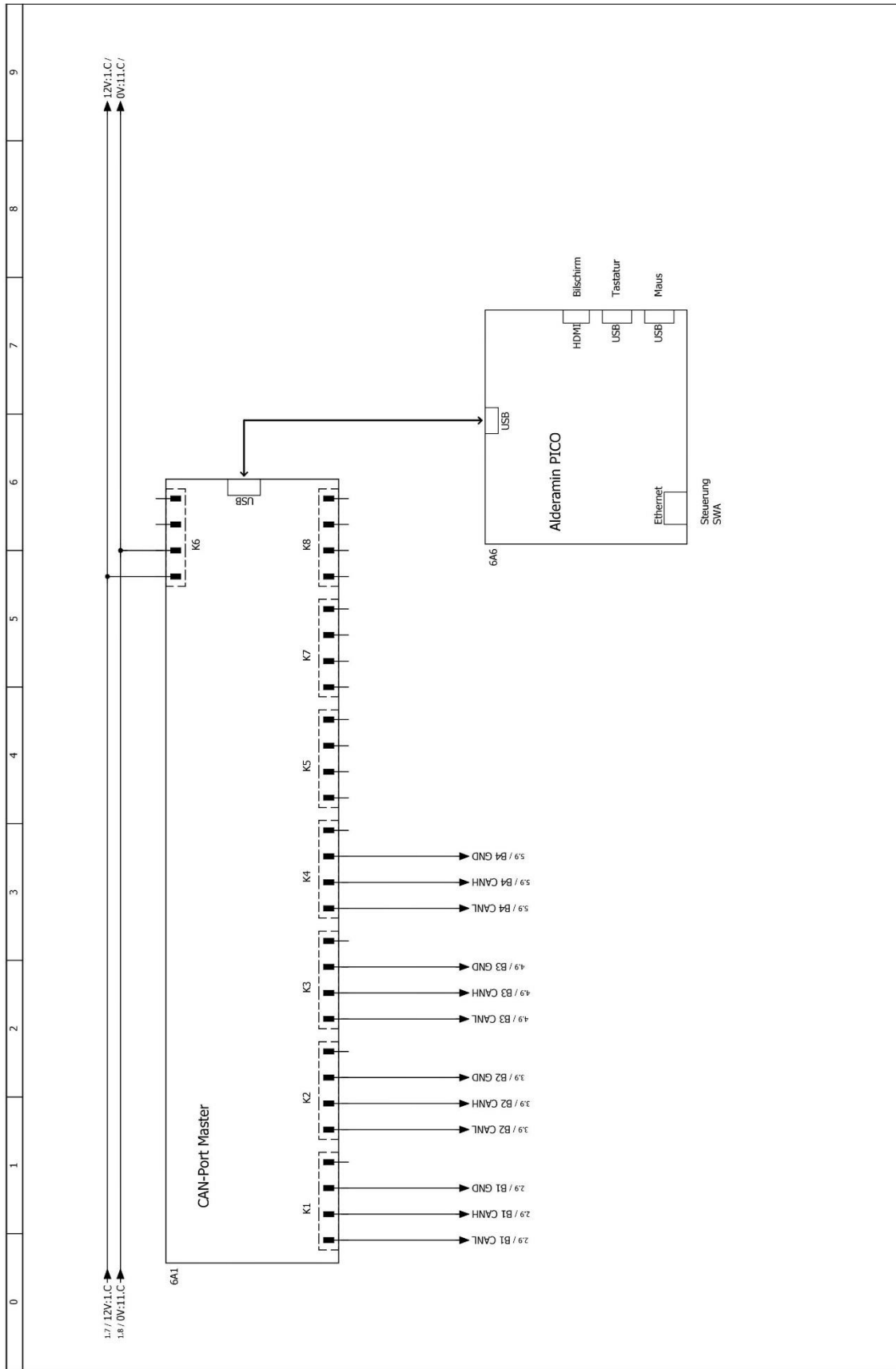


0		1		2		3		4		5		6		7		8		9	
2.9 / L1		2.9 / L2		2.9 / L3		2.9 / 12V/11A		2.9 / 0V/11A		12V/11A / 0V/11A /		B2 CANH / 6.1		B2 CANH / 6.1		B2 GND / 6.2			
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6		3X7		3X8	
40A		C32		01		02		03		04		05		06		07		08	
30mA		3F4		3F5		3F6		3F7		3F8		3F9		3F10		3F11		3F12	
Typ 01		PE		CANH		CANL		GND		PE		CANH		CANL		GND		PE	
301		3F1		3X1		3X2		3X3		3X4		3X5		3X6					



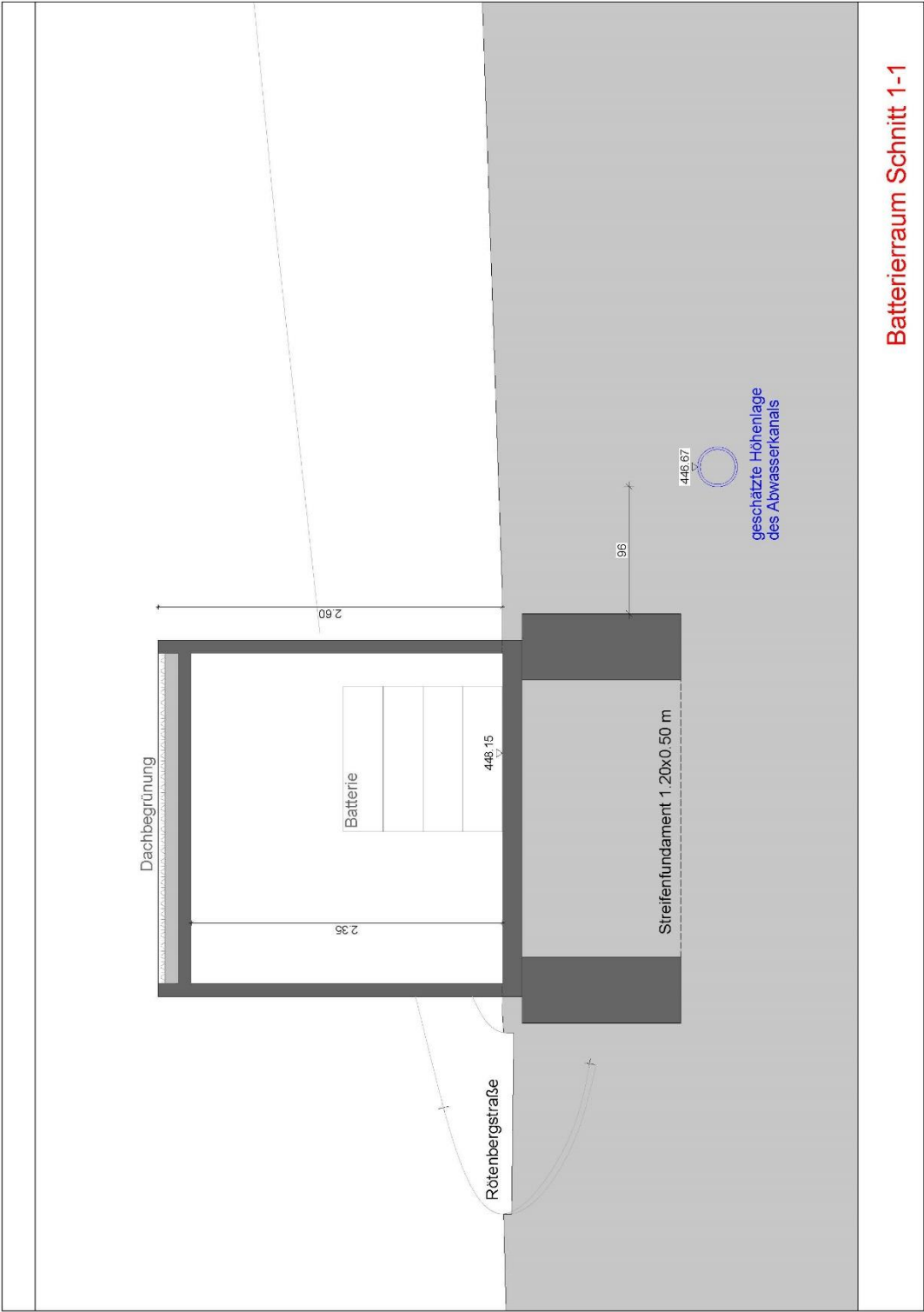
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
49 / L1									L1 /
49 / L2									L2 /
49 / L3									L3 /
49 / 12V:11.B									12V:11.B /
49 / 0V:11.B									0V:11.B /
									B4 CANH / 6.3
									B4 CANH / 6.3
									B4 GND / 6.3

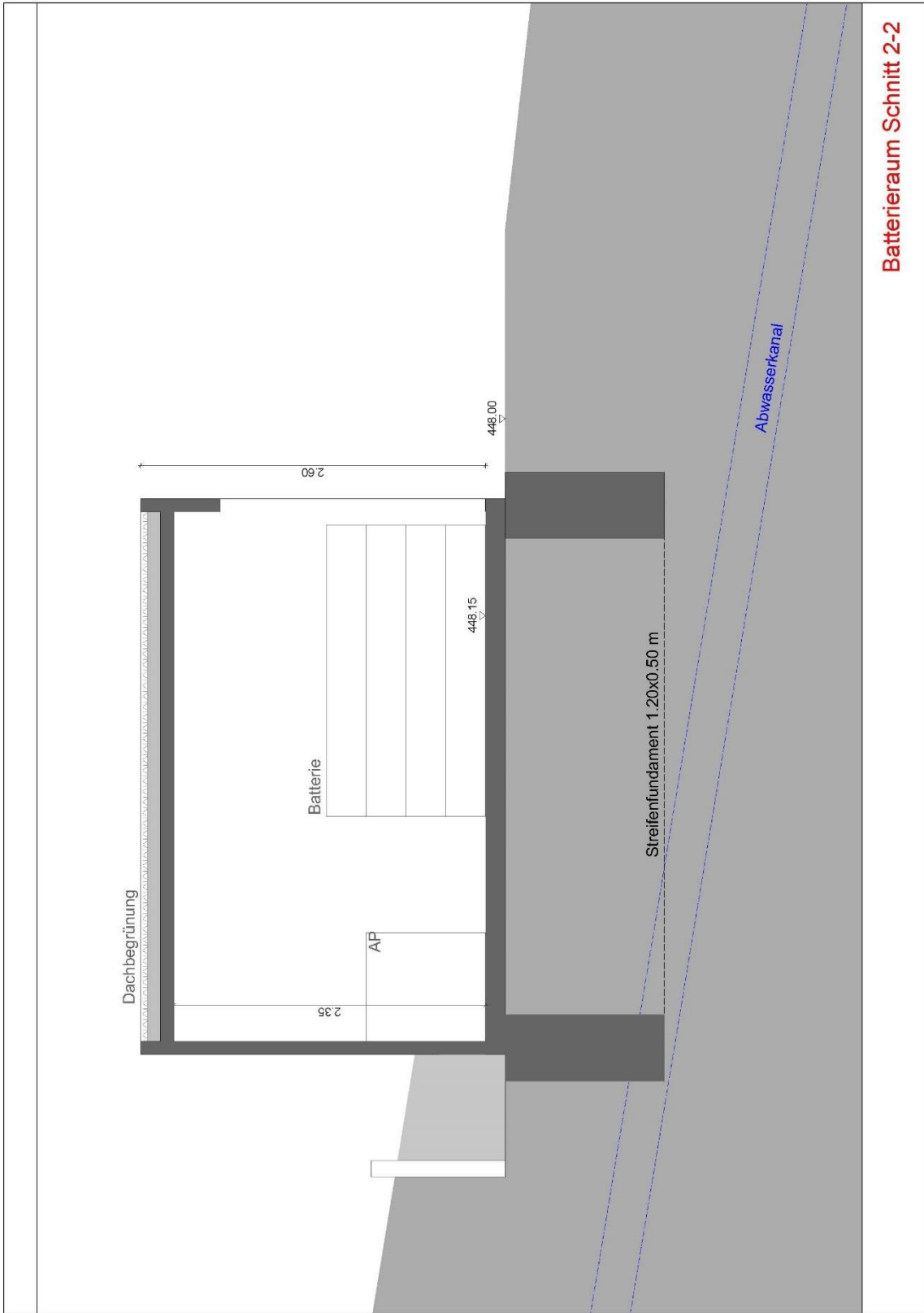
Datei		Name		Urspr		Ersatz von	
09.07.2021		SWA		Gentner		Ersatz durch	
Bearb.		Copr		Urspr		Ersatz durch	
Datum		Name		Urspr		Ersatz durch	
						IEC_bas001	
						Seite	
						5	



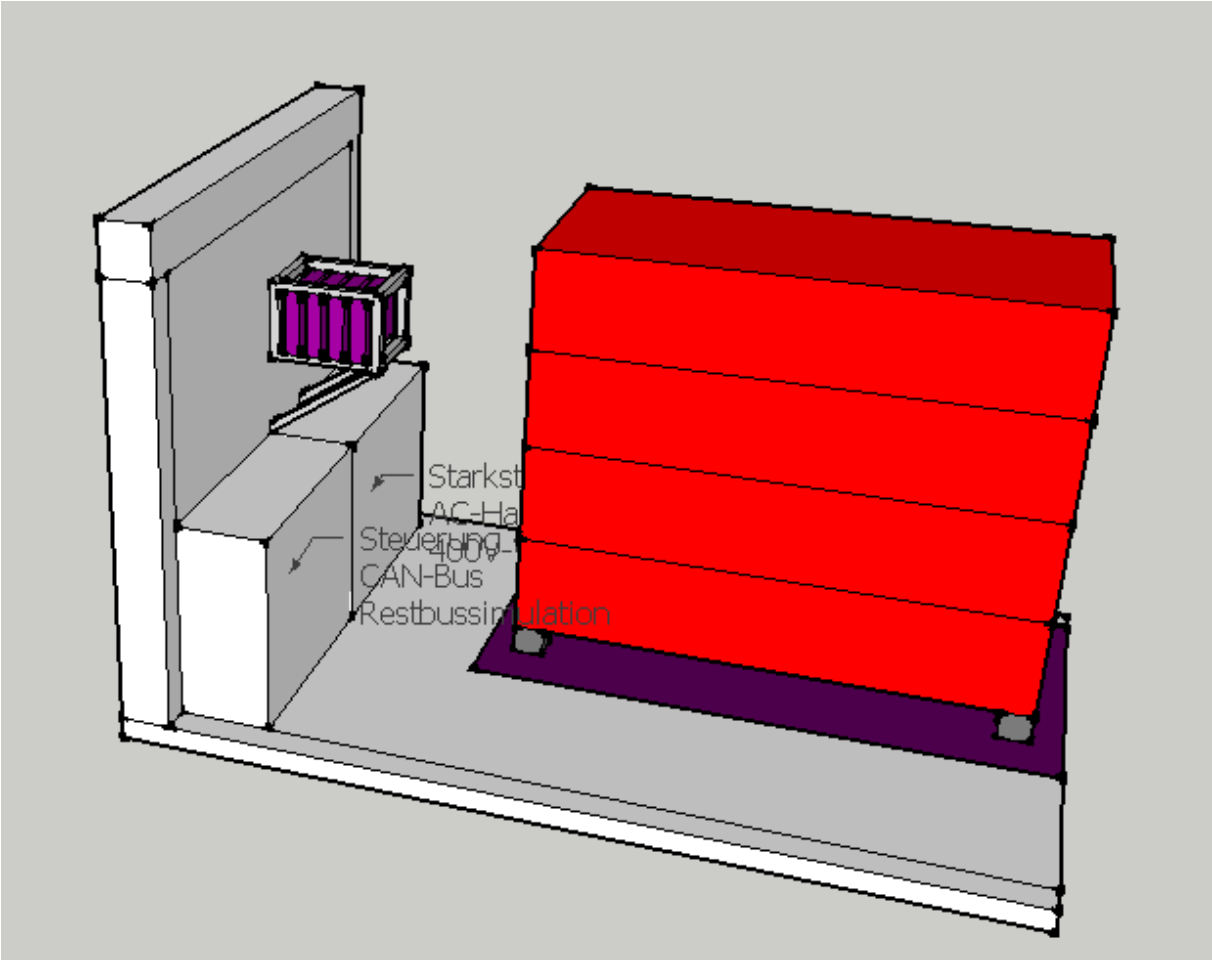
		Datum: Bearb.: Copr: Urspr:		08.07.2021 Gerthner		SWA		Ersatz von:		6	
				Steuerung PC / CAN Master				IEC_bas001		Seite	
										+	

17.2 Zeichnungen Batterieraum



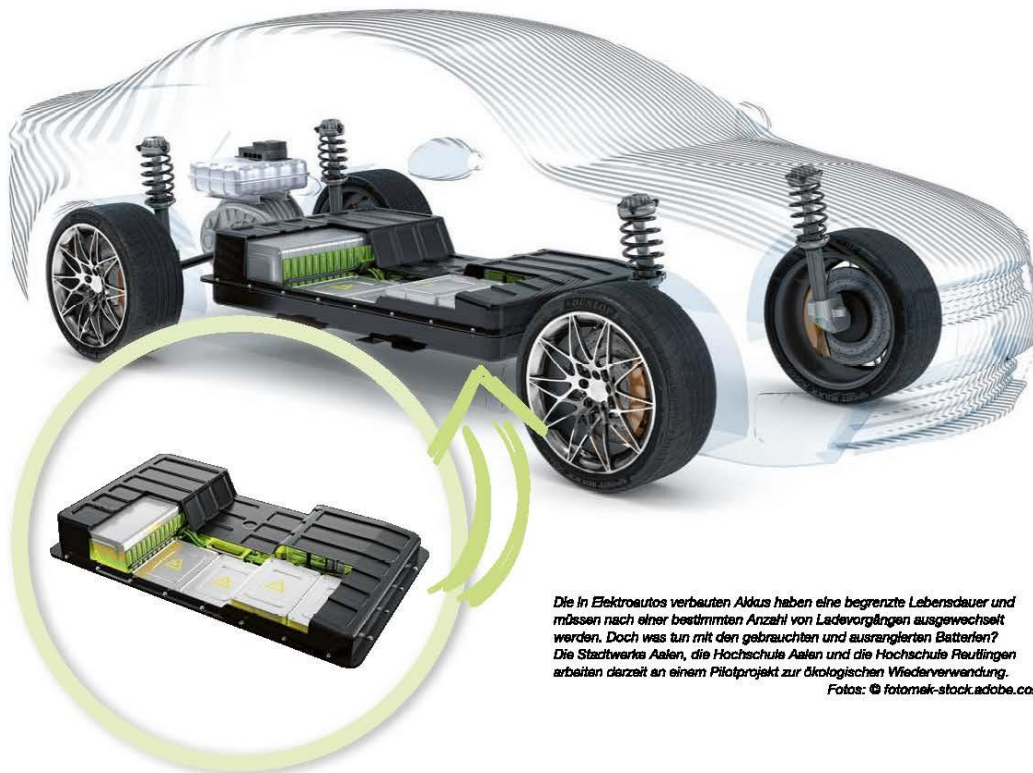


Batterieraum Schnitt 2-2



17.3 Presseartikel

17.3.1 Stadtwerke-Dialog vom 26.11.2019



Die in Elektroautos verbauten Akkus haben eine begrenzte Lebensdauer und müssen nach einer bestimmten Anzahl von Ladevorgängen ausgewechselt werden. Doch was tun mit den gebrauchten und ausgereagten Batterien? Die Stadtwerke Aalen, die Hochschule Aalen und die Hochschule Reutlingen arbeiten derzeit an einem Pilotprojekt zur ökologischen Wiederverwendung.

Fotos: © fotomak-stock.adobe.com

Der Ausbau der Elektromobilität in Deutschland ist ein hochaktuelles Thema und wird auch vom Gesetzgeber vorangetrieben. Mit Kaufprämien soll erreicht werden, dass der Verkauf von Elektroautos und damit auch die Nutzung derselben steigt. Mit zunehmender Verbreitung von Elektroautos stellt sich die Frage, was mit den gebrauchten und ausgereagten Batterien passieren soll. Es gibt bislang noch keinen wirtschaftlichen und massenhaft anwendbaren Prozess für das Recycling.

Hier setzt das gemeinsame Pilotprojekt der Stadtwerke Aalen und der beiden Hochschulen Aalen und Reutlingen an. Die Projektpartner wollen eine Weiterverwendung der

Batterien in einem stationären System, beispielsweise als Haus- oder Industriespeicher, untersuchen und wichtige Ergebnisse für die Praxis erhalten.

Stromspeicherung steht im Fokus

Neben der Wiederverwendung gebrauchter Batterien ist auch das Thema Stromspeicherung ein wichtiger Aspekt des Projekts. So wird lokal, zum Beispiel durch PV-Anlagen auf dem Dach, oft mehr Strom produziert als verbraucht. Eine Speicherung des erzeugten Stroms und die Nutzung bei Bedarf erscheinen sinnvoll. Wie kann Strom am besten gespeichert werden? Genau hier kommt das Projekt „SeLiG“ Second Life Batterien in Smart Grids ins Spiel. In Zukunft werden immer mehr Elektroautos

unterwegs sein. Deren Batterien werden normalerweise bei einer Restkapazität von 70 bis 80 Prozent ausgetauscht. Diese nicht mehr gebrauchten Batterien sollen sinnvoll wiederverwendet werden.

Bei dem Projekt „SeLiG“ wird untersucht, wie sich die Batterien aus den Elektroautos in intelligente Stromnetze, sogenannte Smart Grids, einbinden lassen können. Die Stadtwerke betreten damit Neuland und könnten auch das Problem mit den gebrauchten Batterien lösen. Denn deren Recycling ist bisher noch nicht geregelt.

Und so soll es funktionieren: Im Quartier Röntenberg baut die Wohnungsbau Aalen gerade sieben Wohnhäuser. Auf den Dächern werden

Photovoltaikanlagen installiert mit einer Nennleistung von 37 kWp und im Keller arbeitet ein Blockheizkraftwerk mit 40 kW elektrischer Leistung. In Spitzenzeiten, wenn die Sonne kräftig scheint und die Anlagen mehr Strom erzeugen als im Wohnquartier verbraucht wird, wird er in den gebrauchten Batterien aus einem Elektroauto gespeichert.

Für die Grundlastversorgung sorgt ein Blockheizkraftwerk, welches Strom und Wärme hocheffizient im Quartier erzeugt. Diesen dezentralen „Strom aus Ihrem Quartier“ von den Stadtwerken gibt es übrigens bereits. „OstalbStrom direkt“ bietet sowohl Bauherren, als auch Mietern und Wohnungseigentümern viele Vorteile. Die Nutzung von selbst produziertem Strom ist in der Regel auch oft noch günstiger als herkömmliche Stromtarife.

Hochschule betritt Neuland

Die Hochschule Aalen kümmert sich bei diesem Projekt um das Aus- und Einspeichern in die Batterie, also um die Steuerung und auch um die Fragen der Sicherheit. Auch die Hochschule betritt mit der Koordination des Speicherkonzepts Neuland. Die Projektleitung an der Hochschule Aalen liegt bei Frau Prof. Dr.-Ing. Martina Hofmann, Studiendekanin des Studienfachs Elektrotechnik und Leiterin des Labors für Erneuerbare Energien.

Für die Wissenschaftlerin ist die Aufgabenstellung „etwas ganz Besonderes“, das sei schon so etwas wie ein Sprung ins kalte Wasser. „Am

Anfang steht die Batterie, sie ist bei dem Projekt sozusagen unser Spielball.“

Die Suche nach Lösungen

An der Hochschule geht es in den kommenden Monaten darum, Lösungen etwa für die Kühlung und Belüftung der Batterien zu finden. Vereinfacht ausgedrückt geht es darum: Der Batterie, die aus dem Auto ausgebaut ist, wird vorgegault, sie sei noch im Fahrzeug und alles ist in Ordnung. Technisch sieht das so aus: Eine einzige Batterie könnte problemlos ein Fünf-Familienhaus versorgen. Und bei vollem Sonnenschein ist sie mit drei 12-Kilowatt-Peak-Photovoltaikanlagen in etwa einer Stunde wieder voll aufgeladen. Sehr wahrscheinlich halten die gebrauchten Batterien in einem vor Kälte, Witterung und Vibrationen geschützten Batteriespeicher deutlich länger als in einem E-Auto.



Das Projekt „SeLiG“ startete im Oktober 2019 und ist auf zwei Jahre angesetzt. Da das Projekt derzeit im Aufbau ist, sind momentan noch keine Studenten über Projekt- oder Studienarbeiten eingebunden. Das ist allerdings künftig geplant.

Neben den Ergebnissen des Projekts soll am Ende auch ein Leitfaden entstehen, der die Realisierbarkeit eines Second-Life-Speichers für den ländlichen Raum, mit Fokus auf Gemeinden und kleine sowie mittelgroße Unternehmen, beschreibt. Das Land Baden-Württemberg fördert das Projekt mit insgesamt 190.000 Euro.

Markus Lehmann

Info

Das Projekt auf einen Blick

Das Quartier Röttenberg umfasst sieben Gebäude und 71 Wohneinheiten. Bei dem „Wärmecontracting“ durch die Stadtwerke Aalen kommen dort zwei Blockheizkraftwerke mit jeweils 20 Kilowatt (elektrisch), ein Brennwert-Kessel mit 270 Kilowatt (thermisch) und drei Photovoltaikanlagen mit einer Nennleistung von insgesamt 37,5 kWp zum Einsatz.

Das Projekt „SeLiG“ verfolgt das Ziel, den im Quartier regenerativ gewonnenen Strom möglichst auch wieder vor Ort, über ein Intelligentes Speichersystem, zu verbrauchen. Dadurch lässt sich ein hoher Grad an Autarkie erreichen.

Info

Der Tarif „OstalbStrom direkt“ der SWA im Überblick

Bei diesem Tarif der Stadtwerke Aalen wird Strom mittels eines Blockheizkraftwerks oder über eine Solaranlage vor Ort für das Gebäude oder das Wohnquartier erzeugt, wo die Energie auch wieder verbraucht wird. Die Stadtwerke Aalen sind hierbei nicht nur kompetenter Ansprechpartner in Sachen Strom, sondern stehen den Gebäudeeigentümern oder Bauherren von Anfang an bei der Anlagenplanung und -installation zur Seite.

Das Service-Team der Stadtwerke Aalen berät Sie gerne unter: 07361/952-255, service@sw-aalen.de oder im KIZ.



Das Quartier Röttenberg in Aalen steht im Fokus des Projekts „SeLiG“.

Foto: Oliver Giers



CORONA
IM OSTALBKREIS

AKTIVE FÄLLE

1685

VERÄNDERUNG ZUM VORTAG

+ 124

7-TAGES-QUOTE

365,0 *

VERSTORBENE

446 *

Stand: 16. November 2021, 12:00 Uhr / * 7-Tage-Gesamtwertung (7-Tages-Gesamtwertung)

Aktive Corona-Fälle in den Gemeinden des Ostalbkreises

- Aalen 329 (+26)
- Abtsgmünd 31 (+1)
- Adelmannsfelden 3 (+1)
- Böpingen 99 (+10)
- Ellenberg 10 (-1)
- Esslingen (Jagst) 117 (+11)
- Esslingen 37 (+1)
- Hüttlingen 25 (+1)
- Jagstzell 11 (+1)
- Kirchheim am Ries 12 (+1)
- Löschheim 24 (+1)
- Neresheim 31 (+5)
- Neuler 13 (0)
- Oberkochen 24 (+4)
- Rainau 19 (0)
- Riesbürg 12 (+6)
- Rosenberg 3 (0)
- Schwäbisch Gmünd 301 (+29)
- Stödtlen 17 (0)

Autobatterien erhalten ein längeres Leben

Stadtwerke Aalen sowie die Hochschulen Aalen und Reutlingen versorgen Wohnquartier mit Strom

Von Timo Lämmerhirt

AALEN - Der Anteil der Elektroautos am gesamten Pkw-Bestand in Deutschland steigt weiter (aktuell 1,22 Prozent). Einer Prognose nach könnte der Anteil der Elektroautos am Gesamtbestand bis 2025 bereits 11,1 Prozent betragen (statista.com). In der Diskussion rund um diese E-Mobile kommt stets die Frage auf: Was geschieht denn dann hinterher mit den Batterien? Die Stadtwerke Aalen sowie die beiden Hochschulen Aalen und Reutlingen haben eine Antwort parat. Die ausragierten Batterien könnte man doch gut als Optimierung für Energienutzung verwenden. Gesagt, getan.

An diesem Montag nun stellten die Verantwortlichen das Forschungsprojekt vor, stattdessen optimistisch in den Probetrieb im Wohnquartier Röttenberg in Aalen. Werden die Batterien der Elektroautos nach ihrer Verwendung im Fahrzeug weiter verwendet, dann kann die jeweilige Nutzungsdauer theoretisch um das Doppelte verlängert werden. Vor Ort selbst erzeugte Energie wird besser genutzt, zudem wird das Netz entlastet. Das Projekt trägt den Namen „Second Life Speicher in Smart Grids“ oder kurz: SeLiG. Nach etwa sieben bis zehn Jahren werden aktuell Batterien aus den Autos genommen, verfügen in diesem Zustand dann aber noch über 70 bis 80 Prozent Restkapazität. Im Fall des Wohnquartiers handele es sich jedoch um Batterien einer Nüßler-Serie eines großen deutschen Autoherstellers, deswegen gehe man von einer längeren Lebensdauer aus. „Das wissen wir aber noch nicht genau“, sagt Martina Hofmann vom Lehrstuhl für erneuerbare Energien an der Hochschule Aalen schmunzelnd.

Riesiges Potenzial erschließe sich auch angesichts der Bestrebungen der Bundesregierung, bis 2030 bis zu zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland zulassen zu wollen, so



Die Verantwortlichen des Forschungsprojekts SeLiG, unter anderem Prof. Dr. Bernd Thomas (HS Reutlingen, Dritter von links), Prof. Dr. Martina Hofmann (HS Aalen, Vierte von rechts) sowie Norbert Saup, Prokurist der Stadtwerke Aalen (rechts neben Hofmann), vor dem Batterieraum am Wohnquartier Röttenberg. Foto: Stadtwerke

die Verantwortlichen. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit einer Elektroautobatterie ist diese Art der zweiten Nutzung wegweisend, denn die verwendeten Rohstoffe sind knapp und ein vollständiges Recycling ist noch nicht final entwickelt. „Diese Batterien, die hier verwendet werden, kann man ja hinterher immer noch recyceln“, ist Norbert Saup, Prokurist der Stadtwerke, sicher, dass es mittelfristig Lösungen geben werde. Bei dieser Zweitverwertung müsste man sich derlei Gedanken zumindest kurzfristig nicht machen. SeLiG wird im Rahmen eines Förderprojektes des Umweltministeriums Baden-

Württemberg finanziert. „Das Besondere: Wir nehmen die Batterien direkt aus den E-Autos, ohne sie zu öffnen. Dadurch entsteht natürlich sehr viel weniger Arbeit. Diese haben ihr eigenes Batteriemanagementsystem, es ist somit eine integrierte Lösung. Einfach, schnell und günstig“, freut sich Hofmann. „Lediglich die Ansteuerung für den stationären Betrieb wird entsprechend angepasst.“ Bevor man von der Röttenbergstraße in den Saumweg abbiegt, sieht man das kleine Kraftwerk, was in einer Art Garage verankert wurde – Batterieraum genannt. Die jeweiligen Batterien sind übereinander in einem Metallwagen gestapelt. Konkret haben sie die Aufgabe, überschüssige Energie aus Photovoltaik-Anlagen und Blockheizkraftwerken aufzunehmen und bei Bedarf wieder an das 71 Wohnungen (in sieben Häusern) umfassende Wohnquartier abzugeben.

Mit der Optimierung befasst sich die Hochschule Reutlingen, die tagsaktuell auf das System zugreifen und die Zahlen entsprechend auswerten kann. Der seit Oktober laufende Testbetrieb laufe bislang problemlos. Die Batterien werden nun in den kommenden zehn Jahren, so prognostizieren es die Verantwortlichen,

als Zwischenspeicher dafür sorgen, dass die weitgehend klimaneutral über drei Photovoltaik-Anlagen und zwei Blockheizkraftwerke gewonnene elektrische Energie optimal genutzt wird. „Ich sehe das durchaus auch als Business-Case. Basierend auf den Ergebnissen soll ein Geschäftsmodell entwickelt werden, um künftig optimierte Quartierlösungen anbieten zu können“, sagt Saup. Ziel in einem solchen Quartier ist es, möglichst wenig elektrische Energie mit dem öffentlichen Netz auszutauschen. Das soll längerfristig dazu dienen, Kosten für elektrische Energie einzusparen.

Autor: Von Timo Lämmlein
Seite: 13

Ressort: Lokals
 * von BMG gewechselt 07/2021
 * von BMG gewechselt 07/2021

Mediengattung: Tageszeitung
Auflage: 2.775 (gedruckt) + 2.540 (verkauft) +
 2.650 (verkauft) +
Reichweite: 0,014 (in Mio.)²

Autobatterien erhalten ein längeres Leben

Stadtwerke Aalen sowie die Hochschulen Aalen und Reutlingen versorgen Wohnquartier mit Strom

Der Anteil der Elektroautos am gesamten Pkw-Bestand in Deutschland steigt weiter (aktuell 1,22 Prozent). Einer Prognose nach könnte der Anteil der Elektroautos am Gesamtbestand bis 2025 bereits 11,1 Prozent betragen (statista.com). In der Diskussion rund um diese E-Mobile kommt stets die Frage auf: Was geschieht denn dann hinterher mit den Batterien? Die Stadtwerke Aalen sowie die beiden Hochschulen Aalen und Reutlingen haben eine Antwort parat. Die ausgangierten Batterien könnte man doch gut als Optimierung für Energienutzung verwenden. Gesagt, getan.

An diesem Montag nun stellen die Verantwortlichen das Forschungsprojekt vor, starteten optimistisch in den Probebetrieb im Wohnquartier Röttenberg in Aalen. Werden die Batterien der Elektroautos nach ihrer Verwendung im Fahrzeug weiter verwendet, dann kann die jeweilige Nutzungsdauer theoretisch um das Doppelte verlängert werden. Vor Ort selbst erzeugte Energie wird besser genutzt, zudem wird das Netz entlastet. Das Projekt trägt den Namen „Second Life Speicher in Smart Grids“ oder kurz: SeLiG. Nach etwa sieben bis zehn Jahren werden aktuell Batterien aus den Autos genommen, verfügen in diesem Zustand dann aber noch über 70 bis 80 Prozent Restkapazität. Im Fall des Wohnquartiers handele es sich jedoch um Batterien einer Mülser-Serie eines großen deutschen Autoherstellers, des-

wegen gehe man von einer längeren Lebensdauer aus. „Das wissen wir aber noch nicht genau“, sagt Martina Hofmann vom Lehrstuhl für erneuerbare Energien an der Hochschule Aalen schmunzelnd.

Riesiges Potenzial erschließe sich auch angesichts der Bestrebungen der Bundesregierung, bis 2030 bis zu zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland zulassen zu wollen, so die Verantwortlichen. Im Hinblick auf die Nachhaltigkeit einer Elektroautobatterie ist diese Art der zweiten Nutzung wegweisend, denn die verwendeten Rohstoffe sind knapp und ein vollständiges Recycling ist noch nicht final entwickelt. „Diese Batterien, die hier verwendet werden, kann man ja hinterher immer noch recyceln“, ist Norbert Saup, Prokurist der Stadtwerke, sicher, dass es mittelfristig Lösungen geben werde. Bei dieser Zweitverwertung müsste man sich derlei Gedanken zumindest kurzfristig nicht machen. SeLiG wird im Rahmen eines Förderprojektes des Umweltministeriums Baden-Württemberg finanziert. „Das Besondere: Wir nehmen die Batterien direkt aus den E-Autos, ohne sie zu öffnen. Dadurch entsteht natürlich sehr viel weniger Arbeit. Diese haben ihr eigenes Batteriemanagementsystem, es ist somit eine integrierte Lösung. Einfach, schnell und günstig“, freut sich Hofmann. „Lediglich die Ansteuerung für den stationären Betrieb wird entsprechend angepasst.“ Bevor man von der

Röttenbergstraße in den Saumweg abbiegt, sieht man das kleine Kraftwerk, was in einer Art Garage verankert wurde – Batterierum genannt. Die jeweiligen Batterien sind übereinander, in einem Metallwagen, gestapelt. Konkrete haben sie die Aufgabe, überschüssige Energie aus Photovoltaik-Anlagen und Blockheizkraftwerken aufzunehmen und bei Bedarf wieder an das 71 Wohnungen (in sieben Häusern) umfassende Wohnquartier abzugeben.

Mit der Optimierung befasst sich die Hochschule Reutlingen, die tagesaktuell auf das System zugreifen und die Zahlen entsprechend auswerten kann. Der seit Oktober laufende Testbetrieb laufe bislang problemlos. Die Batterien werden nun in den kommenden zehn Jahren, so prognostizieren es die Verantwortlichen, als Zwischenspeicher dafür sorgen, dass die weitgehend klimaneutral über drei Photovoltaik-Anlagen und zwei Blockheizkraftwerke gewonnene elektrische Energie optimal genutzt wird. „Ich sehe das durchaus auch als Business-Case. Basierend auf den Ergebnissen soll ein Geschäftsmodell entwickelt werden, um künftig optimierte Quartierslösungen anbieten zu können“, sagt Saup. Ziel in einem solchen Quartier ist es, möglichst wenig elektrische Energie mit dem öffentlichen Netz auszutauschen. Das soll langfristig dazu dienen, Kosten für elektrische Energie einzusparen.

Abbildung: Die Verantwortlichen des Forschungsprojektes SeLiG, unter anderem Prof. Dr. Bernd Thomas (HS Reutlingen, Dritte von links), Prof. Dr. Martina Hofmann (HS Aalen, Vierte von rechts) sowie Norbert Saup, Prokurist der Stadtwerke Aalen (rechts neben Hofmann), vor dem Batterierum am Wohnquartier Röttenberg.

Ganzseiten-PDF: SV_20211116_aa01aa1.pdf
Wörter: 587
Ort: Aalen

Batterien leben zweimal

Wohnquartier Röttenberg Die Hochschule Aalen und Reutlingen sowie die Stadtwerke Aalen nutzen ausgediente E-Auto-Batterien als Energiespeicher. *Von Bernhard Hampf*

Aalen

Ausgediente Elektroauto-Batterien wegwerfen, zerlegen oder gar verbrennen? Nicht nötig: Im neuen Aalener Wohnquartier Röttenberg speichern drei Batterien, die früher in Testfahrzeugen von Volkswagen steckten, jetzt den überschüssigen Strom von drei Blockheizkraftwerken und drei Photovoltaikanlagen. Ein Forschungsprojekt der Hochschulen Aalen und

„Wir verwenden die Original-Batterien so, wie sie sind.“

Prof. Dr. Martina Hoffmann
Hochschule Aalen

Reutlingen sowie der Stadtwerke Aalen ermöglicht den Batterien nun ein zweites Leben: Damit sind sie rund 20 statt bisher zehn Jahre einsetzbar.

Untergebracht sind die E-Auto-Batterien in einer Art Traföhäuschen am Rand des Quartiers Röttenberg. Die Wohnungsbau Aalen hat hier sieben Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 71 Wohnungen erstellt. Die Batterien sind auf standardisierten Regalsystemen mit Rollen gestapelt und an das Netz der Wohnsiedlung angebunden. So können sie den überschüssigen Strom aufnehmen und bei Bedarf wieder an die Haushalte abgeben. „Ziel ist, möglichst wenig elektrische Energie mit dem öffentlichen Netz auszutauschen“, sagt Norbert Saup, Prokurist der



Am Röttenberg in Aalen sind die Second-Life-Speicher ans Netz gegangen (von links): Florian Schirke (Hochschule Aalen), Falko Tutsch, Prof. Dr. Bernd Thomas (beide HS Reutlingen), Fabian Zippel und Manuel Hamik, Prof. Dr. Martina Hoffmann (alle HS Aalen), Norbert Saup, Volker Fischer und Christian Mayer (alle Stadtwerke Aalen). *Foto: apo*

Stadtwerke Aalen. Dieses Ziel sei bereits im Testbetrieb, der nun seit etwa einer Woche läuft, erreicht worden.

Auch mit 70 Prozent Kapazität noch wirtschaftlich nutzbar

In E-Autos haben die Batterien bereits ausgedient, wenn sie nur noch 70 bis 80 Prozent ihrer Restkapazität erbringen: Hier ist volle Leistung nötig. Ganz anders in ihrem zweiten Leben als Energiespeicher – unter milderen Lade- und Entladebedingungen. Sie werden nicht vollständig aufgeladen, nicht vollständig entladen und mit geringerer Last betrieben.

Was die Anlage, die im Projekt „Second Life Speicher in Smart Grids“ am Lehrstuhl für Erneuerbare Energien der Hochschule Aalen entwickelt wurde, einzigartig, nachhaltig und wirtschaftlich

macht: Hier können die ausgedienten Batterien als Ganzes verwendet werden und müssen nicht in Einzelteile zerlegt werden. „Die Batterien sind ja auch als Ganzes getestet und zertifiziert“, betont Prof. Dr. Martina Hoffmann, Leiterin des Aalener Lehrstuhls. Sie beschreibt die Herausforderung, diese Batterien an das Stromnetz anzubinden: „Sie besitzen ein eigenes Managementsystem, das ganz auf ein Auto ausgerichtet ist. Wir mussten den Batterien vorgaukeln, dass sie weiterhin in Autos verbaut sind.“

Weiterer Partner in dem Forschungsprojekt, das vom Landesumweltministerium gefördert wird, ist die Hochschule Reutlingen. Sie erhebt aus dem Betrieb der Speicher Prognosedaten für die Stromerzeugung und den Stromverbrauch. So kann im

Voraus berechnet werden, wann es sinnvoll ist, die Blockheizkraftwerk in Betrieb zu nehmen oder die PV-Anlagen zu nutzen und die Anlage damit optimal zu steuern.

Für Martina Hoffmann ist die Technologie, die sich skalieren – also erweitern – lässt, auch eine Art, die Zeit zu überbrücken, bis wirtschaftlich und ökologisch sinnvolles, vollständiges Recyclen der E-Auto-Batterien möglich ist. Immerhin sind die verwendeten Rohstoffe teils sehr knapp. Und es sollen nach den Plänen der Bundesregierung bis 2030 zwischen sieben und zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland neu zugelassen werden. „Bei uns liegen auf dem Hof noch einige Batterien“, zeigt sich Norbert Saup von den Stadtwerken offen für weitere Pilotprojekte.

Seite: 31
 Ressort: Regionale Wirtschaft

Mediengattung: Tageszeitung
 Auflage: 21.076 (gedruckt) + 25.551 (verkauf) +
 26.064 (verbreitet)
 Reichweite: 0,029 (in Mio.)²

Rubrik: Gesamtausgabe
 Ausgabe: Hauptausgabe
 * MW 2021

² AQM, m 2021, Tageszeitungen

Batterien leben zweimal

Wohnquartier Röttenberg Die Hochschule Aalen und Reutlingen sowie die Stadtwerke Aalen nutzen ausgediente E-Auto-Batterien als Energiespeicher. Von Bernhard Hampp

Aalen Ausgediente Elektroauto-Batterien wegwerfen, zerlegen oder gar verbrennen? Nicht nötig: Im neuen Aalener Wohnquartier Röttenberg speichern drei Batterien, die früher in Testfahrzeugen von Volkswagen steckten, jetzt den überschüssigen Strom von drei Blockheizkraftwerken und drei Photovoltaikanlagen. Ein Forschungsprojekt der Hochschulen Aalen und Reutlingen sowie der Stadtwerke Aalen ermöglicht den Batterien nun ein zweites Leben: Damit sind sie rund 20 statt bisher zehn Jahre einsetzbar. Untergebracht sind die E-Auto-Batterien in einer Art Trafohäuschen am Rand des Quartiers Röttenberg. Die Wohnungsbau Aalen hat hier sieben Mehrfamilienhäuser mit insgesamt 71 Wohnungen erstellt. Die Batterien sind auf standardisierten Regalsystemen mit Rollen gestapelt und an das Netz der Wohnsiedlung angebunden. So können sie den überschüssigen Strom aufnehmen und bei Bedarf wieder an die Haushalte abgeben. "Ziel ist, möglichst wenig elektrische Energie mit dem öffentlichen Netz auszutauschen", sagt Norbert Saup, Prokurist der Stadtwerke Aalen. Dieses Ziel sei bereits im Testbetrieb, der nun seit etwa einer Woche läuft, erreicht worden. Auch mit 70 Prozent Kapazität noch wirtschaftlich nutzbar. In E-Autos haben die Batterien

bereits ausgedient, wenn sie nur noch 70 bis 80 Prozent ihrer Restkapazität erbringen: Hier ist volle Leistung nötig. Ganz anders in ihrem zweiten Leben als Energiespeicher - unter milderem Lade- und Entladebedingungen. Sie werden nicht vollständig aufgeladen, nicht vollständig entladen und mit geringerer Last betrieben. Was die Anlage, die im Projekt "Second Life Speicher in Smart Grids" am Lehrstuhl für Erneuerbare Energien der Hochschule Aalen entwickelt wurde, einzigartig, nachhaltig und wirtschaftlich macht: Hier können die ausgedienten Batterien als Ganzes verwendet werden und müssen nicht in Einzelteile zerlegt werden. "Die Batterien sind ja auch als Ganzes getestet und zertifiziert", betont Prof. Dr. Martina Hoffmann, Leiterin des Aalener Lehrstuhls. Sie beschreibt die Herausforderung, diese Batterien an das Stromnetz anzubinden: "Sie besitzen ein eigenes Managementsystem, das ganz auf ein Auto ausgerichtet ist. Wir mussten den Batterien vorgaukeln, dass sie weiterhin in Autos verbaut sind." Weiterer Partner in dem Forschungsprojekt, das vom Landesumweltministerium gefördert wird, ist die Hochschule Reutlingen. Sie erhebt aus dem Betrieb der Speicher Prognosedaten für die Stromerzeugung und den Stromverbrauch. So kann im

Voraus berechnet werden, wann es sinnvoll ist, die Blockheizkraftwerk in Betrieb zu nehmen oder die PV-Anlagen zu nutzen und die Anlage damit optimal zu steuern. Für Martina Hoffmann ist die Technologie, die sich skalieren - also erweitern - lässt, auch eine Art, die Zeit zu überbrücken, bis wirtschaftlich und ökologisch sinnvolles, vollständiges Recyclen der E-Auto-Batterien möglich ist. Immerhin sind die verwendeten Rohstoffe teils sehr knapp. Und es sollen nach den Plänen der Bundesregierung bis 2030 zwischen sieben und zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland neu zugelassen werden. "Bei uns liegen auf dem Hof noch einige Batterien", zeigt sich Norbert Saup von den Stadtwerken offen für weitere Pilotprojekte. Wir verwenden die Original-Batterien so, wie sie sind." Prof. Dr. Martina Hoffmann Hochschule Aalen Am Röttenberg in Aalen sind die Second-Life-Speicher ans Netz gegangen (von links): Florian Schürke (Hochschule Aalen), Falko Tutsch, Prof. Dr. Bernd Thomas (beide H5 Reutlingen), Fabian Zippel und Manuel Hamik, Prof. Dr. Martina Hoffmann (alle H5 Aalen), Norbert Saup, Volker Fischer und Christian Mayer (alle Stadtwerke Aalen). Foto: opo

Ganzseiten-PDF: 2021.11.16_SPG T.GT.0031.pdf
 Wörter: 508

© 2021 FMG Presse-Mockup GmbH



RIESIGES POTENZIAL

Auch im neuen Aalener Wohnquartier Röttenberg kommen die Batterien zum Einsatz – 71 Wohnungen profitieren in der Siedlung von dieser Lösung, die schon einem Stromausfall standhält.



Bis vor drei Jahren war das Aalbäumle ein beliebtes Wanderziel mitten im Langert, einem Teil des Aalener Stadtwaldes. Seit 1898 konnte man sich vom dortigen 26 Meter hohen Holzturm an der Aussicht weit über die Ostalb erfreuen – und sich im Anschluss im Biergarten von den Strapazen der Wanderung erholen. Doch es wurde still im Wald. Ein Sanierungstau vergällte der langjährigen Pächterin die Lust am Weiterbetrieb der Wirtschaft. Auch die Malteser, die zunächst übernahmen, gaben angesichts der Corona-Pandemie bald auf.

Das Problem: Wie gewährleistet man bei der Überholung des beliebten Ausflugsziels die Energieversorgung weitab vom öffentlichen Stromnetz, auf der Basis noch tragbarer Kosten? Im Aalener Gemeinderat wurde dies intensiv diskutiert. Die Lösung fand sich schließlich nach Rücksprache mit Prof. Dr. Martina Hofmann von der Hochschule Aalen, der Inhaberin des Stiftungslehrstuhls für Erneuerbare Energien und gleichzeitigen Transferunternehmerin beim Steinbeis-Transferzentrum Energiesysteme. Im Fokus der Lösung stand das vom Umweltministerium Baden-Württemberg finanzierte Förderprojekt »Second-Life-Speicher in Smart Grids« (SeLiG) – ein zweites Leben für Elektroauto-Batterien. Werden diese nach ihrem Gebrauch weiter als Energiespeicher genutzt, kann ihre Nutzungsdauer um etwa das Doppelte verlängert werden. Normalerweise entnimmt man sie nach sieben bis zehn Jahren aus dem Auto bei einer Restkapazität von rund 70 bis 80 Prozent.

Im Forschungsprojekt SeLiG untersuchten das Team der Hochschule Aalen mit den Stadtwerken Aalen und der Hochschule Reutlingen als Kooperationspartner, wie die Batterien in stationärer Umgebung weiterbetrieben werden können. So kann selbst erzeugte Energie genutzt und das Stromnetz entlastet werden. Am Aalbäumle können



Das Besondere ist, dass wir die Original-Batterien so, wie sie sind, verwenden. Das Zerlegen in Bestandteile entfällt.

FLORIAN SCHIRLE

die Batterien die auf dem Dach mithilfe von Photovoltaikmodulen gewonnene Sonnenenergie speichern – und dann abgeben, wenn sie benötigt wird. Sie sind also bestens für die erforderliche Autarkie geeignet. Reicht die Energie nicht, unterstützt ein mit Rapsöl betriebenes Notstromaggregat. Es startet mit Bio-Diesel und schaltet direkt danach auf den Betrieb mit Rapsöl um.

Markus Haas, Amtsleiter Gebäudewirtschaft der Stadt Aalen, freut sich: »Drei Elektroautomobilbatterien sind verbaut, der Generator bewahrt uns vor Stromausfällen. Auch die Photovoltaik-Anlage ist installiert – endlich können wir am Aalbäumle wieder Gäste empfangen.« Ein neuer Pächter für den Kiosk wurde ebenfalls gefunden, die Küche wurde erneuert, die sanitären Einrichtungen sind instandgesetzt. Der Aussichtsturm wird ebenfalls modernisiert. Ab 2023 wird das Aalbäumle sozusagen komplett neu geplant. Nur das Wasser für die Küche und die sanitären Einrichtungen muss bis auf Weiteres per Fass angeliefert werden.

Auch im neuen Aalener Wohnquartier Röttenberg kommen die Batterien im Rahmen des Forschungsprojektes zum Einsatz. Dort speichern nun vier Stück die Energie für ein ganzes Wohnquartier. 71 Wohnungen profitieren in der neuen Siedlung von dieser Lösung, die schon einem Stromausfall standhält. Die Batterien erlauben die optimale Nutzung der weitgehend klimaneutral über drei



Photovoltaik-Anlagen und zwei Blockheizkraftwerke gewonnenen elektrischen Energie. In einem extra Batterieraum wurden sie Ende 2021 in Betrieb genommen und erfüllen seitdem störungsfrei ihre Aufgabe.

Das riesige Potenzial an Ressourceneffizienz ist offensichtlich – gerade in Anbetracht der Pläne der Bundesregierung, bis 2030 bis zu zehn Millionen Elektrofahrzeuge in Deutschland neu zuzulassen. Die zweite Nutzung ist wegweisend, denn schließlich sind Rohstoffe knapp und ein vollständiges Recycling noch nicht fertig entwickelt. Der seit Oktober 2021 laufende Testbetrieb der Batterien im Röttenberg-Quartier verläuft problemlos.



Das Konzept bietet eine Lösung, wie auf die große Anzahl gebrauchter Batterien von Elektrofahrzeugen reagiert werden kann.

MANUEL HAMIK

In den nächsten zehn Jahren dienen sie als Zwischenspeicher, sodass die über drei Photovoltaik-Anlagen und zwei Blockheizkraftwerke gewonnene elektrische Energie optimal genutzt wird. Das ist nachhaltig – genauso wie auch die Idee, daraus ein Geschäftsmodell zu entwickeln, um künftig Lösungen für weitere Quartiere anbieten zu können.

TEXT EVA STENDEL // BILDER JAN WALFORD

17.4 Datenblätter

17.4.1 Datenblatt Industrie PC – Alderamin Pico

WELOTEC

INDUSTRIE PC / EMBEDDED PC

Alderamin-pico-2262-1-3955 - Lüfterloses System

Artikelnummer: Alderamin-pico-2262-1-3955



Industrie PC, Lüfterlos, CPU Typ: Intel® Celeron™ 3955U Prozessor, CPU Taktfrequenz: 2 GHz, 2 CPU Kerne, L2 Cache: 3 MB, Taktfrequenz: 2133 MHz

ALLGEMEINE DATEN	
Typ	Industrie PC
Serie	Alderamin-pico
Einschaltknopf	Ja
Resetknopf	Nein
Kühlung	Lüfterlos
CPU	
CPU Typ	Intel® Celeron® Prozessor 3955U
CPU Generation	Skylake
CPU Familie	Intel® Celeron™
CPU Sockel	Aufgelötet
CPU Taktfrequenz	2,00 GHz
CPU Taktfrequenz max.	2,00 GHz
CPU Kerne	2
L2 Cache	3 MB
Hyperthreading	Ja
Embedded	Ja
ARBEITSSPEICHER / RAM	
Sockettyp	SO-DIMM
Anzahl Slots	0
Speichertyp	DDR4
ECC	Nein
Taktfrequenz	2133 MHz
Spannung	1,2 V
Kapazität	32 GB

CAT-Alderamin-pico-2262-1-3955-V1 ed. 07/17 Welotec GmbH

WELOTEC

Zum Hagenbach 7 • D-48366 Laer • Fon: +49 (0)2554/9130-00 • Fax: +49 (0)2554/9130-10 • info@welotec.com
www.welotec.com

1

INDUSTRIE PC / EMBEDDED PC
Alderamin-pico-2262-1-3955 - Lüfterloses System

MASSENSPEICHER	
Bays 2.5 Zoll	1
Steckplatz mSATA	1
Steckplatz m2	1
Interface für Bays	SATA 3.0
Anzahl Anschlüsse für Bays	1
GRAFIK	
Grafik Typ	On board integriert
Grafik Chip (GPU)	Intel® HD Graphics 510
Grafikspeicher	Shared
Direct X Level	Level 12
OpenGL	4.4
HDMI	1
Display Port	1
Anzahl gleichzeitiger Displays	2
Auflösung max.	3840 x 2160
WEITERE SCHNITTSTELLEN	
RS-232	2 (optional)
RS-232/422/485	2
USB 2.0	2
USB 3.0	4
Line-in	1
Line-out	1
mPCIe Full Size	1
ETHERNET	
Anschluss TX	RJ45
10/100/1000BaseTX Ports	2
VERSORGUNGSSPANNUNG	
Versorgungsspannung V DC	12 - 30 V
Versorgungsspannung Anschluss	DC IN +19 V
Leistung Netzteil	90 W
PHYSIKALISCHE EIGENSCHAFTEN	
Gehäusematerial	Aluminium
Gehäusefarbe	Schwarz
Schutzklasse	IP20
Abmessungen (B x H x T)	200 x 198 x 69 mm
Befestigung	Wandmontage / VESA / Hutschienenmontage (optional)
UMGEBUNGSBEDINGUNGEN	
Einsatztemperaturbereich	-5 - +60°C
Lagertemperaturbereich	-20 - +80°C
Luftfeuchtigkeit	20 - 95 %
KONFORMITÄT UND ZERTIFIZIERUNGEN	
CE	Ja
FCC	Class A

CAT-Alderamin-pico-2262-1-3955-V1 ed. 07/17 Welotec GmbH

Elektronischer Drehstromzähler AS1440

Elektronischer Elektrizitätszähler für Haushalts- und Kleingewerbeanwendungen

Mit der Deregulierung im Bereich der Stromversorgung und der dadurch veränderten Kostensituation gibt es neue Aufgabenstellungen in der Energiewirtschaft. Die Fernauslesung und die damit verbundene Standardisierung gewinnt immer mehr an Bedeutung. Mit dem AS1440 Zähler wurden die Voraussetzungen geschaffen, diese Aufgabenstellungen umfassend zu lösen.

Der AS1440 Zähler ist sowohl als Direkt- als auch für Messwandleranschluss lieferbar und entspricht den einschlägigen EN- bzw. IEC-Normen für elektronische Elektrizitätszähler sowie der europäischen Messgeräterichtlinie (MID). Der Zähler ist baumustergeprüft und wird mit einer Konformitätserklärung nach der MID ausgeliefert.

Merkmale

- Hohe Messgenauigkeit und Messbeständigkeit
- Effizienter Prüfmodus → deutliche Reduzierung der Prüfzeiten
- 4-Quadrantenmessung (+P,-P,+Q,-Q,Q1..Q4)
- 8 Energie- und 4 Leistungstarife, unabhängig steuerbar
- Messung von Wirk-, Blind- und Scheinleistung
- Integrierte Tarifschaltuhr
- Pufferung der Uhr über integrierte Batterie
- Externe austauschbare Batterie (Option)
- Optische Schnittstelle gemäß EN62056-21
- Auslesung des Zählers ohne Netzspannung
- Integrierte Abschalteneinheit bis 100A (Option)
- Installationshilfen
- Optische Fortschaltung
- OBIS-Kennzahlensystem nach EN62056-61
- Manipulationsschutz
 - Klemmendeckelöffnungserkennung
 - Gehäusedeckelöffnungserkennung
 - betragsmäßige Messung, ...
 - Magnetfeldererkennung
- Kommunikationsmodule - unter dem Klemmendeckel montierbar (Option)
 - AM100 – GSM/GPRS + wired/wireless M-Bus
 - AM200 – wireless M-Bus
 - AM500 – PLC using SFSK + wired M-Bus
- Eichfähiger Lastgangspeicher
 - aufteilbar in bis zu 8 Messkanäle,
 - verschiedene Speichermodi (Leistungs-, Energiewerte, Zählerstände)
- Logbuch zur Registrierung sämtlicher Ereignisse mit Zeitstempel
- Elektrische Schnittstellen: RS485 / CL0 / RS232
- Protokolle
 - EN 62056-21 Protokoll
 - DLMS/COSEM Protokoll (Option)
- Momentanwerte der Netzgrößen (U, I, f, ...)
- Netzgrößenprofil (bis zu 8 Kanäle)
- 3 elektronische S0-Ausgänge
- 2 Steuereingänge (Option)
- 4 elektronische 230V Ausgänge (Option) oder 2 mechanische 8A Relais (Option)
- Bedienerfreundliches Auslese-, Setz- und Parametriertool *alphaSET*



Technische Daten

Änderungen vorbehalten R 1.2

Nennspannungen	4-Leiterzähler, 3 Systeme 3-Leiterzähler, 2 Systeme	3x220/380V .. 3x230/400V, 3x58/100V ..3x63/110V 3x100V..3x127V
Nennfrequenz		50 / 60Hz, +/-5%
Nenn / Grenzstrom	Dauerbelastung Kurzschlußstrom	DZ: 5(60)A, 5(80)A, 5(100)A, 5(120)A MW: 5/1, 1(2)A, 5(6)A DZ: 7000A für 2 Perioden MW: 300A für 0,5s
Anlaufstrom		DZ: < 20mA MW: < 1mA
Genauigkeit	Klasse 2 oder 1 (DZ+MW), 0,5 (MW) Klasse A oder B (DZ+MW), C (MW)	gemäß EN62053-21, bis EN62053-23, EN50470-3, MID-Anhang MI-003
Stromversorgung	Transformatorisches Netzteil	Un (-20%..+15%) Betriebsbereit auch bei Ausfall von 2 Phasen bzw. eine Phase und Neutralleiter
2 Steuereingänge (Option)	Steuerspannung Ansprechschwellen	Max. 265V AC „AUS“ bei <40V, „EIN“ bei >60V
3 elektronische Ausgänge	nach SO-Standard	gemäß IEC 62053-21
elektronische 230V Ausgänge (Option)	Bis zu 4 elektronische Ausgänge, oder bis zu 2 Relais-Ausgänge	27-265V, 100mA 265V, 8A
Schnittstellen	Optisch RS485 / CLO / RS232 Schnittstelle zu Komm. Modul	gemäß. EN62056-21, max. 9.600 Baud gemäß. EN62056-21, max. 19.200 Baud
Integrierte Schaltuhr	4 Tarife, 4 Saisons wochentagsabhängige Steuerung	Gemäß. EN 62054-21
Echtzeituhr - Uhrzeitpufferung	Genauigkeit Batterie (intern und extern)	< 5ppm (<0,5s/Tag) > 5 Jahre im spannungslosen Zustand bei 25°C, Lebensdauer > 10 Jahre
Auslesung ohne Netzspannung	Supercap Austauschbare Batterie	4-5h (innerhalb von 2 Tagen) 4-5 Jahre
Integrierte Abschalteinheit (Option)	Mechanische Lebensdauer Elektrische Lebensdauer, gemäß IES 62055-31, Annex C	100.000 Ab- und Zuschaltungen 10.000 Ab- und Zuschaltungen bei Volllast (bis 100A)
Temperaturbedingungen	Betriebstemperatur Lagertemperatur Luftfeuchtigkeit Temperaturkoeffizient	-40°...+70° -40°...+80° 0 to 95% rel. Feuchtigkeit, nicht kond. 0,04% per °C (PF=1), <0,04% (PF=0,5)
EMV Verträglichkeit	Stoßspannung (1,2/50µs) Wechselspannungsprüfung EMV Umgebungsbedingungen	6kV, R _{source} =2 Ohm; 12kV, R _{source} =40 Ohm *) 4kV, 1min, 50Hz MID E2
Leistungsverbrauch	DZ: MW: Spannungskreis Stromkreis	< 0,7W, <0,8VA pro Phase < 0,7W, <0,8VA pro Phase < 0,01W, <0,01VA pro Phase
Anschlüsse	Messwandlerzähler Direktanschlußzähler Hilfskreise	Klemmen: 6 mm x 5 mm Klemmen: 9,3 mm x 9,3 mm Klemmen: 2,5 mm ²
Gehäuse	Abmessungen Schutzklasse Material Mech. Umgebungsbedingungen	DIN 43857 Teil 2, DIN 43859 Gehäuse: IP54, Klemmenblock: IP31 Polycarbonit, nicht entflammbar, selbst- löschend, recyclebar, MID M1
Gewicht		1,5kg (ohne integrierte Abschalteinheit) 1,9kg (mit integrierter Abschalteinheit)

*) nur zwischen den Hauptklemmen

Elster Solutions GmbH
Steinern Straße 19-21
55252 Mainz-Kastel
Deutschland
T +49 (0) 6134 / 605-777
F +49 (0) 6134 / 605-750
e-info@elster.com
www.elstersolutions.com

SPECIFICATION FOR APPROVAL

CUSTOMER: _____.

AC/DC Power Supply

DESCRIPTION

Input: AC323V- 437V _____.

Output: DC200V-500V/ 0 - 30A _____.

Customer P/N: _____.

Myrra P/N.: 88061 _____.

REV.: 1 _____ DATE.: 07.Aug.2018 _____.

**PLEASE RETURN TO US ONE COPY OF
"SPECIFICATION FOR APPROVAL" WITH YOUR SIGNATURES**

SIGNATURE			



Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd

ADDRESS: Factory: No.39-2 Industrial Road, Xiaolan Industrial Zone, Zhongshan, Guangdong, China

Document Title : AC/DC POWER SUPPLY		P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	Revision:1 Page 1 of 7

REVISION	DESCRIPTIONS	DATE
0	New issue	2018-07-27
1	Corrected specification(corrected 3-1-8 to Max. output power from Max. input power)	2018-08-07

Part AC/DC Power supply Myrra P/N 88061		
Author Ricky Fu	Document version 1	Date 2018-08-07
Approved by		Date

Document Title : AC/DC POWER SUPPLY	 Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Revision:1 Page 2 of 7


1. Scope

- This documentation defines the performance characteristics of a 15KW high frequency isolated type bidirectional power supply module.
- The power supply module has designed highly reliable and meet international safety.
- This document contains all general Customer requirements, qualification , specific electrical and mechanical requirements for this part.

2. Application

AC side is three-phase three wire 323~437Vac, DC side is HV 200~500Vdc;
With two type of operating mode. It's charge mode when in forward direction operating, charging the battery pack or supplying DC voltage for load via AC (grid power), single output adjustable 200~500Vdc; It's discharge mode when in reverse direction operating, converting and supplying the voltage of battery pack or DC voltage source for grid power. The module featured with power factor correction, over/under voltage protection, default phase alarm, output over current protection, output short circuit protection, over temperature protection and alarm function. The power supply supports N+1 parallel operation and has current sharing function

3. Electrical Specification

Items	Specification
3-1 AC input characteristics	
3-1-1 Rated AC input voltage	380Vac
3-1-2 AC input voltage range	323~437Vac
3-1-3 AC input frequency range	45Hz~65Hz
3-1-4 Rated AC input frequency	50Hz
3-1-5 Input Current Range	0~30A
3-1-6 Power Factor	≥0.99 @ rated input and rated power.
3-1-7 Grid current waveform distortion rate	≤3% @ rated input and rated power
 Max. output power	15000VA
3-2 DC output characteristics	
3-2-1 Output voltage range	200~500Vdc @ Charging mode, can be continuously adjusted via PMU.
3-2-2 Output current range	0 to 30A
3-2-3 Max. output power	15000W
3-2-4 Rated output power	15000W
3-2-5 Max. efficiency	≥94% @ charge ≥94% @ discharge

Document Title :
AC/DC POWER SUPPLY

Company Confidential :

Yes No




Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd


P/N : 88061

Date :2018/08/07

Revision:1

Page 3 of 7

3-3 Protection characteristics		
3-3-1 Input under voltage protection	308Vac ±5Vac	
3-3-2 Input under voltage recovery	318Vac ±5Vac	
3-3-3 Input over voltage protection	452Vac ±5Vac	
3-3-4 Input over voltage recovery	442Vac ±5Vac	
3-3-5 DC side under voltage protection point	Can be set up via upper computer (±5Vdc).	
3-3-6 DC side under voltage recovery point	Can be manual recovery via upper computer(unit Vdc).	
3-3-7 DC side over voltage protection	Can be set up via upper computer(±5Vdc)..	
3-3-8 DC side over voltage recovery	Can be manual recovery via upper computer(unit Vdc).	
3-3-9 Output over current protection	With over current protection, can auto recover.	
3-3-10 Short circuit protection	With short circuit protection, can auto recover.	
3-3-11 Over temperature protection	With over temperature protection, can auto recover.	
3-3-12 Islanding protection	Yes (Discharge mode).	
3-4 Environmental		
3-4-1 Operation temperature	-40°C ~ +60°C (+50~ +60°C derating by 20% in linear way).	
3-4-2 Operation humidity	≤ 90% @ 40°C±2°C	
3-4-3 Storage temperature	-40°C~ +70°C	
3-4-4 Storage humidity	≤95% @ 40°C±2°C	
3-4-5 Cooling method	Forced air cooling with fan	
3-4-6 Altitude	0~2000m	
Remarks: During 50°C~60°C, module auto linear power derating.		
3-5 Logical function and signal		
3-5-1 Operation (green)	Charge mode, charge green light on when module in normal operation	
3-5-2 Operation (green)	Discharge mode, discharge green light on when module in normal operation.	
3-5-3 Communication (yellow)	Yellow light flash when communication with upper computer.	
3-5-4 Alarm (red)	The red light flashes when input over/under voltage, AC default phase, temperature derating, output short circuit and the power supply internal working is abnormal.	
Document Title : AC/DC POWER SUPPLY	 Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Revision:1 Page 4 of 7

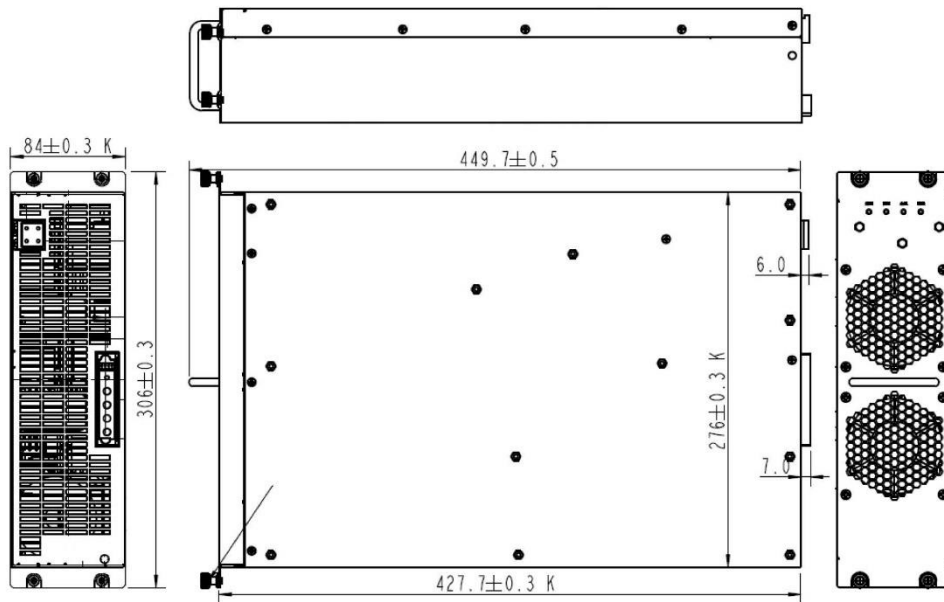
3-5-5 Fault (red)	Red light on for long time when output over current, output over voltage, over temperature protection, fan fault and power supply internal working is abnormal.	
3-6 Safety & EMC		
3-6-1 Dielectric strength	Input-output: 3535Vdc/10mA/ 1min (No flashover, no breakdown) . Input-ground: 3535Vdc/10mA/ 1min (No flashover, no breakdown). Output-ground: 3535Vdc/10mA/ 1min (No flashover, no breakdown).	
3-6-2 Isolation resistance	Input-output: $\geq 10M\Omega @ 1000Vdc @ Under normal air pressure, humidity 90\%$ Input-ground: $\geq 10M\Omega @ 1000Vdc @ Under normal air pressure, humidity 90\%$ Output-ground: $\geq 10M\Omega @ 1000Vdc @ Under normal air pressure, humidity 90\%$.	
3-6-3 Ground resistance	$< 0.1\Omega @ 50A/4min$	
3-6-4 Touch current (Input-ground)	$\leq 3.5mA @ 502Vac/60Hz$	
3-6-5 Radiation	Class A	
3-6-6 Conduction	Class A	
3-6-7 Harmonic Current Disturbance	Meeting IEC61000-3-2, Class A	
3-6-8 Voltage Fluctuation And Flicker	Meeting EN61000-3-3 Pst ≤ 1.0 P1t ≤ 0.65 ; dc $\leq 3\%$; dmax $\leq 4\%$; The time of d (t) $\geq 3\%$ is no more than 200mS.	
3-6-9 Electrostatic Discharge	Meeting IEC61000-4-2 1. For the frame which would be touched by human in the normal operation: contact discharge +/-6KV ; air discharge +/-8KV standard B. 2. For the frame which would be touched by human in the normal operation, contact discharge +/-8KV; air discharge +/-15KV standard R.	
3-6-10 RF Field Strength Susceptibility	Meeting IEC61000-4-3, Level 3 criteria A	
3-6-11 Electric Fast Transient(EFT)	Meeting IEC61000-4-4, Level 3 criteria B	
3-6-12 Lightning Surge	Meeting IEC61000-4-5 Level 4 criteria C difference mode $\pm 2KV$, common mode $\pm 4KV$	
3-6-13 Conducted Susceptibility	Meeting IEC61000-4-6, Level 3 criteria A	
3-6-14 Voltage Dips And Interruptions	Meeting IEC61000-4-11 1. Drop to 70% UT , duration 10ms , at angle of 0°,45°,90°,135°,180°,225°,270°,315°, meeting class B. 2. Drop to 40% UT , duration 100ms , at angle of 0°,45°,90°,135°,180°,225°,270°,315°, meeting class C. 3. Drop to 0 % UT, duration 5000ms, at angle of 0°,45°,90°,135°,180°,225°,270°,315°, meeting class C.	
3-6-15 Anti Lightning	The AC input terminal can endure surge current wave of 5kA、8/20 μ S , 5 times each for positive and negative, time cycle 1 minute.	
Document Title : AC/DC POWER SUPPLY	 Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Revision:1 Page 5 of 7

Criterion Performance:
Criterion A— performance normal within the technical requirement;
Criterion B (DIP testing criterion)— part of functions temporary worsening or losing is acceptable, for auto recoverable functions
Criterion B (other criterions except DIP)— part of functions temporary worsening or losing is acceptable, auto recoverable, but the output voltage should keep in the normal range during testing.
Criterion C— Short time functions interruption but auto recover is allowable, no permission for long time functions interruption or manual recovery.
Criterion R— No permission for any components damage except protection components, and testing unit should recover performance after replaced protection components.

3-7 Mechanical

3-7-1 Physical size	The units do not including connector depth and dimension is (L)427.7±0.3mm *(W) 276±0.3mm *(H) 84 ±0.3mm .(see appearance drawing) .
---------------------	--

3-8 Appearance drawing



Document Title : AC/DC POWER SUPPLY	 Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No		Revision:1 Page 6 of 7

4. Other requirement

- 4-1 Meet 2002/95/EC ; No cadmium, hydrid and fluorid ; polymer materials should be specially labeled; can't send out organic compound; no asbestos; the package material should be recoverable.
- 4-2 Acoustics noise: ≤55dB @A-weighted, test distance is 1 meter.
- 4-3 Smell requirement: Can't generate peculiar smell and unhealthy smell.
- 4-4 Three proofings: Three proofings processed, anti sulfide failure.
- 4-5 Failure isolation: If the PSU fails, it can detach from the system safely.

5. Quoted standards

GB 3873-83 communication equipment general specification of product packaging
 GB 4943.1-2011 information technology equipment safety
 GB 191-2000 packaging storage and transportation icon logo
 GB 7260-87 uninterrupted power supply equipment
 GB/T 13722-92 Technical requirements and test methods for mobile communication power supply
 GB/T 2423.1-2001 environmental testing for electric and electronic products - Part second: Test methods - Test A: low temperature
 GB/T 2423.2-2001 environmental testing for electric and electronic products part second: test method test B: high temperature
 GB/T 2423.3-1993 Ca: basic environmental testing procedures for electric and electronic products constant damp heat test method
 GB/T 2423.5-1995 environmental testing for electric and electronic products - Part second: Test methods - Test Ea and guidance: shock
 GB/T 2423.9-2001 electrical and electronic products environmental test second parts: test method test Cb: equipment constant damp heat
 GB/T 2423.10-1995 environmental testing for electric and electronic products - Part second: Test methods - Test Fc and guidance: vibration (sinusoidal)
 GB/T 2423.16-1999 environmental testing for electric and electronic products - Part second: Test methods - Test J and guidance: long
 GB/T 2423.17-1993 Ka: basic environmental testing procedures for electric and electronic products salt spray test method
 GB/T 2681-81 Conductor color in electrical equipment
 GB/T 2829-2002 cycle count sampling procedures and tables (applied to the test of the stability of the process)
 GB/T 2828.1-2003 count sampling inspection procedures first parts: according to the reception quality limit (AQL) of the sample by batch test sampling plan
 GB/T 14508-93 grade road freight transport machinery and environmental conditions
 YD/T 777-1999 Inverter for communication
 YD/T 983-1998 Limits and measurement methods of electromagnetic compatibility for communication power supply equipment
 YD/T 282-2000 General test method for reliability of communication equipment
 IEC 62109-1:2010 Safety of power conversion equipment for photovoltaic power systems - Part 1: General requirements
 IEC 62109-2:2011 Safety of power conversion equipment for photovoltaic power systems - Part second: Particular requirements for Inverters
 IEC 62116-2011 Test method for grid connected photovoltaic inverter based on isolated island protection measures
 AS4777.2-2002 Adopt inverter grid connected energy systems - Part second: requirements for Inverters

Document Title : AC/DC POWER SUPPLY		P/N : 88061 Date :2018/08/07
Company Confidential : <input checked="" type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No	Zhongshan Myrra Electronic Co.,Ltd	Revision:1 Page 7 of 7

17.4.4 Ausschnitt aus Angebot Rungen, anstelle von Datenblatt

Pos.	Anzahl	Einheit	Bezeichnung	Einzelpreis / EUR	Gesamt
1	4	Stück	02-12-23-045 HSA Rungenpalette 1200 x 2300 mm 1 Grundpalette, Ausführung bestehend aus: - Rahmen umlaufend sowie 2 Zwischenrohre längs und 3 x 3 Querstege 60 x 30 mm - Standfuß: 4 Stück 60 x 60 mm zur Rungenaufnahme - Stapelteller: 6 Stück 116 x 116 mm bodenseitig - Einfahrschlaufen: entfallen - Abmessung schmalseitig zwischen den Rungen: 1020 mm - Gesamthöhe: 670 mm - Bodenbelegung: 2 Stück Gitterrost 1000 x 1200 mm, feuerverzinkt, angeschraubt dazu passend: - 6 Stück Einsteck-Rungen 50 x 50 mm Nutzhöhe: 450 mm - Nutzlast: 0,50 to - Auflast: 1,50 to (4- fach, statisch ruhend) - Oberfläche: grün lackiert RAL 6017		

17.5 Veröffentlichung: “Noise added on Interpolation as a Simple Novel Method for Imputing Missing Data from Household’s Electricity Consumption”



Available online at www.sciencedirect.com

ScienceDirect

Procedia Computer Science 00 (2022) 000–000

Procedia
Computer Science

www.elsevier.com/locate/procedia

26th International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES 2022)

Noise added on Interpolation as a Simple Novel Method for Imputing Missing Data from Household’s Electricity Consumption

Arman Aghaei Attar^{*a}, Florian Schirle^a, Martina Hofmann^a

^aAalen University of Applied Science, Aalen 73430, Germany

Abstract

The expansion of microgrids and decentralized power generation has become a relevant issue for energy supply through renewable energy. Thus, the collection of electricity consumption data from households in a district and the planning of a microgrid based on this data has become an important task, especially if storage systems such as batteries are to be used. The problem that usually arises when gathering such large amounts of data is that some of the data is missing. This can be due to various technical reasons, such as a malfunction of the measurement system or communication problems and interruptions of the household’s internet connection. Therefore, it is crucial to fill in the missed data in order to have a continuous and accurate data model representation for various tasks such as simulations of microgrid systems. So far, various approaches have been explored to solve this problem, from basic methods such as damping missing data to advanced methods using short-term load forecasting algorithms based on deep learning methods. But due to the dynamics of the household’s data set, the varying duration of missing values, the dependence on past and future data, and the computational complexity of many proposed methods, this has become a challenging task.

In this study, a simple novel imputation method on short length missing data of household load is proposed. The proposed scheme is based on an interpolation adding up to a defined white Gaussian noise and is called “noisy interpolation”. The developed method was employed on real household electricity consumption data to validate its performance. The highlight feature of the proposed method, in addition to high accuracy for short term gaps and computational efficiency, is that the generated data is not boosted, which means it behaves more like a normal load’s pattern. This allows the dataset to be used more effectively in the next steps for microgrids designing and load forecasting tasks.

© 2022 The Authors. Published by ELSEVIER B.V.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)

Peer-review under responsibility of the scientific committee of KES International

Keywords: Missing data; time series; Filling gaps; Micro grid; Power load; enhanced interpolation;

* Arman Aghaei Attar. Tel.: +49-7361 576-5710.

E-mail address: Arman.Aghaei@hs-aalen.de

1877-0509 © 2022 The Authors. Published by ELSEVIER B.V.

This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>)

Peer-review under responsibility of the scientific committee of KES International

1. Introduction

Measurement systems and online monitoring are tools that are crucial for the development of frameworks, control and design of microgrids utilizing renewable energy and battery storage systems by enabling the researcher to recognize the behavior of the subsystems [1], [2]. As one of the most important subsystems, household electricity load data is essential for the usage in various designing and forecasting tasks, or as potential input variables for artificial neural networks and other machine learning-based methods. Thus, it is necessary to provide an integrated dataset without gaps [3].

When huge amounts of data are collected through continuous measurements, there is inevitably a loss of some data. Data can be missing for a variety of reasons, such as a malfunction of the measurement system, faulty sensors or an unstable internet connection. The negative impact of missing data in data analysis often depends on its contiguous length, although for time series even very few single missing values and irregularities can be the cause of misleading analysis [4]. Given the importance of this general problem, attempts have already been made to fill in the gaps by applying various methods [5].

In this paper, we focus on short length consecutive missing values in household load data and propose a novel, simple imputation method, called “noisy imputation”. It is based on optimized interpolation with added Gaussian noise to represent the stochastic behavior of household electricity consumption in a limited range. The structure of the study is as follows: In Section (2) the research problem is defined in more detail and needed concepts are defined as well. In Section (3) the related works are presented and in section (4) the proposed noisy interpolation method is described. In section (5) the case study is described and then, different possible solutions are described, tested and results are illustrated and discussed. Finally, in section (6), the proposed method is concluded.

2. Research Problem

Missing data is an unavoidable factor when gathering huge amounts of data, which strongly affects data quality assessment. Hence, preprocessing and imputation of missing data is an important field of research in data science. One of the fields that uses huge amounts of data gathering is electricity power network planning and especially microgrids developing [1][3]. When designing a microgrid, the estimation of electricity demands and provided energy by households is necessary to control the network and consider appropriate storage systems [6]. Therefore, measurement systems and online monitoring of measured data are widely used nowadays. The measured data is normally transmitted to a database and due to various reasons missing data is arising, which could lead to a decrease of the data quality and consequently misleading results in the design of microgrid. Another issue is, that many data analyzing and data mining tools such as classification, are sensitive to missing data and will stop the data analysis if this appears [4]. Therefore, the missing data could badly affect the analysis of the power grid development trend and it is crucial to address this problem with the most efficient solution.

Although there are already quite a number of algorithms for the estimation of missing values in measured datasets, they are mostly time consuming and computationally complicated. Also, each dataset has its own pattern and needs an algorithm that fits it. This paper presents an approach for estimating short length consecutive missing values of measured household load data sets which is fast, reliable and computationally simple.

2.1. Definitions

As already mentioned, measured household load data sets are classified as time series. Time series could be defined as a collection of data, which are listed in timely order using time stamps. The number of data sets (value of the measured entity and corresponding time stamp) are depending on the sampling rate of the measurement system [4]. Analysis of time series data is a key tool to understand data patterns and provide knowledge about how the corresponding systems are behaving. The important characteristics of time series which are crucial for analyzing the data are as following [7]:

- 1) *Trend*: Main pattern of data over a long period of time. It could be found as an almost linear slope, which could be increasing or decreasing.
 - 2) *Seasonality*: Predictable periodic fluctuations at a specific time period. The produced photovoltaic energy of a panel is a good example of seasonal data with a time period of nearly 24 hours.
 - 3) *Noise*: Random fluctuations of time series data with limited duration.
 - 4) *Stationary*: If the statistical properties of a time series, like mean value and variance, do not change over time.
- Additionally, in this work two commonly used data generating functions are used which can be defined as follows:
- 5) *Interpolation*: This is a basic well-known method for the estimation of unknown data. In interpolation, missed values between known values are estimated. Linear interpolation [8], polynomial interpolation and spline are popular methods. The linear, quadratic and cubic interpolation methods, which are second and third-order spline interpolation respectively, are the most common interpolation methods for missing data [9].
 - 6) *White Gaussian noise*: Is defined as a random noise that has a constant variance and zero correlation. In most of the related studies it could be found added to the main signal as follows [10]:

$$y(t) = \text{signal}(t) + \text{noise}(t) \quad (1)$$

3. Related works

There are already many approaches on the generation of missing data in time series. Besides some primitive solutions such as damping missing data, which is not an accurate method, many interpolation-based methods have been proposed [11], [12]. The linear interpolation is the most widely used due to its ease of solution. However, these simple interpolation methods are not suitable for highly fluctuating time series such as load data. A major problem with these methods is that they do not take into account the behavior of the whole data series. Thus, the newly produced data by simple interpolation method is mostly producing inconsistent data sets, which cannot be used for further analysis. Moreover, many improved mathematical techniques have been developed, whereas two of the mostly used algorithms are as follows [13]: Expectation maximization (EM) is an iterative algorithm, which consists of two steps. Data values are estimated based on certain statistical parameters until the difference between the last two consecutive estimated parameters converges to a specified criterion [14].

Another widely used statistical method is the regression-based imputation. In this method, the relationships between attributes of known data sets are estimated and then the so-called regression coefficients are used to estimate the missing values [15]. Furthermore, other mathematical algorithms like principle component analysis (PCA) and singular value decomposition (SVD) have been developed, but were rarely used for power load data imputation [13].

Unlike the data-driven and machine learning methods in which the whole algorithm is dependent on data, the mathematical-based methods do not need data for the implementation of their proposed framework which is an advantage. However, the main recognized drawback in statistical methods is that a high computation effort is needed [13]. Also, they are not always performing robustly in high fluctuating data like power load datasets.

Recently, several studies have been conducted using learning-based methods, such as different artificial network architectures. In one of the most recent studies in [16], an enhanced multilayer perceptron network which is using softmax activation function and called softmax ensemble network is developed for missing data of electricity consumption. It needs weather and calendar data as well. The proposed framework has acceptable performance for such varying power consumption data, although much data and model preprocessing are required. A disadvantage of these methods is that more than one input is usually required when using networks. This means that other data associated with power consumption must also be measured or collected, such as weather conditions and temperature. Although, there are many weather data providers, they are sometimes inaccurate, especially in villages and standalone locations, which are often used to implement microgrid projects. Thus, for online implementation of the predicted network, a computational cloud will be necessary, which leads to higher costs and computational efforts for filling gaps [16]. This effort could be reasonable for long term missing data and load forecasting tasks, whereas for many simple measurement systems, most of the missing data are short length and these complicated and expensive methods are not efficient regarding the cost/benefit ratio.

In particular for missing data prediction of power data, many machine learning methods, mostly support vector machines (SVM) and k-Nearest Neighbors (k-NNs) have been investigated. In [17], an optimizing and refining support vector machine (SVM) is proposed, which consists of a preprocessing followed by two series SVM algorithms. The

method is implemented on measured data of the transformer in a power grid system, which is much more stable in comparison to fluctuating household load data. In [18] two k-Nearest Neighbors (k-NNs) and Clustering methods for imputing the missing values of electric load are employed. The results of the studied case have good accuracy, but the length of consecutive missed data is very short. Five or nine consecutive missing values are considered and a clustering fuzzy based method shows faster and more robust performance in comparison with k-NN. In [19] a more enhanced method is developed and tested on power data. A learning-based adaptive imputation (LAI) method tries to capture patterns of past power data and develop a feature vector model based on the patterns and the data variations. The missing data are estimated by utilizing the k-NNs to the past data and it is optimized by weighted distance. Besides, to reduce the effects of variation of data in the estimation, the author also proposed an extended LAI (eLAI), which is between linear interpolation and the proposed LAI method. It is a novel solution which does not need other data as input and also the output accuracy is high. The best results among investigated papers are shown here in the studied case, and the best mean absolute percentage error here is 3.39 [19]. In one of the latest related papers [20], a novel bi-directional adaptive weighted imputation method for power data is proposed. It estimates missing values by using the correlation between the features of the two directions simultaneously. Actually, using the k-NN and linear regression followed by a weighting algorithm, the final value for missing data is imputed. The experimental results have been compared alone to k-NN and linear regression and it shows a significantly better performance.

Another research field which could help to solve the missing data imputation problem, is short-term load forecasting (STLF) [6], [21]. Many novel artificial neural networks are developing by parallelizing the available neural networks and they could be promising solutions for imputing time series with various gap lengths. However, they are up to now rarely used in missing data imputing tasks and still require a high computational effort that consumes high timely and computational resources which is not reasonable for only short length consecutive missing values which is the main focus in this study.

4. Proposed Method

Firstly, to get an overview of the problem a sample household load data is shown in Figure 1.

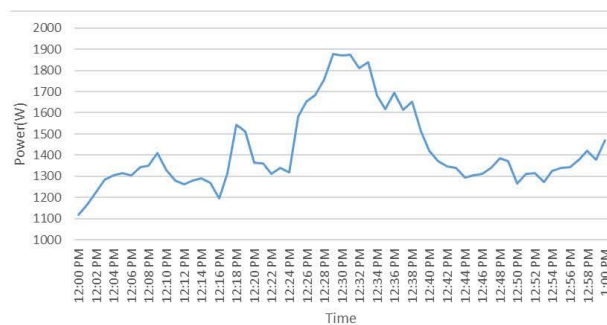


Figure 1. A sample of power consumption of one single household over one hour

It illustrates the high fluctuation (noisiness) of the household load data. Time series attributes such as trend, seasonality and stationary also could be seen in load data patterns. Therefore, an accurate model for load data missing values imputation could be the one which interpolates the past and future variables appropriately and simultaneously could present the noisy pattern of load data.

4.1. Framework

There are two well-known types of interpolation. Polynomial interpolation and spline interpolation [9]. For periodic correlated data such as load data cubic interpolation, which is a kind of spline interpolation, seems to be the

suitable interpolation method but it should be experimentally determined and compared with other interpolation methods as well. In this study, linear and quadratic interpolation are examined as well to reach the best solution. To represent the noisy pattern of load data, in the proposed method a limited domain white Gaussian noise is added to an interpolation function.

The presented framework is called **noisy interpolation**, being a simple and accurate simulation of household load data behaviour to impute short term missing values. Firstly, the gap is filled by interpolation and then white Gaussian noise with a limited domain is added. Since this method is developed especially for real measured data, it is crucial to be applied and assessed on an experimentally derived data set. Therefore, the application of different interpolation methods and the domain limitation of Gaussian noise will be presented in the following chapter. By creating several artificial gaps on measured data on different characteristic sections, such as maximum and minimum load, the performance of proposed framework will be assessed.

The overall proposed scheme which is called noisy interpolation is shown in Figure 2.

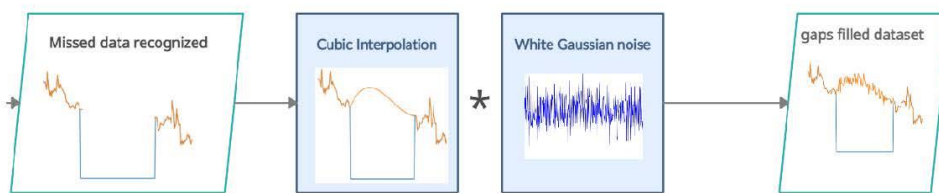


Figure 2. Proposed scheme with applied cubic interpolation and white Gaussian noise in order to fill gaps in a measured data set

5. Case Study

5.1. Dataset

In this study, we use data from a case study of household measurements over a period of about two years, which was conducted in the village Sachsenhausen in the district of Heidenheim in east of the Baden-Württemberg state in Germany. A data set of a household's annual electricity consumption for the year 2020 was applied. On average, 2–4% missing data were found in the measurements, which in the current case was mostly attributed to a malfunction of the Raspberry Pi data transmitter. Mostly this was caused by an unstable internet connection or a delay in the online monitoring system and has usually been fixed in a few seconds or minutes. Figure 3 shows a sample of the load data of a randomly chosen household in 2020. Additionally, to understand better the pattern of the dataset, a sample of the data collected over one day is illustrated in Figure 4.

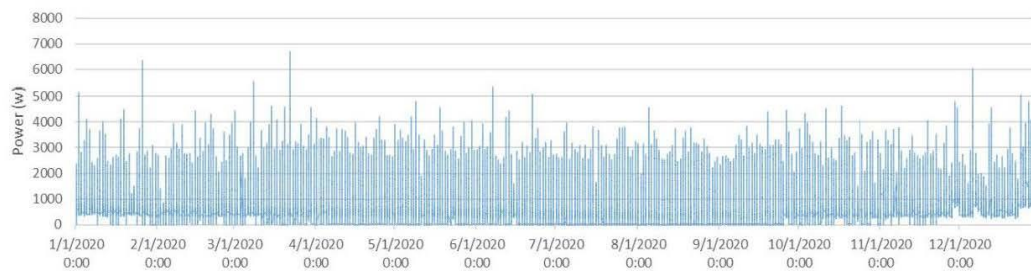


Figure 3. Power consumption for one single Household over the year 2020.

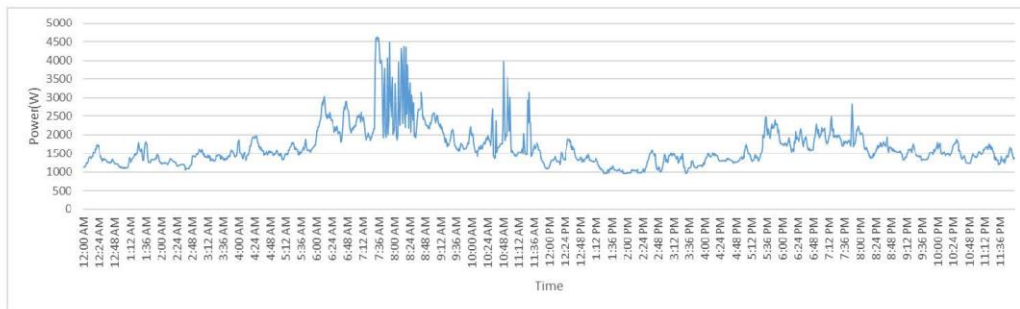


Figure 4. Power consumption for one single Household over one day in the year 2020.

The daily data (power consumption) fluctuated between 946 W and 4637 W. The average was 1656 W for one day and due to the high variation of power consumption during the day, the variance was 282649.1.

5.2. Results

The three interpolation methods mentioned before - linear, quadratic and cubic - are used. In addition, noise with a variable standard deviation of 0.05, 0.1 and 0.2 is added [22]. To evaluate the accuracy of the proposed method itself and to find the best combination of interpolation method and noise limitation, the root mean square error (RMSE) and the mean absolute percentage error (MAPE) are compared. These values are calculated according to equations (3) and (4). A_i are the real and F_i the predicted data of the respective data set.

$$RMSE = \sqrt{\left(\frac{1}{N}\right) \sum_{i=1}^N (A_i - F_i)^2} \quad (2)$$

$$MAPE = \frac{100\%}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{A_i - F_i}{A_i} \right| \quad (3)$$

In the following, the results of the imputation by the aforementioned methods are presented. In Figure 5 only the ordinary linear (a), quadratic (b) and cubic (c) interpolation are applied. In Figure 6, Figure 7 and Figure 8, the linear, quadratic and cubic interpolation with applied Gaussian noise are illustrated. The following Table 1 also shows the assessment of accuracy, whereas σ is the standard deviation.

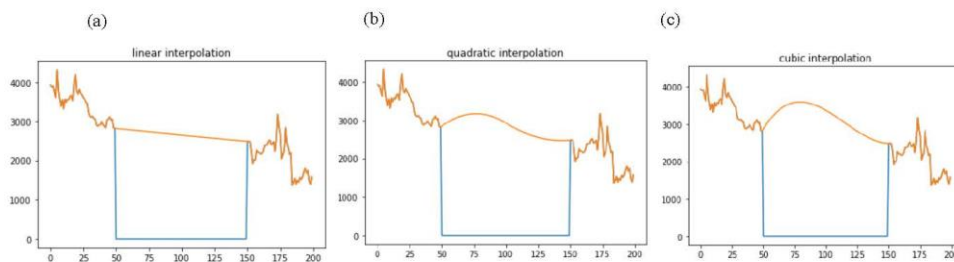


Figure 5. Interpolations on a dataset with big lacking data using (a) linear interpolation (b) quadratic interpolation (c) cubic interpolation. The x-axis shows the time by second and the y-axis shows the consumed power(W)

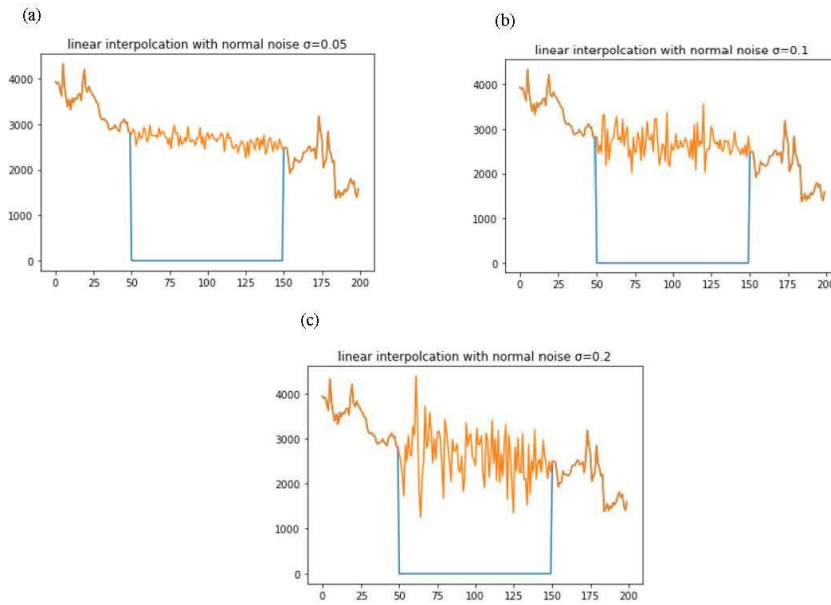


Figure 6. Linear interpolation on a dataset with big lacking data with Gaussian noise added. (a) $\sigma = 0.05$ (b) $\sigma = 0.1$ (c) $\sigma = 0.2$. The x-axis shows the time by second and the y-axis shows the consumed power (W)

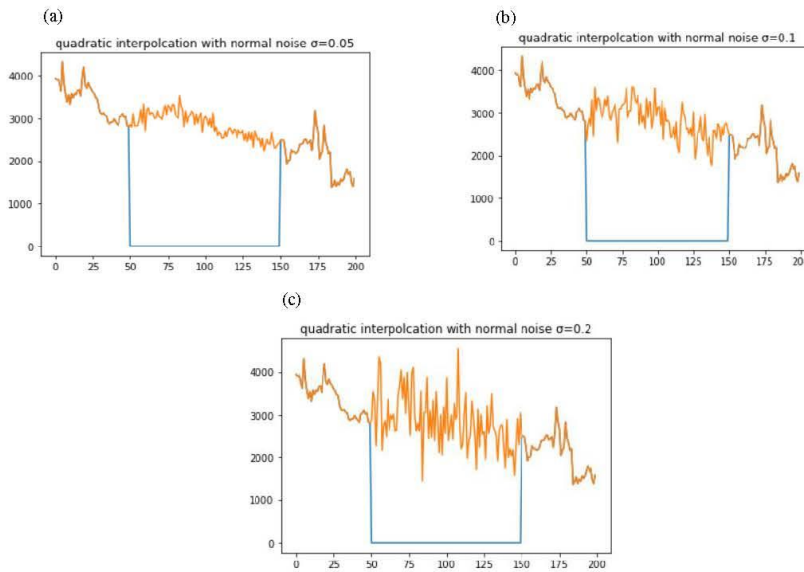


Figure 7. Quadratic interpolation on a dataset with big lacking data with Gaussian noise added. (a) $\sigma = 0.05$ (b) $\sigma = 0.1$ (c) $\sigma = 0.2$. The x-axis shows the time by second and the y-axis shows the consumed power (W)

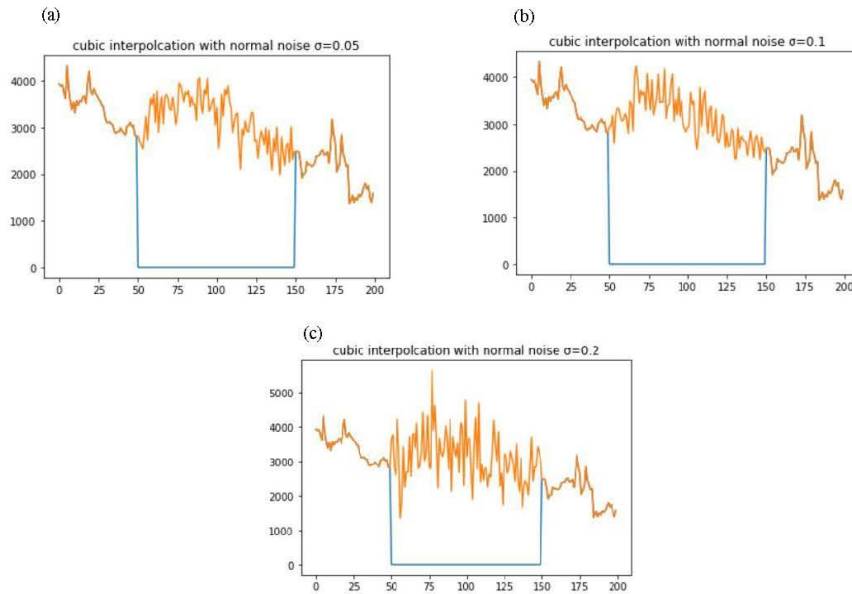


Figure 8. Cubic interpolation on a dataset with big lacking data with Gaussian noise added. (a) $\sigma = 0.05$ (b) $\sigma = 0.1$ (c) $\sigma = 0.2$. The x-axis shows the time by second and the y-axis shows the consumed power (W)

Python and libraries such as NumPy and Scipy were used to perform these evaluations. The different scenarios were run with 8 different partial data sets, each covering one week and each containing 5 minutes of missing data. The missing values are considered to be in different situations as well as points of maximum or minimum of consumption. The following results show the average of the 8 runs of the scenarios.

Table 1. Performance of the presented interpolation methods. The method with the best performance is highlighted. All values are average values out of 8 different scenarios.

Applied method	RMSE	MAPE
Linear Interpolation	586.815	19.136
Quadratic Interpolation	439.276	14.41
Cubic Interpolation	373.74	12.84
Linear with noise ($\sigma = 0.05$)	312.11	10.119
Linear with noise ($\sigma = 0.1$)	217.65	7.96
Linear with noise ($\sigma = 0.2$)	336.42	11.638
Quadratic with noise ($\sigma = 0.05$)	304.738	9.12
Quadratic with noise ($\sigma = 0.1$)	172.12	5.542
Quadratic with noise ($\sigma = 0.2$)	297.35	8.981
Cubic with noise ($\sigma = 0.05$)	164.65	5.128
Cubic with noise ($\sigma = 0.1$)	93.586	3.19
Cubic with noise ($\sigma = 0.2$)	175.94	6.486

5.3. Discussion

By examining different parameters, the proposed framework with cubic interpolation with an added Gaussian noise with $\sigma = 0.1$ has the best performance, not only compared to the presented variations but also in comparison with investigated related research works. The statistical experimental results show that the error is comparable with the best results of the presented scientific work with much less computational effort. It should be noted that the experimentally derived dataset is different for each study, which could highly affect the results. Nevertheless, it is expected that by employing the noisy interpolation on a different dataset, the results could be acceptable.

Furthermore, the graph of imputed data looks very much like the real data pattern. The run time of the proposed algorithm is 0.523 seconds, which could be recognized as a powerful computational performance for filling small gaps. As the method has been performed on different household load data and in various scenarios, it can be concluded that the proposed method performs robustly and flexibly in filling gaps in electricity consumption datasets.

6. Conclusion

In this study, a new simple imputation method for household electricity consumption data with short lags is presented based on cubic interpolation and adding Gaussian noise, which is called “noisy interpolation”. The main reason for the advantageous performance of the proposed method is that the missing data is actually correlated but also stochastic over a limited range. This allows the noisy interpolation to model the missing data most efficiently. The method is evaluated with different scenarios and the results are within an acceptable accuracy level. It is well suited for imputing small gaps of household load data.

Acknowledgements

The authors acknowledge the financial support for this work by the Ministry of the Environment, Climate Protection and the Energy Sector of Baden-Württemberg (BWSGD18012).

References

- [1] Parhizi, Sina & Lotfi, Hossein & Khodaei, Amin & Bahrnamirad, Shay. (2015). State of the Art in Research on Microgrids: A Review. *IEEE Access*. 3. 1-1. 10.1109/ACCESS.2015.2443119.
- [2] Vaccaro, Alfredo & Popov, M. & Villacci, Domenico & Terzija, Vladimir. (2011). An Integrated Framework for Smart Microgrids Modeling, Monitoring, Control, Communication, and Verification. *Proceedings of the IEEE*. 99. 119 - 132. 10.1109/JPROC.2010.2081651.
- [3] Rieger, Alexander & Thummert, Robert & Fridgen, Gilbert & Kahlen, Micha & Ketter, Wolfgang. (2016). Estimating the benefits of cooperation in a residential microgrid: A data-driven approach. *Applied Energy*. 180. 130-141. 10.1016/j.apenergy.2016.07.105.
- [4] Kreindler, David & Lumsden, Charles. (2006). Effects of the irregular sample and missing data in time series analysis. *Nonlinear dynamics, psychology, and life sciences*. 10. 187-214.
- [5] Pratama, Irfan & Permanasari, Adhistya & Ardiyanto, Igi & Indrayani, Rini. (2016). A review of missing values handling methods on time-series data. 1-6. 10.1109/ICITSI.2016.7858189.
- [6] Farsi, Behnam & Amayri, Manar & Bouguila, Nizar & Eicker, Ursula. (2021). On Short-Term Load Forecasting Using Machine Learning Techniques and a Novel Parallel Deep LSTM-CNN Approach. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3060290.
- [7] <https://towardsdatascience.com/the-complete-guide-to-time-series-analysis-and-forecasting-70d476bfe775>.
- [8] Yuan, Yubo & Zhang, Chi & Wang, Yiyu & Liu, Chenchen & Ji, Jianfei & Feng, Changyou. (2017). Linear interpolation process and its influence on the secondary equipment in substations. 205-209. 10.1109/CIEEC.2017.8388447.
- [9] Abdullah, Mohd Mustafa Al Bakri. (2014). Filling Missing Data Using Interpolation Methods: Study on the Effect of Fitting Distribution. *Key Engineering Materials*. 594-595. 889-895. 10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.889.
- [10] Crone, Sven. (2003). Prediction of White Noise Time Series using Artificial Neural Networks and Asymmetric Cost Functions. *Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks*. 4. 2460 - 2465 vol.4. 10.1109/IJCNN.2003.1223950.
- [11] Pourahmadi, Mohsen. (2008). Estimation and interpolation of missing values of a stationary time series. *Journal of Time Series Analysis*. 10. 149 - 169. 10.1111/j.1467-9892.1989.tb00021.x.
- [12] Ding, Zengyu & Mei, Gang & Cuomo, Salvatore & Li, Yixuan & Xu, Nengxiong. (2020). Comparison of Estimating Missing Values in IoT Time Series Data Using Different Interpolation Algorithms. *International Journal of Parallel Programming*. 10.1007/s10766-018-0595-5.

- [13] Lin, Wei-Chao & Tsai, Chih-Fong. (2020). Missing value imputation: a review and analysis of the literature (2006–2017). *Artificial Intelligence Review*. 53. 1487-1509. 10.1007/s10462-019-09709-4.
- [14] Ghorbani, S. & Desmarais, Michel. (2017). Performance Comparison of Recent Imputation Methods for Classification Tasks over Binary Data. 1-22. 10.1080/08839514.2017.1279046.
- [15] Shao, Jia & Meng, Wei & Sun, Guodong. (2017). Evaluation of missing value imputation methods for wireless soil datasets. *Personal and Ubiquitous Computing*. 21. 10.1007/s00779-016-0978-9.
- [16] Jung, Seungwon & Moon, Jihoon & Park, Sungwoo & Rho, Seungmin & Baik, Sung & Hwang, Eenjun. (2020). Bagging Ensemble of Multilayer Perceptrons for Missing Electricity Consumption Data Imputation. *Sensors*. 20. 1772. 10.3390/s20061772.
- [17] Shi, Weiwei. (2015). Improving Power Grid Monitoring Data Quality: An Efficient Machine Learning Framework for Missing Data Prediction. 10.1109/HPCC-CSS-ICISS.2015.16.
- [18] Gheorghe, Grigoras & Cartina, G. & Bobric, Elena & Barbulescu, C.. (2009). Missing data treatment of the load profiles in distribution networks. 2009 IEEE Bucharest PowerTech: Innovative Ideas Toward the Electrical Grid of the Future. 10.1109/PTC.2009.5282021.
- [19] Kim, Minkyung & Park, Sangdon & Lee, David Joohyung & Joo, Yongjae & Choi, Jun. (2017). Learning-Based Adaptive Imputation Method with kNN Algorithm for Missing Power Data. *Energies*. 10. 1668. 10.3390/en10101668.
- [20] Wang, Xi & Li, Mingwei & Zhou, Jianjia & Deng, Yan & Zhang, Qingqing. (2019). Missing Data estimation with a bi-dimensional adaptive weighted method for power grid data. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 490. 042025. 10.1088/1757-899X/490/4/042025.
- [21] Rafi, Shafiqul & Masood, Nahid-Al & Deeba, Shohana & Hossain, Eklas. (2021). A short-term load forecasting method using integrated CNN and LSTM network. *IEEE Access*. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2021.3060654.
- [22] Peppanen, Jouni & Zhang, Xiaochen & Grijalva, Santiago & Reno, Matthew. (2016). Handling Bad or Missing Smart Meter Data through Advanced Data Imputation. 10.1109/ISGT.2016.7781213.