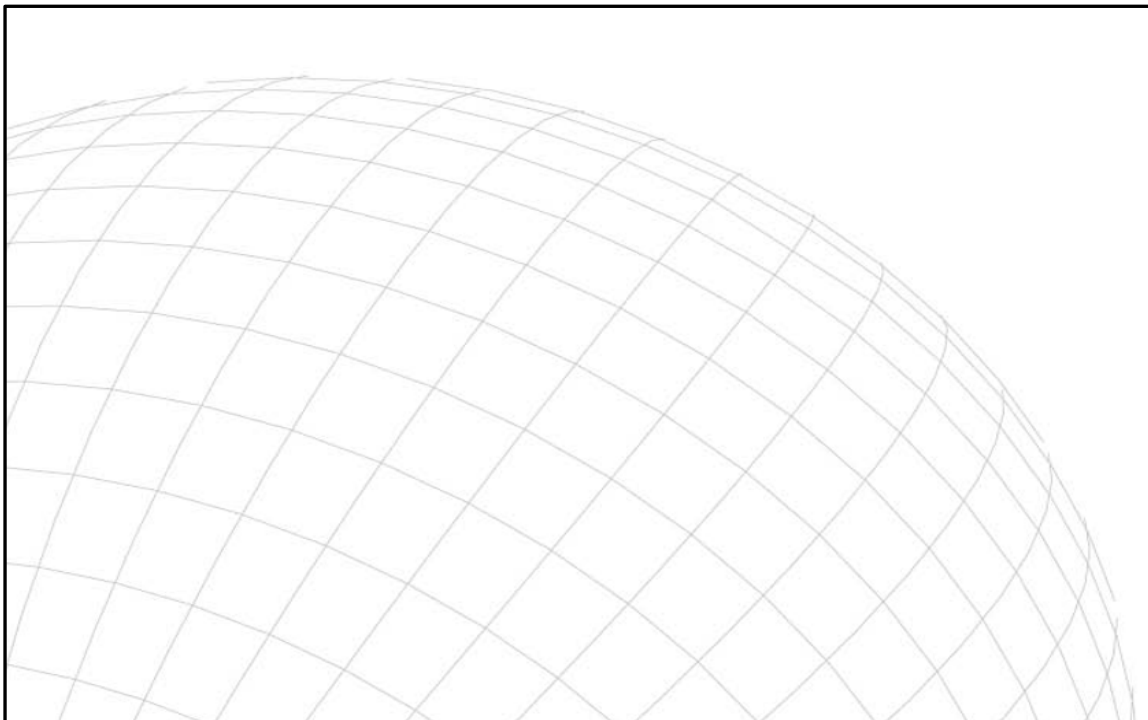


MoNaL - Mobilität nachhaltig über den Lebenszyklus gedacht

Förderkennzeichen: 16EXI4011A

Präsentation des verwertungsfähigen Produktsystems



PROF. DR.-ING. SEMIH SEVERENGIZ

Labor für Nachhaltigkeit in der Technik

Hochschule Bochum - Fakultät für Elektrotechnik und Informatik

Am Hochschulcampus 1

44801 Bochum

T +49.(0)234.32 10-328

Table of Contents

<i>Einführung</i>	2
<i>Vor der Installation des Produktsystems</i>	2
<i>Installation des Energiesystems auf dem Don Bosco Campus, Ghana</i>	4
<i>Anpassungen der Elektrofahrzeuge an die lokale Umgebung</i>	5
<i>Automatisches Lastmanagement</i>	6
<i>Blockchain-Plattform</i>	7

Einführung

Ziel des Pilotprojektes war die Installation und Nutzung eines Produktsystems aus Elektrofahrzeugen und Energiesystem. Speziell sollten elektrische Kleinfahrzeuge für eine Anwendung auf dem Campus der Don Bosco in Tema, Ghana, untersucht werden. Eine ausreichende Stromversorgung dieser elektrischen Fahrzeuge sollte durch eine Solar-Ladestation, versorgt durch ein Solar-Mini-Grid, sichergestellt werden. Das Produktsystem wurde im Rahmen des Projektes installiert und in Betrieb genommen. Die Erfahrungen des MoNaL-Pilotprojektes können weiteren Herstellern und Anwendern als Leitfaden dienen, wie das Produktsystem für einen lokalen Kontext optimiert werden kann. Für eine zukünftige Implementierung des Produktsystems wurden Potentiale über das Projekt hinaus identifiziert. Im Laufe des MoNaL-Projektverlaufs wurden Kontakte zu Interessengruppen und potenziellen Nutzern eines Peer-to-Peer-Stromhandelsmodells geknüpft. Besonderes Interesse wurde der Blockchain-Plattform entgegengebracht, welche den Peer-to-Peer-Stromhandel und automatisierten Stromverbrauch ermöglicht. Im Folgenden wird ein Überblick über die verschiedenen Aspekte des verwertungsfähigen Produktsystems gegeben.

Vor der Installation des Produktsystems

Vor der Installation der Fahrzeuge wurde eine Analyse und Auswahl geeigneter Modelle durchgeführt. Um abschätzen zu können, welche Anpassungen vor Ort vorgenommen werden müssen, wurde eine Liste mit allen wesentlichen Bauteilen erstellt. Tabelle 2 zeigt, welche Teile wie oft gewartet werden müssen und wie hoch die erwartete Lebensdauer ist. Darüber hinaus wurde ermittelt, wie wichtig das entsprechende Bauteil für die Fahrsicherheit ist. Die erarbeitete Instandhaltungs- und Schadenscheckliste kann als Leitfaden dienen, um in einer

zweiten Pilotphase weitere Anpassungsmöglichkeiten und prototypische Umsetzungen zu identifizieren.

Die Elektroroller wurden entsprechend den lokalen Anforderungen der ghanaischen Bevölkerung ausgewählt und von den Firmen ebility GmbH (Kumpan E-Mopeds) und Cargocycling GbR (E-Lastenräder) beschafft. Zur Erfassung des Nutzungsverhaltens wurden im

<u>Maintenance Check</u>	Vehicle Number:	Date:	Last check on:	Passed Check?	
Important components	Check (every 6 months)	Probability of damage	Relevance for safety	YES	NO
Lights	brake-, indicator-, parking- and headlights	Medium	High		
Headset	internal clearance	Low	High		
Suspensions	for oil leaks, oil level, tightness, and function	Medium	Medium		
Brakes	brake liquid, lining and disk	Low	High		
Wheel-bearing	for noises while driving	Medium	High		
Tires	for damage, air pressure and tread depth	High	High		
Plastic coverings, mirrors, and grips	for damage and tightness	High	Low		
Chassis	for damage	Low	High		
Battery	<i>difficult to check for wear out</i>	Low	High	-	-
Swing-bearing	internal clearance	Medium	High		
Footrests and stands	for function and lubrication	High	Medium		
Bolts and nuts	for tightness	Low	Medium		
Motor	<i>difficult to check for wear out (for noises while running)</i>	Low	High		

Tabelle 2: Instandhaltungs- und Schadenscheckliste

weiteren Verlauf des Projekts Datenlogger installiert (siehe Abbildung 3). Außerdem mussten die Telemetriemodule in den Mopeds angepasst werden, damit sie für den Anschluss an das ghanaische Mobilfunknetz ausgerüstet sind.



Abbildung 3: Das ausgewählte Scooter-Modell Kumpan 1954 und die Installation der Komponenten

Installation des Energiesystems auf dem Don Bosco Campus, Ghana

Die Installation und Inbetriebnahme der Solarladestation wurde im November 2021 abgeschlossen (Abbildung 4). Das Ladesystem ist für alle Arten von leichten Elektrofahrzeugen geeignet und kann durch Anpassung der Ausgangsspannung und des Stroms an den DC/DC-Wandlern durch eine Elektrofachkraft und den Anschluss des passenden DC-Ladekabels integriert werden. Zu den Fahrzeugen, die geladen werden können, gehören E-Bikes, E-Scooter, Cargo-E-Bikes und Drohnen. Für den Benutzerkomfort können auch Telefonaufladung, Beleuchtung oder WiFi integriert werden. Die verschiedenen Komponenten haben eine erwartete Lebensdauer von 5 bis 20 Jahren. Sie sind durch die Garantie der Originalhersteller abgedeckt. Wenn die Station oder Teile nicht mehr für die ursprüngliche Anwendung genutzt werden können, können sie angepasst und für alternative Nutzungsszenarien wiederverwendet werden. Die Stationen sind aus einem Holzrahmen gefertigt und daher leicht zu transportieren, auch auf nicht betoniertem Untergrund. Das System besteht aus zwei trennbaren Einheiten, was eine zusätzliche Flexibilität in der Nutzung und einen noch einfacheren Transport ermöglicht. Alle Komponenten lassen sich nach dem



Abbildung 4: Installation des Mini-Grid auf dem Don Bosco Campus in Tema, Ghana: Solarmodule auf dem Dach des Technical Center, Wechselrichter, Laderegler und MPPT im Provincial House sowie in der Kapelle (von links nach rechts)

"Plug and Play"-Prinzip einfach verknüpfen. Auf diese Weise wird die Wartung vereinfacht, da keine wesentlichen Arbeiten am System vorgenommen werden müssen. Stattdessen können defekte Komponenten einfach ausgetauscht werden. Das System wird ausschließlich mit Gleichstrom nach dem SELV-Standard betrieben, so dass eine Gefährdung von Menschen ausgeschlossen ist und der semimobile Charakter der Station erhalten bleibt. Das Gleichstromsystem erfordert zwar Zubehör wie spezielle Ladekabel für die Fahrzeuge, ist aber die sicherere und effizientere Lösung im Vergleich zu einem Wechselstromsystem. In Bezug auf die statische Sicherheit ist das System sicher mit sehr hohen Windlasten, Brandschutzklasse B1 und einer Konstruktion, die den Benutzer vor Stolperfallen und Verletzungen schützt. Beim Vergleich verschiedener Systemdesignoptionen fiel die Wahl auf das vorgeschlagene Design, bei dem zwei Solarmodule in einem Winkel von 70 Grad mit einem Azimut von 90 bzw. 270 Grad einander gegenüberstehen. Der Vorteil dieser Konstruktion liegt in der hohen Punktzahl in den Bewertungskategorien Benutzerfreundlichkeit, Sicherheit und Effizienz.

Anpassungen der Elektroleichtfahrzeuge an die lokale Umgebung

Die auf dem Campus von Don Bosco installierten Leichtelektrofahrzeuge (E-Moped, zweirädriges E-Lastenrad und dreirädriges E-Lastenrad) wurden im Rahmen einer Produktklinik auf ausgewählten Strecken getestet (Abbildung 5).



Abbildung 5: Installation und Testen der LEVs auf dem Don Bosco Campus mit integrierten Solarladestationen

Es wurden verschiedene Standard-Motorrad-Streckentests durchgeführt, um ihre Leistung im lokalen Gelände zu bestimmen. Getestet wurden Strecken mit sandigem/grasigem, gepflastertem und geschottertem Untergrund. Die für die Bewertung verwendeten Tests werden im Folgenden vorgestellt:

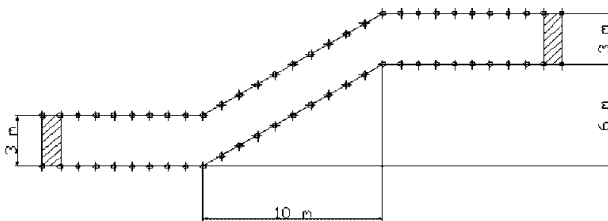


Abbildung 6: ISO Fahrspurwechsel, basierend auf Capitani et. al, 2006

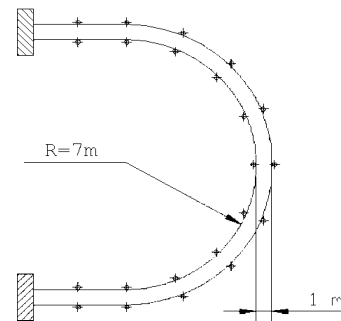


Abbildung 7: 900 R30 Wendestrecke, basierend auf Capitani et. al, 2006

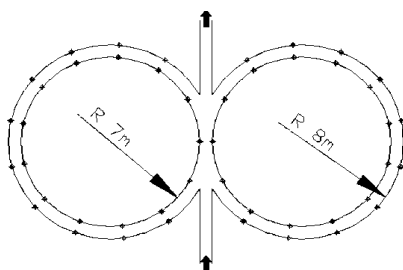


Abbildung 8: Figure-8 Streckentest basierend auf Capitani et. al, 2006

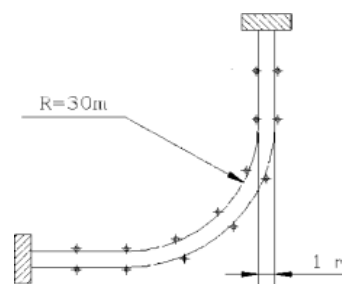


Abbildung 9: J-Kurve mit konstantem Radius, basierend auf Capitani et. al, 2006

Die Fahrer der Elektroleichtfahrzeuge beantworteten nach den Streckentests qualitative Fragen zu Manövrierbarkeit und Handling, Stabilität, Lenkung und Bremstraktion, um Mängel oder Teile zu ermitteln, die an die örtlichen Gegebenheiten angepasst werden müssen. Nachfolgend werden in Tabelle 3 Mängel und Empfehlungen zusammengefasst, welche die Entwicklung zukünftiger LEVs für den Einsatz in Ghana und in Afrika südlich der Sahara unterstützen können:

Tabelle 3: Zusammenfassung der Streckentests von LEVs auf lokalem Gelände

Fahrzeugart	Ergebnisse/Bemerkungen/Empfehlungen zur verbesserten Anpassung an lokale Bedingungen
<i>E-Moped</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Größere Fahrzeugreifen mit zusätzlichen Rillen für bessere Traktion. • Das Fahrzeug sollte einen höheren Abstand von Boden haben, um für das raue und unebene örtliche Gelände besser geeignet zu sein. • Das Fahrzeug ist vor allem im hinteren Teil schwer, was bei scharfen Kurven zu Instabilität führt. • Die Geschwindigkeit bleibt konstant, wenn das Gaspedal losgelassen wird.
<i>E-Lastenrad (Zweirad)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Schwierigkeiten in scharfen Kurven, schlechte Leistung auf Schotter, insbesondere in Bezug auf die Stabilität. • Die Scheinwerfer sollten an die Hauptbatterie angeschlossen werden, anstatt austauschbare AA-Batterien zu verwenden. • Unvorteilhafte Platzierung von Elektronik und Batterien. • Die Ladeanzeige sollte aus Sicherheitsgründen und zum Schutz vor Witterungseinflüssen wie Regen mit einer Abdeckung versehen sein. • An verschiedenen Stellen des Fahrzeugs sollten reflektierende Elemente angebracht werden, um die Sichtbarkeit zu gewährleisten und die Sicherheit zu erhöhen.
<i>E-Lastenrad (Dreirad)</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Schwierigkeiten in scharfen Kurven, schlechte Leistung auf Schotter, insbesondere in Bezug auf die Stabilität. • Die Scheinwerfer sollten an die Hauptbatterie angeschlossen werden, anstatt austauschbare AA-Batterien zu verwenden. • Unvorteilhafte Platzierung von Elektronik und Batterien im Laderaum. • Die Ladeanzeige sollte aus Sicherheitsgründen und zum Schutz vor Witterungseinflüssen wie Regen mit einer Abdeckung versehen sein. • An verschiedenen Stellen des Fahrzeugs sollten reflektierende Elemente angebracht werden, um die Sichtbarkeit zu gewährleisten und die Sicherheit zu erhöhen.

Automatisches Lastmanagement

Der Zugang zu den Daten des Mininetzes eröffnet die Möglichkeit, die Geräte des Mininetzes und die an das Mini-Grids angeschlossenen Lasten zu steuern. Die entwickelte Software kann Geräte im Mini-Grid nach vordefinierten Auslöseereignissen und nach einer fast beliebigen

Logik ein- und ausschalten. Die Logik basiert dabei direkt auf den erfassten Daten oder auf Berechnungen und Algorithmen basiert. Beispiele für ein Lastenmanagement, welches direkt auf gesammelten Daten basiert, sind:

- Einschalten von Lasten, wenn eine Batterie voll ist
- Abschalten von Lasten, wenn bestimmte Ereignisse eintreten, z.B., wenn es zu regnen beginnt oder wenn die Sonneneinstrahlung unter einem bestimmten Schwellenwert liegt.

Es wurden Algorithmen zur Vorhersage der Solarproduktion und des Verbrauchs der Geräte im Mini-Netz entwickelt, um eine Prognose der Energieverfügbarkeit in naher Zukunft zu ermöglichen. Der Zeithorizont ist immer der erste Morgen nach dem Zeitpunkt der Berechnung. Die Algorithmen verwenden gesammelte Daten aus dem Produktsystem zur Berechnung. Die Vorhersagen weisen zwar eine Fehlerspanne auf, aber durch die Verwendung historischer Daten lässt sich der Fehler perspektivisch auf ein akzeptables Niveau reduzieren.

Diese Vorhersagealgorithmen ermöglichen das Auslösen der Laststeuerung, bevor ein bestimmtes Ereignis eintritt. Wenn der Algorithmus z. B. eine größere Stromproduktion und einen geringen Energiebedarf vorhersagt, ist es möglich, Lasten wie E-Fahrzeuge frühzeitig einzuschalten, noch bevor die Batterien voll sind. Andererseits können Lasten abgeschaltet werden, bevor kritische Werte erreicht werden, wenn die Energiespeicher für einen bestimmten Zeitraum des Tages niedrig sind. Diese Funktion hat sowohl im privaten als auch im gewerblichen Bereich ein großes Potenzial und kann zu einem geringeren Bedarf an PV-Installationen führen, wodurch die Effizienz und Verfügbarkeit der installierten PV-Anlagen erhöht und gleichzeitig die Kosten und der CO₂-Fußabdruck gesenkt werden.

Blockchain-Plattform

Die relevanten Daten aller Geräte des Mininetzes werden auf einer Blockchain-Plattform gespeichert (Abbildung 10). Die Blockchain-Knotenpunkte, die Teil des Blockchain-Netzwerks sind, können sich entweder vor Ort befinden oder aus der Ferne über einen Internetzugang verbunden sein. Dies ermöglicht eine netzunabhängige Funktionalität der Blockchain-

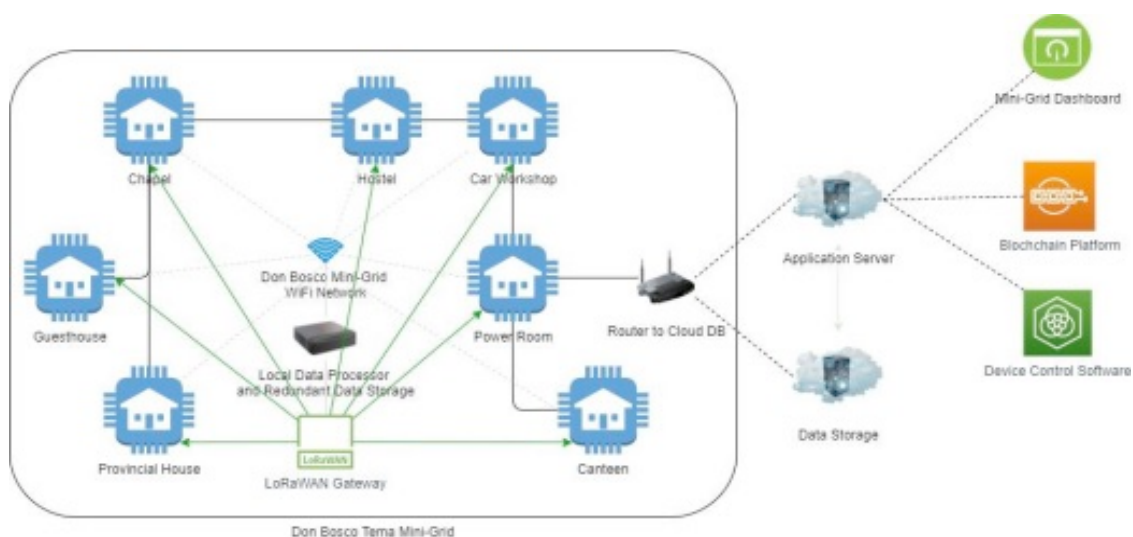
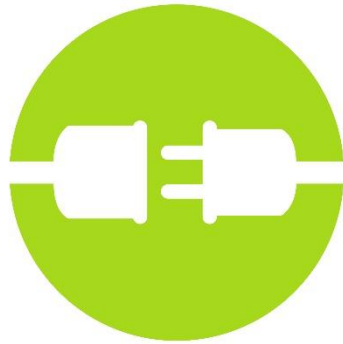


Abbildung 10: Übersicht der Datenerfassungs- und Softwareplattformen auf dem Don Bosco Campus

Plattform, während gleichzeitig eine dezentrale und nicht manipulierbare Datenspeicherung gewährleistet wird.

Die so gespeicherten Daten können für verschiedene Zwecke verwendet werden, z. B. für den Stromhandel zwischen Mini-Grid-Erzeugern und -Verbrauchern. Eine Nutzung als Herkunftsnachweis für Energie kann die Transaktionskosten senken, da die Notwendigkeit einer zentralen Verwaltungsstelle wegfällt. Niedrige Transaktionskosten sind vor allem dann von entscheidender Bedeutung, wenn die gehandelten Energiemengen gering sind, wie dies bei Mini-Grids in der Regel der Fall ist. Darüber hinaus eröffnet die Speicherung der Daten auf einer Blockchain die Möglichkeit, Transaktionen unter Verwendung von Kryptowährungen abzuwickeln oder transaktionsfähige Token für eingesparte CO₂-Emissionen zu generieren, um nur einige zu nennen. Detaillierte technische Spezifikationen der Software sind in den Anhängen des Meilensteinberichts 4 zu finden.



Green Power Brains

MoNaL Report

DOCUMENT VERSION: 1.1

DATE: 26.10.2022

AUTHOR :

Michele Velenderic, Green Power Brains

michele.velenderic@greenpowerbrains.com

Table of Contents

1	Purpose of the document	3
2	Data for Blockchain Software Platform and Automatic Load Management development	3
2.1	Data collection in Don Bosco Tema Mini-Grid	3
2.2	Targets for collected data	5
3	Data usage	6
3.1	Data visualization and monitoring: Don Bosco Tema Mini-Grid Dashboard	6
3.2	API for data access	7
3.3	User Dashboard App	7
3.4	Blockchain software platform	12
3.5	Automatic load management	15
3.5.1	Power Room air conditioners control	15
3.5.2	Chargers for e-vehicles control	16
4	Reduction of battery storage sizing due to power trading between PV power systems on the Don Bosco Tema Mini-Grid	19
5	Recoverable product	20
6	Further Steps	21

1 Purpose of the document

The report document provides overall information on the status of the topics listed below in the MoNaL project implemented the Don Bosco Mini-Grid in Tema, Ghana:

- Blockchain development
- Automatic load management
- Recoverable product

2 Data for Blockchain Software Platform and Automatic Load Management development

Base for the development of the Blockchain software platform for peer-to-peer power trading and automatic load management is the data on PV power production, power consumption and battery statuses of all power systems connected to the mini-grid.

Wi-Fi has been chosen as technology to connect all devices on the mini-grid for data collection, while outgoing signals for the device control are transmitted using LoRaWAN.

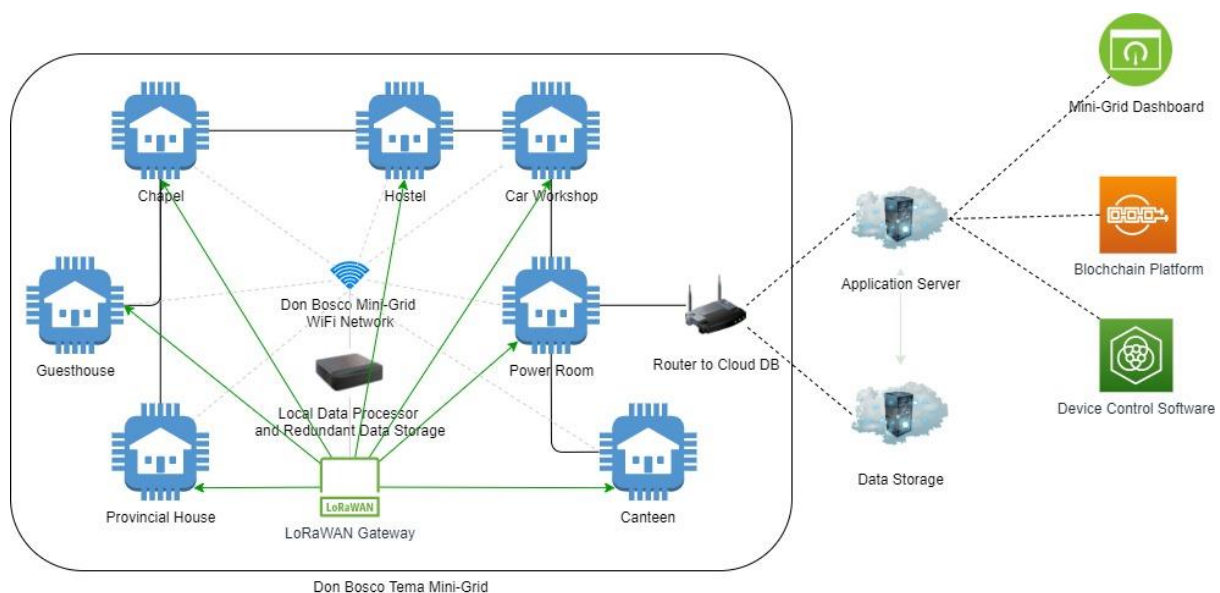


Figure 1: Data collection and software platform overview

2.1 Data collection in Don Bosco Tema Mini-Grid

A Wi-Fi network that covers the whole campus has been designed and installed in the Don Bosco Tema campus and has been operating without major interruptions since November 2021.



Figure 2: Don Bosco Mini-Grid data collection overview

The Wi-Fi network reaches all the buildings on the Don Bosco Campus. Buildings on the campus can either be pure consumers, without a PV power system, or prosumers, buildings with a PV power system connected to the Don Bosco Mini-Grid.

Type of building	Description
Consumer	Building without PV system, power supply from Don Bosco Mini-Grid
Prosumer	Building with PV system, connected to Don Bosco Mini-Grid. Building can use the own PV system, consume energy from the mini-grid and feed-in into the mini-grid.

Table 1: Types of building connected to Don Bosco Mini-Grid

Consumers draw energy from the mini-grid and only have a smart meter together with a data collector installed, that allows for consumption data to be collected continuously.

Prosumers can consume energy from the mini-grid, but also feed-in surplus energy into the mini-grid. They have smart meters installed to measure consumptions and feed-in, together with data collectors, as for the consumers buildings, that allow a continuous data collection. Additionally, to the continuous collection of the consumption from the mini-grid and the feed-in into the mini-grid, the data collectors collect data from the PV power system installed in the building, such as PV production and battery status.

2.2 Targets for collected data

The main target for the collected data is a database based on a Green Power Brains cloud server. The target is an Influx database, that offers the possibility to visualize data.

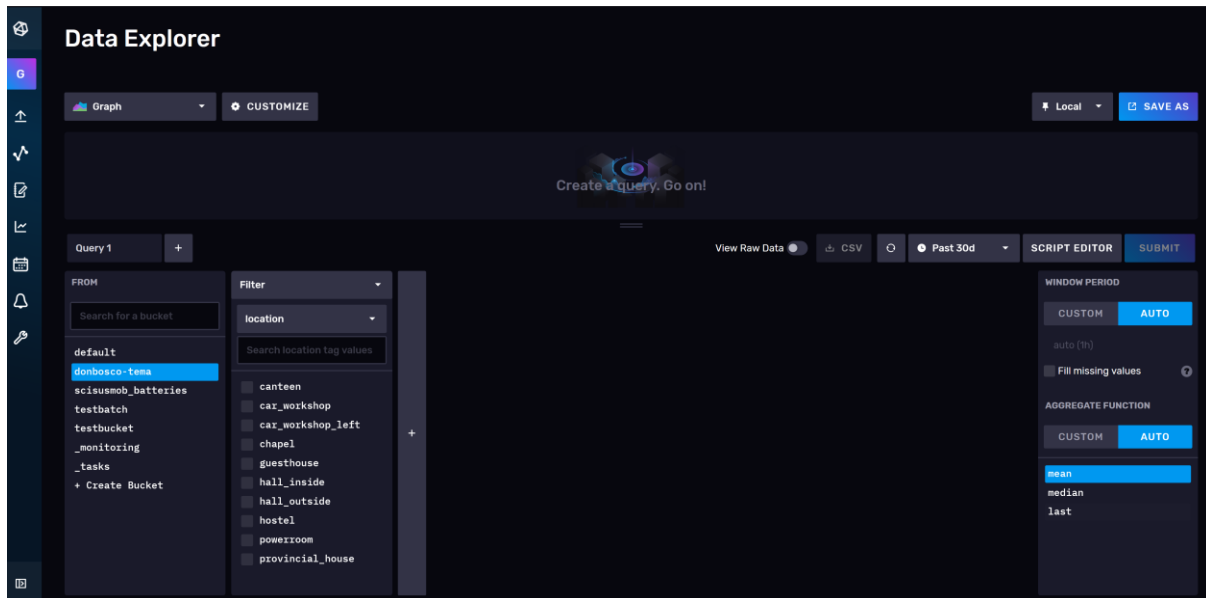


Figure 3: Influx database with data visualization, Don Bosco Tema data storage with all locations on the mini-grid

Additionally, on the Don Bosco Campus, the same database is distributed redundantly on data collectors of all prosumers buildings. The system is ready for an arbitrary number of additional distributions points. Data collector devices of consumers buildings are suitable to host redundant databases. Data replication can be configured on an arbitrary number of other locations within the mini-grid.

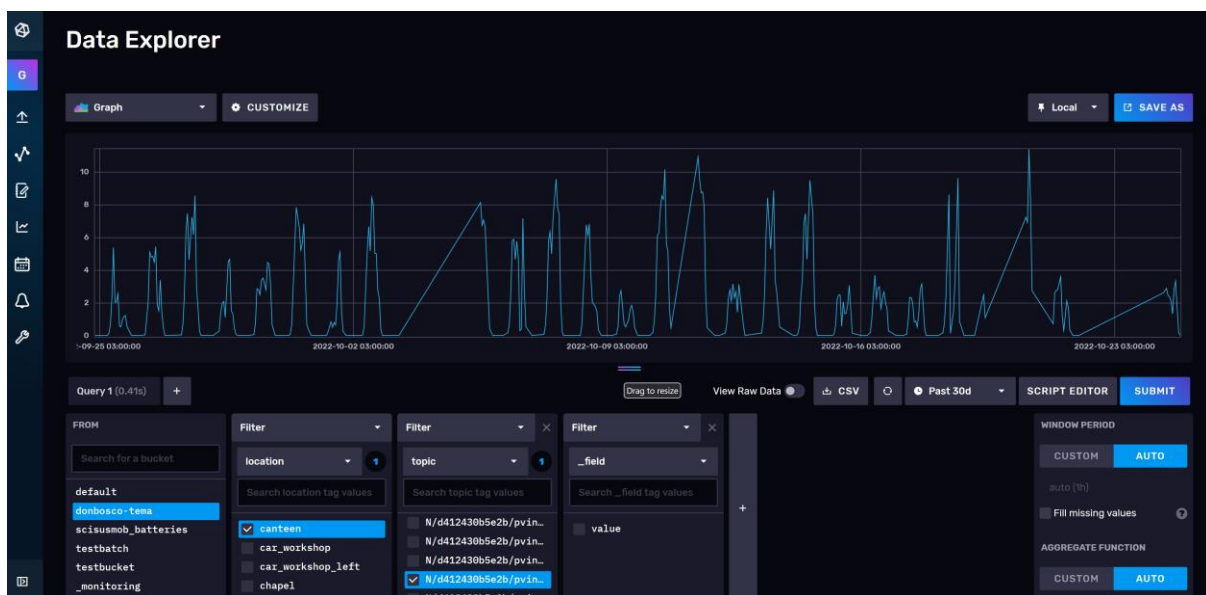


Figure 4: Example of collected data series belonging to the Canteen installation

3 Data usage

Collected data is used for:

1. Data visualization and mini-grid monitoring in the Don Bosco Tema Mini-Grid Dashboard
2. Feeding of the User Dashboard of the Don Bosco Tema Mini-Grid
3. Feeding of the Blockchain software platform
4. Feeding the logic of the automatic load management

3.1 Data visualization and monitoring: Don Bosco Tema Mini-Grid Dashboard

A dashboard for data visualization has been set up. The dashboard uses the data from the Influx database mentioned in the previous section:

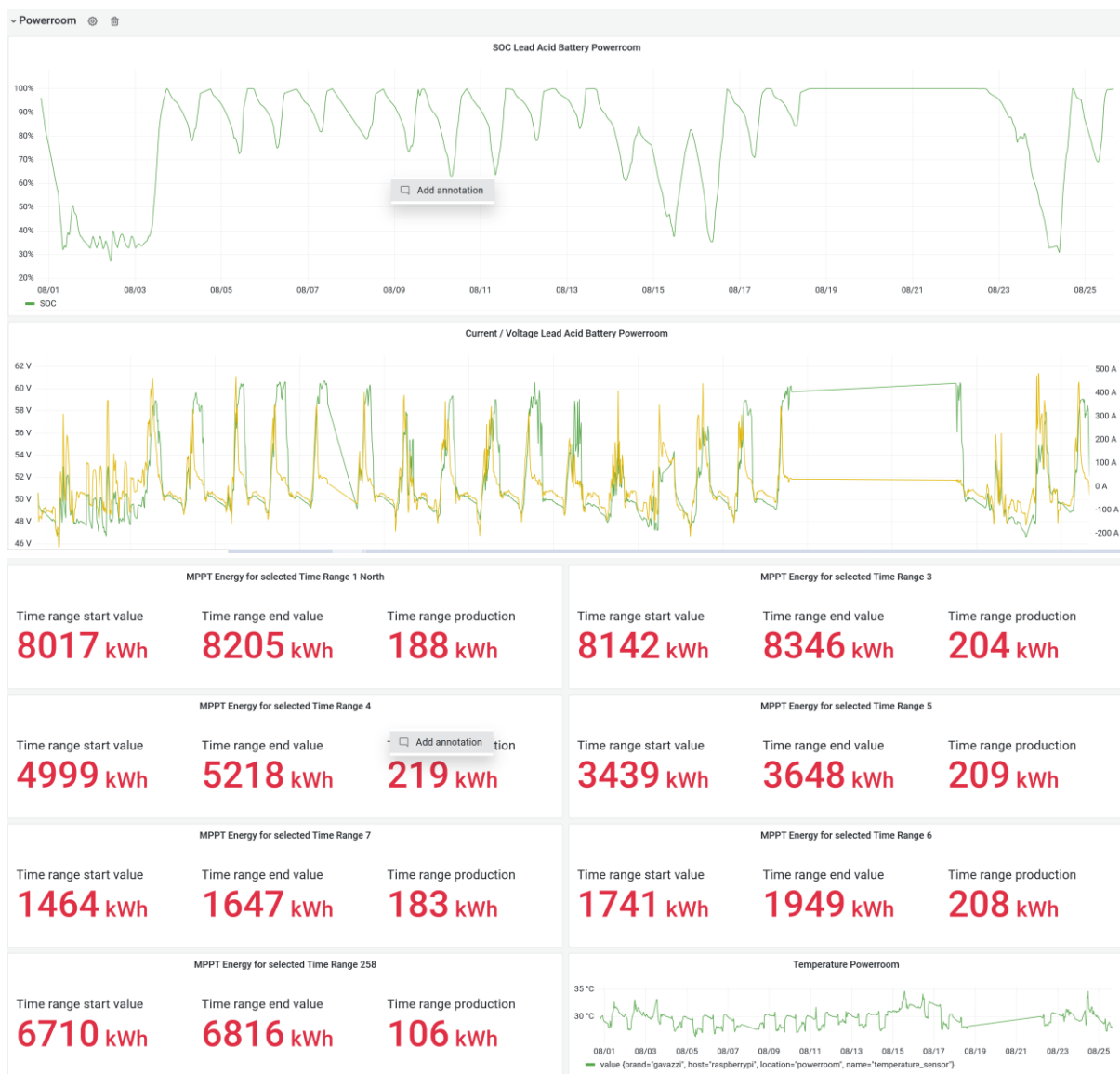
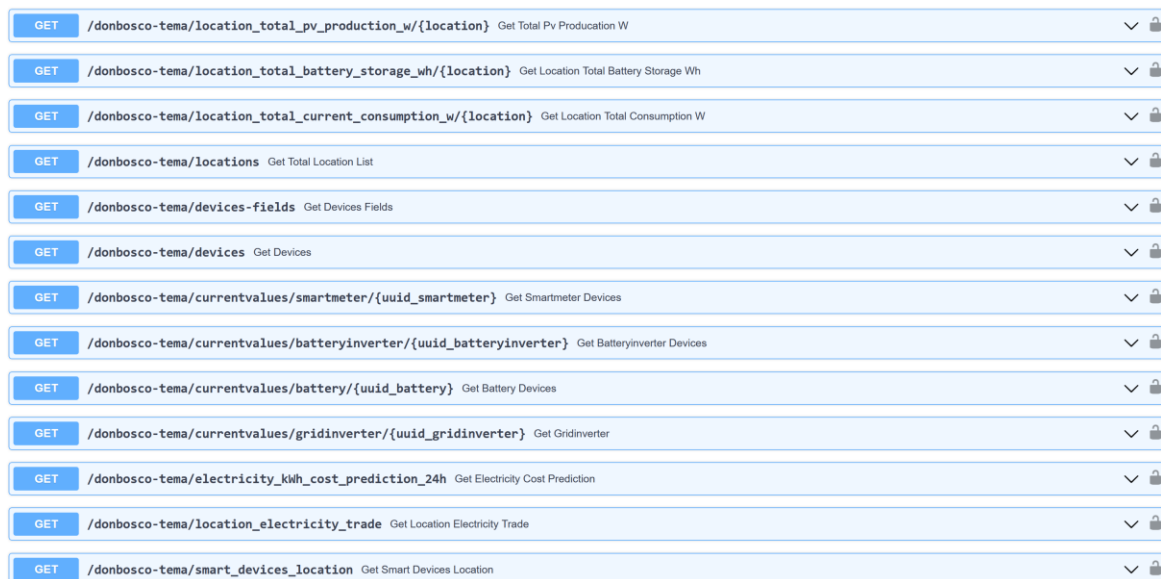


Figure 5: Dashboard for data visualization

The dashboard has been operational for 11 months and has undergone several development iterations. The current format has been developed in close cooperation with the mini-grid operator is in daily use, having replaced the single manufacturer's monitoring platforms. This real-life use ensures a constant monitoring and optimization of the developed dashboard.

3.2 API for data access

An API has been developed as an intermediate level of abstraction between collected data and applications based on the collected data, to ease access to the collected data without having to understand nomenclature specific to single PV power system components manufacturers and allowing for a more flexible data collection and management in the model background.



The image shows a list of 13 API endpoints, each with a GET method, a path, a description, and a lock icon. The endpoints are:

Method	Path	Description
GET	/donbosco-tema/location_total_pv_production_w/{location}	Get Total Pv Production W
GET	/donbosco-tema/location_total_battery_storage_wh/{location}	Get Location Total Battery Storage Wh
GET	/donbosco-tema/location_total_current_consumption_w/{location}	Get Location Total Consumption W
GET	/donbosco-tema/locations	Get Total Location List
GET	/donbosco-tema/devices-fields	Get Devices Fields
GET	/donbosco-tema/devices	Get Devices
GET	/donbosco-tema/currentvalues/smartmeter/{uuid_smartmeter}	Get Smartmeter Devices
GET	/donbosco-tema/currentvalues/batteryinverter/{uuid_batteryinverter}	Get Batteryinverter Devices
GET	/donbosco-tema/currentvalues/battery/{uuid_battery}	Get Battery Devices
GET	/donbosco-tema/currentvalues/gridinverter/{uuid_gridinverter}	Get Gridinverter
GET	/donbosco-tema/electricity_kwh_cost_prediction_24h	Get Electricity Cost Prediction
GET	/donbosco-tema/location_electricity_trade	Get Location Electricity Trade
GET	/donbosco-tema/smart_devices_location	Get Smart Devices Location

Figure 6: API for access to collected data

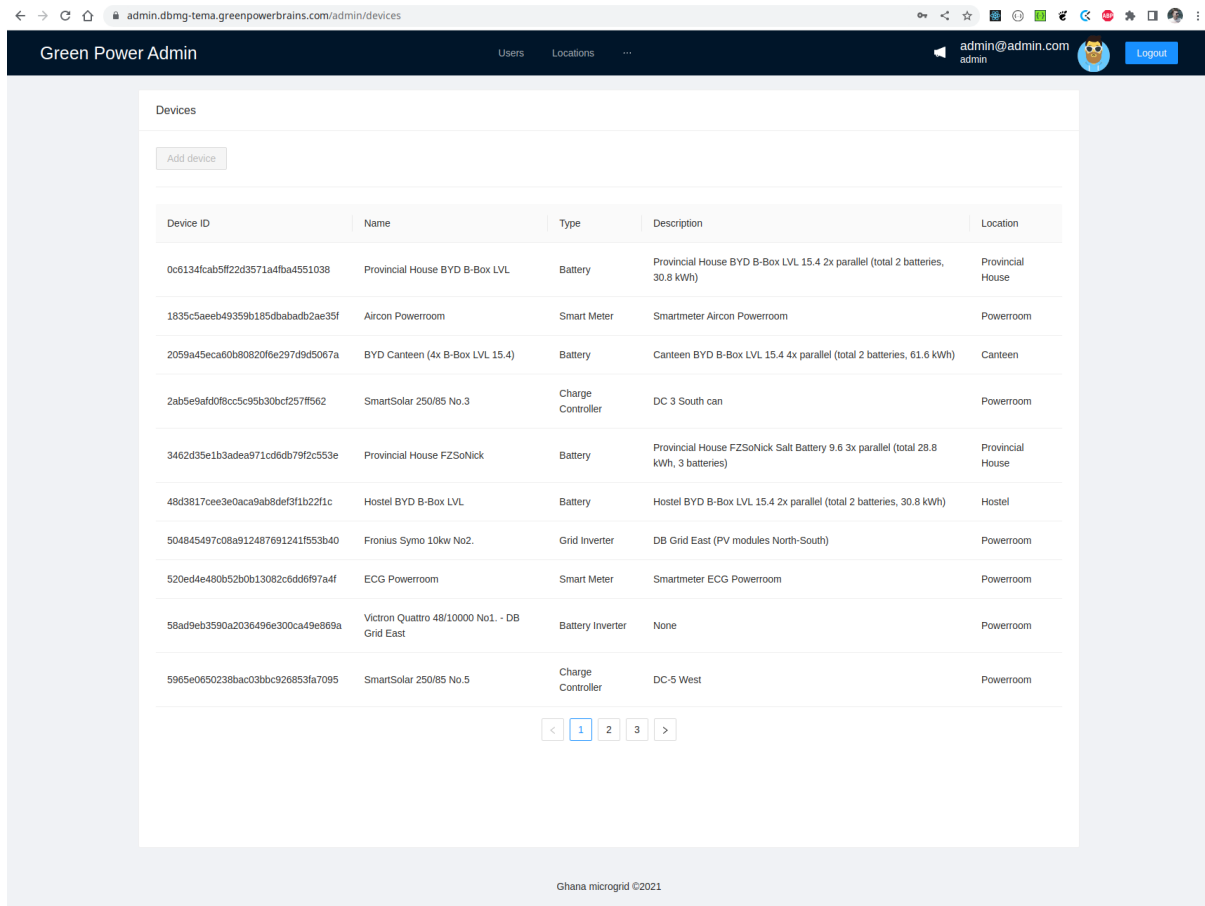
The applications in the next sections, the User Dashboard App, the Blockchain software platform and the Automatic load management use this API to access the data necessary to implement and follow their logic.

3.3 User Dashboard App

A dashboard has been developed to administrate and visualize the mini-grid power systems and devices. The dashboards allow for the creation of users that are connected to one or more PV power systems on the mini-grid. The user can import into his app a list of devices to follow and monitor, see the current power price and set basic parameters for device control. Data for the dashboard is retrieved using the implemented API for data access mentioned in the previous section.

Implemented tasks in the dashboard

Implementation of a page with a list of actual devices



The screenshot shows a web browser window with the URL `admin.dbmg-tema.greenpowerbrains.com/admin/devices`. The page title is "Green Power Admin". The user is logged in as "admin@admin.com" with the role "admin". The main content area is titled "Devices" and contains a table with the following data:

Device ID	Name	Type	Description	Location
0c6134fcab5ff2d3571a4fba4551038	Provincial House BYD B-Box LVL	Battery	Provincial House BYD B-Box LVL 15.4 2x parallel (total 2 batteries, 30.8 kWh)	Provincial House
1835c5aeeb49359b185dbabdb2ae35f	Aircon Powerroom	Smart Meter	Smartmeter Aircon Powerroom	Powerroom
2059a45eca60b80820f6e297d9d5067a	BYD Canteen (4x B-Box LVL 15.4)	Battery	Canteen BYD B-Box LVL 15.4 4x parallel (total 2 batteries, 61.6 kWh)	Canteen
2ab5e9afd0f9cc5c95b30bcf257ff562	SmartSolar 250/85 No.3	Charge Controller	DC 3 South can	Powerroom
3462d35e1b3adaea971cd6db79f2c553e	Provincial House FZSoNick	Battery	Provincial House FZSoNick Salt Battery 9.6 3x parallel (total 28.8 kWh, 3 batteries)	Provincial House
48d3817cee3e0aca9ab8def911b22f1c	Hostel BYD B-Box LVL	Battery	Hostel BYD B-Box LVL 15.4 2x parallel (total 2 batteries, 30.8 kWh)	Hostel
504845497c08a912487e91241f553b40	Fronius Symo 10kw No2.	Grid Inverter	DB Grid East (PV modules North-South)	Powerroom
520ed4e480b52b0b13082c6dd6f97a4f	ECG Powerroom	Smart Meter	Smartmeter ECG Powerroom	Powerroom
58ad9eb3590a2036496e300ca49e869a	Victron Quattro 48/10000 No1. - DB Grid East	Battery Inverter	None	Powerroom
5965e0650238bac03bbc926853fa7095	SmartSolar 250/85 No.5	Charge Controller	DC-5 West	Powerroom

At the bottom of the table, there is a pagination control showing page 1 of 3.

Ghana microgrid ©2021

Figure 7: Dashboard with list of actual devices in the mini-grid

Ability for a user to select his own devices

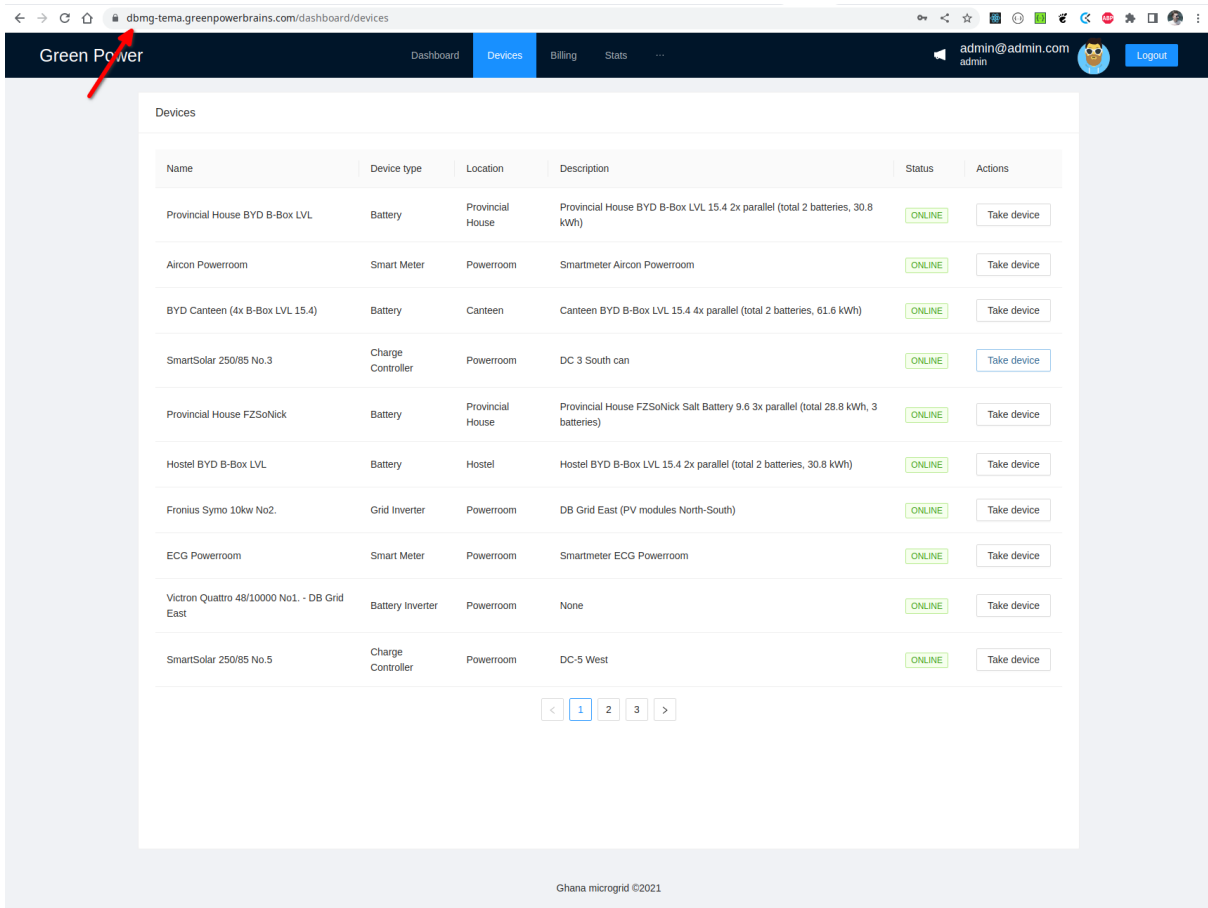


Figure 8: Device selection for a user

Display of a list of selected devices for the user

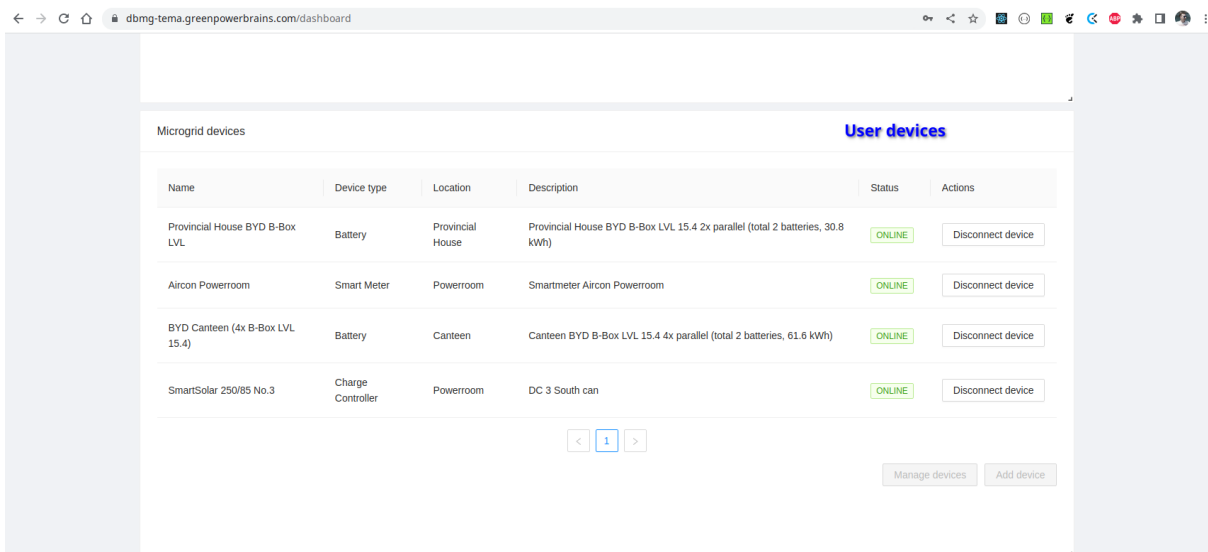


Figure 9: List of selected devices per user

Finance widget with data on bought and sold energy per user



Figure 10: Finance widget with data on bought and sold energy per user

Smart device display with basic configuration

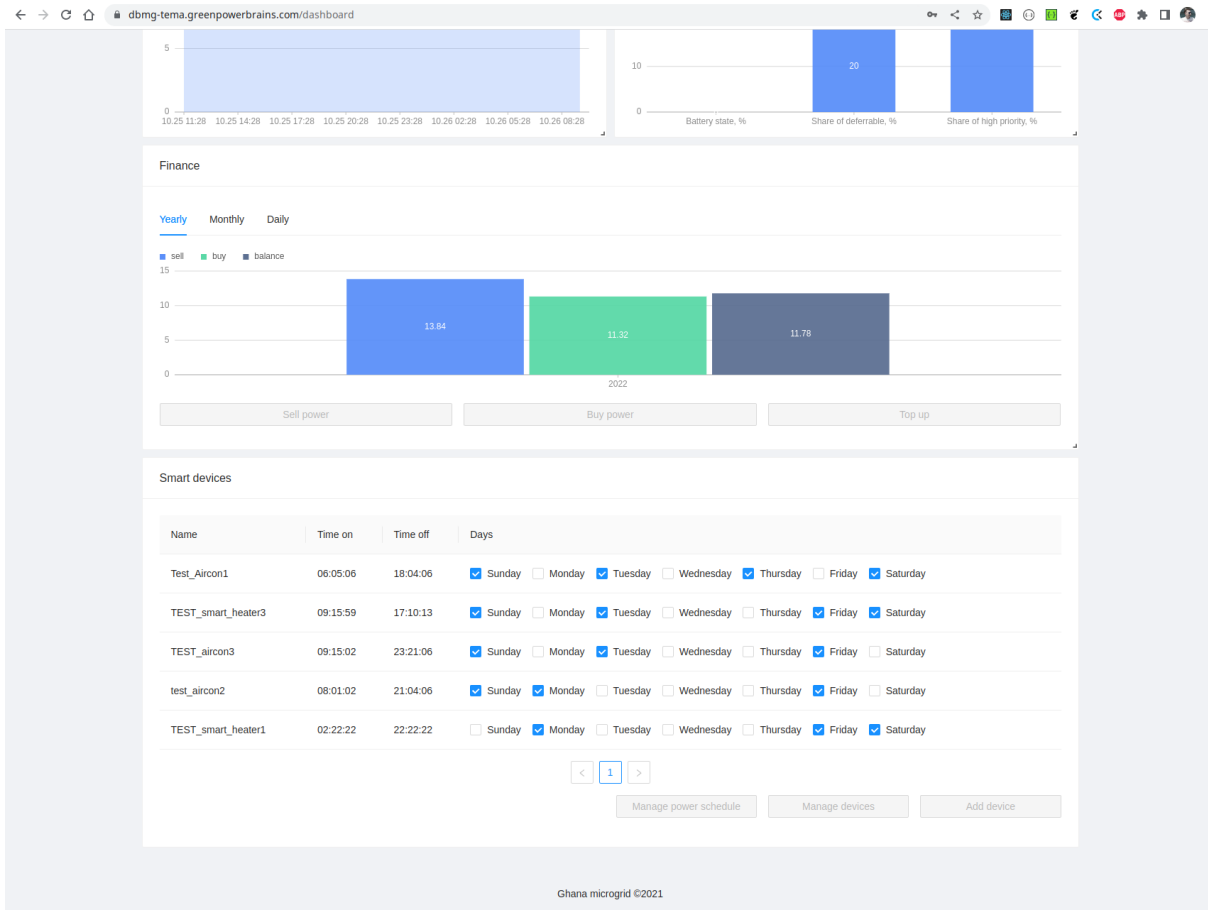


Figure 11: Display of smart devices with basic configuration

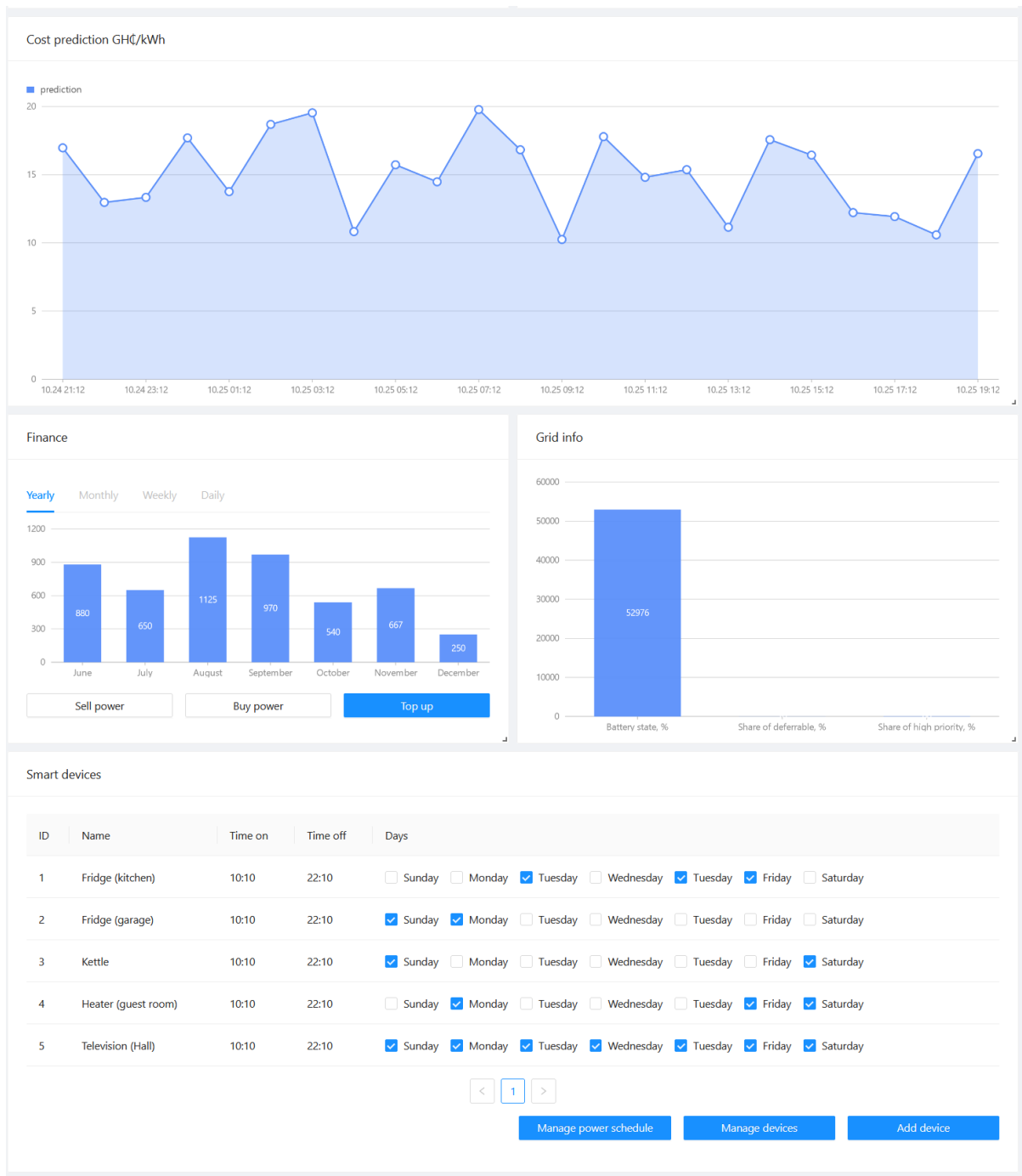


Figure 12: User dashboard for monitoring of own devices and control of own smart devices

3.4 Blockchain software platform

A blockchain based on the platform has been implemented and installed. The current network consists of:

- 3 cloud peers
- 3 local peers (will be on Raspberry Pis in future)
- 1 orderer (places transaction blocks)
- 2 certificate centres (one for the cloud, one for the local issuance of certificates)
- 2 explorers (cloud and local)

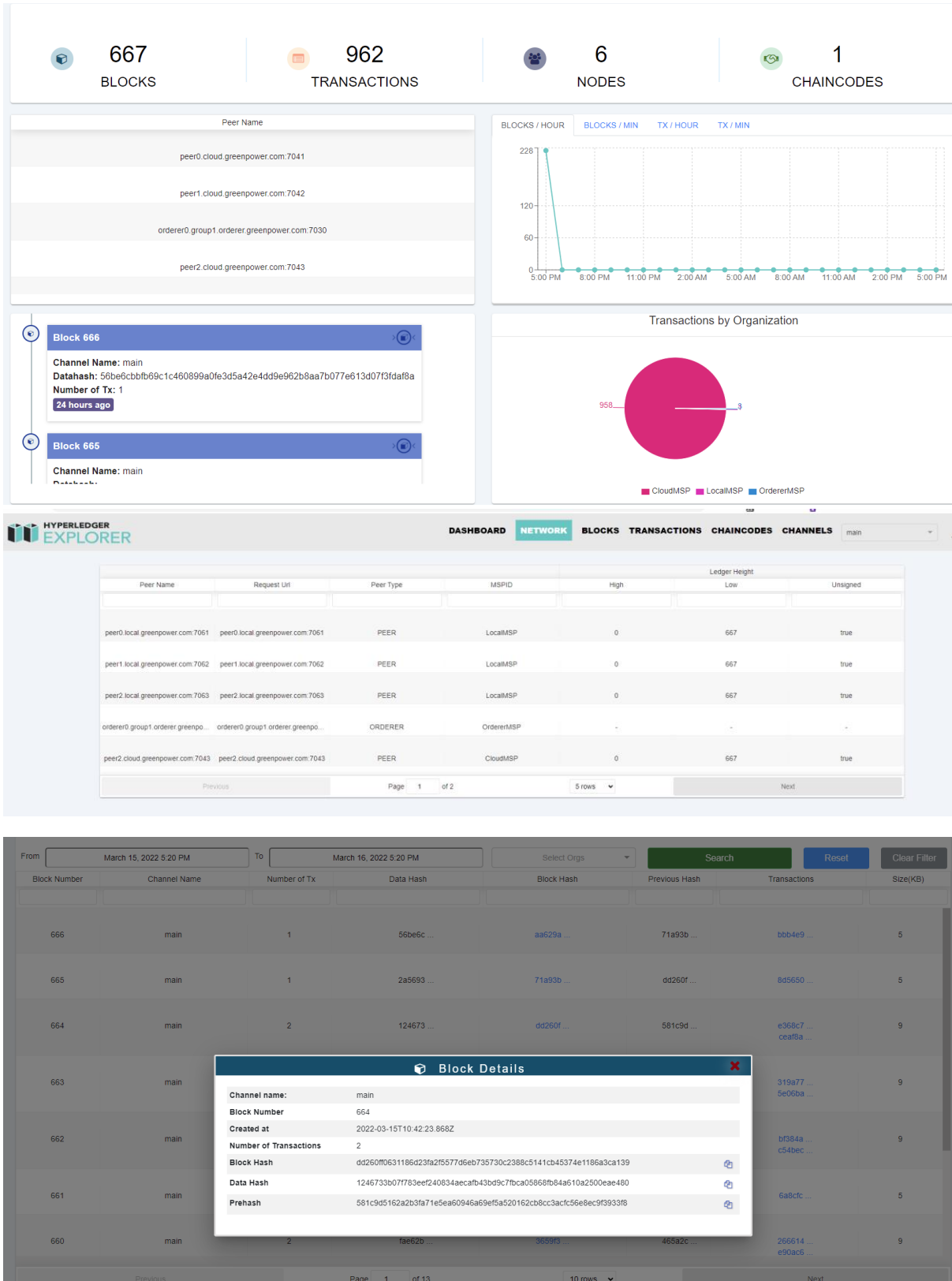


Figure 13: Overview of implemented blockchain network

Smart Contract

Smart contracts issuing has been implemented and can be implemented for peer-to-peer power trading.

```
microgrid-network > chaincode > lib > JS common.js > Common > createEntry > newEntry
You, 3 months ago | 1 author (You)
1  /*
2   * Copyright IBM Corp. All Rights Reserved.
3   *
4   * SPDX-License-Identifier: Apache-2.0
5   */
6
7  "use strict";
8
9  const moment = require("moment");
10
11 const { Contract } = require("fabric-contract-api");
12
13 You, 3 months ago | 1 author (You)
14 class Common extends Contract {
15     async initLedger(ctx) {}
16
17     async createEntry(ctx, data) {
18         const queryData = JSON.parse(data);
19
20         const promises = [];
21
22         for (const entry of queryData) {
23             let newEntry = {
24                 brand: entry.brand,
25                 time: entry._time,
26                 location: entry.location,
27                 topic: entry.topic,
28                 topicData: entry.topic.split("/"),
29                 value: entry._value,
30                 host: entry.host,
31                 measurement: entry._measurement,
32             };
33
34             const existsEntryBuffer = await ctx.stub
35                 .getState(`${newEntry.topic}_${moment(newEntry.time).unix()}`)
36                 .then((buffer) => buffer.toString());
37
38             if (!existsEntryBuffer) {
39                 promises.push(
40                     ctx.stub.putState(
41                         `${newEntry.topic}_${moment(newEntry.time).unix()}`,
42                         Buffer.from(JSON.stringify(newEntry))
43                     )
44                 );
45             }
46
47             const result = await Promise.all(promises);
48
49             return result;
50         }
51     }
52
53     module.exports = Common;
```

Direct Link: <http://ghana.theinvaders.pro:7011/?tab=transactions&transId=bbb4e9582e1a886b9c6e62dd57868959ae71791576732cf31edabbca4e11113e>

Reads:

- ▼ root: [] 2 items
 - ▶ 0: {} 2 keys
 - ▶ 1: {} 2 keys

Writes:

- ▼ root: [] 2 items
 - ▼ 0: {} 2 keys
 - chaincode: "_lifecycle"
 - set: [] 0 items
 - ▼ 1: {} 2 keys
 - chaincode: "common"
 - ▼ set: [] 1 item
 - ▼ 0: {} 3 keys
 - key: "1647340953"
 - is_delete: false
 - value: "{\"time\":1647340953,\"brand\":\"victron\",\"host\":\"raspberrypi\",\"location\":\"powerroom\",\"topic\":\"N\",\"d4124390dc17\",\"battery\":\"278\",\"Dc\",\"0\",\"Power\"]\"}

Figure 14: Smart contract implementation

API methods for interaction with the Hyperledger Fabric platform

Basic methods for actions on the implemented Hyperledger Fabric platform

- POST /user/enroll - "issue" of the user certificates
- POST /user/reenroll - "reissue" of the user certificates
- POST /user/register - user registration in the system
- GET /user/identities - fetching of user IDs
- POST /discover/:channel - new channel survey
- POST /invoke/:channel:chaincode - smart-contract execution
- POST /query/:channel:chaincode - state of the smart-contract query

3.5 Automatic load management

All data and parameters that are collected by the mini-grid data collection devices can be used to develop a very sensitive logic to control power devices. Two automatic load management applications are currently implemented and being tested:

1. Control of the air conditioners in the Power Room (main installation room)
2. Control of the chargers for the e-vehicles on the mini-grid

3.5.1 Power Room air conditioners control

Air conditioners in the power room are controlled by time and the rain sensor. The air conditioners are connected to power over a relay of one of the grid inverters installed in the power room. Air conditioners follow a very simple logic: they should run between 8 am and 17 pm, assuming that there is no rain. For the control, in case of no rain in the mentioned time period, closing of the relay is automatically solicited by the mini-grid controller running

the load management software and the air conditioners begin running. In case of reaching of the turn-off time, or in case of rain detected by the installed rain sensor, the mentioned relay opens and the air conditioners go off to guard the battery.

Another example is the power room air conditioners control in function of the temperature in the Power Room. The figure below shows such an example, where the temperature is read from the collected data in the cloud or in the local database and in function of the temperature value either no action is taken (debug 1 end of the logic flow) or the value for closing the relay that starts the air conditioners connected to the relay, is written on a specific target device.

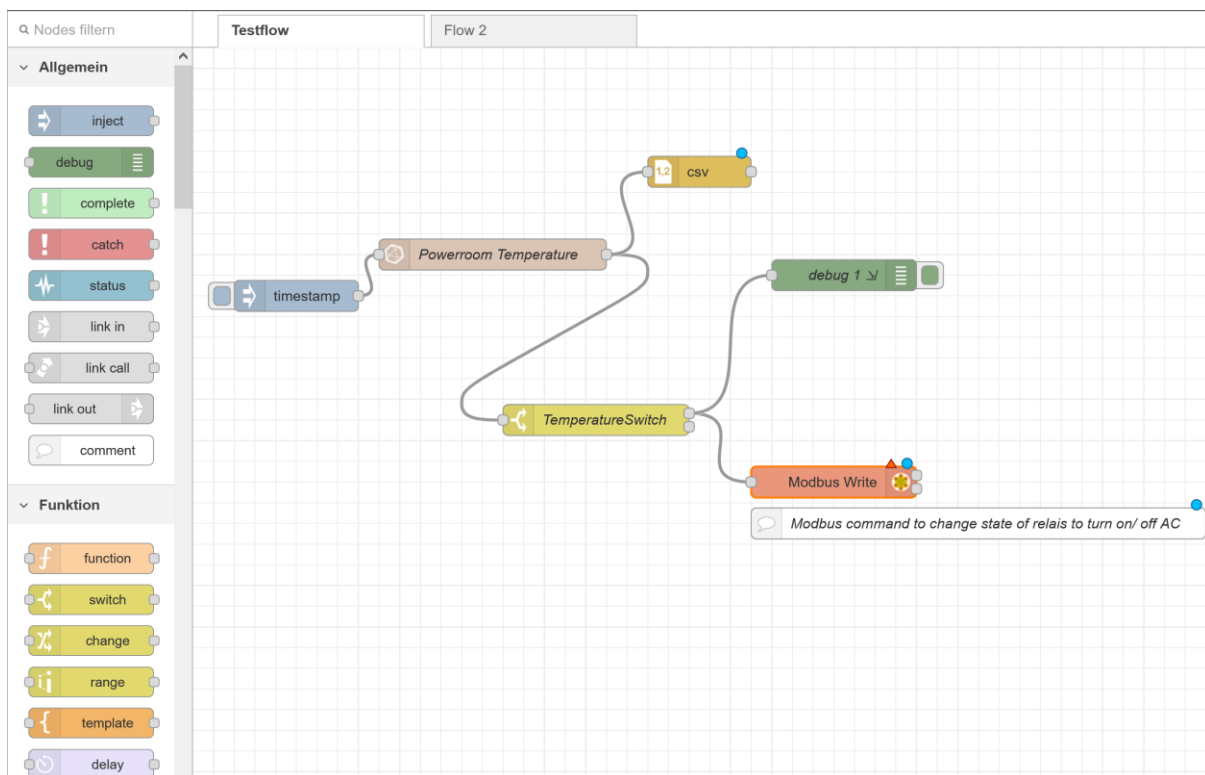


Figure 15: Example of a logic flow in the device control software connected to the data collection database

3.5.2 Chargers for e-vehicles control

Automatic load management is used to charge e-vehicles available on the Don Bosco Campus. The currently used algorithm uses the battery status, the rain sensor and the current time to determine whether the vehicles should be charged.

Feed-in into the national grid not being allowed, the Don Bosco Tema Mini-Grid often generates surplus energy that is not consumed and cannot be stored due to full batteries and low energy demand. It is important to state that this does not occur due to wrong sizing of the mini-grid PV power systems, but by design. For a full off-grid operation, the installed solar generators must be large enough to charge their batteries in less than one day of sunshine, to be able to fully charge also on days with some hours of clouds or rain. On sunny days though, the batteries are being fully charged very early in the day, which linked with a low consumption during such a day leads to curtailment of the PV production.

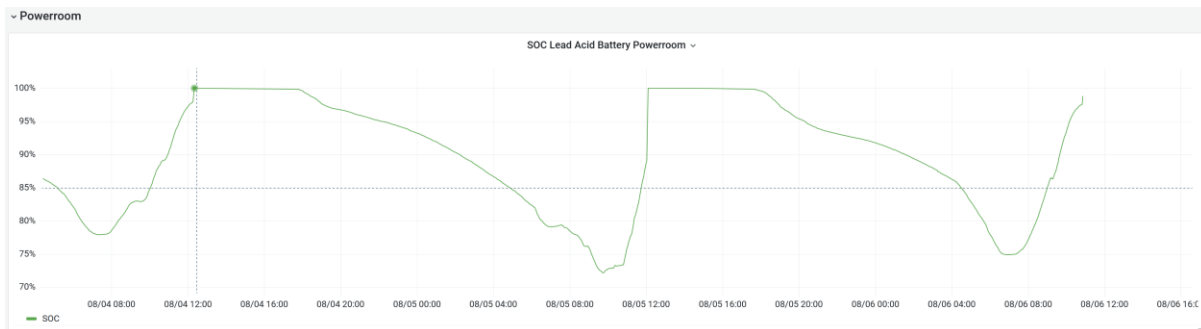


Figure 16: Days with main battery full early

This leads to curtailment of the PV production, as can be seen in the following figure:

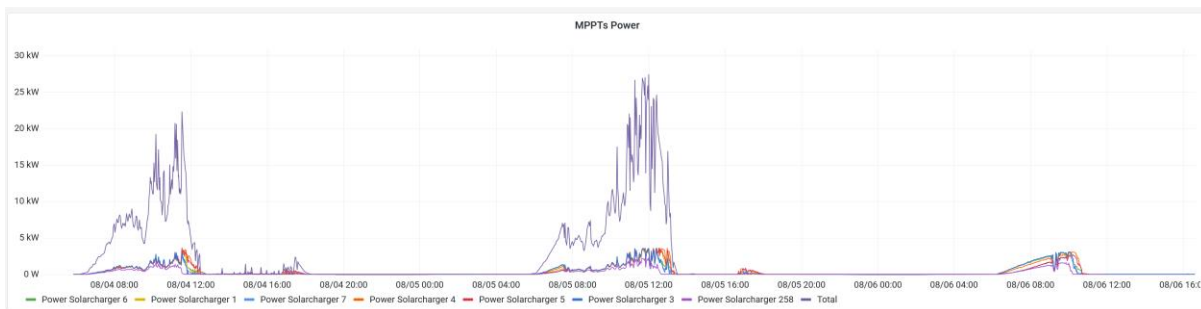


Figure 17: Curtailed PV production in Power Room power system, Don Bosco Tema Mini-Grid

The non-curtailed PV production should continue after noon on the two displayed days. The sharp drop in the total PV production coincides with the battery reaching 100% SOC, as can be seen on the graph above.

On such days, power that could be generated from noon until sundown could be seen as “free energy”, both from the financial as well as from the environmental point of view, not costing anything in production and not causing any real aging of components if produced.

If used to charge e-vehicles, the CO₂ impact of the charged energy can be seen as zero, as if not used to serve a flexible load such as an e-vehicle, it would not be produced at all.

The battery status is not the only parameter used to determine when an e-vehicle should be charged. In the first test application, two further parameters are taken into consideration: the rain sensor information whether it currently rains or not and the hour of the day.

The first prevents charging during rain, independently from the battery status: as soon as it starts raining, the main battery must be guarded as much as possible and all deferrable loads must immediately be stopped to ensure the longest possible main battery duration. The hour of the day supports the general goal of having full batteries at sundown. Charging of the e-vehicles should not occur after 4 pm, as from that time on solar irradiation drops considerably due to low sun position and frequent afternoon clouds over the horizon, which reduce the sun irradiation even further.

Figure 16 and Figure 17 above show that on specific days the energy that could be generated from the mini-grid is more than enough to fully charge the available e-vehicles, also if their batteries are fully discharged.

On rainy days this is not given and during periods of prolonged bad weather neither.

Considering the peak PV production at noon in Figure 17, it can be estimated that in the Power Room installation only and only from the there installed DC charge controllers, roughly half of the possible PV energy generation is in fact not being generated:

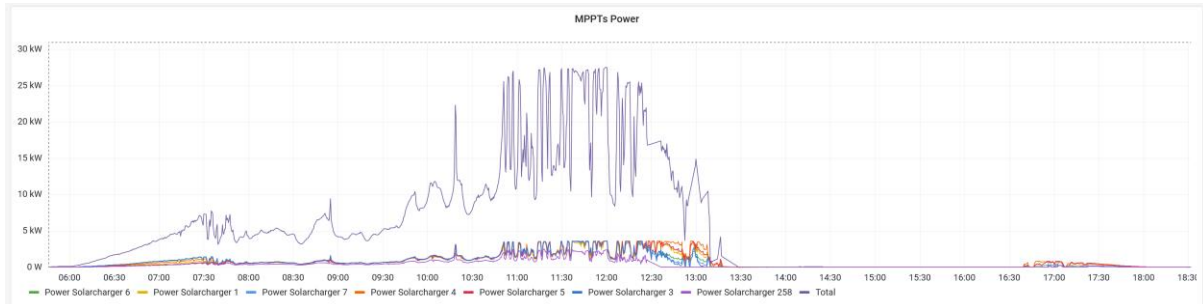


Figure 18: Output power of charge controllers installed in the Power Room power system, production nearly stopping after noon

In that time period, following energy is generated by the charge controllers in the graph above:

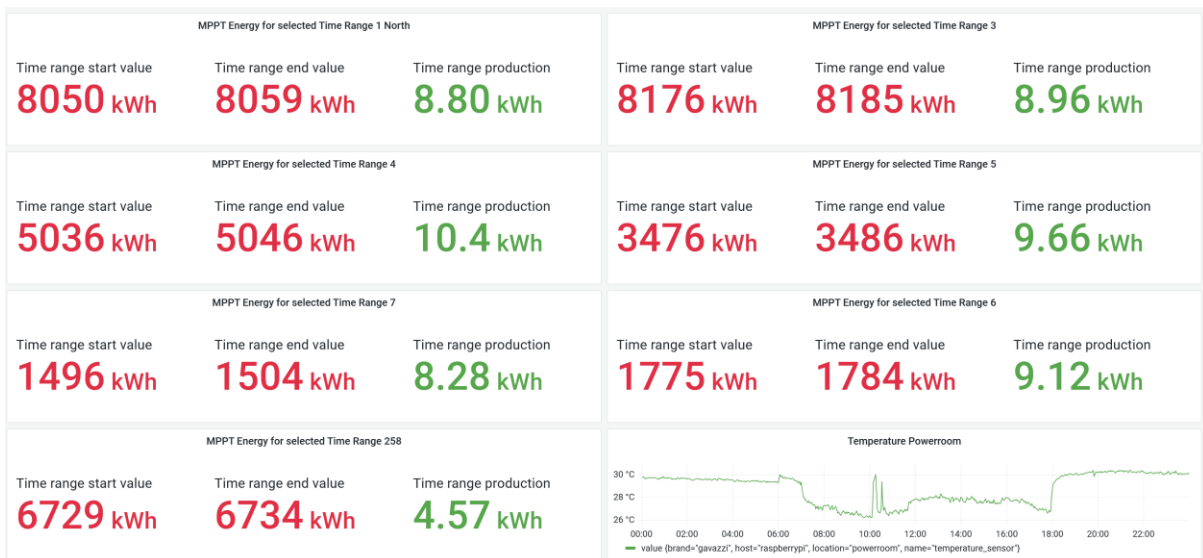


Figure 19: Power generated by charge controllers installed in the Power Room power system, on August 5th, 2022

Summing up all the “time range production” in the figure above results in a total energy production of 59,79 kWh. It can be estimated that nearly the same energy could be produced in the afternoon of the same day, assuming favourable weather conditions.

This figure only represents the curtailed energy in part of one PV power system. More energy being curtailed in the other PV power systems in the mini-grid. However, this figure alone exceeds by far the capacities of all the batteries of all e-vehicles on the campus, acquired in the course of the MoNaL project.

4 Reduction of battery storage sizing due to power trading between PV power systems on the Don Bosco Tema Mini-Grid

Energy exchange between PV power systems on the Don Bosco Tema Mini-Grid leads trading leads to a reduction of the sizes of single PV power systems. While an absolute number always depends on too many parameters to allow the expression of a concrete figure, the advantage of power trading can be depicted using the example of the Chapel and considering the Don Bosco Tema Mini-Grid as a fictive village whose PV power systems are connected by a private mini-grid.

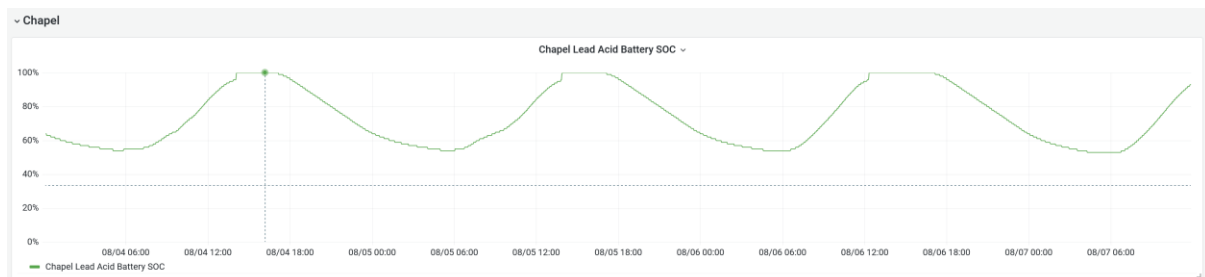


Figure 20: Chapel battery SOC in selected time period

While the consumption of the Chapel is very low, and at the same time having the Chapel a PV generator oversized for its needs, the Chapel battery is normally fully charged in the early afternoon.

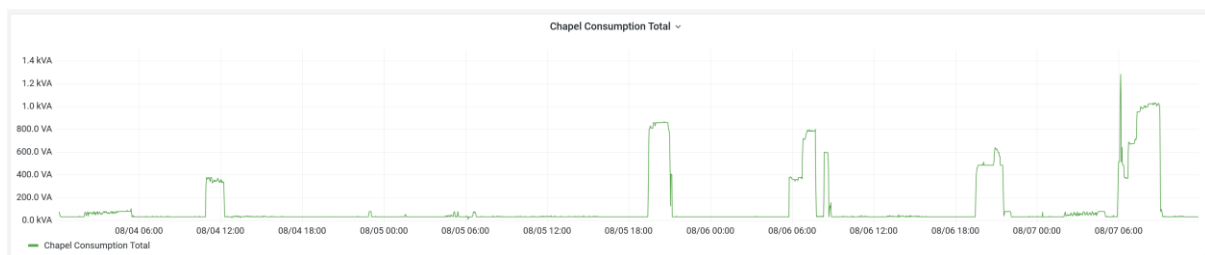


Figure 21: Chapel consumption in selected time period

After the battery is fully charged, the PV production is curtailed to the set maximal feed-in power.

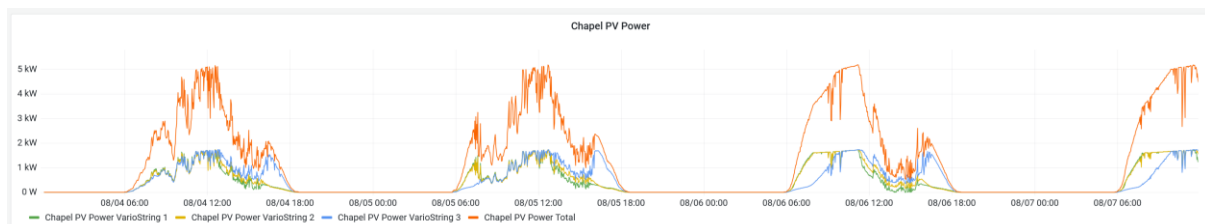


Figure 22: Chapel PV power production in selected time period

The figures in the three figures above can lead to the conclusion that the power system in the Chapel has been highly oversized for its needs. Energy trading in the mini-grid allows for a usage of the stored energy nonetheless. Energy stored in the Chapel battery is being fed

in into the mini-grid starting at 6 pm and kept constant until the battery empties in the next morning, usually between 5 and 6 am. This PV power system can so be used for energy feed-in at night time, when the energy is particularly needed and expensive.

Chapel Lead Acid Battery SOC ▼

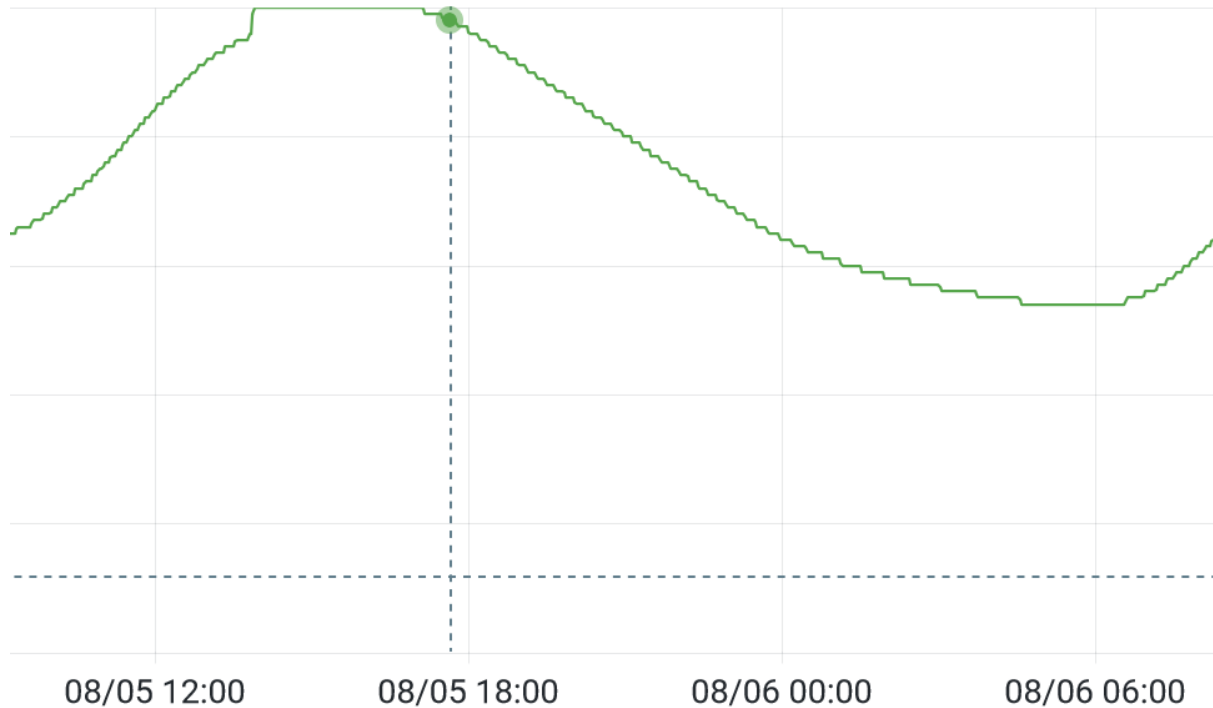


Figure 23: Chapel PV power system feeding-in into the mini-grid at night

The energy that is stored and fed-in here can be saved in terms of production and storage in other mini-grid connected PV power systems.

This is an extreme example that emphasizes the important and flexibility gain in mini-grid design through power trading. Other PV power systems on the Don Bosco Tema Mini-Grid behave similarly.

5 Recoverable product

In the course of the MoNaL project, many contacts have been made to stakeholders and potential users of a peer-to-peer power trading model. Particular interest has been shown to the Blockchain platform that enables peer-to-peer power trading and automated power consumption. A ready-to-market product is likely to find applications and customers. Demand side management is a further application that could find buyers. As for the Blockchain software platform, in the case of a demand side management application, the premise is that the product is ready-to-market both from the hardware as well as from the software point of view.

6 Further Steps

Further steps in the development of the blockchain platform and the demand side management are:

Blockchain platform

1. Testing and optimization of the Blockchain based data storage to ensure relevant data and only relevant data is being stored
2. Validation of the data stored into the Blockchain based data storage
3. Validation of the collected data, inclusion of specific parameters necessary for the peer-to-peer power trading

Demand side management

1. Inclusion of the power price algorithm into the load control logic
2. Inclusion of the weather forecast and the current irradiation to determine the weather and the expected weather into the lead control logic
3. Improvement of estimation of curtailed PV production amount