

Jugend Forscht 2024

Der cPVMan

Energieverteilungssystem für kleine bis mittelgroße Solaranlagen

Niklas Brütting, Erik Besold, Nicolas Flotho
Gymnasium Fränkische Schweiz, Ebermannstadt

26. Januar 2024



Projektüberblick

Besitzern kleiner- bis mittelgroßer Photovoltaikanlagen mangelt es bisher an preislich adäquaten Möglichkeiten des produktiven Einsatzes selbstgenerierter Solarenergie. Diese Arbeit präsentiert für ebenjene Photovoltaikanlagenunterhalter ein technisches Programm, welches verfügbaren Solarenergie möglichst effizient an die einzelnen Verbraucher innerhalb des häuslichen Stromnetzwerkes verteilen soll. Bewerkstelligt wird dies mithilfe von Energieverteilungsalgorithmen, die im Team entworfen und programmiert werden. Ziel des Projekts ist es, durch die angefertigte Anwendung den Einsatz derartiger Solaranlagen zu fördern und jene Anwendung zu optimieren. Dem Haushalt ermöglicht sich somit eine gewünschte kostengünstige Solarenergieversorgung auch in Abwesenheit der Bewohner sowie zu unterschiedlich intensiver Sonneneinstrahlung. Die Anschaffung einer Batterie wird hinfällig, zusätzlich wird die Netzeinspeisung sowie der Bezug aus dem Stromnetz reduziert. Auf Anregung einer Lehrkraft, welche selbst eine kleinere PV-Anlage unterhält und die bisherige Absenz derartiger Programme bedauert, wurde die Entwicklung dieses Produkts in Gang gesetzt. Bisher konnten theoretische Modelle für Energieverteilungsalgorithmen, und ein zusätzliches Verbrauchernetzwerk zur internen Kommunikation der Geräte entwickelt werden. Für die folgende Umsetzung dieser Theorien konnte der Erwerb notwendiger Grundlagenverständnisse durch fachspezifische Weiterbildung bewerkstelligt werden. Des Weiteren wurden zusätzliche Anwendungsmöglichkeiten einer solchen Software diskutiert und festgehalten. Letztendlich steht die Implementierung der Algorithmen in Kombination mit dem Verbrauchernetzwerk noch in Teilen aus. Zur Veranschaulichung der Funktionalität soll zudem ein Modell für die Demonstration des Projekts konstruiert werden.

Inhaltsverzeichnis

1. Fachliche Kurzfassung	1
2. Motivation und Fragestellung.....	1
3. Hintergrund und theoretische Grundlagen	2
4. Vorgehensweise, Materialien und Methoden	3
5. Ergebnisse.....	5
5.1 Software	5
5.2 Hardware.....	7
5.3 Wallbox	8
6. Ergebnisdiskussion	10
6.1 Umsetzung	10
6.2 Rentabilität	11
7. Fazit und Ausblick.....	12

1. Fachliche Kurzfassung

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Möglichkeit der Umsetzung eines bisher nicht vorhandenen Programms, durch welches Besitzern kleiner- bis mittelgroßer Photovoltaikanlagen ein effizienterer Einsatz der Solarenergie ermöglicht wird. Jenen bietet es sich wirtschaftlich gesehen nicht an, kostspielige Batterien zur Speicherung des Stroms ihre kargen Anlagen anzuschaffen. Da zudem kein auf dem Markt verfügbares Programm seither einen steuerbaren Einsatz der Energie nach Bedarf des Nutzers ermöglicht, verbleibt zumeist lediglich die Netzeinspeisung, welche im Nachhinein durch kostenintensiven Bezug aus dem Netz überschattet wird. Das entworfene Programm soll nun durch automatische Steuerung jenen Bezug aus dem öffentlichen Netz minimieren. Dies geschieht primär durch Einbindung gewünschter Verbraucher in den GFS-cPVMAN, wodurch diese für die Software ersichtbar werden und als potenzielle Energieempfänger in Frage kommen. Mehrere im Netzwerk eingebundene Geräte können nun durch im Rahmen des Projekts entworfene Energieverteilungsalgorithmen in Abhängigkeit der einsatzbereiten Solarenergie und der Prioritätenliste zielführend unterhalten werden. Eine vorher stattfindende Betriebseinstellung genügt demnach für eine durchgehend gewünschte Energieversorgung auch in Abwesenheit des Besitzers. Sollte dieser in einen bereits laufenden Prozess eingreifen wollen, so ermöglicht GFS-cPVMAN auch diese spontane Umstellung.

2. Motivation und Fragestellung

Überproduktion ist für Photovoltaikanlagenbesitzer ein Problem: Zu Zeiten mit viel Sonnenschein muss die Energie, die nicht verwendet werden kann, sehr günstig in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Nachts, besonders im Winter, wenn die Eigenproduktion der PV-Anlage nicht ausreicht, muss Energie dann zu einem Vielfachen dessen gekauft werden, was man selbst für den Verkauf erhalten hat. Offensichtlich ist das ein großes Ärgernis und es wäre wünschenswert, diese Überproduktion effizienter zu verwenden und/oder sie zu einem besseren Preisverhältnis zu verkaufen.

Auf dieses Problem machte uns einer unserer Lehrer aufmerksam, der selbst eine Photovoltaikanlage besitzt und uns über ebendiese Problematik informierte. Zufriedenstellende Lösungen dazu gab es noch keine auf dem Markt: Entsprechende Akkus, die leistungsstark genug sind, um die Solarenergie zu speichern, sind einerseits sehr teuer

– nicht ideal, wenn die PV-Anlage bereits viele Tausend Euro gekostet hat. Andererseits basieren die Speicher häufig noch auf Lithium, einem Metall, das unter enormen Umweltschäden vor allem in Australien, China und Südamerika abgebaut wird. Eine bessere Lösung wäre es also, den Kauf eines Akkus allein für die Solaranlage zu vermeiden.

An diesem Punkt schien uns naheliegend, eine Automation zu entwickeln, die eigenständig Energie effizienter im Haushalt verteilt. Tagsüber sind die meisten Menschen auf Arbeit, die Energienutzung deshalb niedrig. Wir nahmen uns also vor, vor allem diese Zeitspanne besser zu nutzen: Geräte wie eine Waschmaschine brauchen keine Aufsicht, warum sollte man sie also nicht benutzen, wenn die meiste Energie zur Verfügung steht? Ähnlich verhält es sich mit modernen Heizungen. Man könnte mit eigener Energie den Heizkessel tagsüber erwärmen, um nachts dann Warmwasser oder warme Räume zu haben, ohne teure Energie aus dem Netz bezahlen zu müssen.

Unsere Idee sollte darüber hinaus nicht nur dem PV-Anlagenbesitzer selbst helfen, sondern auch der Nachbarschaft: Bevor Energie in das Netz eingespeist wird, wäre es sinnvoller, sie direkt zu teilen. Dadurch kam der Aspekt der Solartankstelle hinzu: Ihr Besitzer kann die Energie für mehr verkaufen, als er vom Netz erhalten würde, während die Nachbarn ihre Elektroautos günstiger als vom Netz laden könnten.

Unser Projekt soll also die Frage beantworten: Ist das auch real umsetzbar?

3. Hintergrund und theoretische Grundlagen

Auch wenn es bereits diverse Programme gibt, mit denen man „Smart Home“ Geräte steuern kann, ist es bislang nicht möglich, das Ein- und Ausschalten von Geräten anhand der momentanen Leistung einer Photovoltaikanlage autonom von einem Programm durchführen zu lassen. Hier setzt nun unser Projekt an: Wir wollen eine kostengünstige Möglichkeit bieten, die eigene Solarenergie effektiv zu nutzen, indem Geräte, die einen hohen Energieverbrauch haben, nur dann Energie bekommen, wenn die momentane Leistung der PV-Anlage ausreichend ist.

Insgesamt geht es also darum, so viel Energie wie möglich zu nutzen, solange genug durch Photovoltaikanlagen generiert wird. Dieses Konzept gibt es auch in der Industrie: Hierzu gibt es eine Studie des Umweltbundesamts, bei welcher 25 Unternehmen aus der Industrie befragt wurden, die sich alle durch eine hohe zeitliche Verfügbarkeit und durch hohe installierte Leistung aus. Die Studie lieferte das Ergebnis, dass der Ener-

gieverbrauch gezielt in Zeiten von hoher Energiegewinnung durch erneuerbare Energien gelegt werden muss, da so weniger installierte Leistung in konventionellen Kraftwerken benötigt wird.^[1]

Ein weiterer Anlass für unser Projekt besteht darin, dass unsere potenziellen Kunden einen geldwerten Vorteil durch unser Produkt haben können, da die gewonnene Energie nicht für geringes Geld ins Netz eingespeist werden muss. Dies könnte wiederum mehr Leute animieren, eine Photovoltaikanlage zu installieren, da es sich finanziell lohnt, was dabei helfen kann, den Klimawandel zu bremsen. Besonders Personen, die sich keine Batterie für ihr Haus leisten können bzw. wollen, könnten also besonders profitieren.

4. Vorgehensweise, Materialien und Methoden

Unsere Arbeit beruht zu großen Teilen auf der Anwendung Home Assistant (HA).^[8] Diese Open-Source Software auf Basis von Python wurde entwickelt, um diverse Aufgaben in einem Smart Home steuern und automatisieren zu können. Daher war sie ideal geeignet für unser Projekt.

Zur Kernanwendung kommen noch sogenannte „Add-Ons“ hinzu, die von anderen Nutzern geschrieben wurden und extern veröffentlicht werden. Das sind kleine Zusatzprogramme, die z.B. Verbindungen zu Geräten unterschiedlicher Hersteller ermöglichen, aber auch einfach bedienbare Programmieroberflächen bereitstellen oder die Kommunikation zwischen Servern erleichtern.

Eines der zentral verwendeten Add-Ons war der sogenannte „App Daemon“, der die Programmierung des HA deutlich erleichterte. Dadurch wurde die Python-kompatible Programmieroberfläche geschaffen, in der unsere Steuersoftware geschrieben wurde. Außerdem bildet der App Daemon eine wichtige Schnittstelle zu einem weiteren Add-On: Einem sogenannten „Broker“ für das Maschinenkommunikationsprotokoll MQTT. Der von uns verwendete MQTT-Broker „Mosquitto“ ist ein weiteres Add-On für den HA. Das zugehörige Protokoll ist dafür da, um eine Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten unseres Projekts zu ermöglichen, also zwischen dem HA-Server, den einzelnen Steckdosen sowie der Elektronik der Solartankstelle und natürlich den Messsensoren der zugehörigen PV-Anlage. Genau diese Software ist für unsere Arbeit gut geeignet, da sie darauf spezifiziert ist, dass der sogenannte „Broker“ als zentrales Verwaltungsorgan die Daten aller seiner Kommunikationspartner sammelt. In unserem Fall sind dies Werte wie aktuelle Leistung oder der Zustand.

Zunächst sollte die Arbeit mit Steckdosen der Firma „sonoff“ durchgeführt werden. Leider sind diese Stecker für Laien nur schwer installierbar, was die Benutzbarkeit unseres Produktes für den Anwender reduziert. Deshalb wechselten wir den Anbieter: Das Projekt wird nun mit den steuerbaren Steckdosen der Firma „nous“ realisiert. Mit diesen ist nun die Ansteuerung über eine Programmieroberfläche im HA möglich und der Benutzer kann ohne Fachkenntnis unser Projekt in Betrieb nehmen.

Die Bedienung der Steckdosen erfolgt über einige simple Attribute und Methoden:

- Leistung („power“): Die momentane Leistung der Steckdose kann vom Programm ausgelesen und verarbeitet werden
- Spannung („voltage“): Die an der Steckdose anliegende Spannung wird ausgelesen und an das System gegeben
- switch_on(), switch_off(): Über diese simplen Befehle kann die Steckdose ein- und ausgeschaltet werden.

Parallel zur Softwareentwicklung erstellten wir ein Modell für die Wallbox, mit der der Überschuss zur Aufladung von E-Autos verwendet werden kann (Abb. 1).

Das Design beinhaltet einen RFID-Reader zur Identifikation, womit sichergestellt werden kann, dass nur autorisierte Personen die Tankstelle benutzen können.

Drei Lampen zeigen den Zustand der Wallbox bzw. der Energieproduktion an:

- Rot: Die Wallbox ist nicht in Betrieb.
- Gelb: Die Wallbox kann höchstens zu einem Teil mit Solarenergie laden.
- Grün: Die PV-Anlage produziert genügend Energie, um das Auto zuverlässig zu laden.

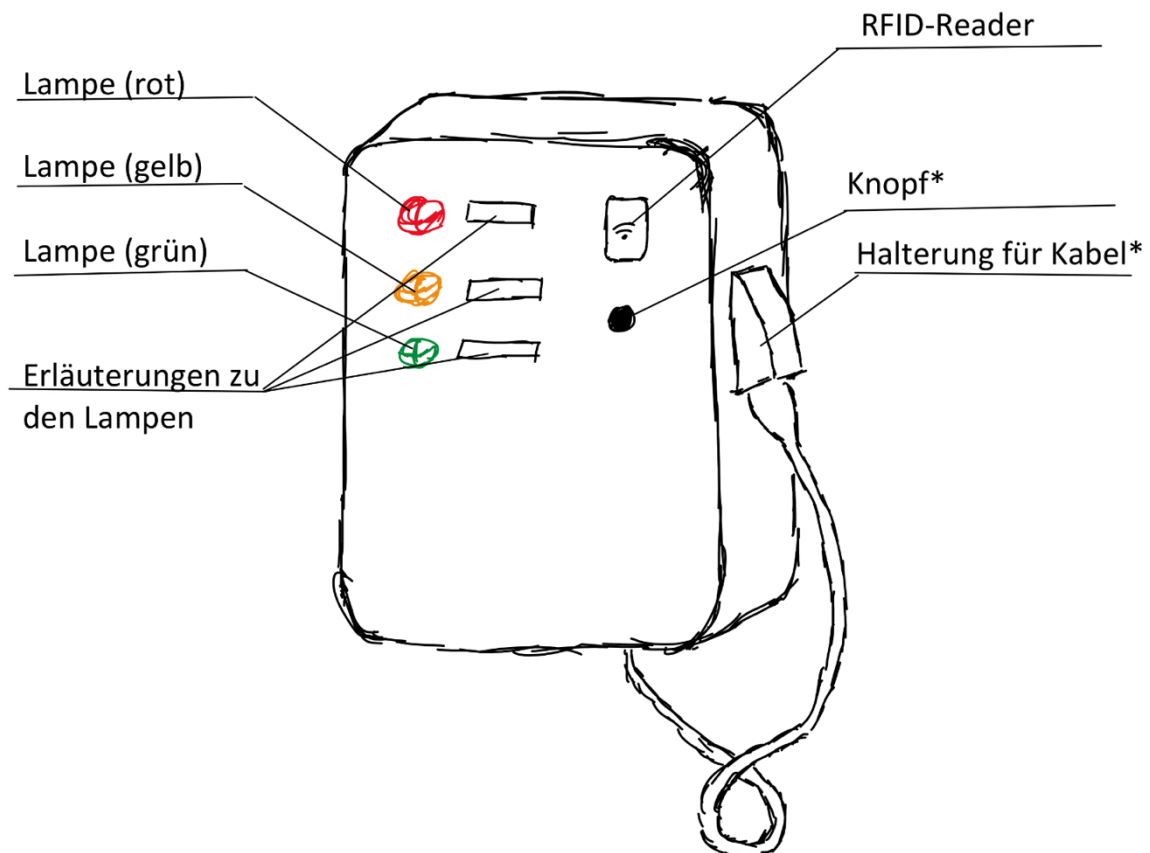


Abb. 1: Entwurf der Wallbox; *in späteren Entwürfen nicht vorhanden

Als Ladekabel dient dazu ein Notstromkabel. Das Modell soll danach durch den schuleigenen 3D-Drucker realisiert werden.

5. Ergebnisse

5.1 Software

Wir haben es geschafft, eine Software zu entwickeln, die den Haushalt und eine Ladestation für E-Autos durch Neuverteilung der Energie der PV-Anlage günstiger versorgen kann. Die zugrundeliegende Idee des Algorithmus ist die Aufteilung aller Geräte in drei Gruppen:

- Heizung: Die Heizung kann prinzipiell immer angesteuert werden, sobald die Anlage auch für nur eine Minute genügend Energie generiert. Heizungswasser kann damit präzise zu Zeiten großer Leistung der PV-Anlage erwärmt werden. Aufgrund der guten Isolation von Warmwasserspeichern kann damit die häufig nachts benötigte Wärme durch eigene Energie generiert werden. Teures Heizen wird dadurch wesentlich reduziert.

- **Haushaltsgeräte:** Mit Haushaltsgeräten ist eine Auswahl an Geräten, die sich auch ohne Nutzer verwenden lassen, gemeint. Spezifischer befinden sich in dieser Gruppe vor allem die Waschmaschine, der Trockner oder die Spülmaschine. Häufig befindet man sich zu Zeiten der größten PV-Leistung auf Arbeit und kann diese energieaufwendigen Geräte dann nicht anschalten. Auch eine Zeitschaltuhr garantiert nicht, dass die PV-Anlage zu gegebener Zeit eine ausreichende Leistung hat. Unsere Software dagegen kann gezielt, in Abstimmung mit der verfügbaren Leistung der Solaranlage, den Energieverbrauch der Haushaltsgeräte auf diese Zeiten legen.
- **Wallbox:** Die Wallbox kann von Nachbarn, der Familie, Freunden und sonstigen Bekannten genutzt werden. Sie ist zu jeder Zeit verfügbar und kann selbst bei abfallender Leistung weiter Strom liefern, indem sie preislich auf den Netztarif wechselt. Die Energieverteilung bezüglich der Wallbox ist recht simpel: Sobald sich der Nutzer mit einer eigenen RFID-Karte authentifiziert hat, wird die Steckdose eingeschaltet und bleibt es auch so lange, bis das Auto vollständig geladen ist. Dies wird durch den Abfall der Leistung erkannt. Die tatsächliche Arbeit der Software bei diesem Aspekt ist es, zu erkennen, ob und wie lange zusätzlich Energie aus dem Netz bezogen wurde und den Preis dementsprechend zu korrigieren.

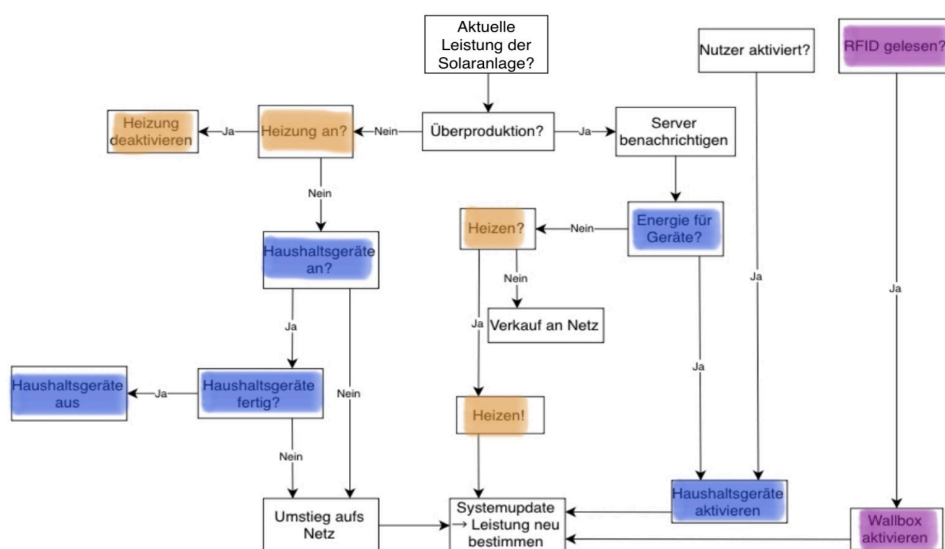


Abb. 2: Energieverteilungsalgorithmus

Der von uns erstellte Energieverteilungsalgorithmus ist in seiner Basisfunktion im Diagramm Abb. 2 zu erkennen.

Sobald eine Leistungsänderung der PV-Anlage bemerkt wird, überprüft das System, ob und wie viel Überproduktion vorliegt. Sollte keine ausreichende Leistung vorliegen, so werden entsprechend dem linken Abschnitt alle Geräte abgeschaltet, die zu diesem Zeitpunkt ihre Aufgabe beendet haben. Die Wallbox wird nie abgeschaltet, gegebenenfalls wird aber der Preistarif angepasst. Sollte Überproduktion festgestellt werden, kann das System zunächst wartende Haushaltsgeräte mit Energie versorgen, bei noch größerer Menge wird auch zusätzlich noch die Heizung, sofern nötig, mit Energie versorgt. Das Ablaufdiagramm gibt einen groben Überblick, erfasst aber nicht alle Funktionen; Trivialitäten wie Abschaltung der Heizung, wenn es warm genug ist u.Ä. hätten die Übersicht nur unnötig unübersichtlich gemacht. Auch wurden die numerischen Werte für Ein- und Abschaltung vernachlässigt: Die Heizung wird z.B. ab 2kW Leistungsüberschuss betrieben; die Wallbox wird abgeschaltet, wenn die Leistung der zugehörigen Steckdose 500W unterschreitet.

5.2 Hardware

Ein wesentlicher Bestandteil der Arbeit war neben der theoretischen Konstruktion eines funktionsfähigen Algorithmus die Beschaffung und Zusammenführung der einzelnen Bestandteile der Wallbox. Ziel war es, ein möglichst handliches Gehäuse zu entwerfen, welches eine reibungslose Kommunikation zwischen Nutzer und Algorithmus ermöglichen sollte. Auf der Vorderseite des Gehäuses signalisieren drei Lämpchen den aktuellen Betriebsstatus, zudem ergibt sich dem Benutzer dank der RFID-Lesestelle die Möglichkeit, Befehle an die Hardware zu übermitteln. Im Inneren des Gehäuses steuert der Prozessor den Ablauf. Konkret verwendet wird in diesem Fall der LOLIN D1 mini Prozessor, dessen Anwendung für ESP Home Systeme vorhergesehen ist. Dieser wurde mit dem bereits erklärten Energieverteilungsalgorithmus mittels der Programmiersprache Python installiert. Ein einfacher USB-Kabel Anschluss versorgt diesen mit einer Spannung von 3,3V. Des Weiteren wird der verbaute Leistungsschalter – hier der IC L9110S, dessen höchstzulässige Spannung bei 12V liegt, mit einer Spannung von 9V integriert. Die von diesem Bauteil selbst bereitgestellte Spannung beschränkt sich auf 3V. Um eine primäre Spannungszufuhr des sogenannten O-Ports auszuschließen, womit eine Leistungsreduzierung des Prozessors einhergehen würde, wird mithilfe eines zusätzlich verbauten Relais eine zeitlich verzögerte Spannungserhöhung bezweckt. Diese Maßnahme unterbindet unerwünschte Verspätungen im Ablauf. Die Lampen existieren im Programmcode als separate Objekte und können demzufolge

unabhängig voneinander durch den Prozessor gesteuert werden. Neben der Steuerzentrale ermöglicht der sogenannte Wireless Receiver and Transmitter – kurz WRT – als eigenständiger WLAN-Router die Verbindung aller Systemkomponente innerhalb eines gesonderten Netzwerks. Durch die Isolierung wird auch der Schutz der einzelnen Komponente vor externem Zugriff vergrößert. Als Hardware wird ein TP-Link TL-WR840N verwendet, welcher zusätzlich 2,4GHz WLAN unterstützt und folglich einfach mit dem Internet verbunden werden kann. Die Energieversorgung der Hardwarekomponente wird durch Verknüpfung mit dem Prozessor mithilfe handelsüblicher Kabel bewerkstelligt. Ferner ermöglicht die Einbindung einer Tasmota Steckdose NOUS A1T grundlegend die Steuerung der im Netzwerk integrierten Geräte. Bis zu neun Module können mittels des Steckers integriert werden. Anweisungen können nun durch das offene Nachrichtenprotokoll MQTT über das WLAN an ihre Empfänger übermittelt werden, welche daraufhin durch zeitgleiche Zufuhr der verfügbaren Solarenergie in Betrieb genommen werden. Details der Hardware, die vor allem vor externen Einflüssen wie Temperatur oder mechanischen Schäden schützen sollen, wurden bei der vereinfachten Umsetzung in den Hintergrund gestellt. Primär soll die entwickelte Wallbox einen problemlosen Ablauf unter Idealbedingungen aufweisen können.

5.3 Wallbox

Nach dem Entwurf, der bereits in einem vorherigen Kapitel vorgestellt wurde, musste der 3D-Druck der Wallbox noch durchgeführt werden. Dafür haben wir in der CAD-

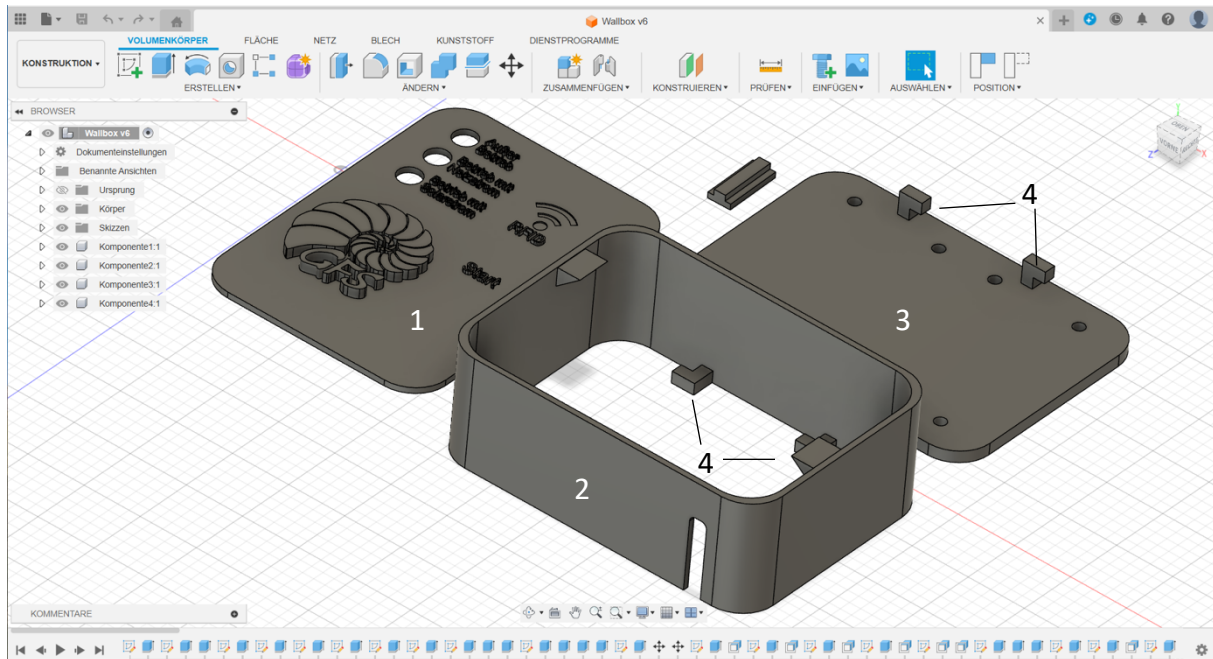


Abb. 3: Screenshot aus der Wallbox-Entwicklung (nicht finale Version)

Software „Fusion 360“ ein Modell unseres Entwurfs erstellt, das der Drucker auch verarbeiten konnte. Einen Zwischenschritt der Entwicklung kann man in Abb. 3 finden. Im Vergleich zum ersten Entwurf wurden nur noch kleinere Änderungen vorgenommen: Die Maße wurden leicht korrigiert (Dicke von 10 auf 15cm erhöht), damit die Elektronik auch vollständig untergebracht werden kann.

Außerdem wurde die Druckzeit unserer Wallbox durch ein Vielfaches reduziert, indem sie in drei Teile aufgeteilt wurde: Die Front mit feinen Textelementen (1), die Seitenwände (2), die das gesamte Volumen einschließen sowie die Rückwand (3). Würde man alle diese Bestandteile in einem Druck herstellen, so wäre der gesamte innere Hohlraum von Stützstrukturen des 3D-Druckers gefüllt, was unnötiges Material und Zeit in Anspruch nähme. In einer Nachbearbeitung wird die Vorderseite auf die Seitenwände geklebt, die Rückwand kann durch simple Aufhängungen (4) am Hauptkörper angebracht werden. Durch diese Haken kann die Hinterseite auch für nachträgliche Änderungen ohne größeren Aufwand temporär abgenommen werden. Zusätzlich wurde die Idee des Startknopfes verworfen: Die Tankstelle wird direkt durch Auflegen der RFID-Karte aktiviert.

Die fertig gedruckten Teile sind in Abb. 4 zu finden.

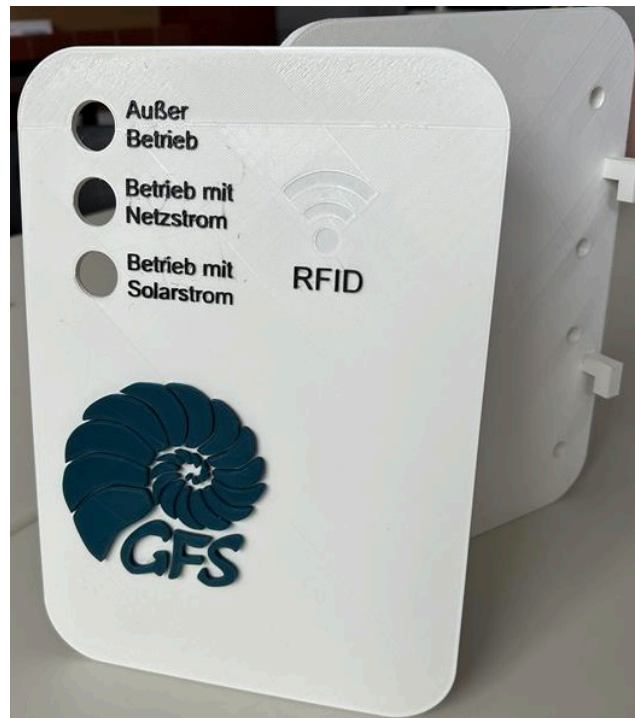


Abb. 4: Vorder- und Rückseite der Wallbox

6. Ergebnisdiskussion

6.1 Umsetzung

Die Realisierung des Projekts erfolgte in mehreren Stufen:

- Aufsetzen des Servers mit HA & Ermöglichung der Zusammenarbeit
- Tatsächliche Implementierung in Python
- Entwicklung der Wallbox
- Einbindung der Hardware in das Gesamtsystem

Vor allem ersteres und letzteres war mit einigen Schwierigkeiten verbunden. Jeder hatte zwar einen funktionierenden Rechner mit HA, allerdings konnten die einzelnen Arbeitsfortschritte nicht simpel zwischen unseren Computern synchronisiert werden. Final wurde dieses Problem gelöst, indem die Implementierung in Python auf einem zentralen Rechner mit HA durchgeführt wurde. Das Netzwerk, indem sich der Rechner befand, ist über einen VPN-Tunnel von überall mit Zugangscode zu erreichen und somit konnten sich alle Teammitglieder an der Entwicklung beteiligen.

Die tatsächliche Implementierung in Python verlief ohne Probleme, nachdem wir alle zentral auf einem Rechner zusammenarbeiten konnten.

Auch das Design der Wallbox mit der Software „Fusion 360“ erwies sich als schnell umsetzbar, nachdem die Grundfunktionen erläutert waren. Dies lag vor allem an der

Benutzerfreundlichkeit, die auch Laien eine schnelle Erstellung simpler Modelle ermöglicht.

Viel Zeit wurde auch in die Integration der Hardwarekomponenten investiert. Der Grund dafür ist bereits im Abschnitt „Vorgehensweise“ angerissen worden: Der Umstieg von „sonoff“ auf „nous“-Steckdosen.

Insgesamt ist dennoch festzustellen, dass trotz einiger Verzögerungen und Hürden das Projekt in der eingeplanten Zeitspanne realisierbar war.

6.2 Rentabilität

Um zu zeigen, dass unser Produkt rentabel ist, folgt nun ein Beispiel zur Veranschaulichung. Hierzu wird davon ausgegangen, dass ein Haushalt in der Woche drei Waschgänge mit der Waschmaschine und einen Durchgang im Trockner durchführt. Die Waschmaschine soll hierbei einen Energieverbrauch von 0,6 kWh pro Durchgang und der Trockner (hier ein Kondentrockner) von 4 kWh haben.^[2,3] Außerdem wird bei diesem Beispiel mit Energiekosten von 43 ct/kWh und einer Einspeisungsvergütung von 8 ct/kWh gerechnet.^[7] Unter der Annahme, dass die Hälfte dieser Durchgänge durch unser Projekt mit PV-Strom anstatt mit Netzstrom betrieben wird, kann man beim Waschen pro Woche ein Ersparnis von 17 ct und beim Trocknen von 38 ct erzielen, was zusammen einen wöchentlichen Vorteil von 55 ct ergibt. Rechnet man diesen wöchentlichen Gewinn nun aufs Jahr hoch, könnte man durch die Nutzung unseres Produkts auf diese Weise 28,60 € pro Jahr sparen. Verfügt der beschriebene Haushalt außerdem über eine Wärmepumpe, so kann Energie aus Überproduktion der PV-Anlage auch zum Heizen verwendet werden. Geht man davon aus, dass pro Jahr ein bestimmter Teil der zum Heizen benötigten Energie durch die PV-Anlage generiert werden kann, lassen sich zudem die Heizkosten reduzieren.

Für die Wallbox nehmen wir an, dass jede Woche eine Person mit E-Auto mit Akkukapazität von 40kWh^[4] für einen Tarif von 20ct pro kWh halb voll lädt. Für diese Person beträgt die Ersparnis 239,20€ gegenüber dem Netztarif (43ct pro kWh) über das Jahr gesehen. Der Betreiber erhält dadurch mit Gewinn von 12ct für jede kWh jährlich 124,80€ mehr als für den Verkauf ans Netz.

Bei geringer Auslastung der Wallbox und optimaler Nutzung von Heizung und Haushaltsgeräten ergibt sich eine Ersparnis/zusätzlicher Gewinn von 153,40€, also etwa 150€ jährlich für den Nutzer.

Insgesamt werden in der Rechnung rund 1200kWh der Überproduktion eingesetzt, was noch deutlich unter den 3250kWh liegt, die ein Einfamilienhaus mit 7,5 kWp PV-Anlage mehr produziert als es verbraucht.^[5]

Leider ist der Verkauf von Strom an Nachbarn in Deutschland rechtlich noch nicht möglich, da dies einen Auftritt als Energieversorger erfordert. In Österreich z.B. wäre dies aber durchaus möglich, ferner gibt es eine EU-Richtlinie für diese „Erneuerbare-Energie-Gemeinschaften“, die Hoffnung macht, dass es auch in Deutschland bald rechtliche Grundlagen dazu geben könnte.^[6]

Mit einer Ersparnis von 150€ zzgl. Heizersparnis pro Jahr würde sich das Produkt sehr schnell lohnen, da alle Bauteile zusammen für einen Wert von ca 400€ erhältlich sind. Hinzu kommt: Je größer die PV-Anlage, desto schneller hat man den Preis für das Produkt wieder eingespart. Durch unser Projekt wird also nicht nur die Umwelt geschont, sondern auch der Geldbeutel des Nutzers.

7. Fazit und Ausblick

Die Herausforderung der Arbeit bestand darin, für die Besitzer kleiner- bis mittelgroßer PV-Anlagen eine brauchbare Anwendung zur Optimierung ihrer Solarenergienutzung zu konzipieren und schließlich umzusetzen. Während Großanlagenbesitzer zwar mithilfe von Batterien ihren Betrieb verbessern konnten, blieb ein lukratives Angebot für die übrigen PV-Anlagenbesitzer bisher aus. Die präsentierte Wallbox mitsamt ihrer Software bietet jenen Solarenergienutzern jedoch endlich die Möglichkeit, auf die Anschaffung einer teuren Batterie verzichten zu können und stattdessen mit der schnell und einfach integrierbaren Wallbox zu arbeiten. Im Rahmen des Projekts gelang es nicht nur, das theoretische Konzept für die optimale Energieverteilung zu entwerfen; auch die praktische Umsetzung kann anhand der selbst konstruierten Wallbox aufgezeigt werden. Die Hürde, technisches Hintergrundwissen mit eigenen Ideen zu verknüpfen und schlussendlich mithilfe brauchbarer, frei zur Verfügung stehender Programme umzusetzen, konnte erfreulicherweise gemeistert werden. Das gesamte Team hat neben der erfolgreichen Projektarbeit durch den kleinen Einblick in die Welt der Technik den eigenen Wissenshorizont erweitern können. Die gesetzte Zielsetzung konnte trotz anfänglicher Schwierigkeiten und teilweise sogar notwendigen Umstellungen souverän erfüllt werden.

Unser Projekt wird nach Fertigstellung mit seinem gesamten Code sowie Informationen zu verwendeten Bauteilen veröffentlicht und leistet somit einen Mehrwert für alle PV-Anlagenbesitzer – und das zum reinen Materialpreis.

Das soll garantieren, dass unser Produkt zur effizienteren Energienutzung und somit auch Schonung der Umwelt für ausnahmslos jeden zugänglich bleibt.

Quellen- und Literaturverzeichnis

- [1] Umwelt Bundesamt, „Energiewende: Industrielle Verbraucher können Strom flexibler nutzen“, abgerufen am 25.1.2024 unter: <https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/energiewende-industrielle-verbraucher-koennen-strom>
- [2] Energievoll, „Stromverbrauch Waschmaschine“, badenova.de, abgerufen am 25.1.2024 unter: <https://www.badenova.de/blog/stromverbrauch-waschmaschine/>
- [3] Energievoll, „Stromverbrauch Wäschetrockner“, badenova.de, abgerufen am 25.1.2024 unter: <https://www.badenova.de/blog/stromverbrauch-waeschetrockner/>
- [4] Rudschies, W., „Elektroauto: Gibt es die ideale Batteriegröße?“, Website des ADAC Orientierung für die Rechnung des E-Autos, abgerufen 23.1.2024 unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/elektromobilitaet/kaufen/elektroauto-batterie-groesse/>
- [5] Stadtwerke München, „Wie groß sollte meine PV-Anlage sein?“, SWM Magazin Orientierung für die Überproduktion einer Solaranlage, abgerufen 23.1.2024 unter: <https://www.swm.de/magazin/ratgeber/groesse-pv-anlage>
- [6] Tagesschau, „Dem Nachbarn günstig Strom abgeben“, Website der tagesschau. 2023 Rechtliche Grundlagen, aufgerufen am 25.1.2024 unter: <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/verbraucher/solarenergie-energy-sharing-101.html>
- [7] Statistisches Bundesamt, „Gas- und Strompreise für Haushalte im 1. Halbjahr 2023 deutlich gestiegen“, destatis.de, abgerufen am 25.1.2024 unter: https://www.destatis.de/DE/Presse/Pressemitteilungen/2023/09/PD23_388_61243.html
- [8] Home Assistant, offizielle Website, abgerufen 26.1.2024 unter: <https://www.home-assistant.io/>

Unterstützungsleistungen

Schließlich soll Matthias Troiber und insbesondere Jürgen Krause für die tatkräftige Unterstützung des Projekts gedankt werden.