

BACHELOR THESIS
Andrej Niklaus

Effiziente Energieverteilung in einem Smart Home System mithilfe eines Monitoringdashboards

FAKULTÄT TECHNIK UND INFORMATIK
Department Informations- und Elektrotechnik

Faculty of Engineering and Computer Science
Department of Information and Electrical Engineering

Andrej Niklaus

Effiziente Energieverteilung in einem Smart Home System mithilfe eines Monitoringdashboards

Bachelorarbeit eingereicht im Rahmen der Bachelorprüfung
im Studiengang *Bachelor of Science Elektro- und Informationstechnik*
am Department Informations- und Elektrotechnik
der Fakultät Technik und Informatik
der Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Betreuender Prüfer: Prof. Dr. Frerk Haase
Zweitgutachter: Diplom-Physiker Malte Claußen

Eingereicht am: 06. Oktober 2022

Andrej Niklaus

Thema der Arbeit

Effiziente Energieverteilung in einem Smart Home System mithilfe eines Monitoringdashboards

Stichworte

Photovoltaik, Solar, erneuerbare Energien, Lastmanagement, SmartHome, Überwachung, Eigenverbrauchsoptimierung, Gebäudeautomatisierung

Kurzzusammenfassung

Ein bereits entwickeltes individualisierbares Monitoringdashboard wird mit Smart Home Funktionalitäten erweitert. Durch eine intelligente Steuerung der Verbraucher im Haushalt soll der Eigenverbrauch an überschüssiger Solarenergie gesteigert werden. So kann der Nutzer des Smart Home Systems eine höhere Energieeffizienz erzielen und Energiekosten sparen.

Andrej Niklaus

Title of Thesis

Efficient energy distribution in a smart home system using a monitoring dashboard

Keywords

Photovoltaics, solar power, renewable energies, load management, smart home, monitoring, self-consumption optimization, building automation

Abstract

An already developed customizable monitoring dashboard will be extended with Smart Home functionalities. Through an intelligent control of the consumers in the household, the self-consumption of surplus solar energy is to be increased. In this way the user of the Smart Home system achieve higher energy efficiency and save energy costs.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vi
Tabellenverzeichnis	viii
1 Einleitung	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Zielsetzung	2
1.3 Gliederung	4
2 Grundlagen und theoretischer Hintergrund	6
2.1 Gegenüberstellung unterschiedlicher Smart Home Lösungen	6
2.1.1 Homematic IP	9
2.1.2 AVM Fritz!Box	9
2.1.3 Loxone und myGEKKO	10
2.1.4 Home Assistant und openHAB	11
2.1.5 Solar Manager	12
2.2 Auswahl der Tools	14
2.2.1 Monitoringdashboard	14
2.2.2 Smart Home System	15
2.2.3 Datenaustausch	16
3 Analyse	19
3.1 Auswahl der Referenzdaten	19
3.1.1 Solargenerator = Speicherkapazität bis 10 kWp	20
3.1.2 Solargenerator = Speicherkapazität bis 20 kWp	25
3.1.3 Solargenerator bis 10 kWp ohne Speicher	27
3.1.4 Zusammenfassung der Analyse	32
3.2 Auswahl der Sensoren und Aktoren	33
3.2.1 Aktoren	34

3.2.2 Sensoren	40
3.3 Anforderungsanalyse	41
3.3.1 Machbarkeit	42
4 Umsetzung	43
4.1 Anbindung an das Smart Home System	43
4.2 Anbindung der Sensoren und Aktoren	43
4.3 Regelung im Home Assistant	44
4.3.1 Verbraucher-Prioritätsregelungen	44
4.3.2 Hysterese	45
4.3.3 Regelungsentwurf	46
5 Simulation	48
6 Auswertung	50
6.1 Erfüllung der Anforderungen	50
7 Fazit und Ausblick	52
7.1 Rückblick auf die Arbeit	52
7.2 Ausblick	52
Literaturverzeichnis	54
Selbstständigkeitserklärung	56

Abbildungsverzeichnis

1.1	Haushalt ohne Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)	3
1.2	Haushalt ohne Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)	3
1.3	Haushalt mit Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)	4
2.1	Solar Manager als zentrales Managementsystem	13
2.2	Topologie des Systems	16
3.1	7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher Jahresproduktion 2021	21
3.2	Jahresverbrauch 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher . . .	21
3.3	Monatsproduktion Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher	22
3.4	Monatsverbrauch Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher	23
3.5	Tagesproduktion vom 9. Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher	24
3.6	Tagesverbrauch vom 09.Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher	24
3.7	Jahresproduktion und Jahresverbrauch 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher	25
3.8	Monatsproduktion und Monatsverbrauch Juni 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher	26
3.9	Tagesproduktion und Tagesverbrauch vom 7. Juni 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher	27
3.10	Jahresproduktion 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher	28
3.11	Jahresverbrauch 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher	29
3.12	Monatsproduktion Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher . . .	30
3.13	Monatsverbrauch Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher . . .	30
3.14	Tagesproduktion vom 5. Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher	31

3.15	Tagesverbrauch vom 5. Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher	32
3.16	Der Endenergiebedarf des Wohngebäudesektors und die Aufteilung des Verbrauchs auf Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Klimakälte (Datenquelle: BMWi, 2019)	34
4.1	Systemaufbau	44
4.2	Verbraucher-Proritätsregelungen von Solarmanager (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)	45
4.3	Hysterese (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)	46
4.4	Legende für Verbraucher	46
4.5	Flow Chart Diagramm der Regelung	47
5.1	Simulationsfeld in dem Dashboard	48

Tabellenverzeichnis

2.1	Übersicht Smart Home Systeme	7
3.1	Übersicht der relevanten Anlagen	20
3.2	Übersicht der relevanten Anlagen mit Bewertung	33
3.3	Übersicht der Aktoren	34
3.4	Übersicht der Sensoren	41

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Angesichts der jüngsten Entwicklung auf dem Energiemarkt ist die Nachfrage nach erneuerbaren Energien so hoch wie nie zuvor. Dies stellt die Energielieferanten und Netzbetreiber vor die schwere Aufgabe, bei einer dezentralen Erzeugung der Energie, die elektrischen Netze stabil zu halten. Dabei kommen intelligente Stromnetze zum Einsatz. Diese sogenannten Smart Grids vereinen Erzeugung, Speicherung und Verbrauch. Durch eine zentrale Steuerung sollen alle Komponenten aufeinander abgestimmt und so geregelt werden, dass unerwünschte Leistungsschwankungen im Netz reduziert werden.

Diesen Grundsatz der Smart Grids kann man auch auf private Haushalte übertragen. Dabei soll das Ziel verfolgt werden, dass die überschüssige Solarenergie möglichst innerhalb des Hauses verbraucht wird. Das bedeutet, dass im Haus nicht nur Energie sondern auch Daten transportiert werden. Die Steuereinheit sammelt dabei über verschiedene Sensoren die nötigen Daten und steuert die entsprechenden Aktoren im Haus an.

Das Zusammenspiel einer Photovoltaik Anlage mit möglichst vielen Verbrauchern im Haus bringt einige Vorteile mit sich. Manche Besitzer einer PV-Anlage, vorausgesetzt der Netzbetreiber genehmigt dies, entscheiden sich für eine Nulleinspeisung. Dies bedeutet, dass der erzeugte elektrische Strom den Verbrauchern im Gebäude bei Bedarf zur Verfügung gestellt oder gespeichert wird. Es erfolgt jedoch keine Einspeisung von überschüssigem Strom in das öffentliche Netz. Dieses Modell ist attraktiv für Besitzer kleinerer Anlagen, da diese vergleichsweise wenig Solarstrom in das Netz abgeben können und somit wenig Einnahmen generieren. Folglich entfällt bei einer Nulleinspeisung der bürokratische Aufwand bei der Abrechnung am Ende des Jahres.

Durch eine intelligente Regelung der Verbraucher im Haushalt kann auch die 70-Prozent-Regelung umgangen werden. Die sogenannte 70-Prozent-Regelung ist die Wirkleistungsbegrenzung des PV-Generators auf 70 Prozent des maximal einzuspeisenden Stro-

mes in das öffentliche Netz. Sie ist seit 2012 im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) festgeschrieben. Der Grund hierfür ist die Gewährleistung der Stromnetzstabilität. Denn wenn alle Systeme bei perfekten Einstrahlungsbedingungen ihre Maximalleistung abgeben, soll die Begrenzung dafür sorgen, dass das Netz ausreichend Strom aufnehmen kann, ohne zusammenzubrechen. Daher ist die Regelung der Verbraucher besonders interessant für Besitzer von PV-Anlagen mit größerer Leistung und Südausrichtung. Zwar wird die 70-Prozent-Regelung ab 1.1.2023 für Neuanlagen abgeschafft, aber nicht rückwirkend für Bestandsanlagen.

Viele PV-Anlagen, die seit 2020 gebaut worden sind, sind mit Speichern ausgestattet. Von dem Hersteller werden meistens 6000 Vollladezyklen angegeben. Durch die Priorisierung der Verbraucher im Gebäude kann die Batterie geschont und somit die Lebensdauer verlängert werden. Dies zeigt, dass eine Gebäudeautomatisierung viele Vorteile mit sich bringt.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es, ein individualisierbares Monitoringdashbord, welches in einer Vorgängerarbeit entstanden ist, mit Smart Home Funktionalitäten zu erweitern. Es soll dem Nutzer ermöglicht werden, verschiedene Geräte einzubinden, um diese zu überwachen und bei überschüssiger Solarenergie intelligent zu steuern. Dabei wird das Dashboard um ein Modul erweitert, welches mit einem Open Source Smart Home System kommuniziert. Auf Grundlage der gesammelten Informationen von den Sensoren soll das System in der Lage sein, die zu steuernde Aktoren sinnvoll einzusetzen. Die Abbildung 1.1 illustriert das Potential solcher Regelungssysteme. Man erkennt, dass sich mitten in der Nacht die Wärmepumpe einschaltet und großen Leistungsbezug erzeugt.

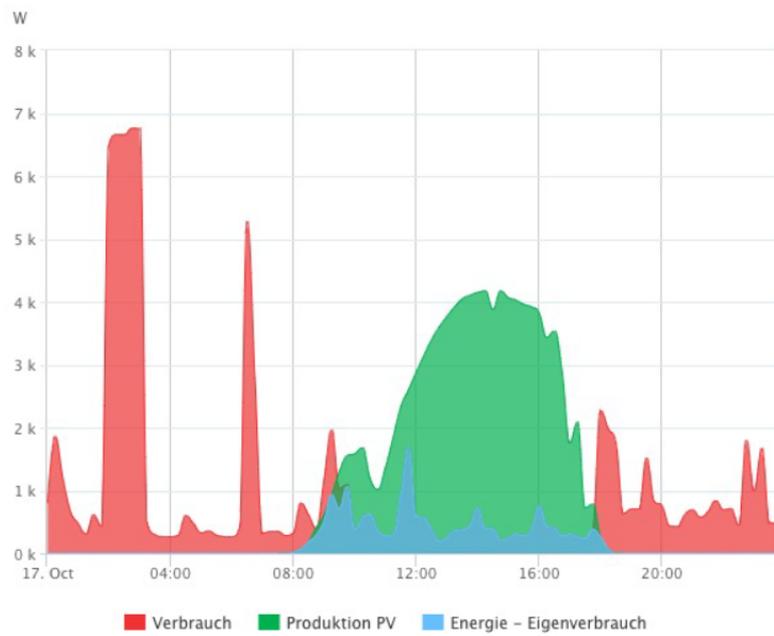


Abbildung 1.1: Haushalt ohne Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)

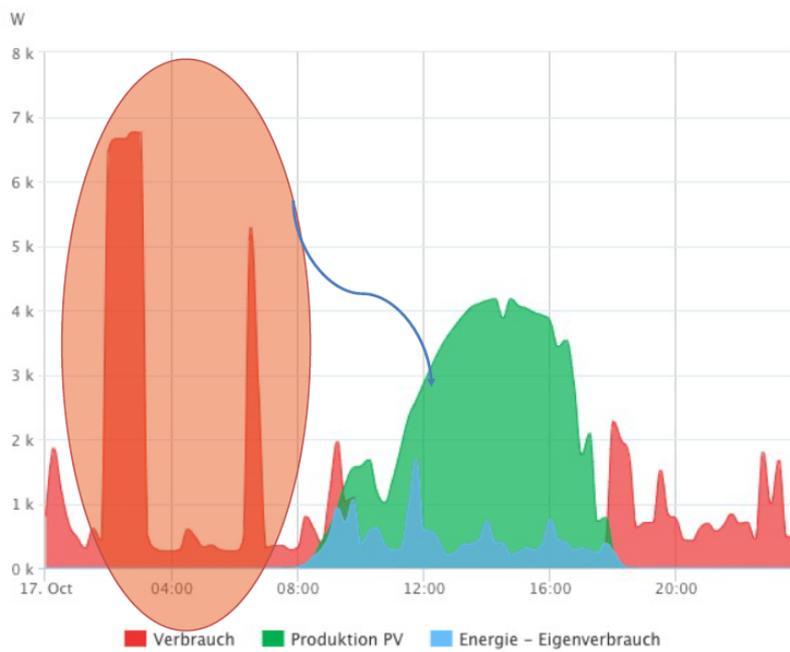


Abbildung 1.2: Haushalt ohne Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)

Die Idee besteht darin, dass diese Peaks in die Zeit verlagert werden, wo die PV-Anlage die Energie produziert. Die Abbildung 1.3 zeigt, wie Verlauf der Erzeugung und Verbrauch der Energie bei einem geregelten Haushalt aussehen kann.

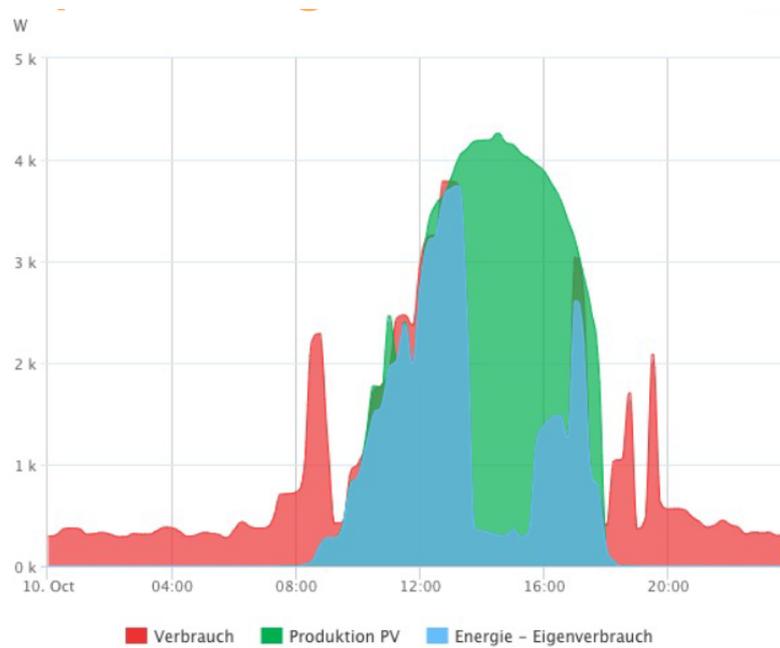


Abbildung 1.3: Haushalt mit Eigenverbrauchsoptimierung (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)

1.3 Gliederung

Die Arbeit gliedert sich in sieben Abschnitte, wobei der erste Teil die Einleitung darstellt. In diesem Abschnitt wird die Problemstellung beschrieben und das Ziel der Arbeit definiert.

Der zweite Teil beinhaltet die Grundlagen und den theoretischen Hintergrund. Dabei werden unterschiedliche Smart Home Lösungen, die auf dem Markt verfügbar sind, gegenübergestellt und deren Konzepte analysiert. Außerdem werden die Werkzeuge zur Umsetzung festgelegt und die Auswahl begründet.

Eine Analyse wird im dritten Teil der Arbeit durchgeführt. Es sollen Photovoltaik Anlagen mit verschiedener Zusammensetzung von Komponenten wie Solarfläche, Speichergröße und Wechselrichter mit unterschiedlicher Lade- und Entladeleistung untersucht

und gegenübergestellt werden. Ziel dabei ist es, herauszufinden, wie viel Potenzial an Überschussenergie in den jeweiligen Anlagen vorhanden ist, um den Eigenverbrauch zu maximieren. Zudem werden sinnvolle Sensoren und Aktoren festgelegt, die dazu beitragen sollen, eine Eigenverbrauchsoptimierung durchführen zu können.

Der vierte Abschnitt befasst sich mit der Umsetzung der festgelegten Ziele. Das vorhandene Monitoringdashboard wird an das ausgewählte Smart Home System angebunden. Auch die Anbindung der Sensoren und Aktoren wird in diesem Abschnitt behandelt. Dabei soll die Möglichkeit erarbeitet werden, wie die Verbraucher nach ihrer Priorität und vorhandener Überschussleistung geregelt werden.

Kapitel fünf beinhaltet die Simulation der entstandenen Software. Es werden verschiedene Möglichkeiten diskutiert und eine passende Lösung ausgewählt.

Die Auswertung der Arbeit wird in Abschnitt sechs beschrieben. Dabei wird geprüft, welche der gesetzten Ziele erreicht und welche Anforderungen erfüllt sind.

Im letzten Teil erfolgt ein Rückblick auf die Arbeit. Es werden Schwachstellen ermittelt und diskutiert. Des Weiteren wird ein Ausblick gegeben, wie in der Zukunft die Software verbessert und erweitert werden könnte.

2 Grundlagen und theoretischer Hintergrund

2.1 Gegenüberstellung unterschiedlicher Smart Home Lösungen

Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl an unterschiedlichsten Smart Home Systemen. Im Allgemeinen können alle Systeme in drei Kategorien eingeteilt werden. Es gibt geschlossene Systeme, halboffene Systeme und offene Systeme.

Ein geschlossenes System bietet den Vorteil, dass die Einbindung der Komponenten immer reibungslos verläuft. Die Aktoren und Sensoren des jeweiligen Systems sind aufeinander abgestimmt und das Smart Home System wird über Plug-and-Play erweitert. Der Besitzer solcher Lösungen ist immer auf die Komponenten des jeweiligen Herstellers angewiesen. Bei der Überlegung sich ein geschlossenes System zu installieren, muss im Vorfeld geklärt werden, ob alle Bedürfnisse abgedeckt werden können. Der Grund dafür ist, dass sich die Hersteller solcher Smart Home Lösungen auf bestimmte Bereiche der Gebäudeautomatisierung spezialisieren.

Bei einem halboffenen Smart Home System können auch bedingt Komponenten eines anderen Herstellers verwendet werden. Es sind meistens Partnerschaften zwischen mehreren Herstellern. Auch bei solchen Lösungen ist der Anwender auf eine beschränkte Auswahl an Komponenten gebunden.

Eine freie Auswahl an Sensoren und Aktoren bieten hingegen offene Systeme. Ein großer Vorteil offener Systeme ist, dass sich die Auswahl der benötigten Sensoren und Aktoren nicht auf bestimmte Hersteller beschränkt. Man kann beliebige Komponenten kaufen und einbinden. Das, was sich als Vorteil darstellt, ist auch gleichzeitig ein Nachteil. Manche Protokolle, die im Smart Home beliebt sind, sind nicht standardisiert. Beispielsweise ist

für das ZigBee Protokoll kein Standard vorgesehen. Das bedeutet, dass zwei Komponenten, die das ZigBee Protokoll unterstützen, nicht immer kommunizieren können. Der Grund könnte beispielsweise sein, dass verschiedene Register oder eine andere Baudrate benutzt werden. Das Problem kann manchmal gelöst werden, indem das Protokoll aufeinander anpasst wird. Dies erfordert aber von dem Anwender gewisse Programmierkenntnisse. Oft sind jedoch die Protokoll Einstellungen gar nicht dokumentiert, was es nahezu unmöglich macht, zwei ZigBee fähige Geräte zu verbinden.

Die nachfolgende Tabelle stellt eine Übersicht der jeweiligen Systeme dar. In den nächsten Kapiteln werden einige Systeme detaillierter vorgestellt.

Tabelle 2.1: Übersicht Smart Home Systeme

System	Typ	Schnittstellen	Einsatzgebiete
Homematic IP	geschlossen	868-MHz-Band	Sicherheit Heizungssteuerung Raumklima Lichtsteuerung Haushaltsgeräte Beschattung
AVM Fritz!Box	halboffen	DECT ULE HAN FUN	Sicherheit Heizungssteuerung Raumklima Lichtsteuerung Haushaltsgeräte Beschattung
Loxone	offen	BACnet IP LON MODBUS RTU/TCP EEBUS RSR232 KNX Loxone AIR und weitere	Beschattung Beleuchtung Sicherheit Heizung Klima Multimedia Energie und PV Wellness Garten Zutrittskontrolle

System	Typ	Schnittstellen	Einsatzgebiete
myGekko	offen	BACnet IP DALI MODBUS RTU/TCP EEBUS myGekko Raumbus KNX Enocean und weitere	Beschattung Beleuchtung Sicherheit Heizung Klima Multimedia Energie Wellness Garten Zutrittskontrolle
openHAB	offen/ open source	KNX ZigBee MODBUS TCP Z-Wave Rest API	Beschattung Beleuchtung Sicherheit Heizung Multimedia Haushaltsgeräte E-Mobilität
Home Assistent	offen/ open source	KNX ZigBee MODBUS TCP Z-Wave Rest API	Beschattung Beleuchtung Sicherheit Heizung Multimedia Haushaltsgeräte E-Mobilität
Solar Manager	Energiemanager/ halboffen	LAN WLAN Cloud API MODBUS TCP	Heizung E-Mobilität Warmwasser Beschattung Beleuchtung

2.1.1 Homematic IP

Homematic IP ist ein geschlossenes System, bei dem der Nutzer nur auf Produkte von dem Hersteller beschränkt ist. Zwar bietet der Hersteller über 150 verschiedene Sensoren und Aktoren an, die fast den kompletten Gebäudeautomatisierungsbereich abdecken, aber sie sind nur sehr bedingt für Energiemanagement nutzbar.

Das System bietet smarte Steckdosen und Taster an, Rollläden- und Markisensteuerungen, Heizkörperthermostate, diverse Sensoren (Bewegung, Wasser, Temperatur usw.), eine Wetterstation, Rauchmelder und vieles mehr.

Ein großer Vorteil solcher Systeme ist, dass alle Produkte aus einer Hand stammen. Dadurch wird ein hoher Sicherheitsstandard erreicht. Außerdem kann immer gewährleistet werden, dass intelligente Hardware problemlos eingebunden werden kann.

Homematic IP setzt auf drahtlose Verbindung der Komponenten. Für die Datenübertragung wird ein 868-MHz-Band und ein eigenes Protokoll benutzt. Es gibt auch drahtgebundene Komponenten, die ebenfalls ein eigenes Protokoll benutzen. Bei Wired-Bus Produkten gibt es jedoch eine nur sehr kleine Auswahl. Das Smart Home System kann sowohl im Heimnetz als auch über Internet angesteuert werden.

Der Hersteller bietet sowohl Heimwerkern als auch den Fachunternehmen eine schnelle, zuverlässige und vor allem sichere Smart Home Lösung.

Für Energiemanagement im Gebäude sind geschlossene Smart Home Lösungen jedoch eher ungeeignet, da der Wechselrichter nicht direkt gekoppelt werden kann. Es besteht zwar die Möglichkeit am Netzübergabepunkt einen zusätzlichen Energiezähler einzubauen und damit im Falle eines Energieüberschusses einige Verbraucher anzusteuern. Aber auch E-Mobilität, die heute immer mehr an Bedeutung gewinnt, kann nicht eingebunden und gesteuert werden.

2.1.2 AVM Fritz!Box

Das Berliner Unternehmen AVM bietet neben dem WLAN-Router Fritz!Box auch eine Smart Home Lösung an. Rund um den WLAN-Router lässt sich ein Smart Home einrichten. Dabei ist der Internetrouter eine Smart Home Zentrale. Der große Vorteil dieser Lösung ist, dass man sich die zusätzlichen Kosten für eine Steuerzentrale spart.

Von AVM selbst gibt es nur wenige Komponenten. Das Angebot beschränkt sich auf schaltbare Zwischensteckdosen, mit denen elektrische Geräte ein- und ausschalten sowie die Zimmertemperatur sich messen lässt. Ebenso gibt es ein intelligentes Heizkörper-Thermostat, einen Funk-Taster zum bequemen Schalten der Zwischensteckdosen und eine steuerbare und dimmbare LED-Lampe.

Durch die Verwendung des offenen Funkstandards DECT ULE, der sich durch einen niedrigen Energieverbrauch und eine Reichweite von etwa 50 Metern im Innenbereich auszeichnet, können auch herstellerfremde Smart Home Geräte in das FRITZ!Box Smart Home integriert werden. Zum Beispiel lassen sich die Magenta Smart Home Geräte, das Panasonic Sicherheitssystem sowie einige Produkte der Hersteller Becker und Rademacher einbinden. Somit ist AVM Fritz!Box ein typischer Vertreter eines halboffenen Systems.

Obwohl einige Bereiche des intelligenten Hauses sich mit Fritz!Box steuern lassen, kann das System nicht für Energiemanagement genutzt werden. Der Hauptgrund dafür ist, dass der Energieerzeuger und dazugehörige Komponenten wie Smart Meter und Speicher sich nicht in das System einbinden lassen. Außerdem ist die Steuerung von Sensoren und Aktoren mittels Wenn-Dann-Routinen bei Fritz!Box mangelhaft ausgebaut.

2.1.3 Loxone und myGEKKO

Loxone und myGEKKO sind Vertreter der offenen Smart Home Systeme. Es sind professionelle Smart Home Systeme, die sich als zukunftssichere Universallösung einen Namen gemacht haben. Diese Bussysteme vereinen standardisierte Bus- und Funksysteme unter einer Bedienoberfläche. Da Loxone und myGEKKO sehr ähnliche Systeme sind, wird im Folgenden der Fokus nur auf myGEKKO gelegt.

Im Prinzip ist myGEKKO eine Soft- und Hardware für intelligente Gebäude, welche Schnittstellen für verschiedene standardisierte Bus-Installationssysteme wie KNX, EE-BUS, Encean oder DALI liefert. Nutzer sind nicht nur auf ein Bussystem beschränkt, sondern können verschiedene Systeme miteinander kombinieren und über das myGEKKO Betriebssystem konfigurieren.

In der Regel kommt die Smart Home Zentrale Slide zum Einsatz. Dabei handelt es sich um eine Touch-Bedienoberfläche, die einem Tablet ähnelt, das an der Wand angebracht

wird. Der Nutzer kann über myGEKKO Slide Geräte schalten und Routinen festlegen oder ändern.

Alternativ läuft das Betriebssystem auch auf Base-Controllern ohne Display. Gleichzeitig können Slide und Controller auch miteinander kombiniert werden, um umfangreiche Projekte zu realisieren. Über die Base-Controller lässt sich das System je nach Bedarf nachträglich erweitern.

Ein weiterer Vorteil des myGEKKO OS sind Plug and Play-Interfaces, die auf Partnerschaften mit Smart Home Geräteherstellern basieren. Diese Kooperationen garantieren, dass die Smart Home Geräte auch in Zukunft funktionieren. Wenn beispielsweise ein Hersteller Änderungen an seinen Produkten vornimmt, werden diese auch im myGEKKO Betriebssystem umgesetzt. Auch Smart Home Geräte von anderen Herstellern lassen sich problemlos integrieren. Dies geschieht über die Anpassung der Kommunikationsregister. Dazu sind jedoch einige Programmierkenntnisse erforderlich.

Nützlich ist auch die Verfügbarkeit von fertigen Software Bausteinen, die vordefinierte Verbindungen und Routinen zwischen Sensoren und Aktoren darstellen. Nutzer müssen Smart Home Szenen und Routinen nicht von Grund auf neu programmieren, sondern können auf die langjährige Erfahrung von myGEKKO zurückgreifen.

Da die Installation des myGEKKO Smart Homes nur über Fachfirmen erfolgen kann, ist die Wahl dieses System mit hohen Kosten verbunden.

2.1.4 Home Assistant und openHAB

Home Assistant und openHAB zählen zu den offenen beziehungsweise open source Systemen. Beide Systeme ähneln sich. Da die vorliegende Arbeit Home Assistant als Smart Home System nutzt, begrenzt sich die folgende Vorstellung auf Home Assistant.

Home Assistant ist eine kostenlose und quelloffene Software zur Hausautomation, die als zentrales Steuerungssystem in der Programmiersprache Python entwickelt wurde. Das bedeutet, dass jeder den Quellcode der Software einsehen und bearbeiten kann. Daher kann jeder seine Integrationen, kleine Hilfsprogramme, die sich in den Systemeinstellungen hinzufügen lassen, für bestimmte Komponenten erstellen und der Allgemeinheit zur Verfügung stellen.

Fast jedes Smart Home Gadget ist integrierbar und lässt sich untereinander steuern. Auch wenn Komponenten von verschiedenen Herstellern kommen, verbindet Home Assistant alle intelligenten Produkte im Haus. So können verschiedene Geräte miteinander in Beziehung gesetzt und weitreichende Regeln für diese erstellt werden.

Das Home Assistant Operating System kann auf einem Computer mit Windows-, Linux oder Mac-Betriebssystem installiert werden. Dies verlangt eine zusätzliche Software, die sogenannte virtuelle Maschine. Zudem muss der Rechner immer eingeschaltet bleiben, damit die Steuerbefehle ihr Ziel erreichen.

Die bessere Lösung ist, einen Mini-Computer wie den Raspberry Pi zu benutzen. Mit ihm lässt sich ein energiesparendes System realisieren.

Nach der Integration einer Komponente legt das System zwei Arten von Einträgen an, Gerät und Entitäten. Unter Gerät wird die funktionelle Einheit mit allen ihren Fähigkeiten abgebildet. Die einzelnen Funktionen des Gerätes werden von Entitäten repräsentiert. Sowohl Gerät als auch Entitäten lassen sich in Automatisierungen verwenden. Es ist nach dem Wenn-dann-Prinzip aufgebaut. Man wählt Auslöser, Bedingungen und Aktionen und die Software arbeitet die einzelnen Schritte nacheinander ab.

Neben allen Vorteilen, die das System bietet, gibt es auch Nachteile. Obwohl die Home Assistant Software eine große Vielfalt an Möglichkeiten bietet, muss gerade im Hinblick auf diese Vielfalt Zeit investiert werden, um alles so einzurichten, wie es erforderlich ist. Denn im Gegensatz zu industriellen Lösungen wie beispielsweise myGEKKO, die fertige Bausteine zur Regelung anbieten, müssen solche im Home Assistant Betriebssystem eigenständig entwickelt werden.

Auch der häufige Update-Rhythmus der Software kann problematisch werden, da ein neues Update mit einigen Integrationen nicht mehr kompatibel sein könnte.

2.1.5 Solar Manager

Neben klassischen Smart Home Lösungen, die das Energiemanagement im Gebäude übernehmen können, gibt es auch speziell für diese Aufgabe entwickelte Energiemanager. Beispielsweise bietet der Solar Manager ein zentrales Managementsystem.

Eingebundene Geräte können nach Nutzerwunsch für den Bezug von Solarstrom priorisiert werden. So kann zum Beispiel ausgewählt werden, ob die Wärmepumpe oder die



Abbildung 2.1: Solar Manager als zentrales Managementsystem

Autoladestation bevorzugt eingeschaltet wird. Der Benutzer wählt, ob er kurzfristig das Auto wieder braucht oder ob er den überschüssigen Solarstrom der Wärmepumpe überlässt.

Unabhängig vom gewählten Wechselrichterhersteller ist im Solar Manager eine Solarstrom Prognose integriert. Diese Prognose bezieht sich spezifisch auf die jeweilige Anlage und zeigt an, mit welcher Stromproduktion in den kommenden Tagen zu rechnen ist.

Mit Hilfe der Solar Manager App und übersichtlichen Statistiken kann die Stromnutzung abgelesen werden. Benutzer haben auch die Möglichkeit, in die App einzugreifen und Prioritäten manuell einzustellen. Zudem können bei allen eingebundenen Geräten komplexere Einstellungen wie Verzögerungszeiten, Zeitschaltuhren, Temperaturen, gegenseitige Abhängigkeiten und vieles mehr eingestellt werden. Es besteht die Möglichkeit auch von unterwegs auf den Solar Manager zuzugreifen und so die Verbraucher jederzeit zu optimieren.

Außerdem kann Solar Manager in Dritt-Systeme wie Smart Home Anwendungen oder zusätzliche Monitoring-Software mit einer offenen API integriert werden.

2.2 Auswahl der Tools

Um das Projekt der vorliegenden Arbeit realisieren zu können, muss geprüft werden, welche Entwicklungswerkzeuge notwendig sind. Das Projekt kann in drei technische Abschnitte geteilt werden, die jeweils eine eigenständige Komponente beinhalten. Die drei Abschnitte sind das Monitoringdashboard, das Smart Home System und der Datenaustausch zwischen den beiden.

2.2.1 Monitoringdashboard

Da das verwendete Monitoringdashboard im Rahmen der Bachelorarbeit von Frau Hiller entstanden ist, sind die Webentwicklungstools des Dashboards vorgegeben. Folglich wurden für die Erweiterung der Oberfläche dieselben Tools benutzt[11]. Für die Umsetzung der gesetzten Ziele wird das Dashboard ein wenig erweitert. So entstehen zwei zusätzliche Module für Simulation und Visualisierung der aktiven Aktoren und Sensoren.

HTTP

HTML (Hypertext Markup Language) ist die Standard Auszeichnungssprache des World Wide Web Consortiums (W3C) zur Strukturierung von Webseiten [3]. "Sie legt die Struktur von Inhalten wie Text und Bilder fest und ermöglicht die Verknüpfung (Hyperlinks) zwischen Seiten und Dokumenten. Außerdem hinterlegt HTML Metadaten der Website, wie beispielsweise den Autor oder eine Zusammenfassung des Inhalts "[11, S.30].

CSS

CSS (Cascading Style Sheets) ist eine Stylesheet-Sprache und wird benötigt, um die in HTML festgelegte Struktur visuell zu gestalten [5]. "Durch CSS werden Farben, Layouts und Schriftarten definiert. HTML und CSS sind voneinander unabhängig, um Inhalt und Struktur bestmöglich zu trennen "[11, S.30].

Javascript

Javascript (kurz JS) ist eine objektorientierte Skript-Sprache [8] "und wird dazu verwendet Benutzerinteraktionen auszuwerten, Inhalte zu verändern und während der Anzeige Inhalte nachzuladen. Dadurch lassen sich statische HTML Webseiten dynamisch manipulieren "[11, S.30].

JSON

Javascript Object Notation ist eine kompakte Syntaxschreibweise für den Datenaustausch zwischen Anwendungen [9]. "Zwar basiert JSON auf der Skriptsprache Javascript, das Format ist jedoch von Programmiersprachen unabhängig. Mit JSON lassen sich Daten in Textform strukturieren und sind somit auch in Rohform für einen Menschen lesbar "[11, S.30].

Chart.js

"Chart.js ist eine OpenSource-Javascript-Bibliothek, die eine vereinfachte Schnittstelle zur Erstellung von Diagrammen bietet. Sie liefert eine Vielzahl an verschiedenen Diagrammtypen, wie beispielsweise Balken-, Linien- und Kreisdiagramme. Außerdem werden unterschiedlichste Skalentypen unterstützt, sodass eine einfache Integration in das Dashboard ermöglicht wird "[11, S.31].

FontAwesome

"FontAwesome ist eine OpenSource-Icon-Bibliothek. Dadurch kann eine Vielzahl von Symbolen auf der Website dargestellt werden, welche das Design intuitiver und einfacher gestalten, als eine rein textuelle Darstellung "[11, S.31].

Solar.web Query API

Die Monitoringoberfläche wurde nur für Wechselrichter der Firma Fronius International GmbH entwickelt. Zugriff auf die Daten erfolgt über Solar.web Query Application Programming Interface. "Das Solar.web Query Application Programming Interface ist eine Anwendung-zu-Anwendung Schnittstelle der Firma Fronius International GmbH für den Zugriff auf die Rohdaten von PV Systemen auf der Solar.web Servern. Es können sowohl Echtzeitdaten als auch historische und aggregierte Daten des PV-Systems ausgelesen werden "[11, S.31].

2.2.2 Smart Home System

Um die Machbarkeit des Projektes zu zeigen und erste Erkenntnisse daraus abzuleiten, stellt Home Assistant als Smart Home Server eine gute Lösung dar. In Kapitel 2.1.4 wird Home Assistant beschrieben.

Home Assistant steht im Mittelpunkt und agiert als Server. Die Sensoren liefern Informationen und Zustände an den Server. Nach der Verarbeitung werden Signale an die Aktoren versendet. Außerdem besteht eine bidirektionale Verbindung zwischen Home Assistant und dem Monitoringdashboard. Die Abbildung 2.2 verdeutlicht den Aufbau des Systems.

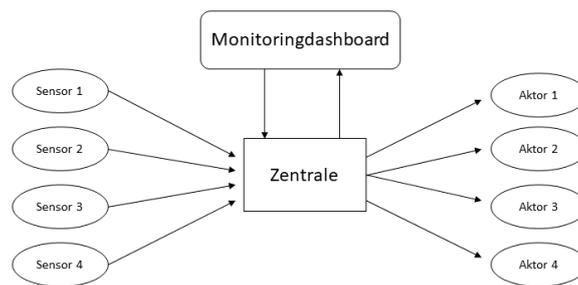


Abbildung 2.2: Topologie des Systems

Die Topologie des Systems ist nach Prof. Dr. Aschendorf gewählt worden[6, S.43].

2.2.3 Datenaustausch

Es findet ein Datenaustausch zwischen dem Monitoringdashboard und dem Smart Home System statt. Um diesen gewährleisten zu können, bietet Home Assistant zwei Möglichkeiten an. Welche der beiden Schnittstellen besser geeignet ist oder eine Kombination aus diesen, muss noch vor der Umsetzung geprüft werden. Zusätzlich werden auch Daten zwischen dem Server und den Sensoren sowie zwischen dem Server und den Aktoren ausgetauscht.

REST API

REST- (Representational State Transfer) ist ein API-Typ, der Webapplikationen in der Kommunikation miteinander unterstützt. In den meisten Fällen verwendet REST das

HTTP-Protokoll und überträgt die Daten mithilfe von JSON. Die REST-API ist sehr flexibel, schnell und einfach, daher ist diese eine der beliebtesten Möglichkeiten, um Daten zwischen Applikationen auszutauschen, beispielsweise zwischen Server und Client.

Der Prozess startet, wenn ein Client eine HTTP-Anfrage an den Server sendet. Zu den gängigsten HTTP-Befehlen gehören:

GET – Abrufen einer bestimmten Ressource

POST – Erstellen einer neuen Ressource

PUT – Aktualisieren einer vorhandenen Ressource

DELETE – Löschen einer vorhandenen Ressource

Sobald eine Client-Anfrage beim Server eingegangen ist, wird nach einer Antwort gesucht und diese unverzüglich an den Client zurückgesendet. Dabei wird auf verschiedene Ressourcen zurückgegriffen, beispielsweise auf Daten, Bilder, Videos, Webadressen usw. Wenn der Client eine Ressource vom Server anfordert, sendet der Server nicht die Ressource selbst zurück, sondern nur eine Darstellung der Ressource.

WebSocket

WebSocket ist ein Netzwerkprotokoll, welches auf dem Transmission Control Protocol (TCP) basiert. Mit WebSocket lassen sich bidirektionale Verbindungen zwischen Webapplikationen und WebSocket-Servern herstellen. Nach dem Aufbau einer WebSocket-Verbindung können Daten ohne weitere Anfragen in beide Richtungen fließen. Dadurch wird der Informationsaustausch effizienter und schneller.

ZigBee

ZigBee ist ein Funkprotokoll, das für Smart Home Lösungen ausgelegt ist. Es wurde zur Übertragung von kleinen Datenmengen mit einem minimalen Energieverbrauch entwickelt. Ein ZigBee Netzwerk erfordert einen ZigBee Transponder und ZigBee-fähige Geräte. Über den Transponder kommuniziert der Smart Home Server mit den Geräten. Die ZigBee Geräte können sich untereinander selbstständig vernetzen. Durch die Kommunikation zwischen den Sensoren und Aktoren kann sich ein ZigBee-Netzwerk auch über größere Entfernungen erstrecken.

Home Connect

Mit Home Connect können, von der Waschmaschine bis zum Kaffeeautomaten, verschiedene Haushaltsgeräte vieler namhafter Hersteller wie Bosch, Siemens, Gagenau, Neff und Constructa ins Home Assistant eingebunden und gesteuert werden. Home Connect ist eine cloudbasierte Lösung. Voraussetzung dafür ist, dass die jeweiligen Geräte in der Cloud von Home Connect eingebunden sind. Zusätzlich muss man sich als Entwickler bei der Home Connect GmbH registrieren. Nach der Registrierung können die Home Connect Cloud und Home Assistant miteinander gekoppelt werden. Home Connect stellt auch Demogeräte zur Verfügung, die sich zum Testen gut eignen.

3 Analyse

Alle Photovoltaik Anlagen sind verschieden in der Ausführung. Der Solargenerator auf einem privaten Hausdach kann von wenigen Kilowattpeak bis 30 Kilowattpeak groß sein. Auch die unterschiedliche technische Ausstattung der Anlagen ist sehr relevant. In diesem Kapitel soll vorerst geprüft werden, welche Photovoltaik Anlagen geeignet sind, um eine Automatisierung sinnvoll umzusetzen. Außerdem sollen Aktoren und Sensoren analysiert werden, die bei der Realisierung helfen können.

3.1 Auswahl der Referenzdaten

Zur Untersuchung stehen 329 Anlagen verschiedener Hersteller zur Verfügung. Die Anlagen sind über Monitoringportale der Firma VEH Solar- und Energiesysteme GmbH & Co.KG verfügbar.

Die Tabelle 3.1 stellt eine Übersicht der relevanten Anlagen dar. Die PV-Anlagen für den privaten Sektor können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die erste verfügt über Solargeneratoren bis 10 kWp und die zweite über Solargeneratoren von 10 bis 20 kWp. Beachtenswert ist, dass Anlagen mit größerer Photovoltaikfläche erst seit dem Jahr 2021 vermehrt gebaut werden. Des Weiteren können die beiden Gruppen noch feiner unterteilt werden. Und zwar kann ein Solargenerator mit unterschiedlicher Speicherkapazität kombiniert werden, wobei der Fall, dass ein Solargenerator kleiner ist als die Speicherkapazität, äußerst selten vorkommt.

Tabelle 3.1: Übersicht der relevanten Anlagen

Solargenerator bis 10 kWp	Solargenerator 10 bis 20 kWp
Solargenerator = Speicherkapazität	Solargenerator = Speicherkapazität
Solargenerator > Speicherkapazität	Solargenerator > Speicherkapazität
Solargenerator < Speicherkapazität	Solargenerator < Speicherkapazität
ohne Speicher	ohne Speicher

In den folgenden Abschnitten werden PV-Anlagen vorgestellt, die am häufigsten vertreten sind.

3.1.1 Solargenerator = Speicherkapazität bis 10 kWp

Sehr oft findet man PV-Anlagen in der Größe 5 bis 7 Kilowattpeak mit einem kleinen Speicher. Solche Anlagen wurden in den Jahren 2014 bis 2020 häufig gebaut. Aber auch heute sind sie in der Größe vorhanden, wenn das Dach keine große PV-Fläche zulässt.

In den Abbildungen 3.1 und 3.2 sind die Jahresproduktion und der Jahresverbrauch einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher dargestellt. Der Eigenverbrauch liegt zwischen 100 % in den Wintermonaten und 57 % in den Sommermonaten. Der Autarkiegrad ist antiproportional zum Eigenverbrauch und liegt zwischen 21 % in den Wintermonaten und 85 % in den Sommermonaten. Damit haben die Monate März bis einschließlich Oktober voraussichtlich Potential für eine Automatisierung im Sinne der Energieeffizienz.

3 Analyse

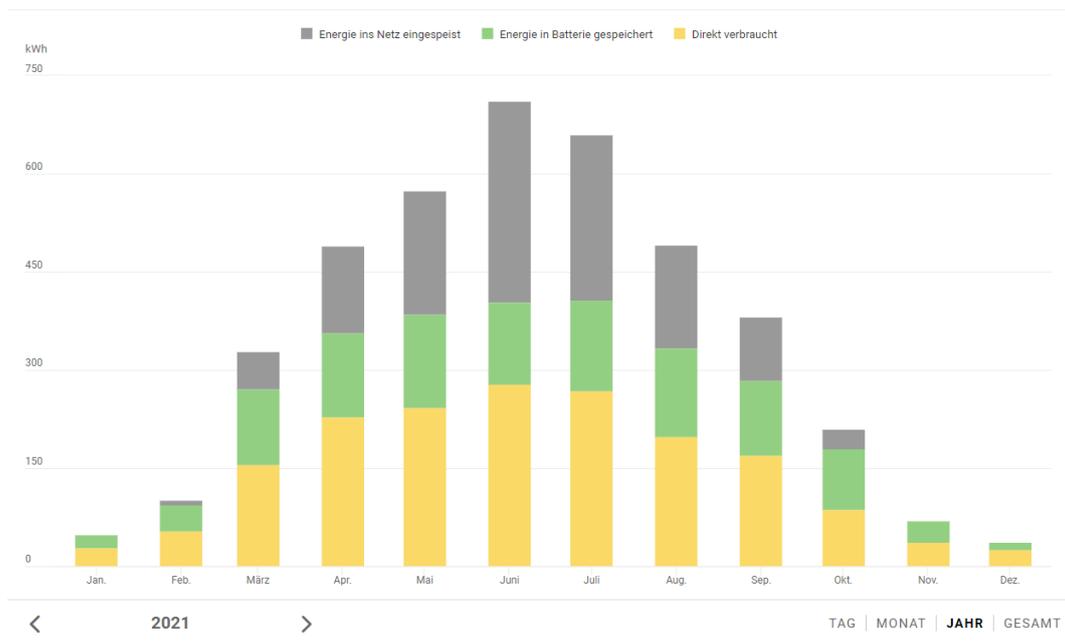


Abbildung 3.1: 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher Jahresproduktion 2021

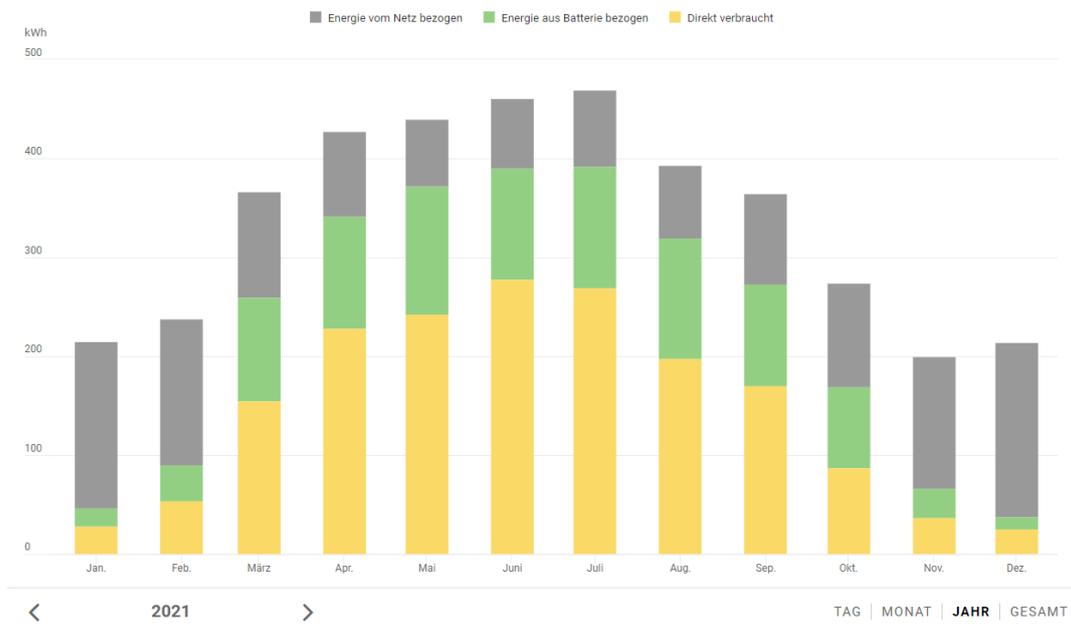


Abbildung 3.2: Jahresverbrauch 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher

3 Analyse

Bei der Betrachtung einer Monatsproduktion in der Abbildung 3.3 und eines Monatsverbrauchs in der Abbildung 3.4 kann festgestellt werden, dass Energie sowohl in das öffentliche Netz eingespeist als auch vom Netz bezogen wird. Um eine Aussage treffen zu können, müssen die Tagesverläufe untersucht werden.

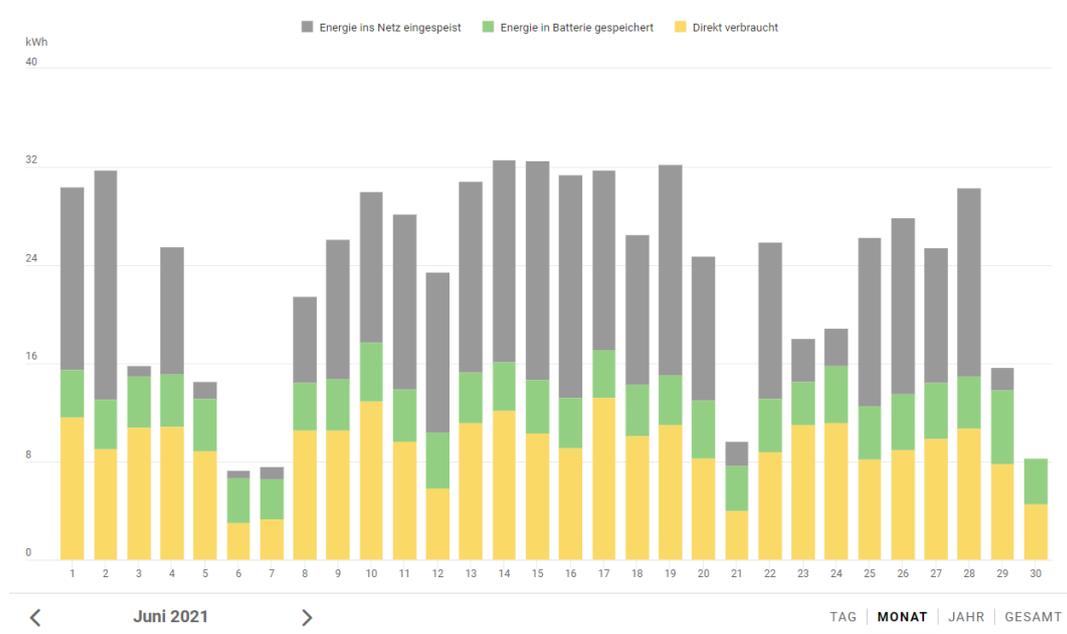


Abbildung 3.3: Monatsproduktion Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher

3 Analyse

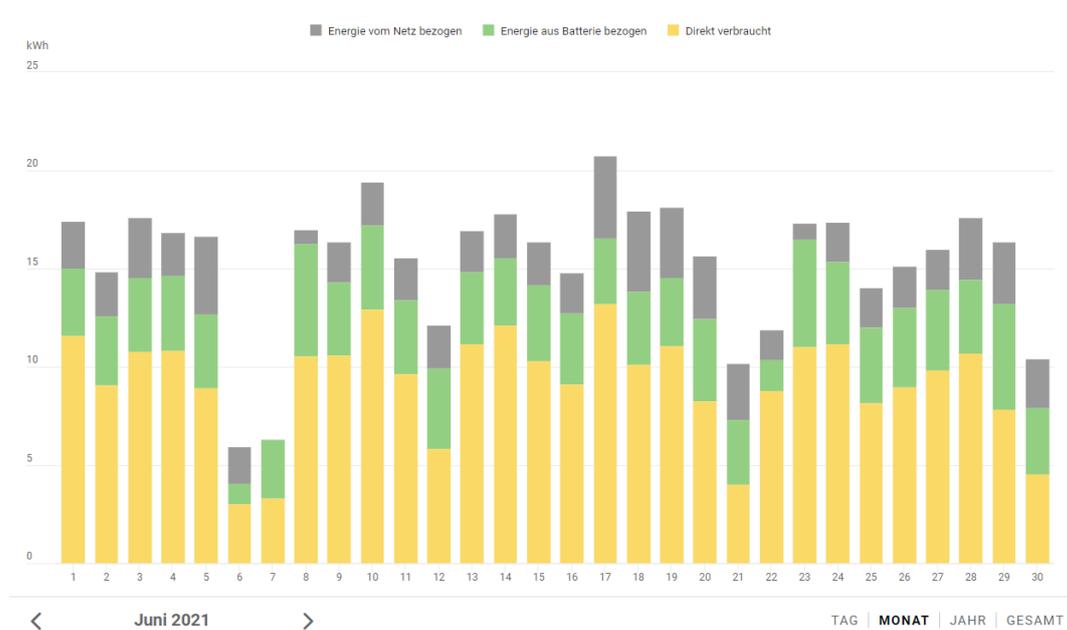


Abbildung 3.4: Monatsverbrauch Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher

In den Abbildungen 3.5 und 3.6 ist zu erkennen, dass viel Energie in das Netz eingespeist wird, während die Sonne ihre volle Strahlung abgibt. Der meiste Verbrauch erfolgt am Abend. Da die Kapazität der Batterie klein ist, reicht es gerade aus, diesen Verbrauch auszugleichen. Der nächtliche Grundverbrauch wird dann aus dem öffentlichen Netz bedient. Dieses Muster wiederholt sich täglich.

3 Analyse

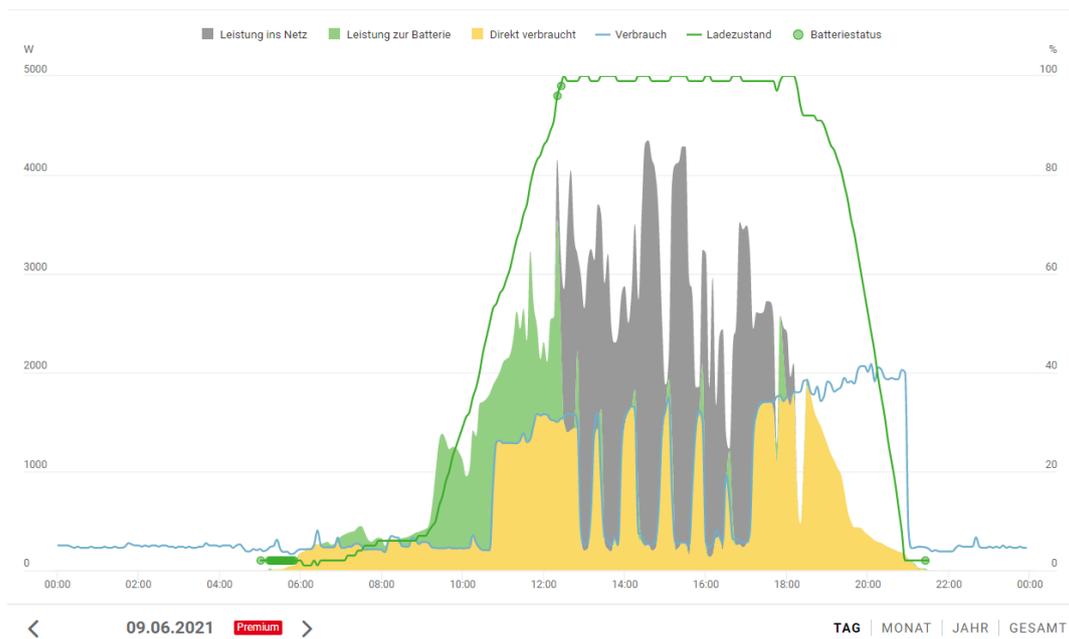


Abbildung 3.5: Tagesproduktion vom 9. Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher

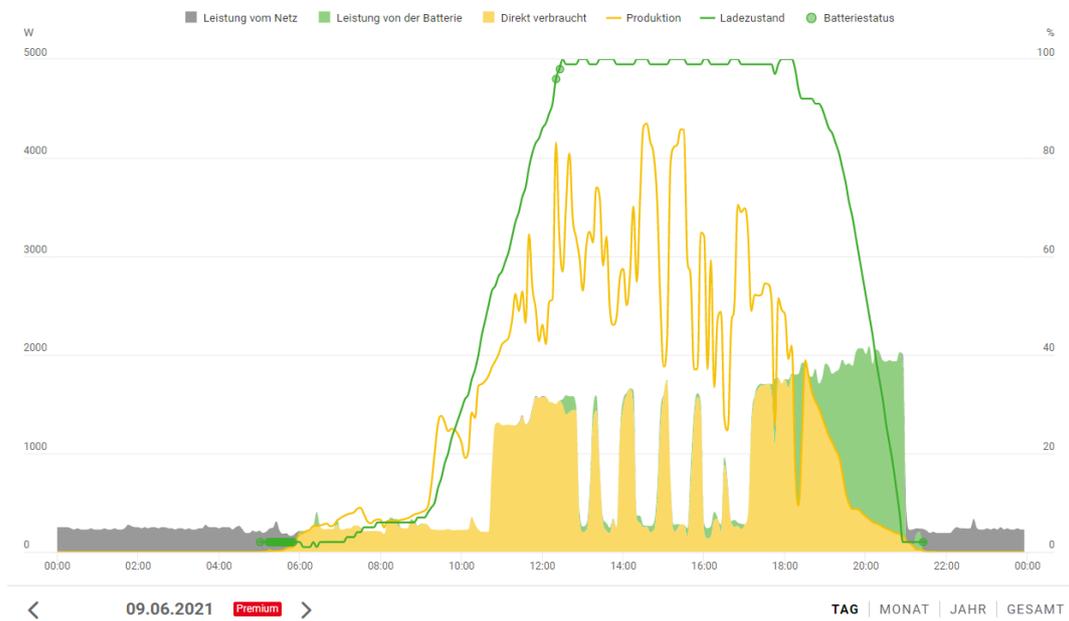


Abbildung 3.6: Tagesverbrauch vom 09. Juni 2021 einer 7,7 kWp PV-Anlage und 5 kWh Speicher

Bei der Gegenüberstellung und Analyse der Daten wurde ein ähnliches Muster bei vielen PV-Anlagen dieser Größe festgestellt. Obwohl zu Geräten, die regelmäßig abends betrieben werden, keine eindeutige Aussage über die Geräteart getroffen werden kann, lässt sich mit einer Automatisierung sehr wahrscheinlich ein besserer Autarkiegrad erreichen.

3.1.2 Solargenerator = Speicherkapazität bis 20 kWp

Nun wird eine Photovoltaik Anlage mit deutlich mehr PV-Fläche und Speicherkapazität untersucht. Da sich der Trend, große PV-Anlagen mit großem Speicher zu bauen, erst seit dem Jahr 2021 entwickelt, gibt es noch nicht viele Anlagen. Damit ist auch die Datenlage zu diesen Anlagen noch nicht ausreichend gut. Trotz mangelnder Daten kann man den Produktions- und Verbrauchstrend gut erkennen.

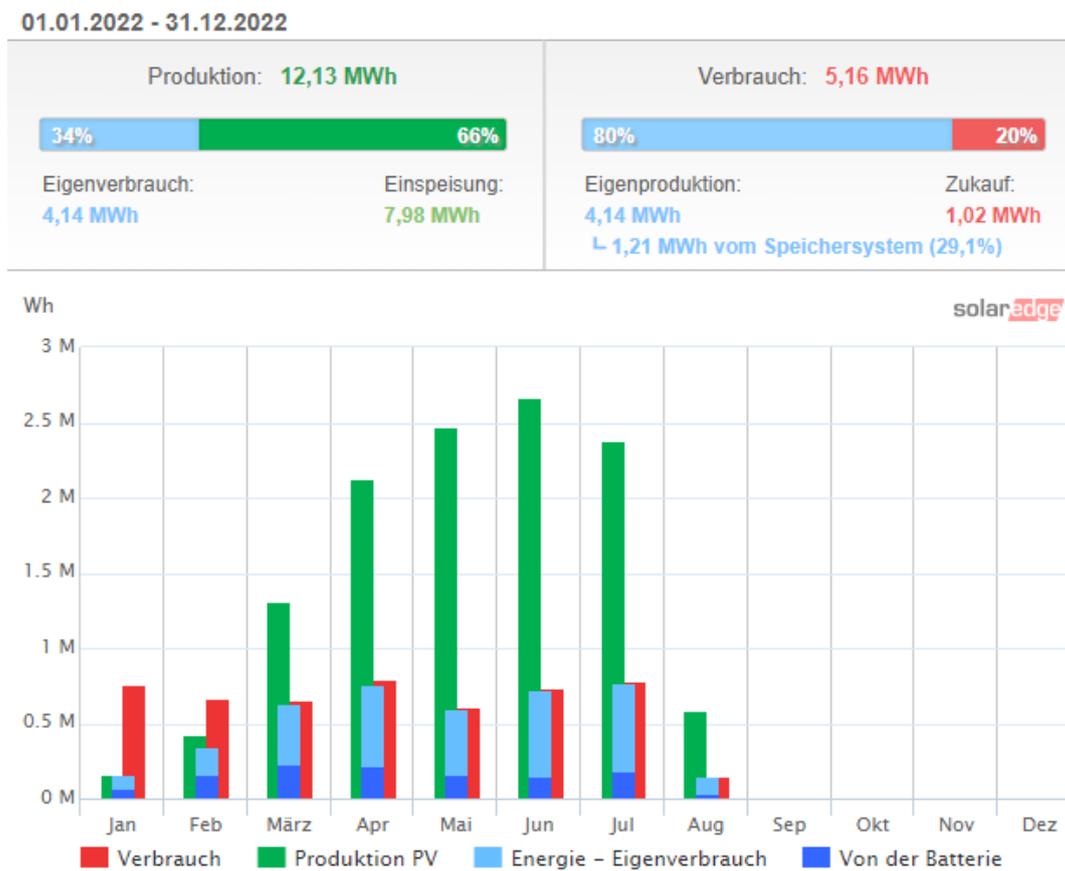


Abbildung 3.7: Jahresproduktion und Jahresverbrauch 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher

3 Analyse

Es ist zu erkennen, dass das System seit März nahezu autark läuft. Insgesamt liegt der Autarkiegrad bei 80 %, wobei davon 29,1 % von der Batterie stammen.

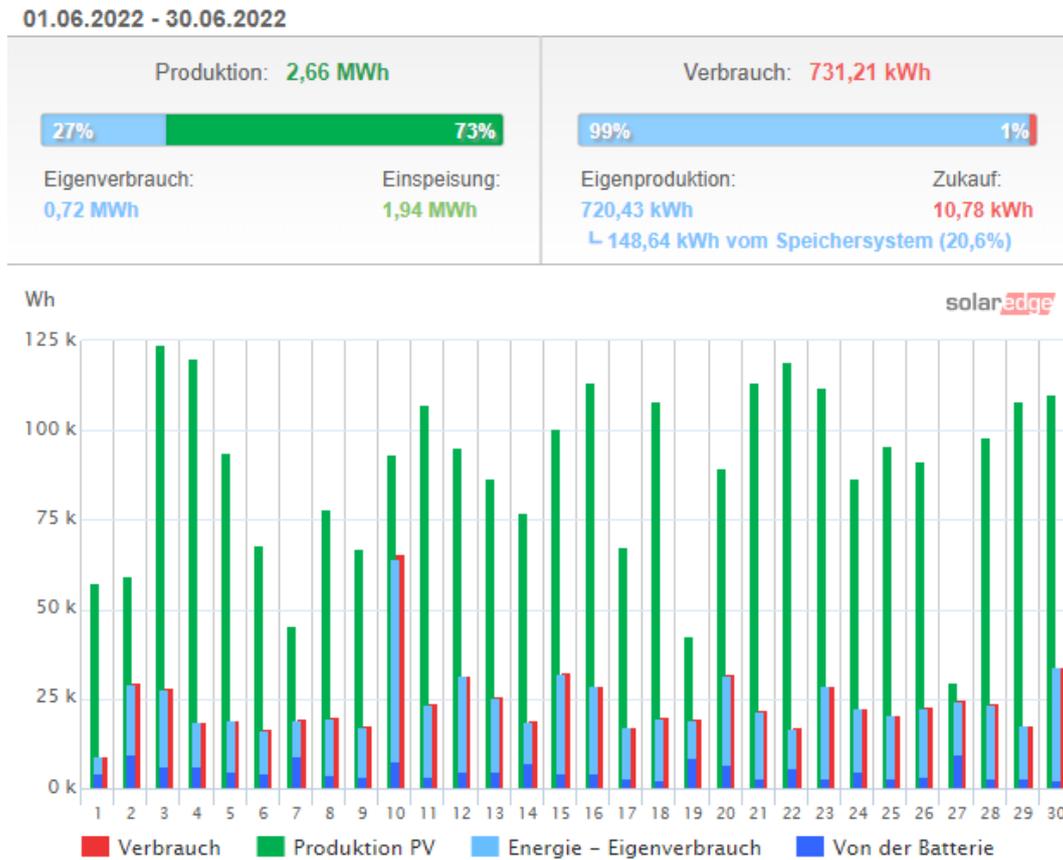


Abbildung 3.8: Monatsproduktion und Monatsverbrauch Juni 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher

In der Abbildung 3.8 ist zu sehen, dass an Tagen mit wenig Produktion der Verbrauch durch den Speicher ausgeglichen werden kann. An solchen Tagen wird die Batterieladung voll ausgeschöpft.

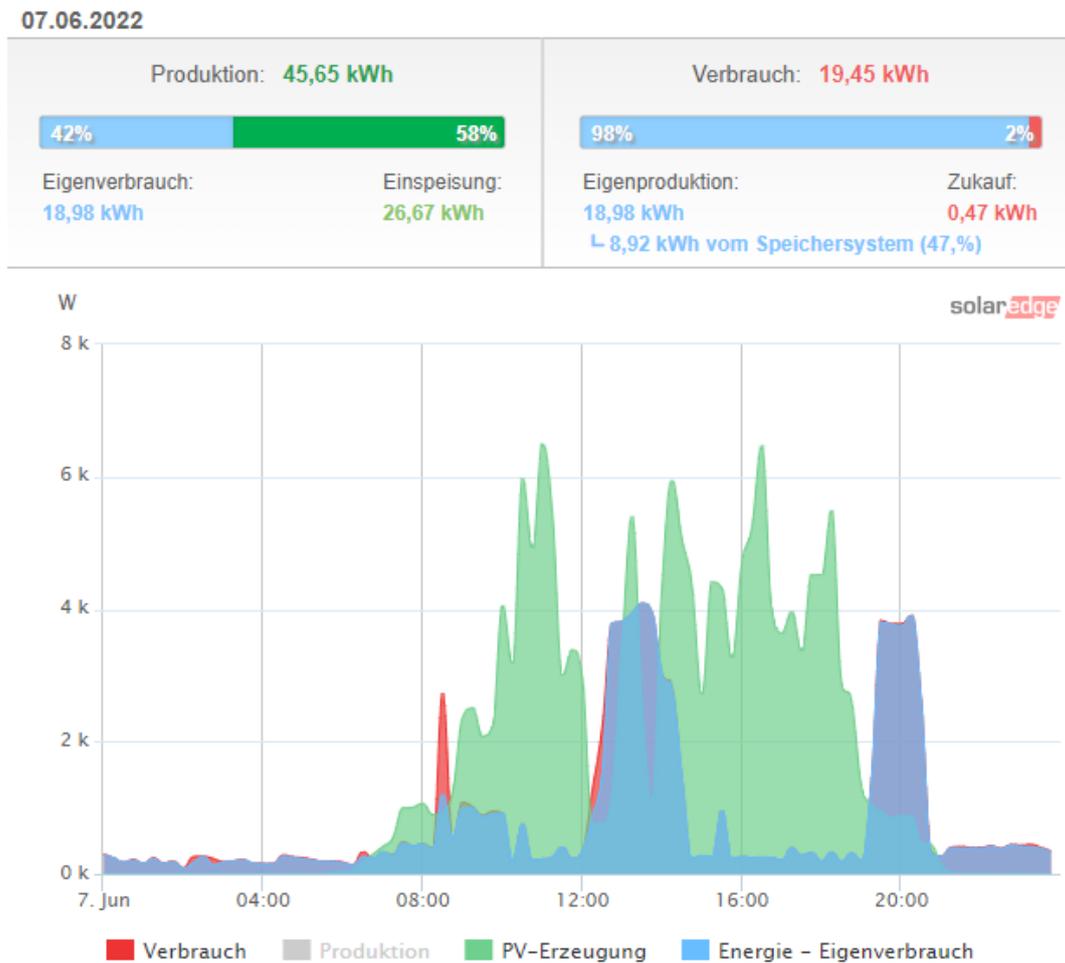


Abbildung 3.9: Tagesproduktion und Tagesverbrauch vom 7. Juni 2022 einer 20 kWp PV-Anlage und 16 kWh Speicher

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein großer Speicher den abendlichen und nächtlichen Verbrauch in den Monaten März bis Oktober vollständig ausgleicht. Somit benötigen PV-Anlagen in großen Dimensionen keine Automatisierung.

3.1.3 Solargenerator bis 10 kWp ohne Speicher

Obwohl PV-Anlagen ohne Speicher zuletzt zur Seltenheit geworden sind, gibt es noch viele Bestandsanlagen, die in dieser Weise ausgeführt sind. Zur Analyse wird eine 3,7 kWp Anlage genommen.

3 Analyse

Bei der Jahresverteilung in den Abbildungen 3.10 und 3.11 ist zu sehen, dass schon ab Februar etwa die Hälfte der produzierten Energie in das öffentliche Netz eingespeist wird. Über die Monate März bis Oktober wird über 50 Prozent eingespeist und etwa genau so viel Energie vom Netz bezogen.

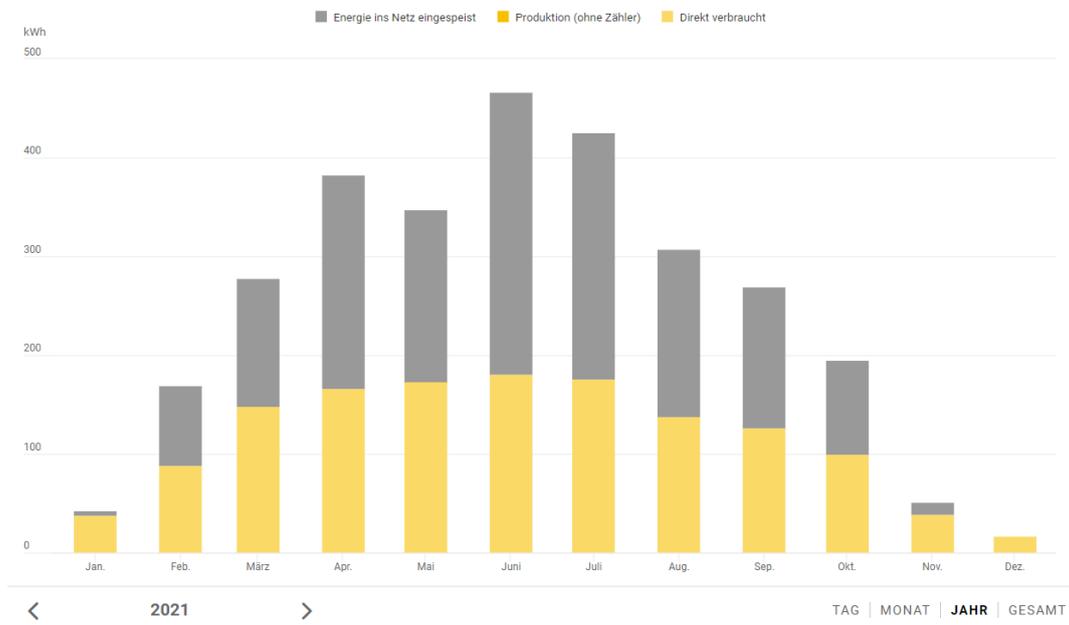


Abbildung 3.10: Jahresproduktion 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

3 Analyse

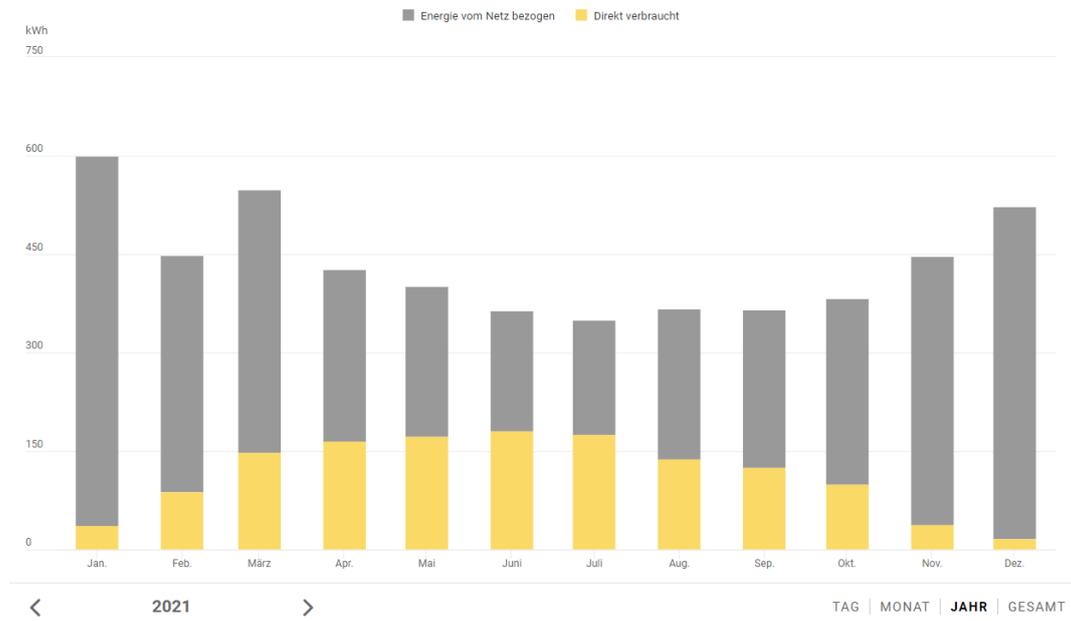


Abbildung 3.11: Jahresverbrauch 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

Bei der Monatsauflösung ist gut zu erkennen, dass dieses Verhalten über den ganzen Monat verteilt, bis auf einige wenige Tage, wo die Sonne verdeckt war. An solchen Tagen wird die erzeugte Energie fast zu 100 Prozent im Haushalt verbraucht.

3 Analyse

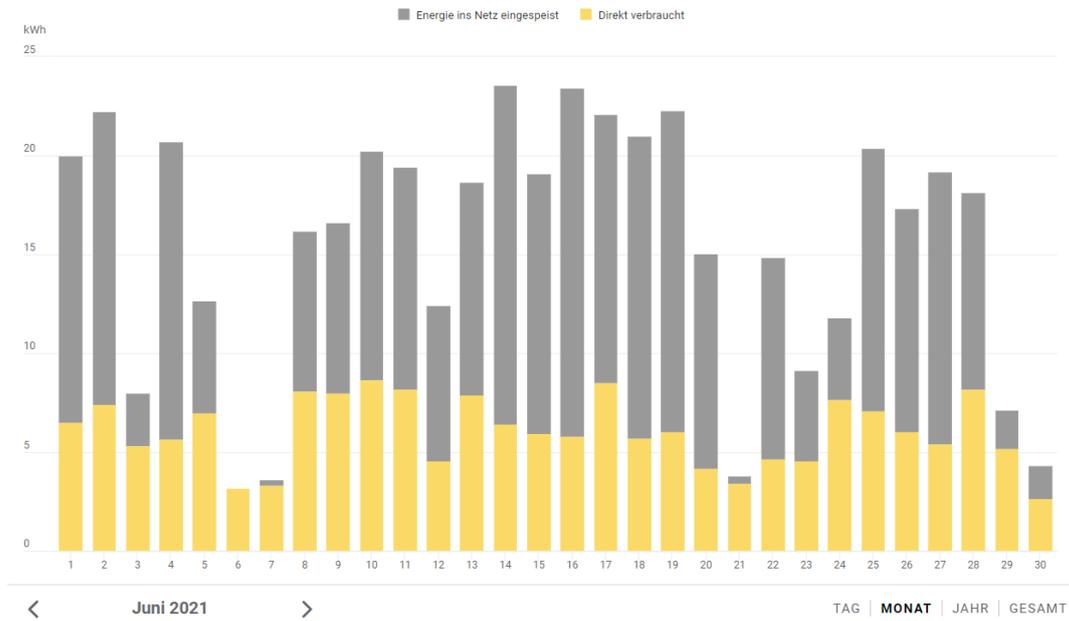


Abbildung 3.12: Monatsproduktion Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

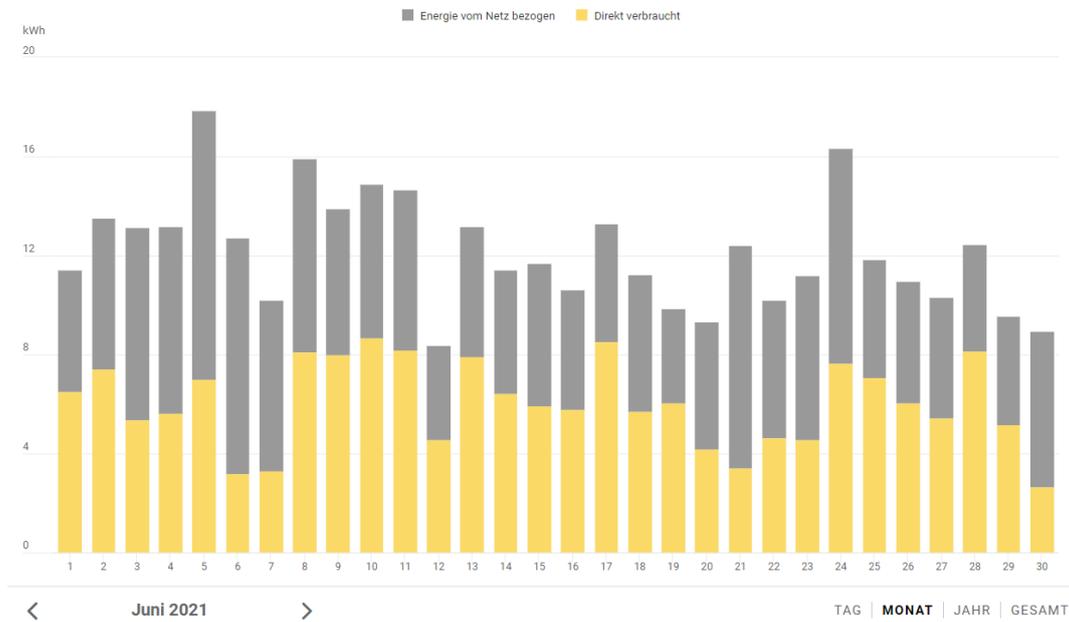


Abbildung 3.13: Monatsverbrauch Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

3 Analyse

Die Tagesgrafik verdeutlicht noch einmal, dass der Energiebedarf im Haushalt steigt, wenn keine Sonnenstrahlung mehr vorhanden ist.

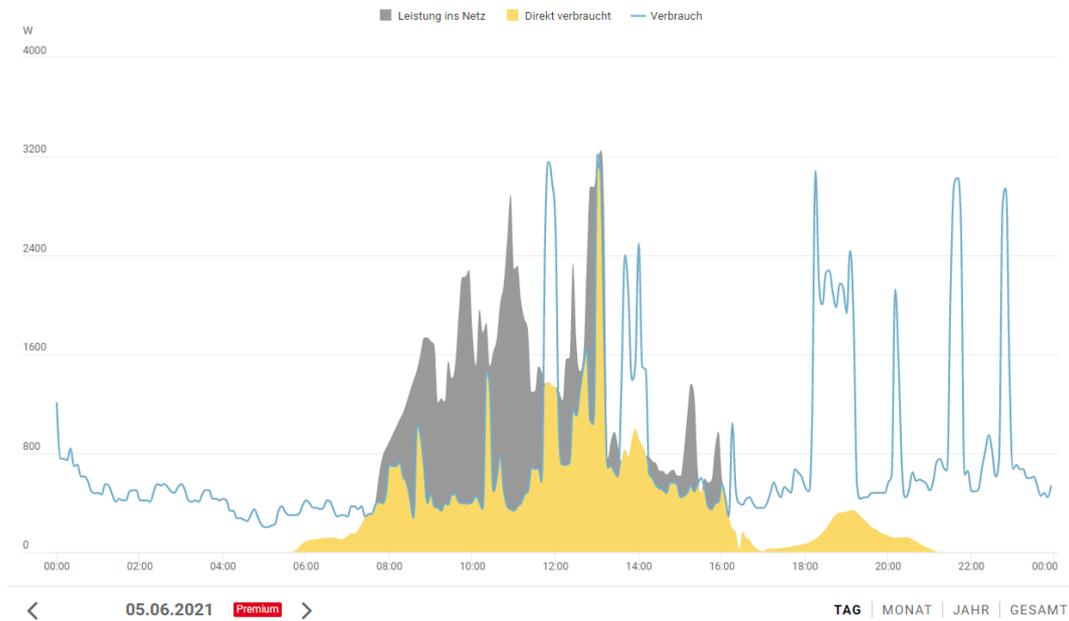


Abbildung 3.14: Tagesproduktion vom 5. Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

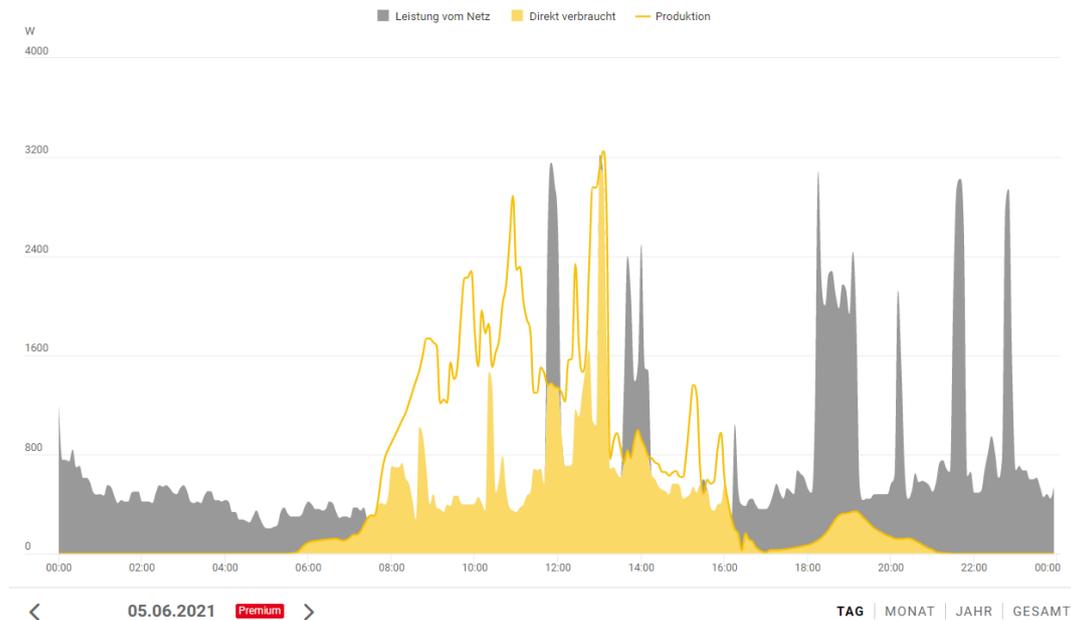


Abbildung 3.15: Tagesverbrauch vom 5. Juni 2021 einer 3,7 kWp PV-Anlage ohne Speicher

Dieses Muster an Erzeugung und Verbrauch lässt sich an sehr vielen Tagen im Jahr ablesen. Durch eine Automatisierung kann hier der Eigenverbrauch gesteigert werden.

3.1.4 Zusammenfassung der Analyse

Um eine tiefgreifende Analyse durchführen zu können, fehlen die genauen Daten der jeweiligen Anlagen und Informationen über die verbauten Geräten im Haushalt. Es liegen auch keine Daten zu dem Verbrauch vor, aus denen ersichtlich wird, welche Geräte zu welchen Zeiten eingeschaltet werden. Dadurch kann keine eindeutige Aussage zum Erfolg der möglichen Automatisierungen getroffen werden.

Trotz mangelnder Daten zeigt die Analyse den Trend, welche Kombinationen der Komponenten einer Photovoltaik Anlage besonders für eine Automatisierung geeignet sind. Vor allem kann es für Besitzer einer PV-Anlage ohne Speicher sehr interessant werden, mehr intelligente Geräte in den Haushalt zu integrieren, statt in einen Speicher mit batteriefähigem Wechselrichter zu investieren. Die Investition in einen neuen Wechselrichter mit Speicher macht aus Kostengründen in der Regel erst Sinn, wenn der bestehende Wechselrichter wegen eines Defektes ausgetauscht werden muss. Eine Umrüstung auf

einen Wechselrichter mit Speicher ist vor allem relevant für PV-Anlagen mit einer Süd-Ausrichtung, da sich bei einer Ost-West-Ausrichtung beispielsweise die Erzeugung mehr auf den ganzen Tag verteilt, sodass die Ostseite bereits früh morgens und die Westseite abends Energie liefert.

Auch für Besitzer von einer eher kleineren PV-Anlage und kleinem Speicher kann eine Automatisierung mehr Autarkie bringen. Zusätzlich wird der Speicher weniger beansprucht und erhält dadurch mehr Lebensdauer.

Besitzer eines großen PV-Generators mit großem Speicher können für das Wohlfühlerlebnis ihr Haus mit einer Smart Home Lösung ausstatten, jedoch wird auf Grund der Größe der Batterie kein erheblicher Beitrag zur Effizienz geleistet.

Um eine bessere Übersicht der Relevanz für die Automatisierung zu schaffen, wird die Tabelle 3.1 mit Farben versehen.

- Grün - hohe Relevanz
- Gelb - abhängig von den jeweiligen Faktoren
- Rot - geringe bis keine Relevanz

Tabelle 3.2: Übersicht der relevanten Anlagen mit Bewertung

Solargenerator bis 10 kWp	Solargenerator 10 bis 20 kWp
Solargenerator = Speicherkapazität	Solargenerator = Speicherkapazität
Solargenerator > Speicherkapazität	Solargenerator > Speicherkapazität
Solargenerator < Speicherkapazität	Solargenerator < Speicherkapazität
ohne Speicher	ohne Speicher

3.2 Auswahl der Sensoren und Aktoren

Die nachfolgende Grafik in der Abbildung 3.16 zeigt den Energiebedarf des Gebäudesektors. Der Gebäudesektor wird unterteilt in Wohngebäude und Nichtwohngebäude. Etwa zwei Drittel des Gebäudeenergiebedarfs wird dabei von Wohngebäuden verursacht, im Wesentlichen für Raumwärme- und Warmwassererzeugung [7, vgl. S.1].

Daraus lässt sich ableiten, dass die Bereiche Raumwärme- und Warmwassererzeugung bei der Gebäudeautomatisierung hinsichtlich Energieeffizienz nicht fehlen dürfen.

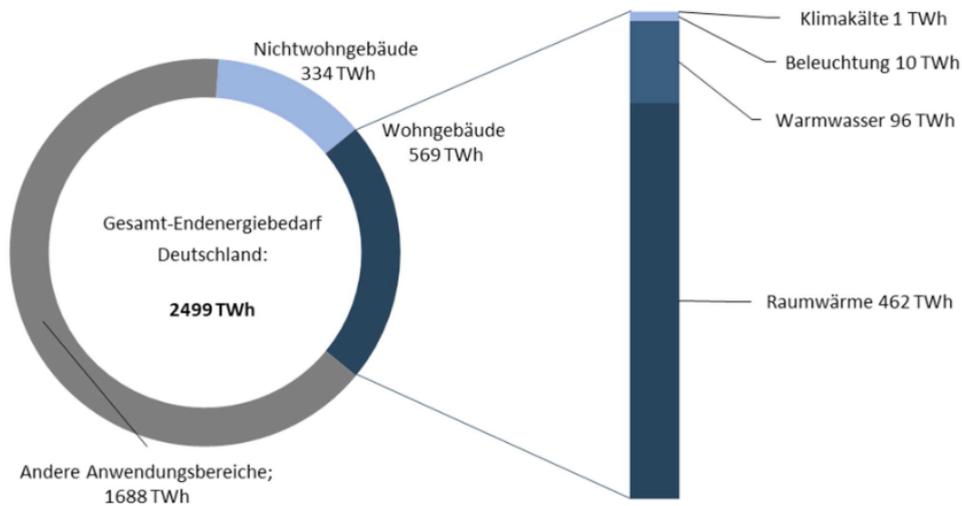


Abbildung 3.16: Der Endenergiebedarf des Wohngebäudesektors und die Aufteilung des Verbrauchs auf Raumwärme, Warmwasser, Beleuchtung und Klimakälte (Datenquelle: BMWi, 2019)

3.2.1 Aktoren

Die Tabelle 3.3 dient zur besseren Übersicht der Aktoren, die in Smart Home eingebunden werden könnten. Die vierte Spalte der Tabelle stellt eine Übersicht dar, welche Sensoren oder auch andere Aktoren bei der Automatisierung eine Rolle spielen. Manche Aktoren liefern Informationen oder eigene Sensordaten, die ausgelesen und verarbeitet werden können.

Tabelle 3.3: Übersicht der Aktoren

Aktor	Leistungsbedarf	Kommunikation	Sensor-Aktor-Interaktion
Wärmepumpe	6-9 kW	PV-Ready SG-Ready LAN bidirektional EEBUS	Betriebsmodus Aussentemperatur Brauchwassertemperatur Energie Fehler

Aktor	Leistungsbedarf	Kommunikation	Sensor-Aktor-Interaktion
Wallbox	11-22 kW	MODBUS EEBUS Cloud	Betriebsmodus Leistung SOC Ladestromänderung
Heizstab	3-9 kW	MODBUS TCP/IP	Ist-Temperatur Soll-Temperatur Betriebsmodus Fehler
Klima	3-6 kW	KNX WLAN LAN MODBUS TCP/IP	Ist-Temperatur Soll-Temperatur Außentemperatur Betriebsmodus Fehler
Lüftung	0,3-0,7 kW	KNX WLAN LAN MODBUS TCP/IP	Temperatur CO2-Gehalt Außentemperatur Feuchtesensor Fehler
Beschattung	ca. 200 W pro Gerät	KNX ZigBee Z-Wave EnOcean	Wetterstation Beleuchtung
Beleuchtung	5-40 W pro Leuchtmittel	KNX DALI ZigBee Z-Wave EnOcean	Bewegungsmelder Dämmerungssensor
Haushaltsgeräte Waschmaschine Wäschetrockner Geschirrspülmaschine	0,7-2 kWh pro Gerät und Gang max. Leistungsbezug 2,8 kW	Home Connect WLAN Cloud API	—

Wärmepumpe

Das Ziel der Integration einer Wärmepumpe in eine Eigenverbrauchsoptimierung ist, dass ein optimaler Verbrauch des produzierten Stroms durch Umwandlung in Wärme (Heizung und Warmwasser) möglich wird. Es gibt verschiedene Wege, eine Wärmepumpe in eine Eigenverbrauchsoptimierung zu integrieren. Sehr verbreitet ist die Einbindung über einen Relaiskontakt (PV-Ready) oder über zwei Relais Kontakte (SG-Ready). Mit diesen Kontakten kann der Wärmepumpe mitgeteilt werden, ob Überschuss vorhanden ist, damit die Wärmepumpe entsprechend reagieren kann[4].

Bei einigen Wärmepumpen wird eine Einbindung über das Netzwerk (LAN) unterstützt. Dadurch ist eine feinere Regelung möglich, da über die LAN-Schnittstelle genaue Werte übermittelt werden können und nicht nur zwei oder vier Zustände wie bei PV-Ready bzw. SG-Ready. Zudem bietet diese Schnittstelle eine bidirektionale Kommunikation und nicht nur Mitteilungen an die Wärmepumpe. Somit können je nach Wärmepumpe Informationen ausgelesen und sowohl visualisiert als auch für eine verbesserte Optimierung verwendet werden[4].

Bei einer Regelung über SG-Ready wird in der Übergangszeit der Sollwert am Tag nie unterschritten. Das bedeutet, dass die Wärmepumpe am Tag nie einschaltet, sondern nur in der Nacht, wenn es draussen kälter wird. Eine über LAN angesteuerte und mittels Managementsystem optimierte Wärmepumpe wird statt nachts am Tag mit PV Strom betrieben. Dies wird über eine geschickte Steuerung des Sollwerts erzielt, durch die am Abend der Soll-Wert reduziert und am Morgen je nach Überschuss erhöht wird – der Sollwert wird sowohl beim Brauchwasser als auch bei der Raumtemperatur optimiert. Der Bereich des Sollwerts kann konfiguriert werden. Während der Übergangszeit kann mit dem Managementsystem bei einer über LAN eingebundenen Wärmepumpe somit ein wesentlich höherer Eigenverbrauch und als Folge Autarkiegrad erzielt werden[4].

Die einfachste Lösung eine Wärmepumpe bei Home Assistant anzusteuern ist über die Schnittstelle PV-Ready oder SG-Ready. Es gibt eine Vielzahl an externen Relais mit potenzialfreien Kontakten, die bei Home Assistant integrierbar sind.

Außerdem besteht die Möglichkeit über LAN mit Modbus TCP/IP die Wärmepumpen von Viessmann und Stiebel Eltron anzubinden. Es gibt direkte Integrationen von den beiden Herstellern. Damit kann die Wärmepumpe nicht nur fein angesteuert werden, sondern es stehen auch die Messwerte zur Visualisierung und Steuerung bereit.

Wallbox

Mit Hilfe optimierter Ladeeinstellungen kann ein Fahrzeug praktisch ausschließlich mit Solarstrom betrieben werden, auch wenn es oftmals am Tag verwendet wird. Dazu wird das Elektroauto mit dem verfügbaren Solarstrom geladen, ohne Strom vom Netz zu beziehen. Zudem haben die Akkus heutzutage eine grosse Kapazität, dass sie nicht täglich nachgeladen werden müssen[1].

Das wurde auch von den Forschern der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich in einer Studie bestätigt. Im Zentrum der Studie standen 78 Haushalte mit einem Elektrofahrzeug, das oftmals über den Tag verteilt benutzt wurde. Das Nutzerverhalten wurde während der zehn Monate minutiös aufgezeichnet[12].

Die Elektroautos wurden meist an der heimischen Ladestation mit Netzstrom geladen. Forscher haben die verfügbare Dachfläche virtuell mit PV-Modulen bedeckt. Anhand historischer Wetterdaten mit 30-Minuten-Auflösung errechneten sie den potenziellen Solarstrom-Ertrag, wobei beispielsweise auch die Verschattung durch Nachbargebäude und Bäume berücksichtigt wurde[12].

Durch diese Modellrechnung wussten die ETH-Forscher nun, wie viel PV-Strom jedem Elektrofahrzeug zu jedem Zeitpunkt für die Ladung des Fahrzeugs zur Verfügung stand. Dabei wurde die Annahme getroffen, dass der Solarstrom prioritär für die Ladung des Elektromobils verwendet wird. Die PV-Anlagen verfügten über eine Spitzenleistung von 5 bis 25 kW[12].

Die Wissenschaftler berechneten für vier Ladestrategien, welcher Anteil des eigenen Solarstroms mit dem jeweiligen Mobilitätsverhalten für das Laden der Elektroautos herangezogen werden kann. Im ersten Fall werden die Elektroautos zu den gleichen Zeiten geladen wie bisher mit Netzstrom, nun allerdings mit Solarstrom, sofern dieser verfügbar ist. Im Durchschnitt werden in diesem Fall nur 15 Prozent des jährlichen Strombedarfs durch PV-Strom gedeckt und der Rest durch Netzstrom[12].

Bei Ladestrategie 2 wurde eine einfache intelligente Steuerung eingesetzt, sodass die Batterie vorzugsweise dann geladen wird, wenn Solarstrom zur Verfügung steht. In diesem Fall kann über die Hälfte des Strombedarfs mit eigenem Solarstrom gedeckt werden[10].

Bei Ladestrategie 3 wurde das Potenzial der intelligenten Steuerung noch mehr ausgenutzt. Das E-Auto wurde in Szenario 3 immer so viel wie möglich mit PV-Strom geladen

und es wurde nur eine minimale Energiemenge aus dem Netz bezogen, um die Mobilitätsbedürfnisse des Nutzers bedienen zu können[10].

Wird der PV-Strom in einem Speicher zwischengespeichert wie in Ladestrategie 4, sind die Fahrzeuge praktisch ausschließlich mit Solarstrom unterwegs[10].

Mit zunehmender Menge an Elektrofahrzeugen und gleichzeitig starkem Ausbau der Dächer mit Photovoltaik bringt die intelligente Steuerung einer Wallbox viele Vorteile mit sich. Einerseits spart der Inhaber einer PV-Anlage Geld und die Anlage rentiert sich noch mehr, andererseits werden dadurch auch Stromnetze entlastet.

Momentan kann nur eine Wallbox von der Firma Wallbox vollständig in Home Assistant integriert werden. Es ist eine Cloud-basierte Lösung. Alle Sensordaten von der Wallbox und Befehle an die Wallbox werden über Cloud empfangen[2].

Heizstab

Ein Heizstab ist eine gute Möglichkeit überschüssig produzierte Energie der PV-Anlage direkt zur Warmwasserbereitung zu nutzen. Die Heizstäbe können stufenlos geregelt werden und besitzen einen integrierten Wassertemperaturfühler, über welchen Temperatursollwerte angefahren werden können. In Kombination mit dem Energiemanagement ist er eine gute Lösung um die Eigenenergie optimal zu nutzen.

Wird ein Heizstab über Smart Home aktiv beeinflusst, dann regelt der Energiemanager die Soll-Leistung des Heizstabes dementsprechend automatisch hoch und runter, um den minimalen Einspeisewert des überschüssigen Stromes zu halten. Da der Heizstab stufenlos Leistung im Bereich 0-9 kW aufnehmen kann, kann durch eine niedrigere Priorisierung im Managementsystem eine sehr feine Regelung für Überschussleistung entwickelt werden.

In Home Assistant gibt es keine direkte Integration eines Heizstabes. Beispielsweise kann der Heizstab von der Firma myPV über Modbus TCP/IP HTTP-Befehle zur Regelung empfangen. Auch Messwerte wie die Ist-Temperatur können ausgelesen werden. Hierfür kann der Hersteller auf Anfrage die technische Dokumentation zu Verfügung stellen, wo die entsprechenden Register aufgelistet sind. Somit ist der Heizstab von myPV in Home Assistant integrierbar.

Klima

In der Grafik 3.16 ist zu erkennen, dass Klimaanlage in Deutschland eher eine Seltenheit sind als die Regel. Durch den Klimawandel treten Hitzewellen häufiger und andauernder

auf. Dadurch kann die Annahme getroffen werden, dass zukünftig Klimageräte immer öfter in den deutschen Haushalten installiert werden.

Eine Kombination aus Photovoltaik Anlage und Klimaanlage ist sehr praktisch, da im Sommer die meiste überschüssige Energie vorhanden ist, die dafür genutzt werden kann, um eine angenehme Atmosphäre im Gebäude zu schaffen. Außerdem sind Klimaanlagen mit diversen Luftfiltern ausgestattet, um die Luftqualität zu verbessern und vor Feinstaub, Schimmel, Pollen, Viren und Bakterien zu schützen.

Lüftung

Eine zentrale Lüftungsanlage ist kein großer Verbraucher, aber durch eine intelligente Vernetzung mit der Heizung kann viel Energie gespart werden. Besonders energieeffizient sind Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Dabei wird der verbrauchten Luft Energie entzogen, die wiederum zum Aufwärmen der frischen Außenluft genutzt wird. Außerdem hat eine intelligente Lüftungsteuerung den Vorteil, dass im Raum immer die perfekte Luftfeuchtigkeit und Temperatur sowie ein idealer Sauerstoffgehalt vorhanden sind. Dadurch wird auch die Gefahr der Schimmelbildung erheblich gemindert.

Viele Hersteller setzen auf KNX oder Modbus als Kommunikationsschnittstelle. Daher kann eine Lüftungsanlage problemlos integriert und intelligent betrieben werden.

Beschattung

Eine in das Smart Home eingebundene Beschattung kann Energie sparen. Es ist energetisch günstiger, das Gebäude zu beschatten und optimale Lichtverhältnisse mit einer smarten Beleuchtung herzustellen, als eine Klimaanlage zu nutzen. Im Sommer kann somit ein Überhitzen der Räume verhindert und gleichzeitig ein Ausbleichen von Möbel und Textilien vermieden werden. Mit einem Helligkeitssensor kann die Mindesthelligkeit definiert werden, bei der der Sonnenschutz ausgelöst wird.

Beleuchtung

Das Thema Beleuchtung mit Smart Home in Bezug auf Energieeffizienz zu bedienen, kann nur bei zwei Szenarien interessant sein. Im ersten Fall kann in Verbindung mit Beleuchtung eine automatische Beschattung zum Einsatz kommen, um den Energieverbrauch bei Klimageräten zu senken. Befinden sich Personen in dem Gebäude, müssen automatisch optimale Lichtverhältnisse eingestellt werden. Das erreicht man mit einem Zusammenspiel von Bewegungssensoren, Dämmerungssensoren und dimmbarer Beleuchtung.

Im zweiten Fall kann eine smarte Beleuchtung nützlich sein, wenn in einem Raum das Licht an ist und der Bewegungssensor innerhalb einer definierten Zeit keine Bewegung registriert. Dann kann beispielsweise eine Pushnachricht an das Handy des Nutzers geschickt werden und der Nutzer hat die Möglichkeit darauf zu reagieren.

Haushaltsgeräte

Nicht alle Haushaltsgeräte gilt es in Bezug auf effiziente Energienutzung zu automatisieren. Drei Geräte, die für eine Automatisierung am meisten Sinn machen sind die Waschmaschine, der Trockner und die Geschirrspülmaschine.

Diese drei Geräte kann man sehr gut im Vorfeld vorbereiten und bei Überschussleistung automatisch starten. Zusätzlich kann eine Timerfunktion programmiert werden, damit beispielsweise kurz vor der Ankunft des Bewohners das Geschirr auf jeden Fall gespült ist. Mit der Wetterprognose kann beispielsweise auch eine Pushnachricht versendet werden, um den Nutzer darauf aufmerksam zu machen, dass am nächsten Tag gutes Wetter vorausgesagt wird und es sinnvoll wäre, Wäsche zu waschen oder zu trocknen.

Bei der Programmierung muss dabei besonders darauf geachtet werden, dass es nach dem Start des Geräts zu keiner Unterbrechung des laufenden Programms kommt. Dies auch bei kurzweiligen Wetterveränderungen, wenn sich die Sonne zum Beispiel kurzzeitig versteckt. Wenn man bei der Konfiguration von Smart Home Haushaltsgeräte miteinbezieht, müssen diese aus der Hystereseregulierung rausgenommen werden.

Haushaltsgeräte können über die Home Connect Schnittstelle an den Home Assistant angebunden und gesteuert werden.

3.2.2 Sensoren

Viele Sensoren sind schon bei den Aktoren integriert. Es gibt aber Situationen, in denen für eine bessere Regelung zusätzliche Sensoren gebraucht werden. Die Tabelle 3.4 stellt eine Übersicht der Sensoren dar, die eine feinere Regelung ermöglichen können.

Tabelle 3.4: Übersicht der Sensoren

Sensor	Kommunikation	Sensor-Aktor-Interaktion
Feuchtigkeitssensor	1-wire Modbus RTU Zigbee KNX Z-Wave	Lüftung Heizung Klimaanlage
Temperatursensor	1-wire Modbus RTU Zigbee KNX Z-Wave	Brauchwassertemperatur Heizung Lüftung Beschattung
Lichtsensor	1-wire Modbus RTU Modbus TCP Zigbee KNX Z-Wave	Beschattung Beleuchtung
Bewegungsmelder	1-wire Modbus RTU Modbus TCP Zigbee KNX Z-Wave	Beschattung Beleuchtung
Wetterstation	Modbus TCP KNX	Lüftung Heizung Klimaanlage Beschattung Beleuchtung

3.3 Anforderungsanalyse

Anhand der Anforderungen werden die gewünschten Funktionalitäten und das Verhalten des Systems beschrieben.

1. Das Monitoringdashboard kann den aktuellen Überschuss am Netzübergabepunkt an das Smart Home System übermitteln.
2. Das Monitoringdashboard kann über den aktuellen Status der Verbraucher Informationen bekommen.
3. Das Monitoringdashboard kann erhaltene Daten visualisieren.
4. Über das Monitoringdashboard können verschiedene Szenarien simuliert werden.
5. Das Smart Home System kann verschiedene Aktoren ansteuern.
6. Dem Verbraucher kann eine Priorisierung zugeschrieben werden.
7. Hysterese bei der Ansteuerung von Verbrauchern soll beachtet werden.
8. Das Abschalten der Verbraucher erfolgt nach Priorisierung. Dabei soll das Ziel verfolgt werden, dass am Netzübergabepunkt möglichst wenig Energie sowohl eingespeist als auch bezogen wird.
9. Über das Dashboard kann von außen auf das Heimnetzwerk zugegriffen werden.

3.3.1 Machbarkeit

Prinzipiell stellt der Home Assistant alle Eigenschaften zur Verfügung, die benötigt werden, um dieses Projekt zu ermöglichen. Hardwareseitig stehen ein Raspberry Pi, ein ZigBee Transponder, eine zweikanal Shelly Relais, ein Thermostat, ein Temperatursensor und diverse Schnittstellen für die Kommunikation mit den Geräten zur Verfügung. Softwareseitig können die benötigten Funktionen durch eine Vielzahl von APIs realisiert werden. Dazu zählen die Übertragung und Visualisierung von Sensor- und Aktordaten sowie die Verbindung zu dem Monitoringdashboard.

Aufgrund der Open Source Orientierung bildet der Home Assistant eine gute Basis. Den Entwicklern wird hier eine Vielzahl von Möglichkeiten geboten. Diese werden stetig weiter ausgebaut.

Die Anforderungen sind definitiv realisierbar, da es schon mehrere industrielle Lösungen gibt, die genau auf eine effiziente Nutzung der Energie konzipiert sind.

4 Umsetzung

4.1 Anbindung an das Smart Home System

Die Anbindung des Monitoringdashboards wurde durch die Client-Server Anwendung realisiert. Dabei spielt die REST API die zentrale Rolle in der Kommunikation zwischen Dashboard und Home Assistant. Home Assistant ist der Server und das Monitoringdashboard ist der Client. Bei der Implementierung der Lösung gab es Schwierigkeiten. Da das Dashboard auf dem lokalen Speicher des Computers gespeichert und auch von dort aus ausgeführt wurde, hat die Same-Origin-Policy (SOP) das Nachladen der Inhalte von dem Home Assistant Server verboten. Dies konnte gelöst werden, indem der gesamte Client auf dem Home Assistant gespeichert wurde. Nun wird das Monitoringdashboard von dem Home Assistant geladen und ausgeführt. Das ermöglicht eine reibungslose Kommunikation zwischen beiden Anwendungen.

4.2 Anbindung der Sensoren und Aktoren

Um die prinzipielle Regelung zeigen zu können, werden für die Simulation der Regelung einfache Sensoren und Aktoren verwendet. Die Abbildung 4.1 stellt das zu regelnde System dar. Die Aktoren und der Sensor sind über verschiedene Schnittstellen angebunden.

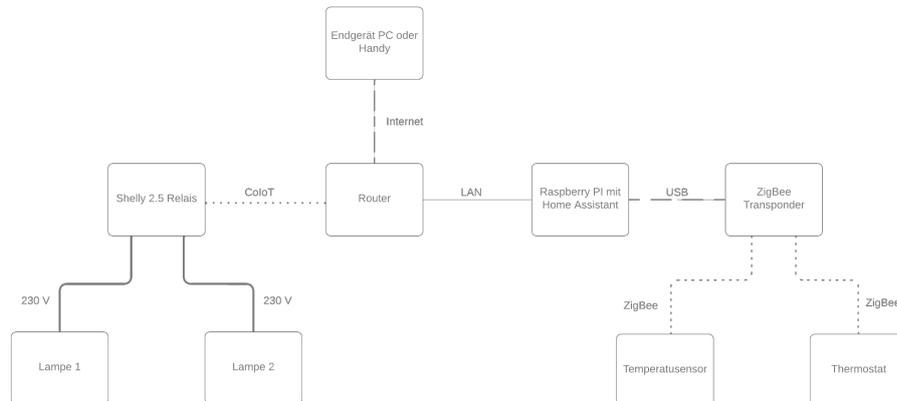


Abbildung 4.1: Systemaufbau

4.3 Regelung im Home Assistant

Bei dem Regelungsentwurf sollen einige wichtige Aspekte beachtet werden. Es sollen sowohl die Hysterese als auch die Verbraucher-Prioritätsregelungen umgesetzt werden.

4.3.1 Verbraucher-Prioritätsregelungen

Damit die Photovoltaik gesteuerten Verbraucher nicht wahllos geschaltet werden, muss eine Verbraucher-Prioritätsregelung implementiert werden. Durch eine Priorisierung werden Rahmenbedingungen geschaffen, um dem Nutzer die Möglichkeit zu geben, die für ihn wichtigen Verbraucher zuerst bei Überschuss zu schalten. Anhand der Lösung vom Solarmanager in der Abbildung 4.2 kann das Prinzip der Regelung erläutert werden.

			Minimale Einschaltleistung		Vorhandener Überschuss				
			[W]		200W	600W	1200W	2000W	2500W
1	Smart Plug	E-Bike	100		100W	100W	100W	100W	100W
2	Auto-Ladestation	Wallbox	1400	stufenlos (32A)				1900W	Auto voll
3	Warmwasser	Warmwasser	500	3.5kW (7 Stufen)		500W	1000W		2000W
4	Batterie	Varta	-	stufenlos	100W		100W		400W
5	Smart Plug	Ladegeräte Garage	50						

Abbildung 4.2: Verbraucher-Prioritätsregelungen von Solarmanager (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)

Nachdem die Verbraucher in das System integriert wurden, kann die Priorität einfach per "Drag and Drop" vergeben werden. Möchte man einem Verbraucher höhere Priorität verleihen, so kann er weiter nach oben verschoben werden.

Kommt es zum Überschuss am Netzübergabepunkt, schaut das Programm, ob ein Verbraucher angesteuert werden kann. Beispielsweise kann bei einem Überschuss von 200 Watt das E-Bike mit 100 Watt geladen werden und der Rest fließt in die Batterie, da alle anderen höher priorisierten Verbraucher eine minimale Einschaltleistung haben, die höher ist als der restliche vorhandene Überschuss.

Bei einem 600 Watt Überschuss kann nun mit der Warmwasserzubereitung angefangen werden. Dafür werden 100 Watt für das E-Bike bereitgestellt und der Rest für das Warmwasser verwendet. So geht es immer weiter bis genug Überschussenergie für alle Verbraucher zur Verfügung steht. Bei einem fallenden Überschuss werden zuerst die niedrig priorisierten Verbraucher nach und nach abgeschaltet.

Im Home Assistant können die Verbraucher-Prioritätsregelungen über Automatisierungsscripts in der Programmiersprache YAML implementiert werden.

4.3.2 Hysterese

Manche Verbraucher wie beispielsweise die Wärmepumpe dürfen nicht hin- und hergeschaltet werden und haben eine Mindestlaufzeit. Dies muss unbedingt bei der Programmierung beachtet werden.

Ein Energieüberschuss kann jedoch auch nur kurzzeitig vorhanden sein. Um ein ständiges Ein- und Ausschalten der Verbraucher auszuschließen, müssen diese mit einer Einschaltverzögerung angesteuert werden. Dieser Vorgang wird Hysterese genannt. Die Abbildung 4.3 zeigt, wie so eine Regelung aussehen muss.

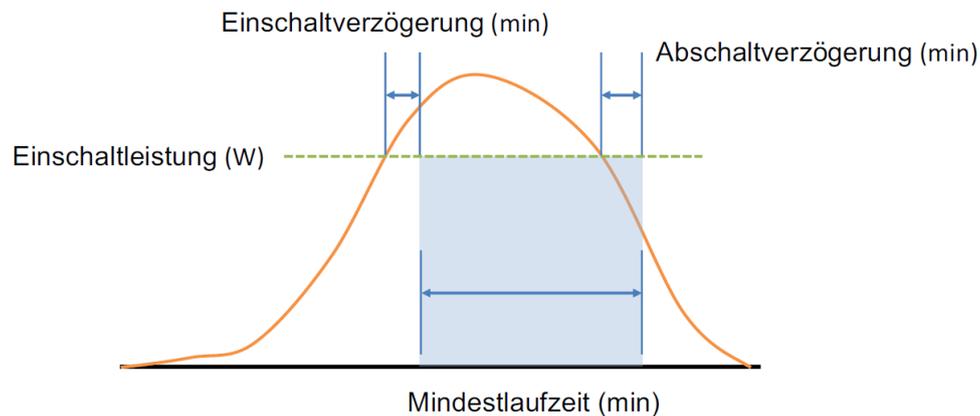


Abbildung 4.3: Hysterese (Bildquelle: Solarmanager Webinar, 2021)

4.3.3 Regelungsentwurf

Da keine Möglichkeit besteht, echte Verbraucher anzusteuern, werden diese mit einfachen Mitteln simuliert. Die Abbildung 4.4 zeigt drei fiktive Verbraucher mit deren Eigenschaften.

Verbraucher 1	Verbraucher 2	Verbraucher 3
Priorität 1	Priorität 2	Priorität 3
Mindestlaufzeit 10 Min	fiktiv 300 Watt	fiktiv 400 Watt
fiktiv 500 Watt		

Abbildung 4.4: Legende für Verbraucher

In der Abbildung 4.5 ist das Flow Chart Diagramm der Regelung seitens Home Assistent dargestellt. Über den ersten Timer wird sichergestellt, dass die Hystereseregulierung auftritt. Es wäre besser noch eine Abfrage vor dem Timer zu setzen, dies würde aber die Implementierung der Regelung erheblich erschweren. Daher wurde die Entscheidung getroffen, es für den ersten Entwurf einfacher zu halten, um mögliche Komplikationen bei der Implementierung zu umgehen.

Die Verbraucher-Prioritätsregelung wird sowohl bei dem Zuschalten der Verbraucher im Falle eines Überschusses als auch beim Abschalten der Verbraucher im Falle des Energiebezuges aus dem Netz angewendet.

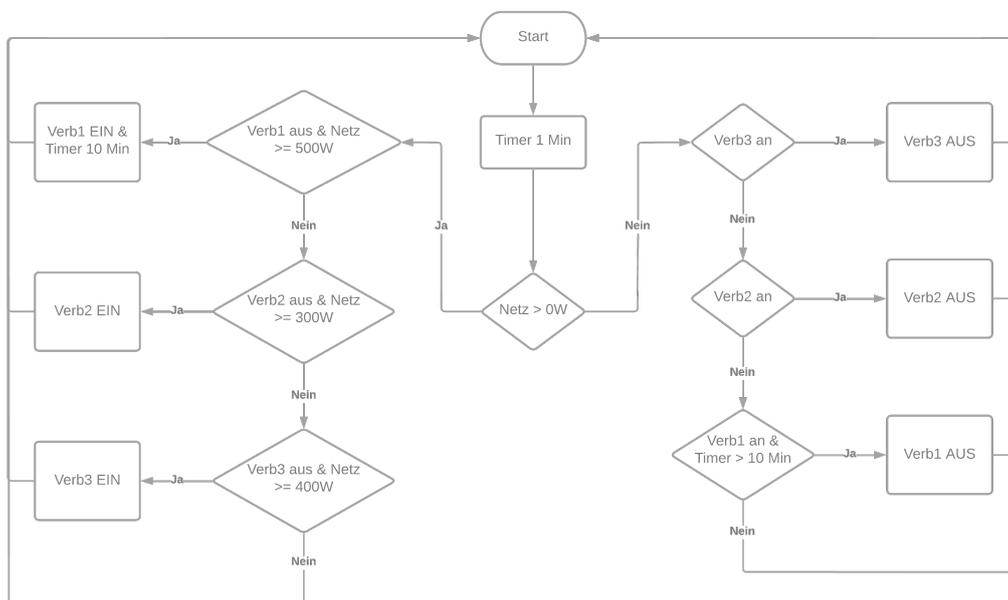


Abbildung 4.5: Flow Chart Diagramm der Regelung

5 Simulation

Um die Regelung testen zu können, muss die Möglichkeit geschaffen werden, die Energieströme in dem Monitoringdashboard manuell zu verändern. Dazu eignet sich das bestehende Modul des Monitoringdashboards, das in der Abbildung 5.1 dargestellt ist.

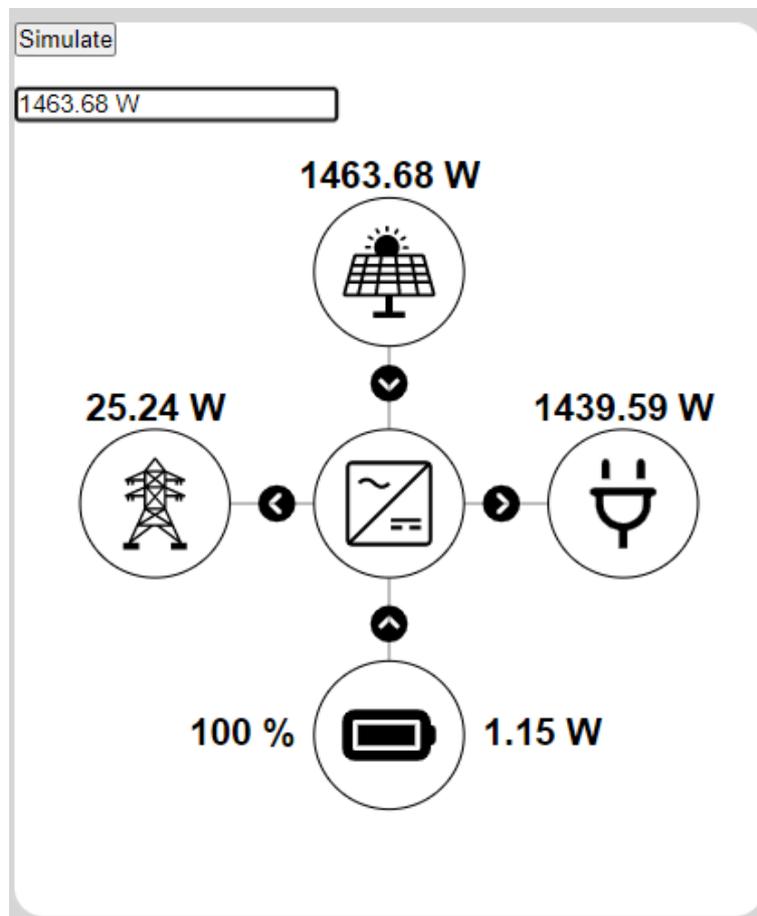


Abbildung 5.1: Simulationsfeld in dem Dashboard

Mit der Schaltfläche "Simulate" wird die Verbindung zum Server von Fronius unterbrochen, um die Werte über das Eingabefeld manipulieren zu können. Grundsätzlich kann zwischen einstellbaren und abhängigen Werten unterschieden werden.

Einstellbare Werte:

- Erzeugung
- Verbrauch
- SOC der Batterie

Bei dem Verbrauch müssen zudem drei fiktive Verbraucher berücksichtigt werden.

Abhängige Werte:

- Netzübergabepunkt
- Batterieladeleistung
- Batterieentladeleistung

Der Algorithmus kann mit folgendem Pseudocode beschrieben werden:

```
Verbrauch ← Verbrauch + Verbraucher1 + Verbraucher2 + Verbraucher3;  
SOC ← SOC;  
Erzeugung ← Erzeugung;  
Netz ← Erzeugung + Batterieleistung - Verbrauch;  
if SOC > 5 & Netz ≠ 0 & SOC < 100 then  
  | Batterieleistung ← Verbrauch - Erzeugung;  
else  
  | Batterieleistung ← 0;  
end  
Netz ← Erzeugung + Batterieleistung - Verbrauch;
```

6 Auswertung

6.1 Erfüllung der Anforderungen

Im nachfolgenden Kapitel wird überprüft, ob die Anforderungen aus 3.3 in der Umsetzung berücksichtigt worden sind.

1. wurde erfüllt. Das Monitoringdashboard kann den aktuellen Überschuss am Netzübergabepunkt an das Smart Home System übermitteln.
2. wurde erfüllt. Das Monitoringdashboard kann über den aktuellen Status der Verbraucher Information bekommen.
3. wurde erfüllt. Das Monitoringdashboard kann erhaltene Daten visualisieren.
4. wurde erfüllt. Über das Monitoringdashboard können verschiedene Szenarien simuliert werden. Durch die Eingabefelder Erzeugung, Verbrauch und SOC des Speichers können beliebige Verhältnisse im System eingestellt werden.
5. zum Teil erfüllt. Zwar kann das Smart Home System verschiedene Aktoren ansteuern, aber die eindeutige Aussage kann nur zu den getesteten Aktoren getroffen werden. Das sind Shelly Relais und ein Thermostat.
6. zum Teil erfüllt. Dem Verbraucher kann eine Priorisierung zugeschrieben werden, ist aber mit einer aufwendigen Programmierung verbunden. Es wäre wünschenswert, dass die Priorisierung durch den Nutzer mit einer Zahl vergeben werden könnte.
7. zum Teil erfüllt. Die Hysterese wird bei der Ansteuerung von Verbrauchern beachtet, muss aber ebenfalls bei der Programmierung mit einem Timer und einer Hilfsvariablen versehen werden. Eine Erleichterung für den Nutzer wäre, wenn beim Einbinden neuer Verbraucher die Hystereseerregung optional angeboten wird.

8. zum Teil erfüllt. Es wurde eine einfache Abschaltung der Verbraucher mit der kleinsten Priorität implementiert.
9. zum Teil erfüllt. Man kann über das Dashboard von außen auf das Heimnetzwerk zugreifen. Es funktioniert bei einem Internetanschluss mit Full Dual Stack. Dabei handelt sich um einen Internetanschluss mit einer externen IPv4- und einer externen IPv6-Adresse. Die Einschränkung ist, dass es mit dem Internetanschluss DSL-Lite nicht funktioniert, da dieser nur über eine externe IPv6-Adresse verfügt.

Obwohl nicht alle Anforderungen in vollem Umfang erfüllt wurden, konnte die Machbarkeit des Projektes mit der Software Home Assistant gezeigt werden.

7 Fazit und Ausblick

7.1 Rückblick auf die Arbeit

Rückblickend auf die Zielsetzung dieser Arbeit lässt sich sagen, dass eine intelligente Steuerung des Photovoltaiküberschusses ein hohes Potential besitzt. Aber auch, dass eine gewisse Infrastruktur in einem Gebäude vorhanden sein muss, um die Funktionalitäten nutzbar zu machen. Bei Neubauprojekten kann die entsprechende Infrastruktur berücksichtigt werden, ist aber mit erheblich hohen Kosten verbunden. Bei Objekten, die keine ausreichende Infrastruktur besitzen, kann auf funkfähige Geräte zurückgegriffen werden oder die Realisierung in einer abgespeckten Version wäre durchaus denkbar.

Essentiell für die Akzeptanz des Systems seitens der Nutzer ist Sicherheit und Verlässlichkeit. Bei der Sicherheit liegt das Hauptaugenmerk darauf, dass das System von außen für Dritte nicht zugänglich ist. Auch die Robustheit des Systems muss gewährleistet werden. Dabei müssen Strategien ausgearbeitet werden, die sicherstellen, dass bei Störungen kein dubioses Verhalten der gesamten Anlage hervorgerufen wird. So beispielsweise wenn ein Sensor ausfällt, der für eine komplexe Steuerung verwendet wird. Die Aspekte Sicherheit, Schutz der Privatsphäre und Stabilität des Systems müssen unbedingt in die Entwicklung einfließen.

Auch wenn die Anforderungen nicht vollumfänglich umgesetzt wurden, lassen sich mit dieser Arbeit die Möglichkeiten einer effizienteren Energienutzung mittels Smart Home System aufzeigen.

7.2 Ausblick

Die im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit entstandene Lösung kann noch verbessert und erweitert werden.

Eine Verbesserung wäre, dem Nutzer durch eine Analyse der gesammelten Daten Anpassungsvorschläge seines Lastprofils bereitzustellen.

Für die vorliegende Arbeit wurden die Wechselrichterdaten nur von dem Server des Herstellers Fronius bezogen. Es gibt jedoch die Möglichkeit über Home Assistant die Echtzeitwerte des Wechselrichters über SunSpec Protokoll lokal zu beziehen. Damit könnte das System herstellerunabhängig werden.

Im Rahmen der Arbeit wurde eine einfache Abschaltung der Verbraucher mit der kleinsten Priorität implementiert. Hier könnte erweiternd der Abschaltalgorithmus der Verbraucher verbessert werden, um am Netzübergabepunkt sowohl Energieeinspeisung als auch -bezug möglichst gering zu halten und so eine höhere Energieeffizienz zu erzielen. Die Abschaltung eines Verbrauchers würde dann durch den Abschaltalgorithmus nach einem Vergleich der in ihrer Priorität benachbarten eingeschalteten Verbraucher vollzogen.

Literaturverzeichnis

- [1] : *E-Mobility*. – URL <https://www.solarmanager.ch/anwendungen/e-mobility/>. – Zugriffsdatum: 2022-07-30
- [2] : *Home Assistant Integrations*. – URL <https://www.home-assistant.io/integrations>. – Zugriffsdatum: 2022-07-29
- [3] HTML - Living Standard. / World Wide Web Consortium. URL <https://html.spec.whatwg.org/>. – Zugriffsdatum: 2022-07-26. – Standard
- [4] : *Wärmepumpe*. – URL <https://www.solarmanager.ch/anwendungen/waermepumpe/>. – Zugriffsdatum: 2022-07-29
- [5] CSS Snapshot / World Wide Web Consortium. URL <https://www.w3.org/TR/css-2021/>. – Zugriffsdatum: 2022-07-26, 2021. – Standard
- [6] ASCHENDORF, Bernd: *Energiemanagement durch Gebäudeautomation*. Springer Verlag, 2014. – ISBN 978-3-8348-0573-7
- [7] DR. SEVERIN BEUCKE, Simon H.: CO2-Minderungspotentiale im Wohngebäude-sektor durch Gebäudeautomation / Borderstep Institut für Innovation und Nachhaltigkeit gemeinnützige GmbH. URL <https://d-nb.info/122080326X/34>. – Zugriffsdatum: 2022-07-29, 2019. – Studie
- [8] ECMA-262: ECMAScript® 2021 language specification / Ecma International. 2021. – Standard
- [9] ECMA-404: The JSON Data Interchange Syntax / Ecma International. 2017. – Standard
- [10] H. MARTIN, M. B.: Using rooftop photovoltaic generation to cover individual electric vehicle demand—A detailed case study / Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. URL <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121012326>. – Zugriffsdatum: 2022-07-30, 2022. – Studie

- [11] HILLER, Megan: *Entwicklung eines individualisierbaren Monitoringdashboards für Solaranlagen im privaten Sektor*. Hamburg, Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg, Bachelorthesis, 2022
- [12] VOGEL, Benedikt: Das E-Mobil mit hauseigenem Solarstrom laden / Eidgenössische Technische Hochschule Zürich. URL <https://ethz.ch/de/news-und-veranstaltungen/eth-news/news/2022/01/das-e-mobil-mit-hauseigenem-solarstrom-laden.html>. – Zugriffsdatum: 2022-07-30, 2022. – Bericht

Erklärung zur selbstständigen Bearbeitung

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit ohne fremde Hilfe selbständig verfasst und nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt habe. Wörtlich oder dem Sinn nach aus anderen Werken entnommene Stellen sind unter Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Ort

Datum

Unterschrift im Original