

# Energiemanagement Wetterstation Campus Unter den Eichen

Holger Albrich, B.Sc<sup>1</sup>, Ahmed Sharhan, B.Sc<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Hochschule RheinMain, Campus Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden

<sup>2</sup>Hochschule RheinMain, Campus Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden

Die Autoren haben zu gleichen Teilen zu diesem Artikel beigetragen. Diese Arbeit wurde von Herr Prof. Dr. Hünemohr unterstützt.

---

**ABSTRACT** Diese Arbeit befasst sich mit der Entwicklung eines nachhaltigen Energiemanagementsystems für die Wetterstation am Campus Wiesbaden der Hochschule RheinMain. Das System ist darauf ausgelegt, meteorologische Echtzeitdaten zu erfassen und intelligent zu nutzen.

Eine fest installierte Wetterstation erfasst kontinuierlich atmosphärische Parameter und überträgt die gesammelten Daten via WLAN an das interne Netzwerk der Hochschule. Das Hauptziel ist die Steigerung der Effizienz der Solarenergienutzung durch dynamische Regulierung der Energieflüsse, basierend auf der aktuellen Sonneneinstrahlung und dem Ladezustand einer Lithium-Ionen-Batterie. Die Batterie besitzt eine Nennkapazität von 768 Wh, eine Betriebsspannung von 12,8 V und eine Nennstromstärke von 60 A.

Die Echtzeitdaten werden im nächsten Schritt aufbereitet und in Dashboards verdichtet dargestellt, sodass den Anwendern ein aggregierter Überblick über die energetischen Kennzahlen gewährleistet, als auch Echtzeitdaten eingesehen werden können.

Die Systemsteuerung wird durch eine Fernwartungsschnittstelle ermöglicht, die eine Echtzeitanpassung an schwankende Umgebungsbedingungen erlaubt. Der vorgeschlagene Ansatz integriert moderne Sensortechnik, Internet-of-Things (IoT)-Infrastruktur und intelligente Steuerungsalgorithmen, um einen praktikablen und skalierbaren Rahmen für nachhaltiges Energiemanagement in dezentralen Systemen zu schaffen.

**Indexbegriffe** IoT, Energiemanagement

---

## Motivation & Aufgabenstellung

Zum Zeitpunkt der vorliegenden Ausarbeitung nimmt der Umweltschutz sowohl auf politischer als auch auf wissenschaftlicher Ebene eine übergeordnete Stellung ein. Die von der Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW) bereitgestellten Fördermittel für umweltfreundliche Projekte zeigen eine jährlich steigende Tendenz, um die von den Vereinten Nationen definierten Klimaziele zu erreichen. In diesem Kontext rücken erneuerbare Energien zunehmend in den Fokus [2].

Die signifikanten Fortschritte in der Kommunikationstechnologie sowie in der Sensorik ermöglichen die Echtzeit-Bereitstellung, Auswertung und Visualisierung von Daten. Darüber hinaus wird die Kommunikation und Interaktion physischer Komponenten innerhalb eines Netzwerks gewährleistet. Das Internet of Things (IoT) bildet hierbei die technologische Grundlage für die effiziente Nutzung,

Steuerung und Darstellung der durch die verbauten Sensoren generierten Daten.

Die Wetterstation am Campus Unter den Eichen der Hochschule RheinMain in Wiesbaden dient als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines intelligenten und effizienten Energiemanagementsystems. Diese Wetterstation liefert Echtzeitdaten durch die Messung verschiedener Wetterparameter wie Temperatur, Luftdruck und Windgeschwindigkeit. Die Erfassung dieser Daten erfolgt mittels analoger und digitaler Komponenten und wird persistent in einer Datenbank gespeichert.

Die zur Energieversorgung der Station notwendige Energie wird ausschließlich über eine bereits implementierte Photovoltaikanlage erzeugt. Allerdings unterliegt die Energiegewinnung aus Sonnenstrahlung saisonalen Schwankungen und ist zudem nur während der Tageslichtstunden verfügbar.

Ebenso nimmt die Energieausbeute in Abhängigkeit der Jahreszeiten ab. Dies steht im Gegensatz zum stetigen Energiebedarf der Sensoren und der Datenübertragung über das Netzwerk. Durch die Auswertung der aktuell verfügbaren Energie aus der Sonneneinstrahlung sowie der in einem implementierten Akkumulator gespeicherten Energie sollen kontinuierliche Datenanalysen ermöglicht und ein Ausfall der Anlage durch frühzeitige Maßnahmen verhindert werden.

Geplant ist, durch die Integration einer aktiven Komponente die Messintervalle basierend auf der aktuellen verfügbaren Energie, mittels Fernwartung anzupassen. Die angestrebten Einsparungen zielen darauf ab, die Phasenverschiebung zwischen Energiegewinnung und Energiebedarf zu minimieren, den Akkumulator durch Reduzierung der Ladezyklen zu schonen und dabei eine durchgängige Datenvisualisierung zu gewährleisten. Das Eingreifen der aktiven Komponenten erfolgt automatisiert, basierend auf zuvor definierten Schwellenwerten, die wiederum auf den von der Wetterstation übermittelten Daten basieren.

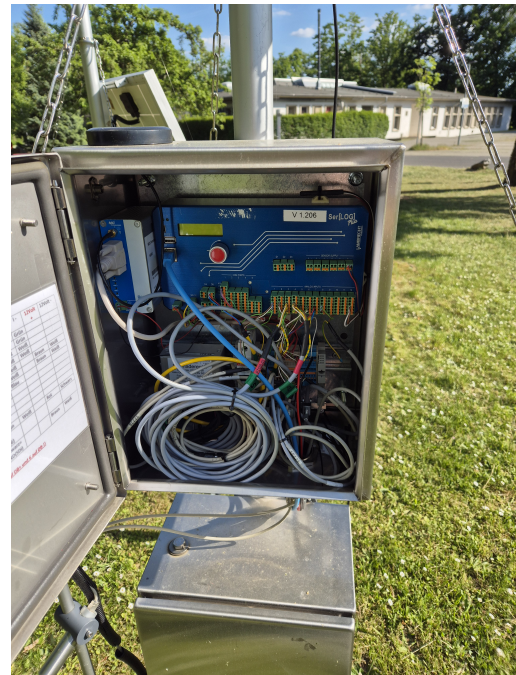
### Versuchsaufbau der Wetterstation

Zur Bereitstellung eines umfassenden Überblicks wird nachfolgend der Versuchsaufbau detailliert beschrieben.

Die an der Hochschule RheinMain Unter den Eichen situierte Wetterstation setzt sich aus mehreren integralen Komponenten zusammen. Abbildung 1 visualisiert den vollständigen Aufbau der Wetterstation auf dem Campusgelände. Die Energieversorgung der Wetterstation erfolgt über eine Photovoltaikanlage, die primär aus einem JST Modul besteht. Dieses Solarpanel ist konzipiert, um Globalstrahlung in elektrische Energie umzuwandeln. Unter optimalen Bedingungen kann eine maximale Leistung von 100 Wattpeak, bei einer Spannung von 18V, sowie maximalen Stromstärke von 5,56A generiert werden und an die nachgeschalteten Komponenten übertragen werden [2].



**Abbildung 1.** Wetterstation Hochschule RheinMain Wiesbaden, Campus Unter den Eichen  
Quelle: Eigene Darstellung



**Abbildung 2.** Anschluss der Sensorik an Ser[Log] Controller

Die Variabilität der eingehenden Solarstrahlung erfordert den Einsatz eines Solarreglers, welcher die erzeugte Spannung reguliert. Dieser Regler ist in der Lage, bei potentiell schädigenden Überschreitungen der eingehenden Strahlung, der resultierenden Stromstärke und der Leistung, eine Reduktion der Ausgangsparameter zu bewirken. Des Weiteren fungiert der Solarregler als Schutzmechanismus gegen Überhitzung des Systems. Zur Speicherung der gewonnenen Energie wurde ein Lithium-Ionen-Akku mit einer maximalen Kapazität von 768 Wattstunden installiert. Dieser Akkumulator gewährleistet den kontinuierlichen Betrieb der Anlage, insbesondere wenn die primäre Energieversorgung durch die Photovoltaikanlage nicht ausreicht, um den aktuellen Energieverbrauch zu decken. Dies ist insbesondere während der Nachtstunden sowie in den lichtärmeren Jahreszeiten wie Herbst und Winter von Relevanz, um die Datenakquise und -auswertung ohne Unterbrechungen sicherzustellen.

Als zentrale Steuerungseinheit fungiert ein Controller des Typs Ser[Log]. An diesen Controller sind die Sensoren angeschlossen, die für die Erfassung relevanter Wetterdaten unerlässlich sind. Es werden Niederschlag, Globalstrahlung, Temperatur, Bodentemperatur, Blattnässe, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit- sowie Windrichtung anhand der Sensoren gemessen. Diese messen in vordefinierten Intervallen die jeweiligen Parameter. In Abbildung 2 sind die technischen Komponenten, sowie deren Verbindung dargestellt. Der Ser[Log]-Controller unterstützt zudem verschiedene Kommunikationsprotokolle, darunter Modbus RS485, was die Implementierung aktiver Komponenten ermöglicht. Eine weitere Funktionalität des Ser[Log] ist die persistente Speicherung der erfassten Messdaten.

Im weiteren Verlauf werden die gesammelten Daten in das Hochschulnetzwerk übertragen. Die Netzwerkverbindung wird durch einen an der Wetterstation implementierten WLAN-Router etabliert und mittels einer externen Antenne in das zentrale Hochschulnetzwerk eingespeist.

### IT-Architektur

Zu Beginn des Projekts befand sich die Wetterstation in einem nicht-operationalen Zustand. Es erfolgte weder eine Datenübermittlung, noch konnte eine Fernverbindung zur Station aufgebaut werden. Eine Fehlerdiagnose ergab, dass der Akku defekt und tiefenentladen war. Nach dem erfolgreichen Austausch und der Implementierung eines neuen Akkus konnte die Wetterstation wieder in Betrieb genommen und eine Fernverbindung hergestellt werden. Ebenso konnte der Sendevorgang mittels Router erneut in Gang gesetzt werden. Der Zugriff auf die Wetterstation aus der Ferne erfordert

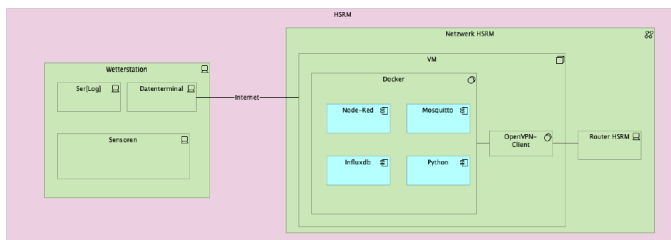


Abbildung 3. Schema IT-Architektur

Quelle: Balthasar Lammel [2]

entweder eine VPN-Verbindung mit dem Hochschulnetzwerk oder die physische Präsenz innerhalb desselben.

Die IT-Architektur der Wetterstation basiert auf einer Docker-Virtualisierung. Hierbei werden mehrere Softwarekomponenten als Docker-Container ausgeführt. Die Kommunikation zwischen diesen Containern erfolgt über virtuelle Netzwerke.

Ein zentraler Bestandteil der IT-Architektur ist der MQTT-Broker. Dieser vermittelt eingehende und ausgehende Nachrichten basierend auf sogenannten Topics, für die sich Clients abonnieren können. Die Datenübertragung erfolgt dabei über das MQTT-Protokoll. MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) ist ein leichtgewichtiges Nachrichtenprotokoll, das für die Kommunikation zwischen Geräten mit geringer Bandbreite und hoher Latenz optimiert ist, ideal für IoT-Anwendungen.

Ein weiterer Container beherbergt die Software Node-RED. Node-RED ist bekannt für die Automatisierung von Nachrichtenflüssen in unterschiedlichen Protokollen und Formaten. Im Rahmen dieses Projekts dient Node-RED als Grundlage für die Berechnung von Schwellenwerten. Innerhalb von Node-RED können Nodes konfiguriert werden, die spezifische Funktionen ausführen, wie z.B. das Berechnen und Umwandeln von Werten, die Anbindung an Datenbanken oder die allgemeine Verarbeitung eingehender Daten.

Zur Datenvisualisierung wird das Grafana-Dashboard eingesetzt. Grafana ermöglicht die strukturierte Frontend-

Darstellung von Daten und die Erstellung interaktiver Dashboards. Hierfür ist Grafana mit weiteren Docker-Containern verbunden und visualisiert die Daten aus der Datenbank – welche über den MQTT-Broker und Node-RED befüllt wird – mittels API in Diagrammen.

In den nachfolgenden Kapiteln wird die Spannung des Akkus detailliert anhand des implementierten Batteriemanagementsystems erläutert.

### Batteriemangement

Ein Batteriemanagementsystem (BMS) ist eine essenzielle elektronische Steuerungseinheit, die den sicheren, effizienten und langlebigen Betrieb von Batterien – insbesondere von Lithium-Ionen-Batterien gewährleistet. Aufgrund ihrer hohen Energiedichte und spezifischen chemischen Eigenschaften sind Lithium-Ionen-Zellen empfindlich gegenüber Überladung, Tiefenentladung, Überstrom und extremen Temperaturen. Ein BMS ist daher unverzichtbar, um die Batterie vor Schäden zu schützen und ihre optimale Leistung über die gesamte Lebensdauer zu sichern [3].

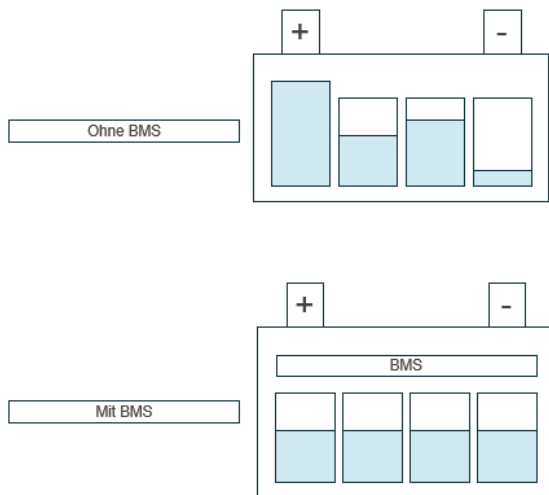
Lithium-Ionen-Zellen können bei unsachgemäßem Betrieb, insbesondere bei Überschreitung ihrer sicheren Betriebsfenster, thermisch überhitzen, was zu Brand oder sogar Explosion führen kann. Das BMS agiert hier als Steuerungskomponente der Batterie [3], [4].

Ein BMS erfüllt eine Vielzahl kritischer Aufgaben:

- Zellüberwachung: Es überwacht kontinuierlich wichtige Parameter jeder einzelnen Batteriezelle innerhalb eines Akkupacks. Dazu gehören:
  - Spannung: Verhindert Über- und Unterspannung, indem es den Lade- oder Entladevorgang unterbricht oder anpasst.
  - Strom: Überwacht den Lade- und Entladestrom, um Kurzschlüsse oder Überlastung zu verhindern.
  - Temperatur: Misst die Temperatur jeder Zelle und des gesamten Packs, um Überhitzung zu vermeiden und gegebenenfalls Kühlsysteme zu steuern.
- Zellbalancing (Zellausgleich): Lithium-Ionen-Zellen haben aufgrund kleiner Fertigungstoleranzen oder unterschiedlicher Alterungsprozesse nie exakt gleiche Kapazitäten oder Innenwiderstände. Ein BMS gleicht diese Unterschiede aktiv oder passiv aus, um sicherzustellen, dass alle Zellen im Pack gleichmäßig geladen und entladen werden. Dies verhindert, dass einzelne Zellen über- oder tiefenentladen werden, während die Gesamtbatteriespannung noch im sicheren Bereich liegt, und verlängert so die Lebensdauer des gesamten Akkupacks [3].
- Schutzfunktionen:
  - Über- und Unterspannungsschutz: Schaltet die Batterie ab, wenn Zellspannungen die sicheren Grenzwerte über- oder unterschreiten.

- Überstromschutz: Trennt die Batterie bei zu hohen Lade- oder Entladeströmen.
  - Übertemperaturschutz: Schaltet die Batterie bei kritischen Temperaturen ab.
  - Kurzschlusschutz: Erkennt Kurzschlüsse und unterbricht den Stromkreis.
  - Kommunikation: Ein BMS kommuniziert oft über Schnittstellen (z.B. CAN-Bus) mit anderen Systemen im Fahrzeug oder in der Anlage (z.B. Ladegerät, Wechselrichter, Motorsteuerung), um Informationen auszutauschen und den Energiefluss zu koordinieren.
- Ladezustandsbestimmung (State of Charge, SoC): Das BMS schätzt den aktuellen Ladezustand der Batterie und zeigt an, wie viel Energie noch verfügbar ist (ähnlich einer Tankanzeige).
  - Gesundheitszustandsbestimmung (State of Health, SoH): Es überwacht die Alterung und Degradation der Batterie über deren Lebensdauer, um den aktuellen Gesundheitszustand zu beurteilen und gegebenenfalls den Austausch zu empfehlen.
  - Diagnose und Datenprotokollierung: Es speichert relevante Betriebsdaten und Fehlermeldungen, die für die Fehleranalyse und Wartung genutzt werden können [3], [4].

In Abbildung 4 ist schematisch die Funktionsweise eine Batteriemanagermentssystems dargestellt. Ebenso erfolgt ein Vergleich, unter dem Gesichtspunkt der Ladezustände innerhalb der verbauten Packs, falls kein BMS verbaut werden würde.



**Abbildung 4. Schematische Darstellung BMS**  
Quelle: Eigene Darstellung

Die Quantifizierung des Ladezustands (Englisch State of Charge oder SoC) einer wiederaufladbaren Batterie, ist definiert durch Restladungsmenge (Q) in Relation zur Restka-

pazität (C) einer vollen Zelle [5]. Mathematisch ausgedrückt als Formel [5]:

$$SoC = \frac{Q}{C} * 100\% \quad (1)$$

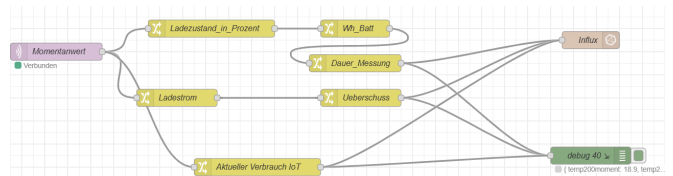
Der Näherungswert dient als Grundlage zur Berechnung der Schwellenwerte, zwecks automatisierten und effizienten Regelung der Wetterstation in Abhängigkeit der zur Verfügung stehenden Spannung.

Die Restkapazität des Akkumulators wird durch das Batteriemanagermentssystem ausgelesen und an den MQTT-Broker übermittelt. In einem festen Intervall von ca. 10 Sekunden erfolgt eine Aktualisierung der übermittelten Daten. Die Restkapazität, in Form der aktuellen Spannung im Speicher wird zur Berechnung weiterer Kennzahlen in NodeRed als mathematische Grundlage herangezogen.

## Energiemanagement Schwellenwerte

### A. Datenmanagement

Im Kontext der IT-Architektur, wie bereits detailliert in Kapitel beschrieben, erfolgt die Übertragung von Datenpaketen mittels eines MQTT-Brokers und eines Subscriber-Mechanismus zwischen der Wetterstation und des Hochschulservers und derer Docker Containern. Diese empfangenen Datenpakete werden anschließend in Node-RED-Nodes verarbeitet. Eine Übersicht der einzelnen Knoten, sowie eines übermittelten Datenpaketes in JavaScript Object Notation (JSON-Format) sind in Abbildung 5 und Abbildung 6 dargestellt.



**Abbildung 5. Node-Red Flow-Übersicht**  
Quelle: Eigene Darstellung aus Node-Red

Derzeit sind die Intervalle, in denen die Datenpakete empfangen werden, statisch auf 10 Sekunden Intervalle festgelegt. Durch die Implementierung eines intelligenten Datenmanagements könnten diese Intervalle jedoch dynamisch angepasst werden. Eine solche Anpassung wäre basierend auf verschiedenen Parametern denkbar, darunter die aktuellen Kapazitäten des Akkumulators, die vorherrschenden Witterungsbedingungen oder die spezifischen Jahreszeiten. Aktuell werden die Datenpakete in einem festen Intervall von 10 Sekunden gesendet und unterliegen saisonalen, als auch wetterbedingten Schwankungen.

Durch die Implementierung der Schnittstelle an eine Influxdatenbank innerhalb von NodeRed werden die Datenpakete aus der Darstellung 6 nach empfangen der Datenpakete in die Datenbank gespeichert. Die Endpunkte sind in Abbildung 7 dargestellt. Hierdurch werden die Informationen persistent vorgehalten. Durch Hinzunahme der berechneten

```

OBJECT
temp200moment: 18.5
temp20moment: 18.4
rh200moment: 67.1
lw100moment: 8.4
gr200moment: 121
WV250moment: 2.2
WVmax250moment: 3.3
WD250moment: 135
UBattmoment: 13
TS005moment: 19.5
TS020moment: 20.1
precip100moment: 0
gr200cmp11moment: 127
zeit: "2025-07-16T08:43:28+01:00"
batterie_cap: 69.44444444444446
wh_batt: 533.3333333333335
dauer_messung: 18.066847335140025
    
```

**Abbildung 6. Datenpaket Node-Red**  
 Quelle: Eigene Darstellung aus Node-Red

Werte in den Payload von NodeRed, wird es ermöglicht diese nun ebenso für zukünftige Prognosen heranzuziehen.

Das Datenmanagement dient somit als fundamentaler Ausgangspunkt für die zukünftige Entwicklung eines intelligenten und automatisierten Energiemanagementsystems und zur Berechnung der dafür relevanten Kennzahlen zur Entscheidungsfindung.

**B. Berechnung der Kennzahlen**

Im folgenden Kapitel werden die Berechnungsgrundlagen der Kennzahlen wie Ladestrom Ladezustand überschuss des Ladestroms und die Wattstunden des Akkumulators vorgestellt. Somit kann in Echtzeit der aktuelle Status der Wetterstation ermittelt und ausgewertet werden. Dies ist notwendig um eine Prognose Zu erstellen inwiefern zukünftige Auswertungen in Abhängigkeit der Kapazität des Akkumulators möglich sind. Da der Ladezustand gemäß Variationen wetterbedingt beeinflusst werden kann werden die Daten in Echtzeit nachberechnet. Aus den übermittelten Informationen aus dem Payload wie in Abbildung 6 dargestellt werden die Entscheidungsrelevanten Daten abgeleitet, sowie berechnet.

**Abbildung 7. Schnittstelle zu InfluxDB in NodeRed**  
 Quelle: Eigene Darstellung aus Node-Red

1) Ladezustand des Akkumulators

Die Kennzahl Ladezustand des Akkumulators gibt Aufschluss über die aktuelle Spannung die in der Batterie vorhanden ist. Durch das Batteriemanagementsystem und die übermittelte Information im Payload kann nun mittels unterste Spannung und oberste Spannung des verbauten Akkumulators die prozentuale Ladung errechnet werden. Eine tiefenentladung der Batterie herrscht bei einer Spannung von 10,5 Volt vor. Die Maximale Spannung liegt bei 14,1 Volt [11]. Durch das Messintervall von 10 Sekunden wird nun durch Entnahme der Verbraucher oder Ladung des Akkumulators durch die Photovoltaikanlage die Kapazität in Prozent dynamisch angepasst. Gemäß der Formel:

$$batterie\_cap = \frac{(UBattmoment - min\_spannung) * 100}{max\_spannung} \tag{2}$$

Das Ergebnis batterie\_cap in Gleichung 2 beschreibt den aktuellen Ladezustand in Prozent. Die Variable UBattmoment in Volt wird anhand des übermittelten Wertes aus dem Payload der Wetterstation entnommen und mit dem minimalen Spannung der Batterie subtrahiert. Die Normierung zu Prozent erfolgt durch die Multiplikation durch 100. Zum Schluss wird der Wert durch die maximale Spannung des Akkumulators (im Nenner) dividiert, sodass man die prozentuale Ladespannung der Batterie in Prozent erhält.

2) Batteriewattstunden

Der errechnete Wert aus 2 dient im folgenden als Grundlage, zur Berechnung der restlich zur Verfügung stehenden Kapazität der Wetterstation. Die Batterie hat eine maximale Kapazität von 768Wh [11]. Dieser Wert bedeutet, dass die Batterie die Wetterstation über eine Dauer von einer Stunde mit einer Leistung von 768 Watt versorgen könnte, falls keine Ladung erfolgen würde. Wie die Formel in 3 zeigt

wird die dynamisch errechnete Wattstunden Anzahl die der Akkumulator leistet, in Abhängigkeit der zuvor ermittelten Nennspannung aus Formel 2 ermittelt.

$$Wh_{Batt} = \frac{batterie\_cap * Batt\_Energie\_Ges}{100} \quad (3)$$

Sobald die Verbräuche höher sind, als die Ladung sinkt somit die enthaltene Spannung. Dadurch sinkt ebenfalls die Dauer der zur Verfügung stehenden Leistung der Wetterstation.

### 3) Ladestrom des Akkumulators

Der Ladestrom einer Photovoltaikanlage korreliert signifikant mit der Dimensionierung der installierten Photovoltaikanlage. Die rechnerische Grundlage hierfür basiert auf der effektiv absorbierenden und verwertenden Fläche für die eingestrahlte Sonnenenergie. Gemäß Quelle [2][S. 48] ist für die Anlage eine maximale Photovoltaik-Leistung von 0,1 Kilowatt pro Jahr spezifiziert. Diese Leistung wird dem Wert der gemessenen Globalstrahlung in Watt pro Quadratmeter vorhandenen Photovoltaikfläche aus 6 multipliziert. Das Zwischenergebnis muss nun noch durch Batteriespannung laut Datenblatt in Volt geteilt werden. Um die erzeugte Menge pro Tag zu erhalten wird die Batteriespannung noch mit der Gesamtstundenanzahl eines Tages multipliziert.

Der aktuelle Ladestrom wird derzeit nur als Näherungswert betrachtet. Für präzisere zukünftige Arbeiten ist es indiziert, diesen mittels eines digitalen Ladereglers zu messen und auszuwerten, da dies eine exaktere Datenerfassung ermöglicht. Eine Berechnung gemäß Formel 4 dient lediglich als temporäre Basis für zukünftige Untersuchungen, da der momentane Wert der Globalstrahlung in Abhängigkeit von Einfallswinkel, Tages- und Jahreszeit erheblichen Schwankungen unterliegt. Die Globalstrahlung setzt sich aus Sonnenstrahlung zusammen und indirekter Strahlung, unter anderem Reflexionen [13].

$$ladespannung = \frac{0,1 * glob\_moment}{Batteriespannung * 24} \quad (4)$$

### 4) Überschuss Ladestrom

Der letzte berechnete Kennwert „Ladestromüberschuss“ dient der Auswertung und Gegenüberstellung des aktuellen Ladezustands und der Verbräuche der Wetterstation am Campus Unter den Eichen. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt verhalten sich die Verbräuche statisch. Die im Kapitel Sensorik vorgestellten Sensoren inklusive Bauteile der Wetterstation haben einen durchschnittlichen stündlichen Verbrauch von 29,54 Volt und 708,96 Watt (siehe Tabelle [3]). Der zuvor errechnete Wert „Ladestrom“ wird nun durch Verbräuche subtrahiert. Die Differenz wird als Überschuss oder Unterversorgung im Dashboard 10 dargestellt und in Echtzeit, zwecks Handlungsempfehlung ob manuell oder automatisiert visualisiert. Die Berechnung erfolgt anhand der Formel:

$$ladespannung\_Bilanz = ladestrom - Verbr\_Sensoren \quad (5)$$

### 5) Prognose Auswertungskapazität

Der in Kapitel 2 erhalten Wert dient als Grundlage zur Berechnung des Zeitfensters indem Auswertungen durch Übermittlung der Daten durch die Wetterstation erfolgen könnte. Die Formel 6 lautet wie folgt:

$$dauer\_messungen = \frac{wh\_batt}{Verbr\_Sensoren} \quad (6)$$

Die Dauer der noch zur Verfügung stehenden Energie innerhalb des Akkumulators im Verhältnis der aktuellen Verbräuche der Wetterstation bieten Aufschluss darüber wie lange die Wetterstation, in Abhängigkeit der gemessenen, sowie errechneten Zahlen betrieben werden kann, ohne einen Totalausfall durch Unterspannung zu verursachen. Somit zeigt der Wert „dauer\_messungen“ die zeitliche Spanne auf, die eine Datenaufzeichnung gewährleistet. Dieser Wert bietet Potential zur Automatisierung anhand von festgelegten Schwellenwerten. So könnte zum Beispiel eine Anpassung der Ausleseintervalle implementiert werden, sobald der prognostizierte Wert unter eine Stunde fällt. Weitere zukunfts-basierte Aussagen anhand der Globalstrahlung wird im folgenden Kapitel tabellarisch dargestellt.

Die in diesem Kapitel errechneten Werte werden an die Influx Datenbank übermittelt und mittels Schnittstelle dem Dashboard wie in Abbildung 10 zu sehen ist dynamisch und in Echtzeit angezeigt.

### C. Forecast für Auswertungen

Der errechnete Wert in Formel 4 bietet das Potential Prognosen zu erstellen, wenn die Variable der einfallenden Globalstrahlung bekannt ist. Die weiteren Werte sind dabei Konstanten und abhängig zu den verbauten Komponenten. Es ist zu erwähnen, dass diese Konstanten bei Änderungen der Komponenteneigenschaften, gemäß derer Spezifikationen ein Anpassungsbedarf entsteht.

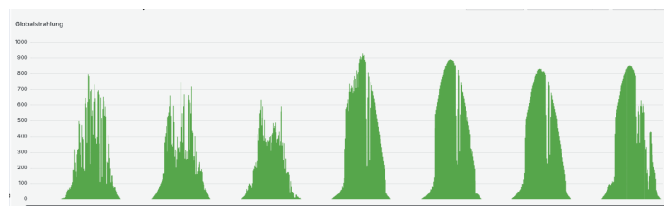


Abbildung 8. Globalstrahlung Messwerte 20.06.2025-27.06.2025  
Quelle: Eigene Darstellung Grafana-Dashboard

Abbildung 8 zeigt die durch den Tag-Nacht-Wechsel vorherrschenden Schwankungen. Durch Heranziehen von

**Tabelle 1. Prognose der Globalstrahlung und Ladeströme vom 20.06.2025-27.06.2025**

Wochentag	Globalstrahlung. Peak	Globalstrahlung. Min.	Ladeleistung Max.	Ladeleistung Min.
Freitag	800 W/m <sup>2</sup>	100 W/m <sup>2</sup>	150,00 W	18,75 W
Samstag	753 W/m <sup>2</sup>	183 W/m <sup>2</sup>	141,19 W	34,31 W
Sonntag	633 W/m <sup>2</sup>	46 W/m <sup>2</sup>	118,69 W	8,63 W
Montag	927 W/m <sup>2</sup>	205 W/m <sup>2</sup>	173,81 W	38,44 W
Dienstag	893 W/m <sup>2</sup>	211 W/m <sup>2</sup>	167,44 W	39,54 W
Mittwoch	843 W/m <sup>2</sup>	213 W/m <sup>2</sup>	158,06 W	39,94 W
Donnerstag	848 W/m <sup>2</sup>	67 W/m <sup>2</sup>	159,00 W	12,56 W

Globalstrahlungskarten, die gemessene Werte aus der Vergangenheit liefern, kann eine Prognose gemäß dieser Daten erstellt werden [13]. Eine Echtzeitprognose, über die aktuell gemessenen Werte ist bereits durch das in dieser Arbeit entwickelte Energiemanagement bereits möglich.

In Tabelle I ist anhand einer Kalenderwoche schematisch dargestellt wie eine Übersicht der übermittelten Daten ausgewertet werden könnte. Es wurden jeweils die Tageszeitpunkte ausgewertet, da in der Nacht keine Sonnenstrahlung zur Verfügung steht (siehe 8). Zukunfts-basierte Prognosen, der Ladeleistung könnten somit ermittelt und auch dargestellt werden insofern die Daten der Globalstrahlung, eventuell durch Wetterberichte vorliegen [2]. Anhand der Visualisierung, Evaluierung der Echtzeitdaten und Prognose der potentiellen einfallenden Strahlung kann somit eine zukunfts-basierte Handlungsempfehlung hinsichtlich der energetisch effizienten Steuerung der Wetterstation getroffen werden.

### Visualisierung der Daten

Zur Visualisierung der berechneten Kennzahlen in einem Dashboard ist es erforderlich, diese zunächst am MQTT-Broker zu registrieren. Dieser Prozess wird durch die Definition eines Topics initiiert. Anschließend wird der MQTT-Node in den Node-RED-Flow integriert, um das entsprechende Topic zu abonnieren.

Die vom MQTT-Broker empfangenen Daten werden über Node-RED mittels einer Schnittstelle persistent in einer Datenbank vorgehalten; in diesem spezifischen Implementierungsfall wird hierfür InfluxDB verwendet. Ein weiterer notwendiger Schritt in InfluxDB ist die Erstellung eines Buckets. Ein Bucket kann hierbei als eine Tabelle verstanden werden, die für die Speicherung von Zeitreihendaten optimiert ist [7].

Folglich werden die über den MQTT-Broker erfassten Messwerte an den für das konfigurierte Topic zuständigen Node-RED-Flow gesendet. Daraufhin erfolgt die Speicherung dieser Daten in der InfluxDB, wobei jeder Eintrag mit einem präzisen Zeitstempel versehen wird. Der detaillierte Ablauf dieses Datenflusses ist schematisch in Abbildung 3 dargestellt. Eine umfassende Darstellung des gesamten Informationsflusses, von der Energieerzeugung und der Messung der Wetterdaten bis hin zur Übertragung und Visualisierung der Informationen in einem Dashboard, einschließlich aller

beteiligten Komponenten und Technologien, bietet Abbildung 9.

Nachdem in Grafana, das für die Dashboard-Erstellung verwendet wird, eine Schnittstellenverknüpfung zur Datenbank hergestellt wurde, können die Informationen visuell aufbereitet und in Diagrammen dargestellt werden [6]. Das Dashboard soll dem Nutzer einen ganzheitlichen Überblick über die Daten der Wetterstation bieten. Das Dashboard beinhaltet folgende Echtzeit-Kennzahlen:

- Die aktuelle Ladeleistung in Watt, berechnet aus der Globalstrahlung.
- Das Delta der Ladeleistung, welches angibt, ob sich diese im Verhältnis zu den aktuellen Verbräuchen und der Ladeleistung der Photovoltaikanlage positiv oder negativ entwickelt.
- Der aktuelle Verbrauch der Wetterstation.
- Der Ladezustand (State of Charge, SoC) des Akkumulators sowie dessen Veränderungen gegenüber vorherigen Messdaten.

Um potenzielle Handlungsempfehlungen für die Fernwartung abzuleiten, ist zudem eine Prognose der zu erwartenden Messungsdauer sowie eine Echtzeit-Auswertung verfügbar. Die aktuelle Globalstrahlung und die Lufttemperatur werden ebenfalls als Wetterdaten im Dashboard angezeigt, um Anomalien in den zuvor genannten Kennzahlen interpretieren oder diesen entgegenwirken zu können. Abbildung 10 zeigt das Dashboard mit den dargestellten Echtzeit-Kennzahlen.

### Sensorik

Die Sensorik bildet die Grundlage für die gesamte Messinfrastruktur der Wetterstation am Campus Unter den Eichen. Sie ist verantwortlich für die kontinuierliche Erhebung meteorologischer und klimatischer Parameter, die nicht nur für die Visualisierung, sondern auch für die automatisierte Steuerung des Energiemanagementsystems verwendet werden. Die hohe Qualität der Messdaten ist dabei essenziell für die Effizienz und Zuverlässigkeit des gesamten Systems.

### Kategorisierung der Sensorik

Die Wetterstation nutzt ein hybrides Sensorsystem bestehend aus analogen, digitalen und intelligenten Sensoren:

- **Analoge Sensoren** liefern elektrische Ausgangssignale (z.B. Spannung, Widerstand), die durch einen

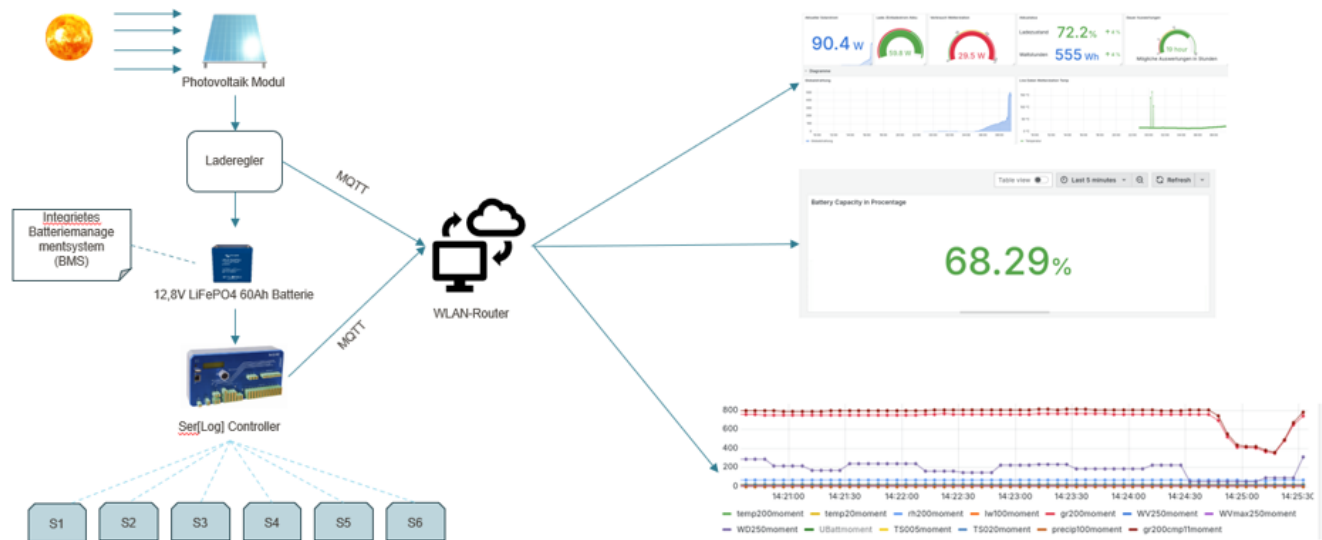


Abbildung 9. Informationsfluss Überblick  
Quelle: Eigene Darstellung

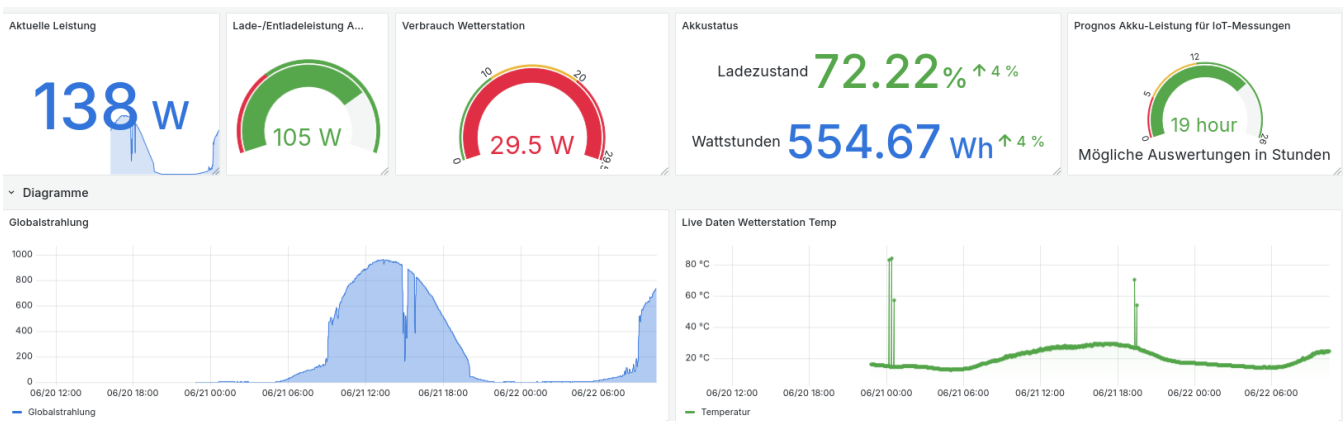


Abbildung 10. Grafana Dashboard  
Quelle: Eigene Darstellung

Analog-Digital-Wandler (ADC) weiterverarbeitet werden müssen.

- **Digitale Sensoren** geben Daten in kodierter Form aus, meist über Kommunikationsschnittstellen wie RS485 oder I2C.
- **Intelligente Sensoren** kombinieren Sensorelemente mit Mikrocontrollern und können Messdaten lokal verarbeiten oder vorfiltern.

Diese Sensorgruppen wurden gezielt ausgewählt, um eine möglichst umfassende und zuverlässige Datenerhebung sicherzustellen [2].

### Temperaturmessung mit PT1000- und PT100-Sensoren

Für die Lufttemperaturmessung werden zwei PT1000-Widerstandssensoren eingesetzt, einer in 2m Höhe (Standard nach WMO) und ein weiterer in Bodennähe (20cm). Für die Bodentemperatur werden PT100-Sensoren verwendet. Beide Sensoren nutzen das Prinzip des temperaturabhängigen elektrischen Widerstands. Bei steigender Temperatur erhöht sich

der Widerstand linear – beim PT1000 beträgt dieser bei 0°C genau 1000 $\Omega$ , beim PT100 entsprechend 100 $\Omega$  [2], [10].

Die Sensoren liefern hochpräzise Werte mit einer Abweichung von unter  $\pm 0,2^\circ\text{C}$  im Bereich von  $-20^\circ\text{C}$  bis  $+70^\circ\text{C}$ . Eine aktive Belüftung reduziert den Einfluss direkter Sonneneinstrahlung. Die Sensoren selbst sind passiv, ihre Energieaufnahme entsteht lediglich durch die Signalverstärkung und Lüfteransteuerung (ca. 0,84W gesamt) [2].

### Luftfeuchtesensor

Die relative Luftfeuchtigkeit wird über einen kapazitiven Sensor gemessen. Dieser basiert auf einem polymeren Dielektrikum, dessen Kapazität sich in Abhängigkeit von der Luftfeuchte verändert. Die gemessene Kapazitätsänderung wird in eine proportionale Spannung umgewandelt (zwischen 0V bei trockener und 1V bei gesättigter Luft). Der Sensor zeichnet sich durch einen sehr geringen Energieverbrauch von unter 2mA bei 5V aus [2], [10].

### Niederschlagsmessung mit Kippwaage

Der eingesetzte Regenmengenmesser vom Typ Joss-Tognini arbeitet mit dem Prinzip der Kippwaage. Der Niederschlag sammelt sich in einer kleinen Wippe; bei Erreichen eines definierten Gewichts (entsprechend 0,1mm Regenhöhe) kippt diese, entleert sich und gibt einen digitalen Impuls aus. Die Auflösung liegt bei 0,1mm mit einer Messgenauigkeit von  $\pm 2$

### Globalstrahlungssensor (CMP3)

Zur Erfassung der Sonneneinstrahlung wird ein Pyranometer CMP3 von Kipp & Zonen eingesetzt. Es misst die Globalstrahlung über das Spektrum von 300nm bis 2800nm (ultraviolett bis infrarot). Das Modell erfüllt die Anforderungen der ISO 9060-Klasse C und eignet sich ideal für allgemeine Umwelt- und Solaranalysen [9].

Der Sensor ist passiv: Er liefert eine proportionale Spannung in Abhängigkeit der einfallenden Strahlung (z.B. 10mV bei 1000W/m<sup>2</sup>). Der große Vorteil liegt im minimalen Energiebedarf und der hohen Stabilität.

### Blattnässesensor

Der Blattnässesensor simuliert die Oberfläche eines Pflanzenblattes und erkennt Feuchtigkeit (z.B. Tau, Regen). Das Ausgangssignal liegt zwischen  $\approx 0,1V$  (trocken) und 1,5V (nass). Solche Sensoren sind besonders wichtig für agrar- oder pflanzenphysiologische Anwendungen. Der Stromverbrauch liegt bei unter 0,01W [2].

### Windrichtung und Windgeschwindigkeit

Die Messung der Windparameter erfolgt über zwei Sensoren der Firma ARCO, die digital via RS485 kommunizieren. Die Windgeschwindigkeit wird in einem Bereich von 0,3m/s bis 75m/s gemessen, die Richtung in 1°-Schritten von 0° bis 360° [2], [12].

Die Sensoren sind mechanisch robust aufgebaut (Lagerung in Edelstahl), wetterfest und benötigen ca. 20mA Strom bei 24V – also jeweils etwa 0,48W.

### Einbindung in das Gesamtsystem

Die Sensoren sind am Ser[LOG] Datenlogger angeschlossen. Dieser dient als zentrales Gateway zur Datenakquise und -übertragung. Je nach Signaltyp erfolgt die Anbindung über analoge oder digitale Eingänge bzw. Modbus-Schnittstellen. Die vom Logger erfassten Daten werden über das MQTT-Protokoll an einen zentralen Broker übertragen und von dort in Echtzeit an Node-RED weitergeleitet [2], [8].

### Fehlerquellen, Kalibrierung und Wartung

Typische Fehlerquellen der Sensorik sind:

- **Verschmutzung** (z.B. Pyranometer oder Blattnässe-Sensor)
- **Verschleiß** (z.B. bewegliche Teile im Regenmesser)
- **EMV-Störungen** (insbesondere bei analogen Signalleitungen)

- **Alterung** von Sensor-Elementen oder Dichtungen

Eine jährliche Kalibrierung und Reinigung aller Sensoren wird empfohlen. Manche Sensoren (z.B. Globalstrahlung) lassen sich mit Referenzstrahlern kalibrieren, andere (z.B. PT1000) mit definierten Vergleichstemperaturen [2], [10].

### Energieverbrauch der Sensorik

Ein zentraler Aspekt beim Einsatz von Sensorik in einem energieautarken System ist deren Energieeffizienz. Der tägliche Energieverbrauch der Sensoren bestimmt maßgeblich die Dimensionierung des Energiemanagementsystems, insbesondere der Solarpanels und des Akkus.

Die Tabelle 2 zeigt den Energieverbrauch ausgewählter Sensoren aufgeschlüsselt nach Spannung, Stromstärke, Leistungsaufnahme sowie dem resultierenden Verbrauch pro Tag und pro Jahr.

Tabelle 2. Energieverbrauch der Sensorik

Name	Volt [V]	Ampere [A]	Watt [W]	Verbrauch/Tag [Wh]	Verbrauch/Jahr [kWh]
Niederschlag	0,5	12	6,0	144,00	52,56
Lufttemperatur	0,07	12	0,84	20,16	7,36
Blattnässe	0,002	5	0,01	0,24	0,09
Luftfeuchte	$\approx 0,002$	5	0,01	0,24	0,09
Wind	0,02	24	0,48	11,52	4,20
<b>Gesamt Sensorik</b>	-	-	<b>7,34</b>	<b>176,16</b>	<b>64,30</b>

Die Sensorik verursacht insgesamt einen täglichen Energieverbrauch von ca. 176,16Wh. Auf das Jahr hochgerechnet entspricht dies einem Strombedarf von etwa 64,30kWh allein für die kontinuierliche Datenerfassung durch die Sensoren.

Besonders hervorzuheben ist der hohe Energieverbrauch des Niederschlagssensors (144Wh pro Tag), was etwa 82 Prozent des gesamten Sensorverbrauchs ausmacht. Demgegenüber ist der Energiebedarf der Luftfeuchte- und Blattnässesensoren mit je 0,24Wh pro Tag vernachlässigbar. Auch die Temperatur- und Windsensoren bewegen sich im unteren Leistungsbereich.

Diese Verbrauchswerte verdeutlichen die Notwendigkeit eines intelligenten Energiemanagements, das bei kritischem Ladezustand gezielt einzelne Sensoren abschalten oder deren Messintervalle anpassen kann [2].

### Fazit

Die Sensorik der Wetterstation ist präzise, robust und vollständig auf die Anforderungen eines energieautarken und intelligent gesteuerten Systems ausgelegt. Sie stellt die Grundlage für alle datengestützten Entscheidungen innerhalb des Energiemanagementsystems dar und erlaubt die Umsetzung eines skalierbaren, vernetzten Umweltmonitorings auf Campus-Ebene.

### Problemstellung

Zum Projektbeginn stellte sich heraus, dass die Wetterstation am Campus Unter den Eichen nicht funktionsfähig war. Die zentrale Ursache war ein tiefenentladener Lithium-Ionen-Akku, der während der Wintermonate keine ausreichende

Energie mehr speichern konnte und dadurch irreversibel beschädigt wurde. Der Ladezustand konnte in dieser Phase weder automatisch überwacht noch vor Ort abgefragt werden. Ein Frühwarnsystem zur Erkennung eines kritischen Batteriezustandes existierte nicht.

Zudem fehlte eine präzise Erfassung des Energieflusses innerhalb des Systems. Weder der aktuelle Stromverbrauch einzelner Sensoren noch die tatsächlich durch die Solarpanels eingespeiste Leistung wurde gemessen oder aufgezeichnet. Dadurch war eine energetische Bilanzierung oder Optimierung der Komponenten im Regelbetrieb nicht möglich. Die Wetterstation agierte energetisch intransparent, was eine vorausschauende Regelung oder Diagnose erheblich erschwerte.

Ein weiterer kritischer Punkt war das Fehlen einer zuverlässigen Fernwartung, was in der Praxis häufig zu Problemen bei der Diagnose. Störungen konnten somit nicht zeitnah erkannt oder behoben werden, was den Ausfall über mehrere Monate hinweg begünstigte.

Diese Ausgangssituation verdeutlicht die Notwendigkeit eines robusten, fernwartbaren und energieeffizienten Gesamtsystems mit einem durchgängigen Monitoring der Energieerzeugung, des Verbrauchs und des Ladezustands der Batterie.

### **zukünftigen Arbeiten**

Die bisher umgesetzten Maßnahmen im Bereich des nachhaltigen Energiemanagements an der Campus-Wetterstation haben eine solide Grundlage geschaffen. Dennoch gibt es mehrere wesentliche Aspekte, die zukünftig verbessert oder erweitert werden müssen. Die folgenden Punkte beschreiben die wichtigsten zukünftigen Arbeiten, unter besonderer Berücksichtigung der Energieeffizienz, Systemtransparenz und Monitoringfähigkeit.

### **D. Hoher Stromverbrauch des aktuellen Routers – alternative Lösung erforderlich**

Der aktuell verwendete Router verbraucht überdurchschnittlich viel Strom – ein klarer Nachteil für ein energieautarkes System, insbesondere im Inselbetrieb mit begrenzter Solarenergie.

#### **Empfehlung:**

Es wird empfohlen, den bisherigen Router durch eine stromsparende Alternative zu ersetzen. In Betracht gezogen werden:

- **Raspberry Pi** mit WLAN oder Ethernet-Modul: insbesondere die Modelle Zero W oder Pi 3/4 bieten gute Netzwerkfähigkeiten bei geringem Energieverbrauch.
- **Energieoptimierte Router:** WLAN-Router mit Wake-on-Traffic

Ziel ist es, eine stabile Datenverbindung bei deutlich geringerem Stromverbrauch aufrechtzuerhalten, um die Systemautarkie zu verlängern.

### **E. Integration zusätzlicher Solarpanels und Batterien**

Die derzeit verfügbare Energie durch das einzelne Solarpanel (18 V, 5,56 A) und die Batterie (12,8 V, 60 Ah) ist begrenzt. Um Lastspitzen oder längere Schlechtwetterperioden besser zu überbrücken, sind zusätzliche Kapazitäten notwendig.

#### **Geplante Maßnahmen:**

- Installation weiterer Solarpanels, um die erzeugbare Leistung zu erhöhen. Die Auslegung erfolgt abhängig vom geplanten Energiebedarf.
- Modulare Batterieerweiterung, optional auch in Kombination mit LiFePO<sub>4</sub>-Technologie, um höhere Zyklenfestigkeit und Stabilität zu erreichen.
- Sicherheitskomponenten, wie z. B. Lade-/Entladeschutz, BMS und geeignete Verkabelung zur Gewährleistung eines sicheren Betriebs.

### **F. Verbesserung der Energiefluss-Transparenz**

Aktuell gibt es keine präzise Messung darüber, wie viel Energie tatsächlich von den Solarpanels erzeugt wird und wie viel davon durch Verbraucher verbraucht oder gespeichert wird. Dieses Defizit in der Energieflussüberwachung stellt eine zentrale Herausforderung für das Energiemanagement dar.

#### **Lösung 1: Einsatz von PZEM-003 Modulen**

Die erste Lösung sieht vor, das PZEM-003 DC-Kommunikationsmodul zu verwenden, welches sowohl Spannung als auch Strom misst. Es wird in zwei unterschiedlichen Positionen vorgeschlagen:

- **Zwischen Solarpanel und Solarladeregler:** Durch das Einsetzen eines externen Shunts in diese Verbindung kann der gesamte erzeugte Strom des Solarpanels erfasst werden. Die Messwerte (z. B. 18 V, 5,56 A) werden über die RS485-Schnittstelle übertragen und können von einem Datenlogger (z. B. Ser[LOG]) aufgezeichnet und analysiert werden.
- **Zwischen Batterie und Verbraucher:** Durch den Einbau eines zweiten PZEM-003 Moduls mit Shunt in diese Leitung kann der reale Stromverbrauch der angeschlossenen Geräte überwacht werden. Auch hier erfolgt die Datenübertragung per RS485-Schnittstelle.

#### **Vorteile dieser Lösung:**

- Günstige Hardwarekosten (ca. 13,39 € je Modul)
- Modulare Nachrüstbarkeit
- Standardisiertes Modbus-RTU-Protokoll zur einfachen Integration in bestehende Systeme

#### **Lösung 2: Austausch des PWM-Solarladereglers durch einen MPPT-Regler**

Die zweite Lösung sieht die Ablösung des aktuellen PWM-Solarladereglers durch ein MPPT (Maximum Power Point Tracking)-Modell vor. Diese Regler bieten

eine wesentlich höhere Effizienz und deutlich bessere Überwachungsmöglichkeiten:

#### **Vorteile von MPPT-Solarladeregler:**

- Anzeige von PV-Spannung und -Strom, Batterieladestrom und Ladephase (z. B. Bulk, Absorption, Float)
- Ermittlung des Ladezustands (SOC) und Batteriespannung in Echtzeit
- Kommunikation über MQTT oder RS485 möglich
- Hohe Energieausbeute durch dynamische Anpassung an den optimalen Arbeitspunkt der Solarpanels

Einbindung ins Monitoring-System

Ein MPPT-Regler mit Schnittstellen kann direkt in den Datenlogger oder ein zentrales Dashboard eingebunden werden. So kann die komplette Lade- und Verbrauchslogik zentral gesteuert und visualisiert werden.

#### **G. Softwareseitige Erweiterung Automatisierung**

Die gemessenen Daten (z. B. Strom, Spannung, Ladezustand) sollten nicht nur gespeichert, sondern auch intelligent weiterverarbeitet werden:

- **Benachrichtigungen und Steuerung:** Durch Schwellenwerte (z. B. bei niedriger Batteriespannung) könnten automatische Benachrichtigungen oder sogar Abschaltungen nicht-kritischer Verbraucher erfolgen.
- **KI-basierte Prognosen:** In späteren Ausbaustufen könnte auch eine KI-gestützte Vorhersage des Energieverbrauchs oder der Solarerträge integriert werden.

#### **H. Fazit**

Die Zukunftsvision für das nachhaltige Energiemanagement der Campus-Wetterstation umfasst eine Kombination aus Hardware-Upgrade, gezielter Energieüberwachung und smarter Softwareintegration. Die vorgeschlagenen Maßnahmen

– von der Reduktion des Energieverbrauchs über die Erhöhung der Solar- und Speicherkapazitäten bis hin zur Einführung moderner Messtechnik und Regler – legen den Grundstein für ein robustes, effizientes und nachhaltiges System.

#### **Fazit und Ausblick**

Die vorliegende Arbeit demonstriert die erfolgreiche Wiederinbetriebnahme der Wetterstation am Campus Unter den Eichen der Hochschule RheinMain und die Implementierung eines ganzheitlichen Energiemanagementsystems. Durch die systematische Erfassung und Erweiterung von Kennzahlen auf Basis präziser Messwerte wurde eine robuste Datengrundlage für weiterführende Analysen geschaffen.

Ein zentrales Ergebnis dieser Arbeit ist die Visualisierung der Echtzeitdaten in einem dedizierten Dashboard. Dieses Dashboard dient als entscheidender Ausgangspunkt für die Ableitung manueller Fernwartungsempfehlungen und ebnet den Weg für eine zukünftige automatisierte Steuerung der Wetterstation durch die Integration aktiver Komponenten. Die Möglichkeit zur Auswertung des Ladezustandes (State of Charge) des verbauten Lithium-Ionen-Akkumulators, basierend auf dem integrierten Batteriemanagementsystem, liefert dabei essenzielle Informationen für ein effizientes Energiemanagement.

Insgesamt konnte durch die entwickelten und implementierten Lösungen eine solide Grundlage für ein automatisiertes und effizientes Energiemanagementsystem der Wetterstation am Campus Unter den Eichen geschaffen werden. Der Erkenntnisgewinn aus dieser Arbeit umfasst zudem das signifikante Energieeinsparpotenzial, das durch den Austausch des bestehenden WLAN-Routers gegen eine energieeffizientere aktive Komponente, wie beispielsweise einen Raspberry Pi, realisiert werden könnte. Diese Ergebnisse unterstreichen das Potenzial für eine nachhaltige und optimierte Energieversorgung dezentraler Systeme.

## Literatur

- [1] KfW Bankengruppe, "Pressemitteilung vom 10. Juli 2024" [Online]. Erreichbar: <https://www.kfw.de>. Abgerufen am: 13.07.2025
- [2] Balthasar Lammel, Datenmanagement der Campus Wetterstation über die HZDForschungcloud, Bachelorthesis.
- [3] Antonio Nedjalkov, "Photonische Sensoren zur Zustandserkennung von Lithiumionenbatteriezellen und deren Beitrag für einen sicheren und optimierten Betrieb dieses Stromspeichertyps", Fakultät für Natur- und Materialwissenschaften der Technischen Universität Clausthal, Clausthal, 2020.
- [4] Walder, Georg, "Adaptive, zellindividuelle Zustandsbestimmung in einem modularen Batterie-Management-System", Technische Universität München, München, 2018. F
- [5] Prof. Dr. habil. Wolfgang G. Bessler, "Zustandsbestimmung von Lithium-Ionen-Batterien: Ein neuer Algorithmus" INSTITUT FÜR ENERGIESYSTEMTECHNIK – INES, Offenburg, 2021.
- [6] Grafana Labs, "Dashboard anything. Observe everything." [Online]. Erreichbar: <https://grafana.com/grafana/>. Abgerufen am: 13.07.2025
- [7] influxdata, "Manage buckets" [Online]. Erreichbar: <https://docs.influxdata.com/influxdb/v2/admin/buckets/>. Abgerufen am: 13.07.2025
- [8] Luft GmbH, "Ser[LOG] Datenlogger – Produktbeschreibung." [Online]. Verfügbar: <https://www.luft.com>. Abgerufen am: 13.07.2025.
- [9] Kipp & Zonen, "CMP3 Pyranometer – Datenblatt," [Online]. Verfügbar: <https://www.kippzonen.com/Product/15/CMP3-Pyranometer>. Abgerufen am: 13.07.2025.
- [10] Hoffmann Messtechnik GmbH, "PT100/PT1000 Temperaturfühler – Technisches Datenblatt," [Online]. Verfügbar: <https://www.hoffmann-messtechnik.de>. Abgerufen am: 13.07.2025.
- [11] Victron energy, "Victron energy 12,8v lithium superpack." [Online]. Verfügbar: <https://cdn.ensolar.com/Product/pdf/Crystalline/5a658bfc12c77.pdf>. Abgerufen am: 01.07.2025.
- [12] ARCO Industrieelektronik GmbH, "Ultraschall-Windsensor – Produktdatenblatt," [Online]. Verfügbar: <https://www.arco-systems.de>. Abgerufen am: 13.07.2025.
- [13] PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM, "PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM-Interaktive Werkzeuge" [Online]. Erreichbar: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/de/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/de/). Abgerufen am: 10.07.2025

## I. Abkürzungsverzeichnis

<b>Abkürzung</b>	<b>Bedeutung</b>
A	Ampere
Ah	Amperestunden
API	Application Programmin Interface
BMS	Batteriemanagementsystem
C	Restladekapazität
CAN-Bus	Controller Area Network Bussystem
IoT	Internet of Things
JSON	JavaScript Object Notation
Kfw	Kreditanstalt für Wiederaufbau
Q	Restladungsmenge
SoC	Stage of Charge
SoH	State of Health
V	Spannung
VPN	Virtual Privat Network
Wh	Wattstunden