

# DIGITALER ZWILLING EINER NACHGEFÜHRTEN PV-ANLAGE ZUR OPTIMIERUNG UND FEHLERDIAGNOSE

Matthias PRIMAS\*<sup>a</sup> und Stefan HAUSEGGER<sup>b</sup>

<sup>a</sup> CAMPUS 02 Fachhochschule der Wirtschaft, Graz, Österreich

\* Kontakt: Matthias Primas, matthias.primas@campus02.at

**Zusammenfassung.** Nachgeführte Photovoltaik-Anlagen (NPVA) zeichnen sich gegenüber stationären Anlagen durch einen höheren Energieertrag aus. Neben der serienmäßigen Strahlungserfassung werden im gegenständlichen Projekt mittels Sensoren zusätzliche Umweltparameter erhoben und gesamtheitlich in einem Digitalen Zwilling der nachgeführten PV-Anlage dargestellt bzw. simuliert. Darüber hinaus wurde die digitale Protokollierung systemrelevanter Parameter und externe Steuerungsmöglichkeiten in einem eigens entwickelten Erweiterungsmodul realisiert. Dadurch konnte eine maßgebliche Funktionssteigerung des bestehenden Systems erreicht werden. Die nun mögliche Erhebung der Ausrichtung und Neigung der NPVA stellt eine wesentliche Grundlage für eine automatisierte Fehlerdiagnose und zur weiteren Optimierung des Systems dar. Der dadurch erzielte Innovationsschritt spiegelt sich in einer gesteigerten Funktionalität und Digitalisierung des Systems wider. Der entwickelte Prototyp stellt für die GS-Technik Produktions- und Vertriebs GmbH einen ersten Schritt zu einem innovativen Serienprodukt zur Steigerung des Energieertrages und der Fehlerdiagnose dar.

**Keywords:** Photovoltaik, PV, nachgeführte PV-Anlage, digitaler Zwilling, Fehlerdiagnose, Erweiterungsmodul, Prototyp

## 1 EINLEITUNG

Neben stationären Photovoltaik (PV)-Anlagen stellen selbst entwickelte nachgeführte PV-Anlage den Umsatzschwerpunkt der GS-Technik Produktions- und Vertriebs GmbH dar. Die nachgeführte PV-Anlage (kurz NPVA) wird in zwei Achsen (Azimut und Inklination) über den Tagesverlauf nachgeführt. Dies erfolgt über die Messung der Strahlungsintensität in verschiedenen Himmelsrichtungen mittels Sensoren. Dadurch wird ein deutlich höherer Energieertrag gewonnen, wodurch sich die Mehrkosten gegenüber einer stationären Anlage innerhalb weniger Jahre amortisieren. Eine derartige sensorbasierte Nachführung bietet vor allem an Tagen mit bewölktem Himmel wesentliche Ertragsvorteile gegenüber rein

astronomischen Nachführungen, welche sich stetig nach der Sonnenposition und nicht nach der Richtung der maximalen Strahlungsintensität ausrichten.

In Zusammenarbeit mit der GS-Technik Produktions- und Vertriebs GmbH wird ein Digitaler Zwilling der NPVA entwickelt, um den Energieertrag in Abhängigkeit von zusätzlichen Umweltparametern zu simulieren. Eine Vorgabe besteht darin, die notwendigen Anbauten und Komponenten möglichst kostengünstige und einfach an der NPVA integrieren zu können.

## **2 METHODEN**

Eine der Hauptaufgaben besteht in der Auswahl und Integration der notwendigen Sensorik. Nachfolgend wird mit den erhobenen Messwerten ein Digitaler Zwilling entwickelt, der es ermöglicht, den Energieertrag in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter zu berechnen. Zusätzlich wird eine Bedienoberfläche (GUI) zur Steuerung der NPVA und zur Gegenüberstellung der realen und simulierten Messwerte entwickelt.

### **2.1 ANFORDERUNGSANALYSE UND SENSORINTEGRATION**

In einem ersten Schritt wurden die Anforderungen an die Sensorik sowie an den Digitalen Zwilling der Energieproduktion erhoben. Hierzu wurden unterschiedliche Sensortechnologien (Rotations-, magnetischer Kompass-, Beschleunigungssensor etc.) und Integrationsmöglichkeiten zur Bestimmung des Neigungs- und Ausrichtungswinkels der NPVA untersucht. In der angestellten Analyse stellten sich vor allem die Parameter Messgenauigkeit, Störungsanfälligkeit und Datenübertragung als besondere Einflussfaktoren heraus. Zusätzlich wurden verschiedene Ansätze zur Bestimmung der am Standort vorherrschenden Strahlungsintensität untersucht und Grundlagen zur Modellierung des Digitalen Zwillings bzw. der Energieproduktion erhoben. [1]

#### **2.1.1 ENTWICKLUNG DER MESSTECHNIK**

Zur Bestimmung des Ausrichtungswinkels wurde mehrere Sensortechnologien untersucht. Ein magnetisches Kompassmodul wurde aufgrund der Ablenkung durch die Stahlkonstruktion der Anlage durch einen Rotationssensor in einem eigens konstruierten und mittels 3D-Druck hergestellten Gehäuses ersetzt, der sich im Zuge der Untersuchungen als besser geeignet für den projektspezifischen Anwendungsfall erwies.

Die Messung der Neigung der NPVA wurde mit einem Beschleunigungssensor realisiert. Der entsprechende Sensor wird in einem wasserdichten Gehäuse direkt am Rahmen der NPVA montiert. Die Messung der globalen Strahlungsintensität erfolgt mit einem handelsüblichen Pyranometer. Zusätzlich wurde noch ein Temperatursensor zur Erfassung der Temperatur der PV-Panels integriert.

### 2.1.2 MESSDATENERFASSUNG

Zur Auswertung der mittels der Sensoren erhobenen Daten wird ein Raspberry Pi 4 verwendet. Die Datenübertragung wird u.a. mittels I2C umgesetzt und die Einbindung der Sensoren erfolgte in der Programmiersprache Python. Da sich der Rotationssensor nicht direkt auf der Hauptrotationsachse der Nachführung befindet, wird die Ausrichtung über einen entsprechenden Algorithmus bestimmt. Zur Weiterverarbeitung werden die Messdaten per Modbus TCP innerhalb des Netzwerkes, in welchem sich der Raspberry Pi befindet, kommuniziert.

### 2.1.3 EXTERNE STEUERUNG

Zur manuellen Steuerung der NPVA wurde die Software der vom Hersteller verbauten Siemens Logo Speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) erweitert und mit einer eigens entwickelten Elektronik erweitert. Mit Hilfe der entwickelten Platine können mittels der I/O Ports des Raspberry Pi die Eingänge der SPS der NPVA angesteuert und somit die Nachführung extern gesteuert werden. Zusätzlich dient die Platine zum physischen Einbinden der unterschiedlichen Sensoren sowie zur Steuerung der Nachführung per Tastendruck. Die Elektronik-Entwicklung (Abbildung 1) beinhaltet neben dem Design und dem Layouten der Platine auch die Bestückung und Funktionstests.



Abbildung 1. Entwickelte Steckplatine für den Raspberry Pi

## 2.2 MODELLENTWICKLUNG „DIGITALER ZWILLING“

Basierend auf der Sensorintegration wurde ein Digitaler Zwilling der Energieproduktion entwickelt. Hierfür wurde die beschriebene Sensorik an der NPVA integriert und messtechnisch aufbereitet. Basierend auf den Messwerten erfolgte die Erstellung eines Energiemodells, welches die Energieerzeugung der NPVA realitätsnahe abbildet. Das Modell reagiert dabei neben den erhobenen Neigungs- und Ausrichtungsparametern auf

schwankende Umweltparameter wie z.B. Temperatur, aktuelle globale Strahlungsintensität, Sonnenstand und Einfallswinkel und kann somit auch in Echtzeit betrieben werden. Darüber hinaus wurde der Wechselrichter mit einer JSON-Abfrage erweitert, sodass die aktuellen Leistungsmesswerte für Vergleiche zur Verfügung stehen.

### 2.3 BENUTZEROBERFLÄCHE UND MODELLEVALUIERUNG

Zur manuellen Steuerung der NPVA wurde eine Benutzeroberfläche (GUI) in der Programmiersprache C# entwickelt (Abbildung 2). Hierfür wurden unterschiedliche Modes implementiert, die neben der Steuerung per Tastendruck auch eine astronomische Nachführung ermöglichen. Zur Validierung der Mess- und Simulationsergebnisse wurde eine MySQL Datenbank am Raspberry Pi aufgesetzt, die alle relevanten Parameter archiviert und die Basis für umfangreiche Evaluierungen und Diagnosen über Störungsursachen bereitstellt. Mit Hilfe der Open-Source-Anwendung Grafana wurde ein Dashboard implementiert, wodurch die archivierten Daten grafisch aufbereitet und visualisiert werden können.

Abbildung 2. Benutzeroberfläche (GUI) der Steuer- und Simulationsumgebung für MS Windows.

### 3 ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Zuge des Projektes konnte eine maßgebliche Funktionssteigerung des bestehenden Systems erreicht werden. Die implementierte Erhebung der Ausrichtung und Neigung der

NPVA stellt eine wesentliche Grundlage für eine automatisierte Fehlerdiagnose und zur weiteren Optimierung des Systems dar. Zusätzlich werden durch die externen Steuerungsmöglichkeiten die Nutzungsmöglichkeiten der NPVA gesteigert.

Erste Untersuchungen zeigen, dass der Digitale Zwilling bei hoher Strahlungsintensität eine hohe Genauigkeit aufweist, wohingegen bei schwacher Strahlungsintensität eine Abweichung bis ca. 30 % gegenüber der realen Leistungswerte auftritt. Dieser Simulationsfehler stammt weitgehend aus den berechneten Strahlungsverhältnissen auf der geneigten Oberfläche. Um genauere Simulationsergebnisse zu erzielen, erscheint es als zielführend, die vorherrschenden Verhältnisse zwischen direkter und diffuser Strahlung zu erheben und in die Verschattungssituation des Modells einfließen zu lassen. [2]

Das entwickelte Erweiterungsmodul inkl. Leistungssimulation lässt sich universell auf bestehende Anlagen integrieren, um mit Hilfe der entwickelten Benutzeroberfläche systemrelevante Parameter zu überwachen und aktiv Einfluss auf die NPVA zu nehmen. Der dadurch erzielte Innovationsschritt spiegelt sich in einer gesteigerten Funktionalität und Digitalisierung des Systems wider.

### **3.1 WEITERVERWERTUNG DER PROJEKTERGEBNISSE**

Das Erweiterungsmodul stellt für die GS-Technik Produktions- und Vertriebs GmbH die Grundlage für die Weiterentwicklung des Produkts im Bereich der Fernüberwachung und -wartung hin zu einem innovativen Serienprodukt dar. Die entwickelte Sensorik kann mit geringem Aufwand auf bestehende Systeme nachgerüstet werden. Durch die Benutzeroberfläche, die externe Steuerungsmöglichkeit und den Digitalen Zwilling entstehen vielzählige neue Funktionalitäten, welche ein Alleinstellungsmerkmal dieser NPVA darstellen und somit die Marktfähigkeit des Produktes positiv beeinflussen.

## **4 DANKSAGUNG**

Das Projekt wurde gemeinsam mit der GS-Technik Produktions- und Vertriebs GmbH umgesetzt und durch Fördermittel der Österreichischen Forschungsförderungs GmbH zur unterstützt.

## **5 LITERATURVERZEICHNIS (IEEE)**

[1] V. Quaschnig, „Regenerative Energiesysteme, 9. aktualisierte und erweiterte Auflage“, Hanser Verlag, 2015.

[2] J. Duffie, & W. Beckman, “Solar Engineering of Thermal Processes – Fourth Edition”, Wiley, 2015.