

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT BERLIN
MASTERSTUDIENGANG ANGEWANDTE INFORMATIK



Low Energy Solarharvester

Henning, Tobias
HTW Berlin
s0578256@htw-berlin.de

Februar, 2026

Abstract

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung, Umsetzung und Validierung eines energieeffizienten Hardwareprototyps zur digitalen Darstellung von Raumbelegungsplänen an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin (HTW). Ausgangspunkt ist die Problematik, dass die bisherigen Papieraushänge nur zu Semesterbeginn aktualisiert werden und keine Möglichkeit zur Echtzeitaktualisierung bieten. Ziel der Arbeit ist es, durch den Einsatz von E-Ink-Displays und die Auswahl optimierter Hardwarekomponenten eine signifikante Verlängerung der Betriebsdauer im Vergleich zu bisherigen Prototypen zu erreichen und den Wartungsaufwand zu minimieren.

Im Rahmen einer umfassenden Analyse wurden bestehende Projekte an der HTW untersucht, deren Hardware- und Softwarearchitekturen verglichen und deren Laufzeiten bewertet. Darauf aufbauend erfolgte die Konzeption eines neuen Prototyps, bei dem insbesondere auf einen niedrigen Energieverbrauch im Deep-Sleep-Modus Wert gelegt wurde. Für die Umsetzung wurde ein Firebeetle 2 ESP32 Mikrocontroller ausgewählt, der durch seine hohe Energieeffizienz überzeugt. Ergänzend wurde ein Gehäuse entwickelt, das sich nahtlos in die bestehende Wandhalterung für Raumbelegungspläne der HTW einfügt und die Hardwarekomponenten zuverlässig schützt.

Die Implementierung umfasste sowohl die Anpassung der Software an die neue Hardware als auch die Fertigung des Gehäuses mittels Lasercutter. Die Validierung des Prototyps erfolgte durch Messungen der Leistungsaufnahme und Funktionstests im realen Umfeld. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem entwickelten Ansatz eine theoretische Laufzeit von etwa einem Jahr erreicht werden kann, wodurch die Anforderungen an eine energieeffiziente und wartungsarme Lösung erfüllt werden. Abschließend werden Optimierungspotenziale sowie Perspektiven für die Weiterentwicklung, wie etwa die Integration von Photovoltaikzellen, diskutiert.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----------|
| 1 Einführung | 1 |
| 1.1 Einleitung | 1 |
| 1.2 Motivation | 1 |
| 1.3 Zielsetzung | 1 |
| 1.4 Methodik | 1 |
| 2 Analyse | 2 |
| 2.1 Laufzeitmessung des Raumbelegungsplans | 2 |
| 3 Erläuterung zur Nutzung von KI | 3 |
| Literaturverzeichnis | 4 |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|---|--|---|
| 1 | Batteriespannung über die Zeit | 2 |
|---|--|---|

Tabellenverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis

OTA Over-the-Air

ADC Analog-Digital-Converter

LSF Lehre Studium Forschung

API Application Programming Interface

V_{REF} Referenzspannung

1 Einführung

1.1 Einleitung

Im Hinblick auf die zunehmenden Anforderungen an Energieeffizienz und nachhaltige Systemkonzepte, gewinnt der Entwicklungsbedarf energieautarker elektronischer Systeme zunehmend an Bedeutung. Besonders im Bereich batteriegetriebener IoT-Anwendungen, stellt die begrenzte Lebensdauer von Energiespeichern eine zentrale Herausforderung dar. Wartungskosten, Batteriewechsel und ökologische Aspekte sprechen für alternative oder ergänzende Energieversorgungskonzepte. Eine vielversprechende Möglichkeit stellt die Nutzung photovoltaischer Energiegewinnung unter Indoor-Lichtbedingungen dar. Moderne Dünnschicht-Solarzellen ermöglichen selbst bei vergleichsweise geringer Beleuchtungsstärke eine nutzbare Leistungsabgabe. Ob und in welchem Umfang diese Energie ausreicht, um ein energieoptimiertes System dauerhaft oder teilweise autark zu betreiben, ist jedoch stark anwendungsabhängig und erfordert eine systematische Untersuchung.

1.2 Motivation

Im ersten Projektsemester wurde ein erster Prototyp eines digitalen Raumbelegungsplans entwickelt, der auf einem E-Ink-Display basiert. Der Fokus lag dabei auf der Entwicklung eines energieeffizienten Systems, das eine lange Laufzeit ermöglicht. In einer ersten theoretischen Analyse konnte für einen 1000 mAh 3,7 V Akku eine Laufzeit von etwa einem Jahr prognostiziert werden, was eine signifikante Verbesserung gegenüber bisherigen Prototypen darstellt. Der daraus resultierende Energiebedarf lag bei etwa 70,66 mWh pro Woche, was einer mittleren Leistungsaufnahme von etwa 0,42 mWh pro Stunde entspricht. Eine erste Langzeitmessung über den Zeitraum vom 23.10.2025 bis zum 13.02.2026 liegt vor. Eine vorläufige Sichtung der Daten deutet darauf hin, dass die Laufzeit länger sein könnte als in der theoretischen Prognose erwartet. Aufgrund dieses vielversprechenden Ergebnisses soll eine mögliche Integrierung von Photovoltaikzellen zur weiteren Verlängerung der Laufzeit untersucht werden.

1.3 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines energieautarken Versorgungskonzepts mittels Photovoltaikzellen für den im ersten Projektsemester entwickelten Raumbelegungsplan und andere IoT-Anwendungen, die unter ähnlichen Bedingungen betrieben werden. Dabei liegt der Fokus auf einer maximalen Energieeffizienz, um die Laufzeit des Systems zu verlängern und den Wartungsaufwand zu minimieren. Das System soll dabei so konzipiert werden, dass es unabhängig vom Raumbelegungsplan betrieben werden kann, um eine flexible Integration in verschiedene Anwendungsbereiche zu ermöglichen. Im Anschluss soll geprüft werden, in welchem Umfang die Photovoltaikmodule unter normalen Innenlichtbedingungen Energie liefern und ob diese den Verbrauch des Systems langfristig decken oder die Batterielaufzeit messbar verlängern können.

1.4 Methodik

Zu Beginn soll eine umfassende Analyse der Energieverbrauchsmessungen des bisherigen Prototyps durchgeführt werden, um den tatsächlichen Energiebedarf zu ermitteln. Anschließend erfolgt eine Recherche zu geeigneten Photovoltaikzellen, die unter schlechten Lichtbedingungen eine möglichst hohe Energiegewinnung ermöglichen. Ist eine geeignete Zelle gefunden, muss ein dazu passender Laderegler ausgewählt werden. Dieser soll die Energie der Photovoltaikzelle effizient in den Akku einspeisen und gleichzeitig eine Überladung verhindern. Nachdem ein passendes System von Photovoltaikzelle und Laderegler ausgewählt wurde, muss eine kontinuierliche Messung der Stromgewinnung zwischen Laderegler und Akku umgesetzt werden, um die Effektivität der Energiegewinnung zu bewerten. Dazu muss ein geeigneter Strommonitoring-Chip ausgewählt und in die bestehende Hardware integriert werden. Abschließend soll eine Schnittstelle umgesetzt werden, die es ermöglicht, die gewonnenen Daten zur Energiegewinnung und zum Energieverbrauch zu überwachen und auszuwerten.

2 Analyse

2.1 Laufzeitmessung des Raumbelegungsplans

Eine Laufzeitmessung des Raumbelegungsplans wurde über den Zeitraum vom 23.10.2025 bis zum 13.02.2026 durchgeführt. Die Messung erfolgte über eine in Node-Red implementierte Schnittstelle, die für jede Aktualisierungsanfrage des Raumbelegungsplans die aktuelle Uhrzeit und die derzeitige Batteriespannung in eine Textdatei schreibt. Innerhalb dem Messzeitraum von 114 Tagen wurden 416 Aktualisierungsanfragen durchgeführt. In dieser Zeit ist die Batteriespannung von 4,05 V auf 3,96 V gesunken (Abbildung 1).

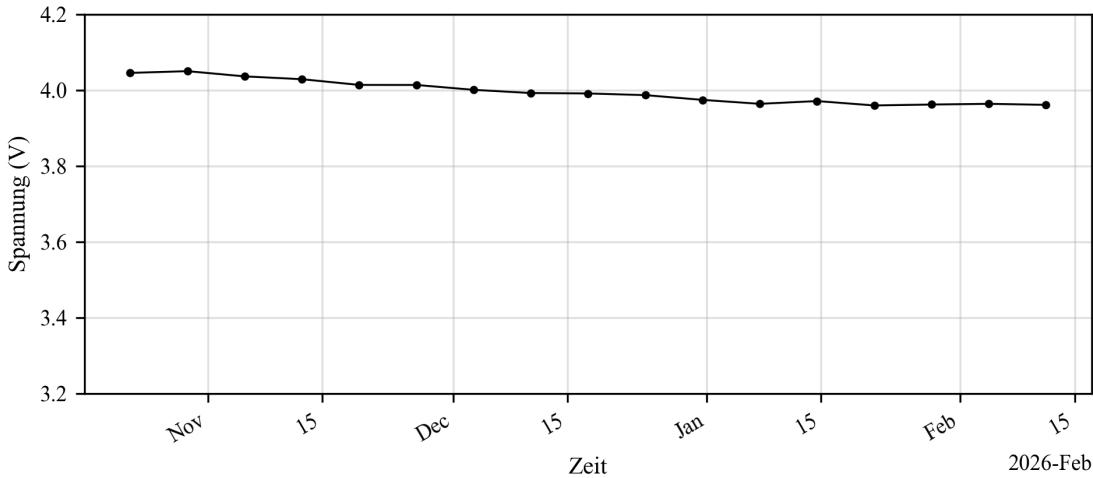


Abbildung 1: Batteriespannung über die Zeit

Über folgende Formel kann der anteilige Kapazitätsverlust ΔQ berechnet werden, wobei U_{\max} der maximalen Spannung, U_{\min} der minimalen Spannung, U_{start} der Startspannung und U_{end} der Endspannung entspricht:

$$\Delta Q = \frac{U_{\text{start}} - U_{\text{end}}}{U_{\max} - U_{\min}} = \frac{4.05 - 3.96}{4.2 - 3.2} = \frac{0.09}{1.0} = 0.09$$

Dies entspricht einem Kapazitätsverlust von etwa 9% über den Zeitraum von 114 Tagen. Dadurch könnte die hochgerechnete Laufzeit des Systems bei etwa 1266 Tagen liegen, was etwa 3,5 Jahren entspricht. Es ist jedoch zu beachten, dass dies eine theoretische Prognose ist und die tatsächliche Laufzeit von verschiedenen Faktoren beeinflusst werden kann, wie z.B. der Alterung der Batterie, der Umgebungstemperatur und Selbstentladung. Jedoch deutet die Messung darauf hin, dass die Laufzeit des Systems länger sein könnte als in der theoretischen Prognose erwartet, was auf eine gute Energieeffizienz des Prototyps hindeutet. Ein Erklärungsansatz für die längere Laufzeit könnte sein, dass die theoretische Prognose auf der konservativen Annahme basiert, dass die Wachzeit des Raumbelegungsplans bei 9 Minuten pro Woche liegt.

3 Erläuterung zur Nutzung von KI

KI-Tools wurden in dieser Arbeit als assistives Werkzeug im Implementierungs- und Schreibprozess verwendet. Im Schreibprozess diente ChatKI als Unterstützung für grobe Strukturierungsideen. ChatGPT wurde genutzt, um Rechtschreib- und Grammatikfehler im Fließtext zu überprüfen und Verbesserungsvorschläge zu erhalten. Ebenfalls wurde ChatGPT im Implementierungsprozess verwendet, um Fehler im Code zu finden. Es wurden keine Inhalte ungeprüft übernommen.

Literatur