Immer Richtung Sonne - Wie lassen sich Solarzellen optimal ausrichten?

Alexandros Feuerstein¹, Daniel Gorbunov¹, Jonathan Rohr¹, Carl Wan¹, Christian Weier¹

¹Technisches Berufskolleg Färberstraße, Färberstr. 34, 40223 Düsseldorf 25. August 2024

Zusammenfassung

Ziel dieses Schulprojekts ist es eine Motorisierung für eine Solarzelle zu konstruieren, um den Stand der Sonne zu berücksichtigen und das verfügbare Sonnenlicht optimal zu nutzen. Dies wird mit Hilfe von Servomotoren und einem RaspberryPi realisiert. Laborversuche mit künstlichen Lichtquellen demonstrieren die erfolgreiche technische Umsetzung und ein erster Test unter tatsächlichen Bedingungen mit Sonnenlicht zeigt eine deutliche Effizienzsteigerung bei der Stromerzeugung.

1 Motivation

Das Nachführen von Photovoltaikmodulen ist eine Methode, die bei einigen Solarparks angewendet wird. Wir möchten die Vorteile einer automatisch nachgeführten Solarzelle untersuchen und einen entsprechenden Prototypen konstruieren. Durch dieses Projekt bekommen wir somit die Möglichkeit, unsere Fähigkeiten in den Bereichen Physik, Elektrotechnik und Informatik weiter zu vertiefen.

2 Aufbau

Wir verwenden eine monokristalline Silizium-Solarzelle mit den Abmessungen $50\,\mathrm{mm} \times 50\,\mathrm{mm}$. Die maximale Leistung der Zelle liegt bei $320\,\mathrm{mW}$ (2 V und $160\,\mathrm{mA}$). Die Solarzelle kann mit Hilfe von zwei Servomotoren (WS-SG90 und WS-MG90S) horizontal und vertikal gedreht werden, wie es in Abb. 1 dargestellt ist. Zum Ansteuern der Motoren wird ein Einplatinencomputer

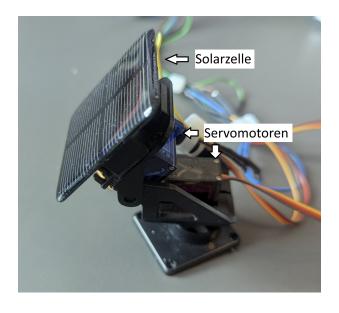


Abbildung 1: Solarzelle mit Motorisierung

(Raspberry Pi 4) eingesetzt. Dieser wird auch genutzt, um die Photospannung der Solarzelle zu messen, wobei die analoge Spannung der Solarzelle mit einem 10-bit A/D-Wandler (MCP3008) digitalisiert wird. Die Bauteile und Leitungen wurden dazu

auf einer separaten Platine verlötet (siehe Abb. 2). Die automatische Ausrichtung der Solarzelle am Maximum der Photospannung wird mit einem Python-Skript realisiert.

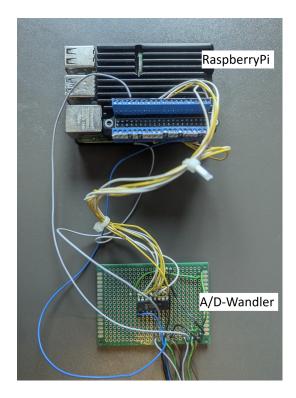


Abbildung 2: RaspberryPi und A/D-Wandler

3 Durchführung

Die Halterung der Servomotoren ermöglicht Drehungen von 180° in horizontaler und 60° in vertikaler Richtung. Um mechanische Beschädigungen zu vermeiden, wurden Grenzen für den Winkelbereich in der Software hinterlegt. Im Folgenden wird der horizontale Drehwinkel mit φ und der vertikale Drehwinkel mit ϑ bezeichnet.

Erster Schritt

Zu Beginn einer Messung wird die Solarzelle in vertikaler Richtung auf die Mitte des Winkelbereichs ($\vartheta=30^\circ$) gestellt. Anschließend wird die Zelle in horizontaler Richtung von $\varphi=0^\circ$ bis $\varphi=180^\circ$ geschwenkt und dabei die Photospannung gemessen. Der Winkel wird dabei in 5°-Schritten verändert, damit die Messzeit möglichst klein ausfällt. Um das

Verhältnis zwischen Signal und Rauschen zu verbessern, wird für jeden Datenpunkt der Median aus fünf Spannungsmessungen berechnet. Als robustes Mittel gegen Messausreißer ist es optional möglich, den Winkel des maximalen Photostroms (φ_{max}) durch einen quadratischen Fit zu ermittelten. Dazu wird eine quadratische Funktion in einer Umgebung von 10 Datenpunkte um das Maximum angepasst. Eine Beispielmessung an einer Lampe im Labor ist in Abb. 3 gezeigt. In diesem Beispiel ergibt sich $\varphi_{max} = 100^{\circ}$.

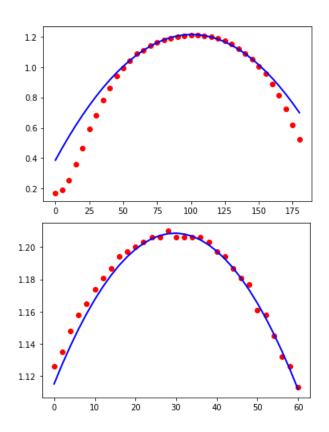


Abbildung 3: Winkelabhängigkeit der Photospannung in horizontaler (oben) und vertikaler Richtung (unten) gemessen mit einer Lampe. Datenpunkte sind in rot und ein quadratischer Fit ist in blau eingetragen. Auf den horizontalen Achsen sind die Winkel φ und ϑ in ° aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Photospannung in V.

Zweiter Schritt

Zunächst wird der horizontale Winkel auf φ_{max} eingestellt. Anschließend wird die vertikale Ausrichtung von $\vartheta=0^{\circ}$ bis $\vartheta=60^{\circ}$ in 2°-Schritten variiert und der Photostrom

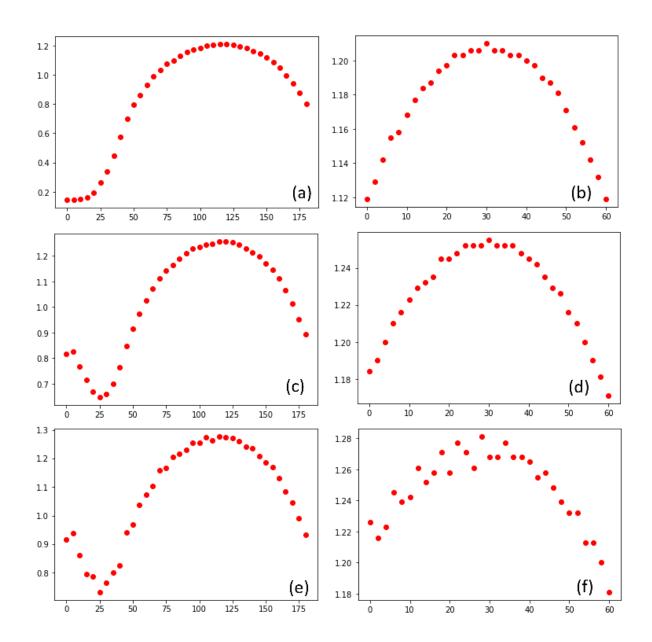


Abbildung 4: Winkelabhängigkeit der Photospannung in horizontaler und vertikaler Richtung gemessen mit einer Lampe (Graph (a) und (b)), mit geöffneter Fensterverdunklung (Graph (c) und (d)) und mit Deckenbeleuchtung (Graph (e) und (f)). Auf den horizontalen Achsen sind die Winkel φ und ϑ in ° aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Photospannung in V.

aufgezeichnet. Die identische Auswertung liefert dann das Maximum des Photostroms beim zugehörigen Winkel ϑ_{max} . In der gezeigten Beispielmessung liegt ϑ_{max} bei 28° (siehe Abb. 3).

Dritter Schritt

Der erste Schritt wird für $\vartheta=\vartheta_{max}$ wiederholt. Für eine Intensitätsverteilung, die symmetrisch zu φ_{max} und ϑ_{max} ist, ist dieser Schritt redundant. Bei einer asymmetrischen Verteilung ließe sich durch den dritten Schritt allerdings der Photostrom weiter vergrößern.

4 Auswertung

Laborlampe

Die Labormessung an einer Lampe zeigt eine starke Abhängigkeit der Ausrichtung der Solarzelle zur Lichtquelle. Bei der horizontalen Drehung ergibt sich einen Unterschied von ungefähr 1 V (siehe Abb. 3; 0, 2 V für $\varphi = 0^{\circ}$ und 1,18 V für $\varphi = 100^{\circ}$). Das entspricht einem relativen Unterschied von 83 % bezogen auf den Maximalwert. Der Offset wird durch das restliche Umgebungslicht im Labor verursacht und zeigt sich auch bei einer zweiten Messung, bei der die Lampe um ca. 15° in horizontaler Richtung weitergedreht wurde. In dieser Situation befindet sich das Photostrommaximum bei 115° und die ersten drei Datenpunkten (0° $\leq \varphi \leq 15$ °) liegen auf dem Offset-Wert von 0,18 V (siehe Abb. 4(a)).

In vertikaler Richtung beträgt der relative Unterschied im Photostrom nur ungefähr 9%, allerdings ist hier zu beachten, dass der Winkel ϑ um nur 60° variiert wurde. Es sei außerdem darauf hingewiesen, dass beim Vergleich unterschiedlicher Messungen eine Vielzahl von Randbedingungen berücksichtigt werden müssen. Beispielsweise beeinflussen die Abstrahlcharakteristik der Lichtquelle, deren Größe und deren Abstand zur Solarzelle die Winkelabhängigkeit der gemessenen Photospannung. Da eine quantitative Studie dazu allerdings nicht

zielführend ist, beschränken wir uns auf qualitative Ergebnisse.

Um die Zuverlässigkeit der automatischen Ausrichtung zu testen, wurde der Einfluss von Störquellen durch das Öffnen einer Fensterverdunklung untersucht. Diese Störung wird bei der horizontalen Drehung für kleine Werte von φ deutlich erkennbar und stellt für die Optimierung kein Problem dar, da der Algorithmus das absolute Maximum bestimmt (siehe Abb. 4(c)). Auch beim Einschalten der Deckenbeleuchtung kann das Maximum des Photostrom noch ermittelt werden (siehe Abb. 4(e)), es macht sich jedoch ein ausgeprägtes Rauschen bei der vertikalen Drehung bemerkbar (siehe Abb. 4(f)).

Sonnenlicht

Die folgende Messung wurde im direkten Sonnenlicht allerdings bei teilweiser Bewölkung durchgeführt. Der Photostrom konnte zu jedem Zeitpunkt maximiert werden und es ergaben sich Unterschiede in der Photospannung von 5% in horizontaler und 4% in vertikaler Richtung (siehe Abb. 5). Dazu sei angemerkt, dass die Winkelverteilung der Sonne verglichen mit der Laborlampe offensichtlich deutlich breiter ist. Außerdem erzielt die intensive Sonnenstrahlung eine Sättigung der Photospannung. Der entsprechende Wert liegt bei 2,2 V.

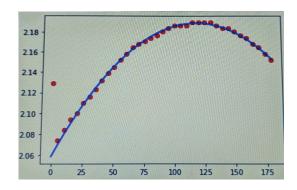


Abbildung 5: Winkelabhängigkeit der Photospannung in horizontaler Richtung gemessen im Sonnenlicht. Auf der horizontalen Achse ist der Winkel φ in ° aufgetragen und auf der vertikalen Achse die Photospannung in V.

5 Fazit

Bei unseren Labormessungen zeigt sich der Einfluss der Ausrichtung der Solarzelle sehr deutlich und die Motorisierung ermöglicht auch bei Störungen durch weitere Lichtquellen eine zuverlässige Optimierung der Photospannung. Unter Laborbedingungen ergeben sich Unterschiede von bis zu 90 % bei Änderung der Ausrichtung der Solarzelle. Bei den Messungen im Sonnenlicht sind die Unterschiede im Photostrom geringer und liegen bei insgesamt ungefähr 9 %. Das passt auch zu den Aussagen der Hersteller von nachführbaren Photovoltaik-Modulen. Diese Firmen werben mit einer Effizienzsteigerung von bis zu 30 %, wenn die Module an zwei Drehachsen nachgefahren werden. Allerdings ist hier unklar, wie dieser Wert ermittelt wurde. Zudem ist an einem bewölken Tag mit einem kleineren Wert für die Effizienzsteigerung zu rechnen, da das Sonnenlicht in den Wolken gestreut wird und aus unterschiedlichen Richtungen zur Solarzelle gelangt.

Selbstverständlich ist die Studie an dieser Stelle nicht abgeschlossen, denn für eine abschließende Bewertung sind weitere Untersuchungen notwendig. Insbesondere wären Messreihen über einen längeren Zeitraum wünschenswert. Wetterbedingt konnten wir diese Studien aber im Schuljahr 2023-2024 nicht mehr durchführen, da es einfach zu wenige Sonnentage gab. Es bleibt am Ende aber der Spaß den wir beim Löten, Programmieren und Diskutieren hatten und ein schöner Prototyp für unsere Sammlung.