

Konzeption einer webbasierten Anwendung zur Unterstützung und Akzeptanzsteigerung des Photovoltaikausbaus in Betrieben

Lucas Tiedemann¹, Jochen Wittmann² und Michaela Zoll³

Abstract: Der vorliegende Beitrag stellt die Entwicklung eines webbasierten Rechners dar, der zur Entscheidungsunterstützung und Akzeptanzsteigerung für Photovoltaik (PV) und Speichersystemen im gewerblichen Umfeld beitragen soll. Grund hierfür ist das hohe Dachflächenpotenzial bei gewerblichen genutzten Gebäuden sowie der Bedarf an einem schnellen Ausbau erneuerbarer Energien, um die Klimaschutzziele einzuhalten. Die wirtschaftlichen und ökologischen Kriterien sind die wichtigsten Gründe für die Investition in eine PV-Anlage. Für eine detaillierte Prognose der Rentabilität ist das verwendete Betreibermodell des Unternehmens relevant. Die Auswahl eines passenden Modells ist wiederum abhängig von solarer Eigenversorgung. Aufgrund von Unterschieden zwischen den Lastprofilen verschiedener Gewerbetypen bietet der entwickelte PV-Rechner die Option, ein spezielles Lastprofil für die Berechnungen hochzuladen. Anhand dieser Prognose wirtschaftlicher und ökologischer Faktoren soll die Anwendung zur betrieblichen Entscheidungsunterstützung beitragen. Ein schnell erhältlicher Überblick der Ergebnisse kann zusätzlich die Akzeptanzsteigerung für PV ermöglichen. Ergänzende Simulationsrechnungen und weitere Ergebniskennzahlen können zukünftig zur optimierten Prognose relevanter Faktoren einer PV-Anlage beisteuern.

Keywords: Photovoltaik, Gewerbebetriebe, Entscheidungsunterstützungssysteme, Akzeptanzsteigerung, Energiespeichersysteme

1 Einleitung

Für die Energiewende ist ein schneller Ausbau erneuerbare Energien erforderlich. Im Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) 2023 ist deshalb ein starker Anstieg des jährlichen PV-Zubaus vorgesehen [Wi22]. Um diese Ziele zu erreichen, ist es notwendig möglichst viel des Potenzials für PV-Anlagen zu nutzen. Ein hohes Potenzial für den Zubau besteht unter anderem in gewerblich genutzten Gebäuden oder Flächen.

¹ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 2, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, lucas.tiedemann@posteo.de

² Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 2, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, wittmann@htw-berlin.de

³ Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin, Fachbereich 1, Wilhelminenhofstraße 75A, 12459 Berlin, michaela.zoll@htw-berlin.de

Um dieses Potenzial erschließen zu können, gilt es Unternehmen die Vorteile aufzuzeigen und mögliche Hemmnisse auszuräumen. Dabei können in der Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage je nach Gewerbetyp unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden.

Im Rahmen einer Simulationsstudie zu PV wurde durch die Analyse von gewerblichen Lastprofilen ermittelt, wie sich diese nach Gewerbetypen unterscheiden. Besonders die Variation der solaren Eigenversorgung, welche durch den unterschiedlichen Energieverbrauch im Tagesverlauf begründet ist, beeinflusst die Rentabilität einer PV-Anlage [We21].

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Entwicklung einer Anwendung beschrieben, welche durch das Einbeziehen spezifischer Lastprofile eine optimierte Prognose für eine PV-Anlage geben soll.

2 Photovoltaik im Gewerbe

Wie in der Einleitung bereits beschrieben wurde, bestehen optimistische Ziele für den Ausbau der PV in Deutschland. Insgesamt bieten Dächer und Fassaden in Deutschland ein Potenzial von 1000 Gigawatt Peak (GW_p). Die Nutzung dieses hohen Potenzials ist allerdings weiterhin begrenzt. Es werden weniger als 10% des Dachflächenpotenzials genutzt [Wi22].

Einen großen Teil des Dachflächenpotenzials machen Gewerbe-Gebäude aus. Dabei besteht die Besonderheit, dass sich die Anforderungen an eine PV-Anlage je nach Betrieb deutlich unterscheiden können. Die Höhe des Eigenverbrauchs beeinflusst z.B. wie rentabel die unterschiedlichen Betreibermodelle für einen bestimmten Betrieb sind [We21].

Mit Hilfe von Lastprofilen können Aussagen über die solare Eigenversorgung der Betriebe getroffen werden. Je nach Gewerbetyp können sich die Verbrauchskurven der Lastprofile deutlich unterscheiden, woraufhin sich Unterschiede in der solaren Eigenversorgung ergeben. Es bestehen innerhalb eines Gewerbetyps teilweise relevante Unterschiede in der Eigenversorgung. Eine Untersuchung von 35 Lebensmittelmärkten hat für diese Branche keine relevanten Unterschiede ermitteln können. In Betrieben der Metall- und Holzverarbeitung sowie in der Abfallentsorgung bestehen auch innerhalb der Branche größere Unterschiede [We21].

2.1 Simulation des Photovoltaik- und Batteriesystems

Die Simulation des PV-Batteriesystems bildet die Datengrundlage der Anwendung. Das Systemverhalten wird dabei mit einer zeitlichen Auflösung von einer Minute über den Zeitraum von einem Jahr simuliert. Das Hauptziel ist dabei die Bestimmung des Autarkiegrads der jeweiligen Systemkonfiguration. Er entspricht dem Anteil des kumulierten Stromverbrauchs, der mithilfe von eigens erzeugtem PV-Strom gedeckt werden kann. Je höher der Autarkiegrad, desto mehr Netzbezugskosten können eingespart und desto mehr CO₂-Emissionen können vermieden werden. Die Autarkie stellt deshalb eine entscheidende Kenngröße zur Bewertung des ökonomischen und ökologischen Nutzens des PV-Speichersystems dar.

Das simulierte PV-Speichersystem ist AC-gekoppelt. Die PV-Anlage und die Batterie sind demnach nicht direkt miteinander verbunden, sondern jeweils an einen eigenen Wechselrichter angeschlossen. Für den PV-Wechselrichter werden die Kennwerte des SMA Sunny Tripower 10.0 herangezogen und für den Batteriewechselrichter die des SMA Sunny Island 8.0 [We21].

Die Zeitreihe der PV-Leistung wird in Abhängigkeit der Umwelteinflüsse Bestrahlungsstärke und Temperatur sowie der Gerätedaten des PV-Generators bestimmt. Die Wetterdaten zur globalen Direkt- und Diffusstrahlung und der Umgebungstemperatur stammen vom meteorologischen Observatorium Lindenberg (Brandenburg) aus dem Jahr 2017 und liegen in einminütiger Auflösung vor. Die Bestrahlungsstärke auf den PV-Generator, der als Abstraktion wie eine geneigte Ebene behandelt wird, wird anhand der jeweiligen Ausrichtung (Azimutwinkel der Ebene α_E) und Neigung (Höhenwinkel der Ebene γ_E) berechnet. Dabei wird auch die Sonnenhöhe abhängig von Datum und Uhrzeit berücksichtigt. Diese wurde ebenfalls an den Standort Lindenberg (52° 20' 83" N, 14° 11' 78" O) angepasst. Der diffuse Strahlungsanteil wird nach dem Modell von Klucher berechnet. Für den PV-Generator werden die Kennwerte des LG NeON R genutzt [We21]. Sein Wirkungsgrad wird zu jedem Zeitschritt in Abhängigkeit von der Umgebungs- und Betriebstemperatur bestimmt [Be04; Qu19].

Die Simulation des Speichersystems wird nach dem Modell „simbat“ der Forschungsgruppe Solarspeichersysteme durchgeführt [WO23]. So werden unter Berücksichtigung der Batterieverluste für jeden Zeitschritt die Lade- und Entladeleistung sowie der Ladezustand (State of Charge) bestimmt. Die verwendeten Umwandlungswirkungsgrade für Speicherung, Laden und Entladen entsprechen dem System Tesvolt TS 48 V, die nominale AC-Leistungsaufnahme sowie -abgabe wird auf 0,35 kW/kWh Speicherkapazität festgelegt [We21].

Für einige ausgewählte Gewerbe sind real gemessene, normierte Lastprofile in 15-minütiger Auflösung hinterlegt. Diese werden entsprechend des angegebenen Jahresstromverbrauchs für die Simulation skaliert. Des Weiteren besteht die Möglichkeit eigene Lastprofile hochzuladen, um eine individuelle Systembewertung zu erzielen.

2.2 Photovoltaik Einspeisevergütung

Die Einspeisevergütung einer PV-Anlage ist von mehreren Faktoren abhängig. Grundsätzlich ist zunächst das gewählte Betreibermodell ausschlaggebend. Für gewerbliche Betriebe in Deutschland gibt es sieben unterschiedliche Modelle, welche sich zunächst nach den Eigentumsverhältnissen unterscheiden. Es gibt somit Modelle für Gebäudebesitzer und für Gebäudemietler [Uh21]. Dieser Beitrag legt den Fokus auf den Betrieb als Gebäudebesitzer, weshalb Mieter-Betreiber-Modelle nicht genauer betrachtet werden. Zudem werden die Modelle Anlagenmiete, Contracting, Direktstromlieferung und Verpachtung der Dachfläche aus der Betrachtung ausgeschlossen. Dieser Ausschluss erfolgt, da bei diesen Modellen die finanzielle Vergütung von Vertragspartnern abhängig ist und somit nicht ohne weiteres zur Verfügung steht. Ein finanzieller Vergleich mit den anderen Modellen ist deshalb nicht möglich.

Zunächst erfolgt die Betrachtung des Eigenverbrauchs-Betreibermodell. Bei diesem Modell wird der erzeugte Strom direkt vor Ort verbraucht. Im EEG wird Eigenversorgung als der Verbrauch von Strom unmittelbar vor Ort durch den Betreiber der Anlage definiert. Dabei darf der Strom nicht durch ein Netz durchgeleitet werden (§3 Nr. 19 EEG 2021). Dieses Modell wird häufig mit der Einspeisung nach EEG verbunden. In dem Fall handelt es sich um eine Überschusseinspeisung. In der folgenden Abbildung ist das Zusammenspiel zwischen dem Eigenverbrauch, Netzbezug und der Überschusseinspeisung dargestellt.

Würde auf den Eigenverbrauchsanteil verzichtet werden, kann der gesamte produzierte Strom ins Netz eingespeist und nach EEG vergütet werden. Die Volleinspeisung wird höher vergütet als die Überschusseinspeisung. Bei einer Anlage wie aus dem Beispiel würde die Vergütung 10,90 Cent anstatt 5,80 Cent betragen.

Im Gegensatz zur Einspeisung nach EEG erfolgt beim Betreibermodell der Direktverkauf der Verkauf zum Marktpreis an der Börse. Liegt der Erlös unter der EEG-Vergütung wird die Differenz mittels einer Marktprämie ausgeglichen.

Die Höhe der Einspeisevergütungen ist im EEG verankert. Die Vergütungshöhe wird durch verschiedene Faktoren bestimmt, darunter die installierte Leistung der Anlage, die Art der Einspeisung (Voll- oder Überschusseinspeisung) sowie die Wahl zwischen dem Marktprämienmodell und der Festvergütung.

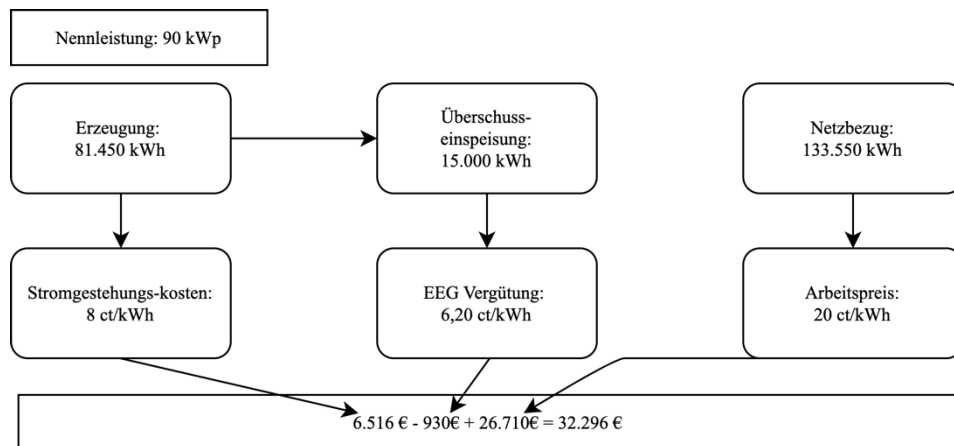


Abb. 1: Beispielrechnung Betreibermodell Eigenverbrauch

3 Methodik

Im Rahmen dieses Beitrags wird die Problemstellung verfolgt, wie die Akzeptanz für PV in Gewerbebetrieben durch eine Web-Applikation zur Entscheidungsunterstützung gesteigert werden kann. Als zweiten Punkt der Problemstellung wird untersucht, welchen Beitrag Lastprofile in den Simulationsanalysen zur solaren Eigenversorgung spielen und inwiefern die Web-Applikation durch die Option zum Hochladen von spezifischen Lastprofilen profitieren kann. Die Anwendungsumgebung begrenzt sich dabei auf gewerbliche Betriebe innerhalb Deutschlands, welche Eigentümer des betrachteten Gebäudes sind.

Um die Relevanz einer Applikation zur Entscheidungsunterstützung von Betrieben in Form eines PV-Rechners besser abschätzen zu können, wurde eine Literaturrecherche zu PV im Gewerbe durchgeführt. Der Fokus lag dabei auf den Entscheidungskriterien, Vorteilen und Hemmnissen.

Zusätzlich zu den Akzeptanzkriterien wurde sich mit der Fragestellung beschäftigt, welche Besonderheiten bei der Betrachtung von PV im Gewerbe bestehen. Ein besonderer Fokus lag hierbei auf den Einfluss des Eigenverbrauchs auf die Rentabilität und wie Lastprofile in der Analyse die Prognosen zu PV-Anlagen beeinflussen.

Neben der Literaturrecherche erfolgte eine Analyse bestehender PV-Rechner. Diese soll einen Überblick über den Funktionsumfang bestehender Lösungen geben. Dafür wurden Input- und Output Parameter erhoben, welche ebenfalls zur Aussage der Komplexität der Anwendungen herangezogen wurden. Für die Analyse wurden die Rechner pv@now easy, Mysolvation (PV-Check), Meyerburger, Fronius und Varta betrachtet [Fr23; MB23; PN23; Va23]. Neben den reinen Vergleich der Parameter erfolgte eine subjektive

Bewertung in den Kategorien Bedienbarkeit und übersichtliche Ergebnisdarstellung. Die Analyse der Rechner hat ergeben, dass die Option des Hochladens eines spezifischen Lastprofils bei den untersuchten Optionen nicht vertreten ist.

4 Web-Applikation

Die Anwendung ist in eine dreischichtige Architektur aufgeteilt, welche in der folgenden Abbildung schematisch dargestellt ist. Da keine Eingaben der Nutzer*innen persistiert werden müssen, werden nur die branchengemittelten Lastprofile in der Datenhaltungsschicht vorgehalten. Innerhalb der logischen Schicht erfolgt zum einen die Simulationsanalyse, welche auf Basis der Eingangsdaten mit Hilfe unterschiedlicher Python-Skripte Ergebniswerte berechnet, welche die Basis für die drei Auswertungsklassen bilden. Innerhalb dieser werden die Werte zur Ergebnisdarstellung an die Nutzer*innen berechnet und daraufhin in der Repräsentationsschicht visualisiert.

Das User Interface (UI) der Web-Applikation ist in einen Teil für die Benutzereingabe und die Ergebnisdarstellung aufgeteilt. Im Frontend wurde React eingesetzt und die meisten der UI-Elemente basieren auf Komponenten der Material UI (MUI) Bibliothek.

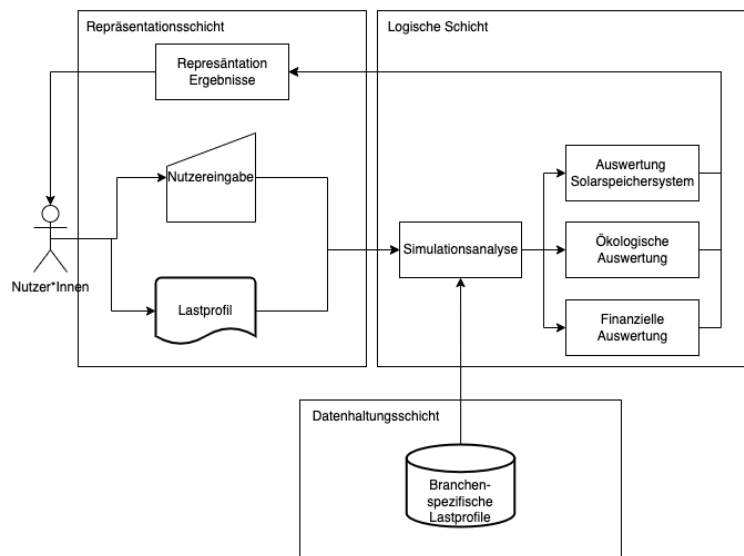


Abb. 2: Schema der Anwendung

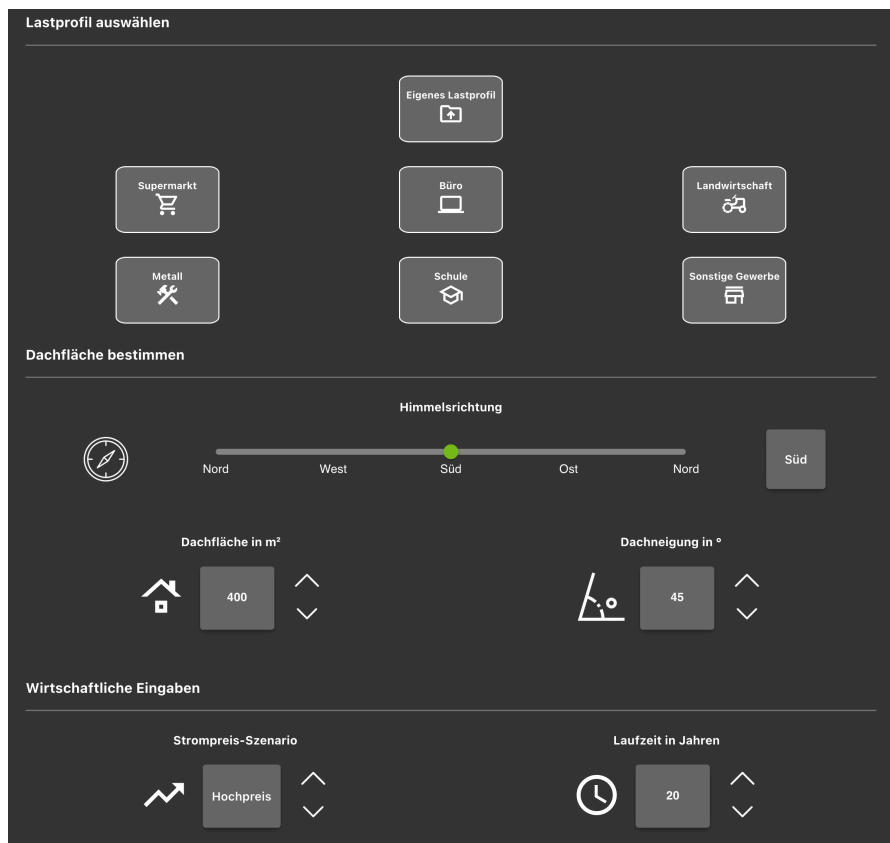


Abb. 3: Screenshot Ausschnitt Benutzereingabe

Für die Ergebnisdarstellung werden, ebenfalls die bereits erwähnten Technologien eingesetzt. Um die Ergebnisse zu visualisieren und für Nutzer*innen durch eine interaktive Bedienung näher zu bringen wird auf die Nivo-Bibliothek zurückgegriffen, welche sich gut in React-Komponenten integrieren lässt. Die Möglichkeit mit der visuellen Darstellung der Daten zu interagieren, soll Nutzer*innen eine gute User Experience (UX) gewährleisten und zudem für ein besseres Verständnis der Informationen sorgen (Sacket et al. 2016). Die Ergebnisdarstellung besteht aus zwei Arten von wiederverwendbaren Komponenten. In einer Liste werden die Ergebniswerte mit einer Miniatur-Ansicht des jeweiligen Diagramms angezeigt, um die Ergebnisse auf einen Blick erfassbar zu machen. Die detaillierte Ansicht ermöglicht einen genaueren Blick auf die jeweiligen Ergebniskategorien. Mit Hilfe von Tooltips werden hier den Nutzer*innen hilfreiche Informationen zur Verfügung gestellt. Die Abbildung 4 zeigt, wie diese Funktionen im UI der Anwendung umgesetzt wurden.

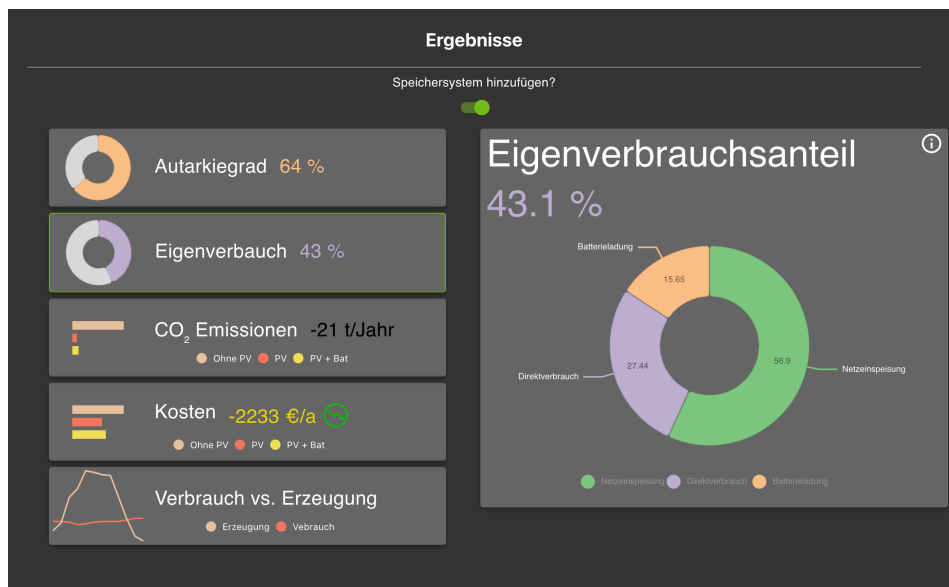


Abb. 4: Screenshot Ergebnisdarstellung der Anwendung

5 Ergebnisse

Die Recherche zu PV im Gewerbe hat gezeigt, dass zur Akzeptanzsteigerung für PV im Gewerbe entsprechende Vorteile aufgezeigt werden müssen. Dem finanziellen Vorteil durch PV wird dabei die größte Bedeutung für Unternehmen zugeschrieben. Ebenfalls sind die Punkte *Unternehmens- bzw. Umweltziele umsetzen*, *Marketing* und *Wettbewerbsfähigkeit sichern* mit hoher Wichtigkeit bewertet worden [Uh21].

Mit Hilfe von PV-Rechnern lassen sich schnell und effizient die Vorteile von PV im Kontext eines konkreten Beispiels berechnen. Allerdings wird bei bestehenden Rechnern auf gemittelte Lastprofile zurückgegriffen. Daraus ergibt sich für den zu entwickelnden Prototypen die Lücke innerhalb der betrachteten Anwendungsumgebung. Durch spezifische oder branchenspezifische Lastprofile sollen genauere Ergebnisse erzielt werden. Denn im Vergleich zu Wohngebäuden ergeben sich in gewerblichen Betrieben je nach Typ unterschiedliche Verbrauchsprofile. Durch diese im Tagesverlauf unterschiedlichen Lastspitzen entstehen Unterschiede in der solaren Eigenversorgung [We21]. Da die solare Eigenversorgung wiederum ein relevantes Entscheidungskriterium für die Auswahl des Betreibermodells darstellt und somit direkten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit einer PV-Anlage hat, soll durch diese Web-Applikation ein möglichst genau zum betrachteten Betrieb passendes Lastprofil in die Simulationsanalyse gegeben werden [Uh21].

Der Vergleich der Simulationsrechnungen von einem branchenspezifischen und einem gemittelten gewerblichen Lastprofil zeigt, dass bei ansonsten gleichen Faktoren ein Unterschied von 10% im Eigenverbrauch besteht. Somit ist in der Beispielrechnung bei der gleichen PV-Anlage abhängig vom Lastprofil jeweils ein anderes Betreibermodell lukrativer. Durch die detaillierte Analyse können somit höhere finanzielle Vorteile innerhalb des PV-Rechners gezeigt werden. Da die finanziellen Vorteile für Unternehmen das wichtigste Entscheidungskriterium darstellen, kann ein höherer Ertrag beim Entscheidungsprozess relevant sein und bei der Akzeptanzsteigerung helfen.

6 Diskussion

Dieser Beitrag hatte zum Ziel, eine Anwendung zur Entscheidungsunterstützung für die Anschaffung von PV-Anlagen im gewerblichen Umfeld zu entwickeln. Dies sollte den Nutzer*innen ohne vorherige Recherchen und Fachkenntnisse einen Überblick zu den wichtigsten Fragestellungen der Investitionsentscheidung geben.

6.1 Theorie- und Praxisbeitrag

Auf Grundlage bestehender Literatur zeigt sich die Relevanz der fokussierten Betrachtung von PV-Ausbau im Gewerbe [Uh21; We21].

In diesem Zusammenhang wurde der ermittelte Einfluss unterschiedlicher Lastprofile auf die solare Eigenversorgung im Rahmen der speziellen Vorteile und Anforderungen von PV im Gewerbe betrachtet [Uh21; We21]. Auf dieser Basis an Informationen haben weitere Recherchen zu Fragen des Einflusses der aktuellen EEG-Novelle auf die Betreibermodelle für PV-Anlagen die Untersuchungsergebnisse weiter vertieft. Dieser Untersuchungsrahmen hat in der Arbeit somit einen Beitrag zur Theorie beitragen können.

Die Untersuchungsergebnisse bilden die Grundlage für die entwickelte Anwendung. Da dieses in einer finalen Version der Praxis kostenfrei zur Verfügung gestellt werden soll, stellt es eine Brücke zwischen dem Theorie- und dem Praxisbeitrag dar.

6.2 Limitation

Für eine einfache Bedienbarkeit der Anwendung wurden im Voraus einige Annahmen getroffen. Bei diesen Annahmen handelt es sich hauptsächlich um die Konfiguration des PV-Speichersystems, diese wurden bereits im Kapitel 2.1 beschrieben. Dadurch ergeben sich Verluste in der Genauigkeit der berechneten Vorhersagen der Simulationsanalyse. Diese Limitation ist aber bewusst getroffen worden, da anderenfalls ein Expert*innen-Tool entstanden wäre.

Da die ökonomische Auswertung lediglich auf einer Prognose für die Entwicklung des Strompreises beruht, ergeben sich weitere Unsicherheiten in der Genauigkeit der berechneten Ergebnisse. In der Anwendung wird für die Berechnung der wirtschaftlichen Ergebnisse aktuell nur das Betreibermodell Eigenverbrauch mit Überschusseinspeisung nach EEG berücksichtigt. Falls das Betrachtungsobjekt des PV-Rechners einen sehr geringen Eigenverbrauch hat, kann dies zu einer wirtschaftlich schlechteren Einschätzung führen. In diesem Fall würde bspw. die Volleinspeisung höhere Prämien durch das EEG ergeben.

6.3 Zukünftige Forschung

Die Weiterentwicklung der Web-Applikation in Verbindung mit zusätzlicher Forschung zum Thema PV im Gewerbe ist sinnvoll. Schwerpunkte könnten dabei das Betreibermodell und die Lastspitzenkappung sein. Um die Relevanz der Wahl des Betreibermodells in der Anwendung zu berücksichtigen, sollte ein Modul implementiert werden, welches den Nutzer*innen auf Basis der Daten des Untersuchungsobjektes eine Empfehlung für die Wahl des Betreibermodells gibt.

Eine zusätzliche Erweiterung könnte sich auf die Lastspitzenkappung konzentrieren, um die optimale Kapazität eines Speichersystems zu bestimmen. Durch die Optimierung der gewählten Kapazität ist ggf. eine Verbesserung der Rendite möglich [Ch16].

Zur Validierung der Applikation sollte diese durch Personen aus dem betrachteten Anwendungsgebiet getestet werden. Dadurch könnte eine bessere Einschätzung des Mehrwerts sowie Probleme und fehlende Funktionen ermittelt werden.

Neben der Weiterentwicklung der Applikation hat dieser Beitrag aufgezeigt, dass der Themenbereich zu PV im Gewerbe in der Forschung intensiver untersucht werden sollte. Zukünftige Studien könnten so einen umfassenderen Blick auf PV im Gewerbe werfen und die Themen Wirtschaftlichkeit, Akzeptanzkriterien und die technische Betrachtung von PV verbinden.

7 Fazit

In dieser Arbeit wurde untersucht, wie die Akzeptanz von PV-Anlagen im gewerblichen Bereich gesteigert werden kann. Dabei wurden ökonomische und ökologische Kriterien erarbeitet. Die Entwicklung einer Web-Applikation, welche die wichtigsten Kriterien mit Hilfe einer Simulationsanalyse prognostiziert, unterstützt Unternehmen bei Investitionsentscheidungen für PV-Anlagen.

Eine Weiterentwicklung des Prototypens könnte durch die Ergänzung weiterer Betreibermodelle eine ausführlichere Analyse der Wirtschaftlichkeit von PV-Anlagen

ermöglichen. Dadurch würden auch die präziseren Prognoseergebnisse durch die Integration spezifischer Lastprofile nutzbar gemacht werden.

Zusammenfassend bietet die Arbeit einen Ansatz zur Förderung von PV im Gewerbe und bietet mit den entwickelten Prototypen die Grundlage für eine Applikation, welche eine Lücke innerhalb der untersuchten Anwendungsumgebung schließt.

Literaturverzeichnis

- [Be04] Beyer H. G. et al.: Identification of a General Model for the MPP Performance of PV-Modules for the Application in a Procedure for the Performance Check of Grid Connected Systems. In 19th European Photovoltaic Solar Energy Conference, Paris, S. 3073–3076, 2004.
- [Ch16] Chua, K. H. et al.: Energy storage system for peak shaving. International Journal of Energy Sector Management, S. 3–18, 2016
- [Fr23] Fronius Solar Creator, creator.fronius.com, 20.03.2023
- [MB23] Meyer Burger, meyerburger.com/de/solarmodul/solarrechner, 10.04.2023
- [PN23] PV-Now-Easy, pv-now-easy.de, 12.03.2023
- [Qu19] Quaschnig, V. Regenerative Energiesysteme. Technologie – Berechnung – Klimaschutz. 10., aktualisierte und erweiterte Auflage, München: Hanser, 2019.
- [Sa16] Saket, B et al.: Beyond usability and performance: A review of user experience-focused evaluations in Visualization. In ACM International Conference Proceeding Series, S. 133–142, 2016.
- [Uh21] Uhland, T. et al.: Photovoltaik in Gewerbe und Industrie – Solarenergieerfolgreich einsetzen, Solar Cluster Baden-Württemberg e.V., 2021
- [Va23] Varta Energiespeicher Berechnungstool, varta-ag.com/de/konsument/produktkategorien/energiespeicher/berechnungstool, 20.03.2023
- [We21] Weniger, J. et al.: Photovoltaik und Stromspeicher im Gewerbe. In PV-Symposium, 2021
- [Wi22] Wirth, H.: Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, 2022
- [WO23] Weniger J. und Orth, N.: ‘simbat: simple PV-battery system model’, Hochschule für Technik und Wirtschaft HTW Berlin, geplant 2023. solar.htw-berlin.de