

Alternative Photovoltaikpotenziale in der Steiermark

**Marlene Loidl*, Jeannine Schieder*, Lohiya Sathishkumar*, Melanie Horn*,
Christof Sumeder**

FH JOANNNEUM, Institut Energie-, Verkehrs- und Umweltmanagement, Werk-VI-Straße 46,
8605 Kapfenberg, +43 316 5453 6368, marlene.loidl@fh-joanneum.at, www.fh-
joanneum.at/iev, * Jungautorin

Kurzfassung: Der Ausbau von erneuerbaren Energieträgern wie der Photovoltaik ist unerlässlich, um die ambitionierten Klimaziele, die sich Österreich gesetzt hat, zu erreichen. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die Nutzung von alternativen Photovoltaikpotenzialen. Das Projekt PV4EAG ermittelte dafür mittels vorhandener Geodaten, Multi-Kriterien Analyse und Machine-Learning die gegebenen Flächen- und Energiepotenziale anhand von Testgebieten in der Steiermark.

Keywords: PV, EAG, Energiepotenzial, GIS

1 Motivation und zentrale Fragestellung

Das Erneuerbaren Ausbaugesetz sieht bis 2030 einen Photovoltaik-Ausbau auf 11TWh vor. Dachflächen allein werden für diesen Ausbau nicht ausreichen. Gleichzeitig ist es auch nicht wünschenswert, die fehlenden Dachflächen durch Freiflächenanlagen zu kompensieren, da dadurch wertvolles Agrarland verloren gehen würde. Daher setzt das Projekt PV4EAG auf die Identifikation von alternativen PV-Potenzialen. Dazu zählen PV-Anlagen auf Verkehrsflächen (Parkplätze) und Lärmschutzwänden, aber auch gebäudeintegrierte PV (GIPV) mit dem Fokus auf Fassadenanlagen, Floating-PV (FPV) und Agri-PV, wobei hier der Fokus auf horizontale Anlagen auf Weingärten gelegt wurde. Ziel war es, Flächen- und Energiepotenziale dieser innovativen PV-Anlantypen in der Steiermark zu ermitteln. Die Ergebnisse dienen dabei als Entscheidungshilfe für zukünftige Projektentwicklung und als Basis für die konkrete Umsetzungsplanung.

2 Methodik

Die Methodik wird in die Flächen- und Energiepotenzialanalyse unterteilt. Für Erstere wurden mittels Literaturrecherche sowie Experteninterviews Kriterien für die Auswahl definiert. Die wesentlichen Parameter sind dabei Sonneneinstrahlung, Ausrichtung, Neigung, Wetteinflüsse sowie Verschattungsgrad. Für horizontale PV-Typen kommt eine Multikriterien-Analyse zum Einsatz. Für vertikale PV-Typen (Lärmschutzwände / Fassaden) wird dagegen Machine-Learning genutzt. Aus der Analyse ergeben sich für die Errichtung von PV-Anlagen geeignete Flächen.

Für die Energiepotenzialanalyse wurden dann Faktoren wie Flächennutzungsgrad, Strahlungsintensität und Aufstellungsfaktor berücksichtigt, um eine Prognose für die zu erzielende Leistung in kWp beziehungsweise den möglichen Energieertrag in kWh/a für die jeweiligen Flächen angeben zu können.

2.1 Flächenpotenzial

Für die Flächenpotenzialanalyse wurden 7 repräsentative Testgebiete in der Steiermark definiert, die mindestens 5% der Fläche der Steiermark abdecken. Bei der Auswahl auf Katastralgemeindeebene wurde darauf geachtet, dass die Flächenauswahl die Urban-Rural-Typologie der Steiermark widerspiegelt. Die Testgebiete werden in Abbildung 1 visualisiert.

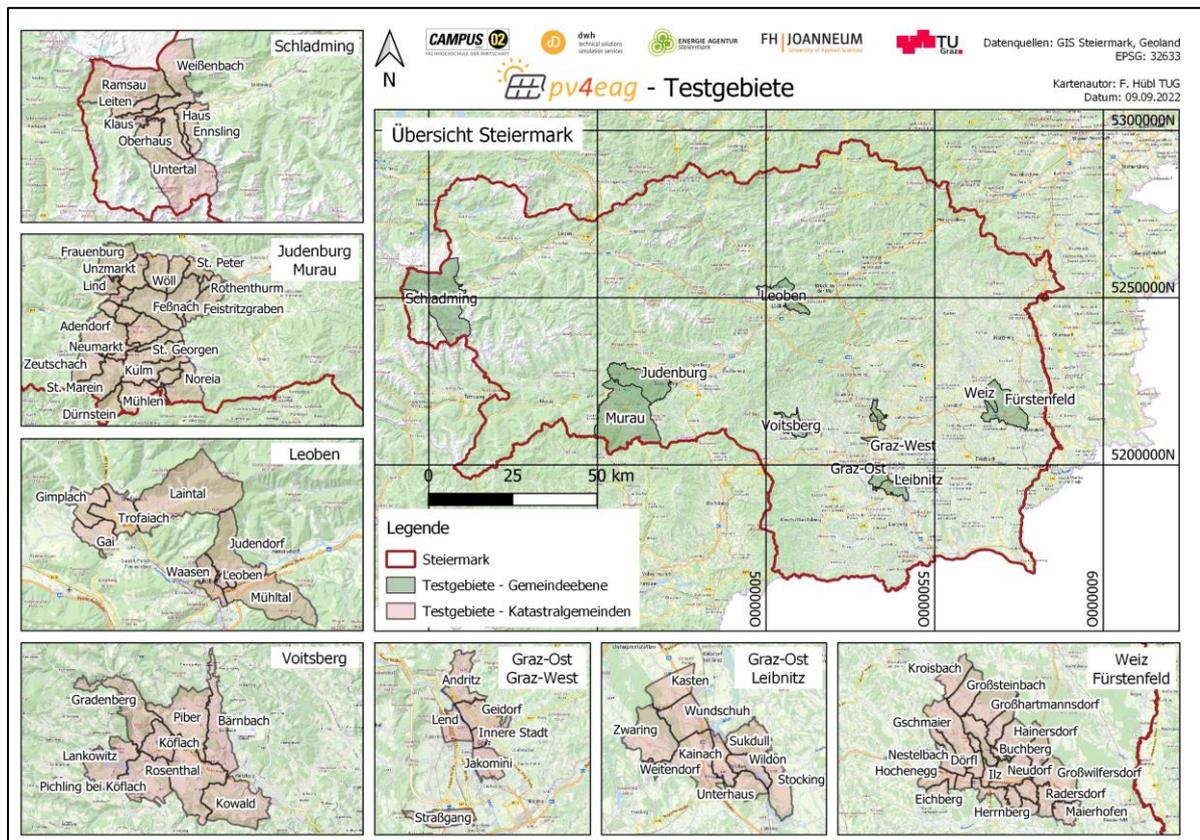


Abbildung 1: Testgebiete PV4EAG Steiermark

Für horizontale PV-Typen wurde zur Ermittlung des Flächenpotenzials eine Multikriterien-Analyse (MCA) genutzt. Für vertikale PV-Typen (Lärmschutzwände / Fassaden) kam Machine-Learning (ML) zum Einsatz, wodurch auch die Verschattung durch benachbarte Objekte berücksichtigt werden konnte.

2.2 Energiepotenzial

Ausgehend von der Flächenpotenzialanalyse wurde das Energiepotenzial ermittelt. Dazu wurden einzelne Musterprojektierungen durchgeführt, um daraus Berechnungsformeln für Anlagenleistung und Energieertrag von den unterschiedlichen PV-Typen zu entwickeln. Als Beispiel werden an dieser Stelle die Berechnungsformeln für gebäudeintegrierten PV-Anlagen vorgestellt.

Das Energiepotenzial der jeweiligen Flächen wurde mit der untenstehenden Berechnungsformel und den im Anschluss gelisteten Einflussfaktoren ermittelt.

$$P = A_{Polygon} * FN * \eta_{Modul}$$

Formel 1: Berechnung der Anlagenleistung

$$E = A_{Polygon} * FN * \eta_{Modul} * GHI * 365 * AF_O + \eta_{Anlage}$$

Formel 2: Berechnung des Energiepotenzials von Gebäudeintegrierten PV-Anlagen

Legende:

P...	Anlagenleistung [kWp]
E...	Energiepotenzial [kWh/a]
GHI...	Globalstrahlungsenergie [kWh/m ² /Tag]
A _{Polygon} ...	Polygonfläche/Sunarea/von der Sonne beschienene Fassadenfläche [m ²]
FN...	Flächennutzungsgrad [%]
η_{Modul} ...	Spez. Leistung der Module [kWp/m ²]
AF...	Aufstellungsfaktor []
η_{Anlage} ...	Anlagenwirkungsgrad [%]

Um die Ergebnisse der Berechnungen zu validieren, wurden die PV-Anlagen auch mit einem kommerziellen Planungstool simuliert und deren Energiebetrag berechnet. Zusätzlich wurden die gemessenen Energieerträge von PV-Anlagen der Energielabore der FH JOANNEUM in Kapfenberg und des Campus 02 in Graz als Vergleichswerte herangezogen.

3 Ergebnisse

Resultate des Projekts sind Darstellungen der für den PV-Ausbau geeigneten Flächen einerseits und der zu erwartenden Energieerträge andererseits. Die linken Grafiken in den folgenden Abbildungen zeigen jeweils die Flächeneignung und in den rechten Grafiken ist das zu erwartende Energiepotenzial ersichtlich. Grundlage für diese Auswertungen waren öffentlich zugängliche Daten sowie kostenpflichtige 3D-Gebäudemodelle. Mittels MCA konnten die ertragsreichen Bereiche selektiert und mittels ML die Verschattung ermittelt werden. Aufgrund der Topologie, Flächenwidmung, Bodenqualität, Verschattung, Bebauungsdichte und vielen weiteren Kriterien zeigte sich, dass jedes Testgebiet zu individuell unterschiedlichen Ergebnissen hinsichtlich des PV-Potenzials führt.

3.1 Floating-PV

Die untenstehende Abbildung 2 zeigt das Ausbaupotenzial hinsichtlich Flächeneignung und erwartbaren Energieertrag von Floating-PV.

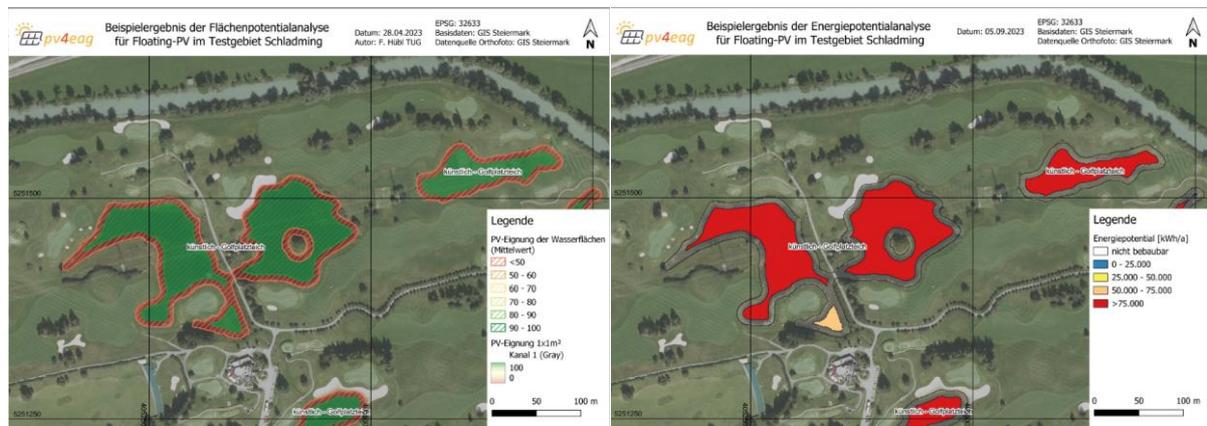


Abbildung 2: Ermittelter Flächen- und Energiepotenzial von FPV

Der linke Teil der Abbildung zeigt das Flächenpotenzial für Floating-PV auf einem Golfteich in der Testregion Schladming. Aus der Abbildung geht hervor, dass für die Errichtung einer schwimmenden PV-Anlage ein gewisser Abstand zum Ufer empfohlen wird, um zu verhindern, dass die Anlage am Grund des Gewässers aufsitzt. Der rechte Teil der Abbildung zeigt das Energiepotenzial. Für die größeren Gewässerflächen wird ein jährlicher Ertrag von über 75.000 kWh errechnet. Für die kleinere Gewässerfläche wird ein etwas niedrigerer Ertrag prognostiziert.

3.2 Parking-PV

Die folgende Abbildung 3 zeigt das Flächen- und Energiepotenzial für eine Parking-PV-Anlage im Testgebiet Hartberg/Fürstenfeld.

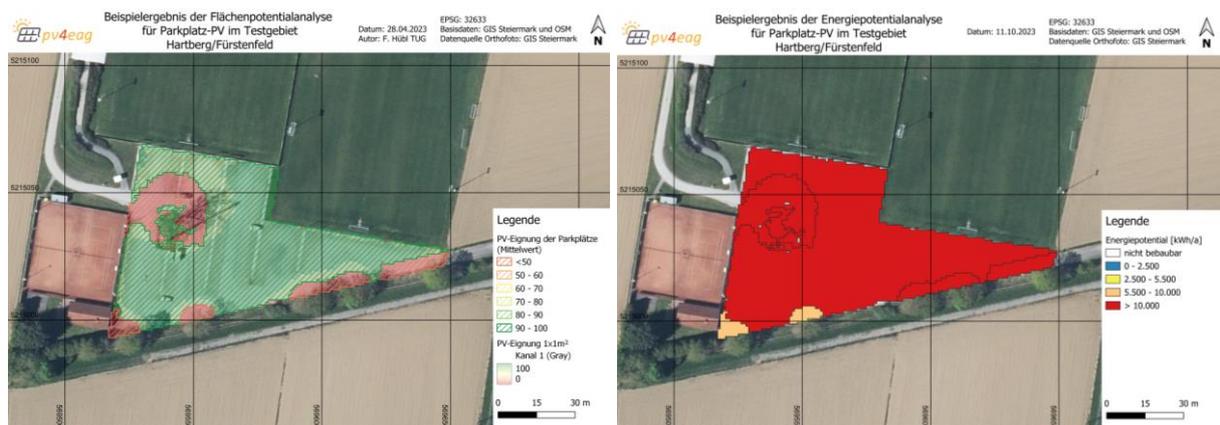


Abbildung 3: Ermittelter Flächen- und Energiepotenzial von Parkplatz-PV

Aus der linken Seite der Abbildung geht hervor, welche Flächen für die Errichtung geeignet sind. So wird die Fläche rund um den Baum aufgrund der Verschattung als wenig geeignet ausgewiesen. Auf der rechten Seite ist das Energiepotenzial ersichtlich. Zu erwarten ist ein Ertrag von über 10.000 kWh pro Jahr.

3.3 Agri-PV

Die folgende Abbildung 4 zeigt das mögliche Flächen- und Energiepotenzial einer Agri-PV-Anlage im Testgebiet Fürstenfeld.

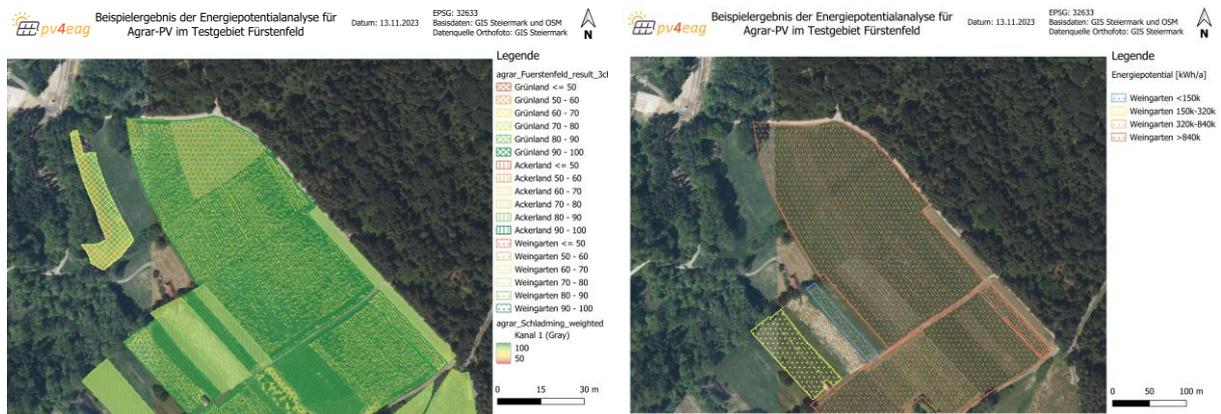
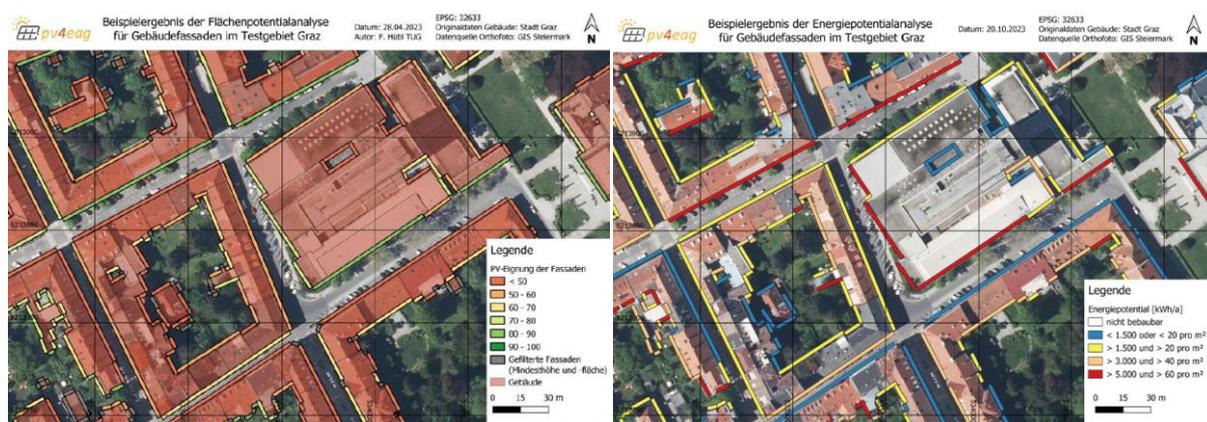


Abbildung 4: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von Agri-PV

Im Projekt wurde der Fokus auf Agri-PV-Anlagen in der Kombination mit Weingärten gelegt, da für viele andere landwirtschaftliche Produkte nicht ausreichend Daten gegeben waren. Die linke Grafik zeigt eine Mischung aus Weingärten, Grünland und Ackerland. In der rechten Grafik wurde das Energiepotenzial für die Weingärten berechnet. Der Großteil der Fläche erzielt ein Potenzial von über 840.000 kWh pro Jahr.

3.4 Fassaden-PV

Die folgende Abbildung 5 zeigt das Flächen- und Energiepotenzial von Gebäudefassaden im Testgebiet



Graz.

Abbildung 5: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von GIPV

Der linke Teil der Abbildung zeigt, welche Fassaden besonders gut für die Errichtung von PV-Anlagen geeignet sind. Nach Norden ausgerichtete Fassaden werden durch den ML-Algorithmus zwar als energetisch nutzbare Fläche erkannt, aufgrund des schlechten spezifischen Energieertrags werden jedoch ausschließlich Flächen mit entsprechend hohen Erwartungswerten ausgewiesen. Neben der Ausrichtung spielen aber auch andere Faktoren

wie beispielweise die Verschattung durch Bäume sowie durch andere Gebäude eine wichtige Rolle. Auch Fassaden, die mehr nach Osten und Westen ausgerichtet sind, sind teilweise gut geeignet für PV-Anlagen. Der rechte Teil der Abbildung zeigt das Energiepotenzial der Gebäudefassaden. Besonders die nach Süden und die nach Süd-Westen ausgerichteten Fassaden erzielen die höchsten Erträge mit über 60 kWh/m².

Bei fassadenintegrierten PV-Anlagen spielt auch der Aufstellungswinkel eine wesentliche Rolle, wie die folgende Tabelle 1 zeigt.

Aufstellungswinkel Reihenabstand	90° 0 m	60° 0,5 m	60° 1 m	60° 1,5 m	75° 0,5 m	75° 1 m
Anlagenleistung [kWp]	49	43	34	27	37	31
Spez. Ertrag [kWh/kWp]	820	554	743	844	676	874
Jahresertrag [kWh/a]	40.017	23.839	25.061	23.321	24.988	26.817

Tabelle 1: Aufstellungswinkel und Reihenabstand bei GIPV

Aus diesen Daten ergibt sich die Erkenntnis, dass bei zu starker Modulneigung ein höherer Abstand erforderlich wird, da es anderenfalls in den Sommermonaten zu Verschattungen kommt. Bei Fassadenanlagen ist daher ein Kompromiss zwischen der Modulneigung, dem Reihenabstand und der zur Verfügung stehenden Fläche zu finden. Im Projekt wurden unterschiedliche Szenarien zum Vergleich berechnet (siehe obige Tabelle). Werden die Module flächenbündig auf der Fassade befestigt (90°, kein Reihenabstand erforderlich), so ist gerade in den Wintermonaten bei flachstehender Sonne ein guter Ertrag zu erwarten.

3.5 Gesamtergebnisse

Die Ergebnisse der Energiepotenzialanalysen in den zuvor definierten Testgebieten wurden in einer zusammenfassenden Darstellung in Abbildung 6 dargestellt.

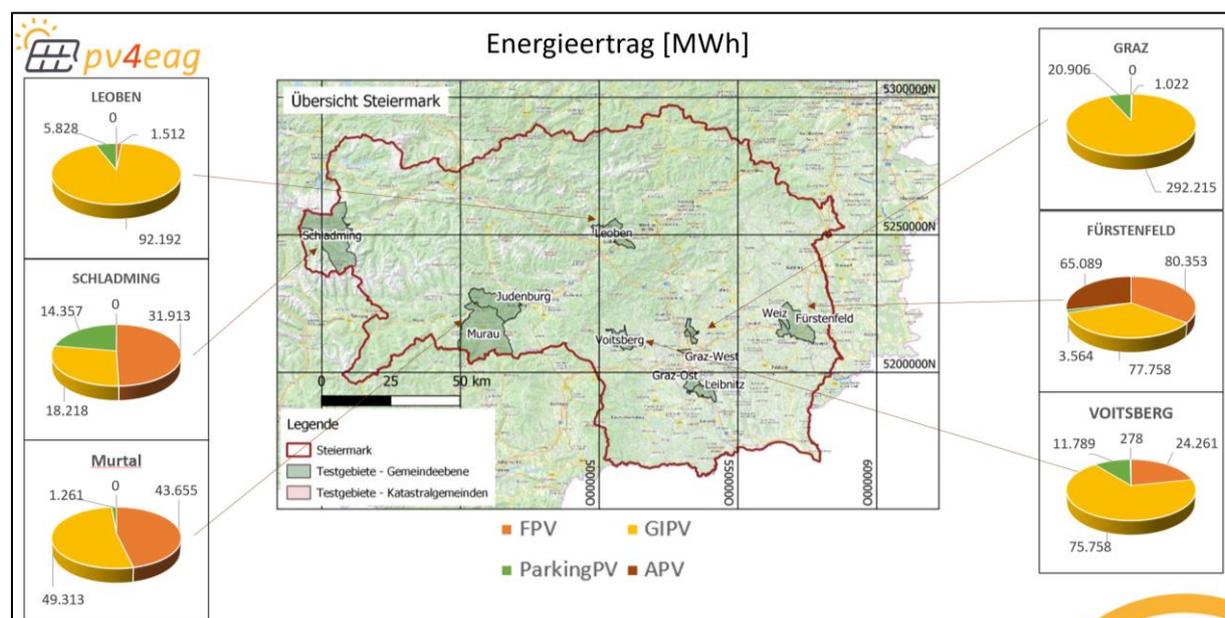


Abbildung 6: Ermittelttes Energiepotenzial nach PV-Anlagentyp in MWh

Aus Abbildung 6 geht deutlich hervor, dass jedes Testgebiet unterschiedliche Potenziale in Bezug auf die verschiedenen PV-Anlagentypen aufweist. In ländlicheren Regionen mit höherem Gewässeranteil wie Schladming oder dem Murtal weist Floating-PV ein großes Energiepotenzial auf. Agri-PV bietet in landwirtschaftlich genutzten Gebieten wie beispielsweise Fürstenfeld eine sinnvolle Ergänzung. In den größeren Städten wie Graz und Leoben ist dagegen bei der Gebäudeintegrierten PV (GIPV) das größte Potenzial gegeben. Auch die PV-Anlagen auf Parkplätzen (Parking-PV) bieten weiteres Ausbaupotenzial.

4 Validierung

Zur Validierung der Ergebnisse wurde der im Projekt prognostizierte Ertrag mit den Werten aus der Simulation eines Online-Planungstools und einer kommerziellen PV-Planungssoftware verglichen. Zusätzlich wurde der Ertrag der PV-Anlagen an der FH JOANNEUM in Kapfenberg und am Campus 02 in Graz zum Vergleich herangezogen. Als Beispiel wird hier das Ergebnis der Energiepotenzialanalyse einer Parking-PV-Anlage gezeigt. Als Basis für den Vergleich diente dabei das PV-Carport der FH JOANNEUM in Kapfenberg mit 18 bifazialen Modulen mit einer installierten Gesamtleistung von 5,4 kW_p. Das Ergebnis ist in Abbildung 7 ersichtlich.

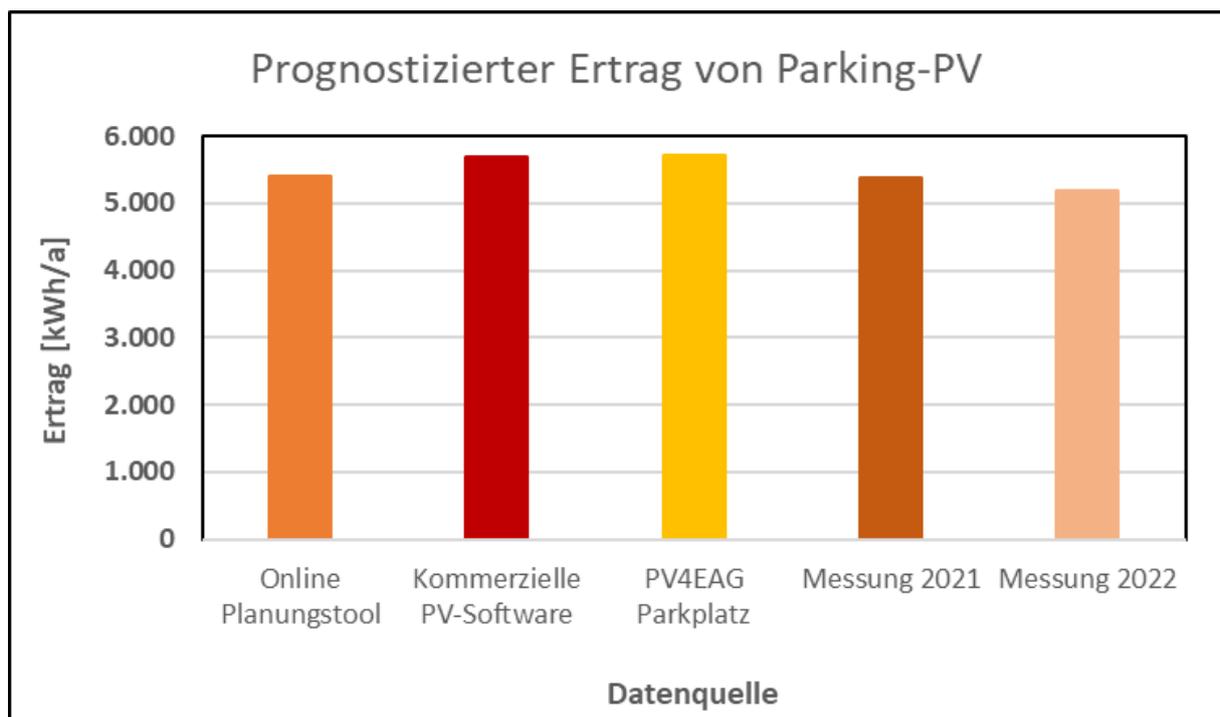


Abbildung 7: Prognostizierter Ertrag einer Parking-PV-Anlage mit einer Gesamtleistung von 5,4 kWp

Am besten stimmt die PV4EAG-Prognose mit der Simulation der kommerziellen PV-Software zusammen. Hier liegt die Abweichung bei unter 1%. Im Vergleich zum Online Planungstool wurde bei PV4EAG ein 5% höherer Ertrag prognostiziert. Die realen Messungen von 2021 und 2022 weichen um 6 bis 9% von der Projekt-Prognose ab, was sich durch das Wetter in den Betrachtungsjahren erklären lässt.

5 Zusammenfassung

Das Projekt PV4EAG hat durch Geodaten, Multi-Kriterien Analyse und Machine-Learning die Flächen- und Energiepotenziale anhand der Testregionen in der Steiermark ermittelt. In ländlicheren Regionen mit höherem Gewässeranteil hat Floating-PV ein großes Potenzial. Agri-PV bietet zusätzlich in landwirtschaftlich genutzten Gebieten eine sinnvolle Ergänzung. In den Städten ist dagegen bei der Gebäudeintegrierten-PV und der Parking-PV das größte Potenzial gegeben. Dieses Potenzial gilt es nun zu nutzen.

6 Ausblick

Das Projekt geht mit Ende Februar 2024 zu Ende. Die Ergebnisse wurden als Geo-Datenbank für die Nutzung in GIS-Programmen auf der [Projekthomepage](#) veröffentlicht. Zudem werden auch die Visualisierungen und eine erklärende Dokumentation hochgeladen. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen als Entscheidungsgrundlage für den Ausbau von innovativen PV-Anlagen dienen. Im geplanten Folgeprojekt AI4PV4EAG sollen die Flächen- und Energiepotenzialanalyse mittels Künstlicher Intelligenz auf andere Bundesländer wie Oberösterreich und Salzburg ausgeweitet werden.

Danksagung

Diese Arbeiten wurden im Rahmen des Projekts "Analyse von Flächen- und Energiepotenzialen mittels KI für alternative PV-Systeme als Beitrag zum EAG" (kurz PV4EAG) durchgeführt, welches aus Mitteln der FFG (Projekt #4176714, 2022-2023) gefördert wird.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Testgebiete PV4EAG Steiermark.....	2
Abbildung 2: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von FPV	4
Abbildung 3: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von Parkplatz-PV.....	4
Abbildung 4: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von Agri-PV	5
Abbildung 5: Ermitteltes Flächen- und Energiepotenzial von GIPV.....	5
Abbildung 6: Ermitteltes Energiepotenzial nach PV-Anlagentyp in MWh	6
Abbildung 7: Prognostizierter Ertrag einer Parking-PV-Anlage mit einer Gesamtleistung von 5,4 kWp.....	7

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Aufstellungswinkel und Reihenabstand bei GIPV.....	6
---	---

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der Anlagenleistung.....	3
Formel 2: Berechnung des Energiepotenzials von Gebäudeintegrierten PV-Anlagen.....	3