

Ertragsanalyse einer alpinen Photovoltaik-Anlage

Philip EGGER¹, Harald SKOPETZ², Wolfgang WOYKE³

Fachhochschule Kufstein Tirol Bildungs GmbH, Andreas Hofer-Straße 7, Tel. +43 5372 71819, info@fh-kufstein.ac.at, www.fh-kufstein.ac.at

Kurzfassung:

Im Zuge der österreichischen Energie- und Klimastrategie wird in den nächsten Jahren ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien benötigt. In diesem Zusammenhang ist der Ausbau der Photovoltaik (PV) in Skigebieten eine interessante Option, da sich der tägliche Verlauf des Strombedarfs eines Skigebietes und die Erzeugungsstruktur alpiner PV-Anlagen zeitlich auf ideale Weise ergänzen. Hinzu kommt, dass mit der Seehöhe die Strahlungsintensität und Sonnenscheindauer zunimmt und gleichzeitig die Durchschnittstemperatur sinkt. Diese Kombination führt zu höheren Modulleistungen als bei vergleichbaren PV-Anlagen in den Tälern, wie der Vergleich zwischen der hochalpinen Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher (2.900 M.ü.A.) mit einer PV-Anlage im Tal (Inzing, 625 M.ü.A.) bestätigt.

Systematisch wurden aus den Erzeugungsganglinien dieser Anlagen Aussagen über die tageszeitliche und saisonale Verteilung der Erzeugung abgeleitet und mit den aus der Literatur bekannten meteorologischen Thesen verglichen.

Die Anlage am Pitztaler Gletscher ist mit 25 % Mehrertrag nicht nur performanter, sondern durch einen Anteil von 40 – 50 % an über die Wintermonate erzeugter Energie deutlich gleichmäßiger in der Erzeugung als ein vergleichbarer Standort unter gewöhnlichen Konditionen.

Derzeit gibt es erst wenige Skigebiete, welche mit alpiner PV einen Teil des hohen Energiebedarfs decken. Mit allein 200 Skigebieten in Österreich [5], ist der Beitrag den die alpine PV zur Klima- und Energiestrategie leisten kann, nicht zu vernachlässigen.

Keywords: Erneuerbare Energien, Photovoltaik, Alpiner Raum, Skigebiete

1 Motivation und zentrale Fragestellung

Im Zuge der österreichischen Energie- und Klimastrategie (#mission2030) wird in den nächsten Jahren ein massiver Ausbau der erneuerbaren Energien benötigt, um bilanziell von 72 % auf 100 % Anteil in Bezug auf den landesweiten Bedarf zu kommen [1].

In diesem Zusammenhang ist der Ausbau der Photovoltaik (PV) in Skigebieten eine interessante Option, da sich der untertägige Verlauf des Strombedarfs eines Skigebietes und

¹ Jungautor, Andreas Hofer-Straße 7, 6330 Kufstein, 05372 71819 205, Philip.Egger@fh-kufstein.ac.at

² Andreas Hofer-Straße 7, 6330 Kufstein, 05372 71819 215, Harald.Skopetz@fh-kufstein.ac.at

³ Andreas Hofer-Straße 7, 6330 Kufstein, 05372 71819 120, Wolfgang.Woyke@fh-kufstein.ac.at

die Erzeugungsstruktur alpiner PV-Anlagen auf ideale Weise ergänzen. Darüber hinaus stellt die Nutzung der vorhandenen Dach- und Fassadenflächen eine effiziente Doppelnutzung einer bereits verbrauchten Fläche im alpinen Raum dar.

Die Frage, die sich stellt ist, welches Potential der alpine Raum für die PV birgt und wie sich PV-Anlagen in Höhenlagen hinsichtlich ihrer Erzeugungscharakteristik – saisonale Verteilung der Erträge und jährlicher Mehrertrag – von Anlagen in den Niederungen unterscheiden und wie sich diese Unterschiede qualitativ begründen lassen.

2 Methodische Vorgangsweise

In einem ersten Schritt wurden die klimatischen Bedingungen im alpinen Raum qualitativ mittels Literaturrecherche ermittelt. Besonderes Augenmerk lag dabei auf dem Einfluss der klimatischen Bedingungen auf die spezifische Ausgangsleistung von PV-Modulen.

Beispielhaft wurde anhand der hochalpinen Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher (2.900 M.ü.A.) die charakteristische Erzeugungsstruktur alpiner PV-Anlagen analysiert. Als Referenzanlage diente eine PV-Anlage im Tal (Inzing, 625 M.ü.A.). Für den Vergleich der beiden Anlagen liegen Minutenwerte aus den Jahren 2016 und 2017 vor, da die PV-Anlage am Pitztaler Gletscher erst Ende 2015 in Betrieb ging.

3 Klimafaktoren des alpinen Raumes

Mit der Höhe ändert sich das Klima und kann sich signifikant von den klimatischen Bedingungen in Tallagen unterscheiden. So nehmen einerseits die Schwächungsmechanismen Streuung und Absorption in der Atmosphäre ab und andererseits wird für die Strahlung auch die Länge des Weges durch die Atmosphäre – die Airmass⁴ – geringer. Zusätzlich kommt es im alpinen Raum durch höhere Albedo-Werte⁵ zu höheren Diffus-Strahlungswerten. Diese sind das Resultat einer teils ganzjährigen Schneebedeckung und häufiger vorkommenden Cloud Enhancement Events⁶ kurz CEE. Zudem ist die absolute Anzahl der jährlichen Sonnenstunden höher als in Tallagen, da diese vor allem in den Übergangs- und Wintermonaten oft unter tiefhängenden Nebelschichten liegen.

Die Größenordnung der Einstrahlungswerte im alpinen Raum lässt sich exemplarisch anhand der Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) vom Sonnblick Observatorium (3.109 M.ü.A.) aus dem Jahr 2014 verdeutlichen – die Daten liegen als Minutenwerte vor [3]. Während 1.000 W/m² Einstrahlung in den Tälern zu den Spitzenwerten zählt, lagen am Sonnblick etwa 12 % aller Einstrahlungswerte über 1.000 W/m². Darüber hinaus überstiegen die Werte mitunter die Solarkonstante von 1.375 W/m² deutlich und erreichten im Zuge von Reflexionen und CEE Spitzenwerte von knapp 1.700 W/m².

Durch die hohen Einstrahlungswerte im alpinen Raum herrschen optimale Bedingungen für die Stromerzeugung durch Photovoltaik, da die Leistung eines PV-Moduls direkt von der Einstrahlungsintensität abhängt.

⁴ Maßeinheit für die Schwächung der Solarstrahlung in Abhängigkeit der Weglänge durch die Atmosphäre

⁵ Maßeinheit für die reflektierte Strahlung in Abhängigkeit des Untergrundes

⁶ Strahlungsüberhöhungen, hervorgerufen durch Reflexionen an den scharfen Konturen von Schönwetterwolken

Ein Nachteil, der damit einhergeht ist, dass es mit zunehmender Strahlungsintensität zu einem signifikanten Anstieg der Modultemperatur kommt und dieser unweigerlich mit einem Leistungsverlust verbunden ist.

Grund dafür ist, dass die Leistung eines PV-Moduls im Zuge der Standardtestbedingungen (STC⁷) bei einer Modultemperatur von 25 °C bestimmt wird. Als Richtwert gilt, dass die Modulleistung um 0,5 %/K bei steigender Modultemperatur abnimmt [4].

Infolge des vertikalen Temperaturgefälles von etwa 6,5 K/1.000 m ist die Umgebungstemperatur im alpinen Raum bedeutend niedriger, als in Tallagen. Dadurch ist die Modultemperatur alpiner PV-Anlagen in der Regel niedriger, mit entsprechend positiver Auswirkung auf den Modulwirkungsgrad.

Da für den Standort Pitztaler Gletscher keine meteorologischen Daten vorliegen, werden wiederum die Daten der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) vom Sonnblick Observatorium (3.109 M.ü.A.) aus dem Jahr 2014 herangezogen. In Abbildung 1 sind die Einstrahlungswerte vom Sonnblick Observatorium (3.109 M.ü.A.) aus dem Jahr 2014 in verschiedenen Strahlungsklassen verdeutlicht. Aus den Daten des Sonnblick Observatoriums geht hervor, dass bei einer Einstrahlung von 1.000 W/m² eine durchschnittliche Umgebungstemperatur von -4 °C herrschte. Wie aus der Abbildung weiter hervorgeht, stieg die Durchschnittstemperatur erst bei sehr hohen Einstrahlungswerten von bis zu 1.700 W/m² bis etwa 0 °C an [3].

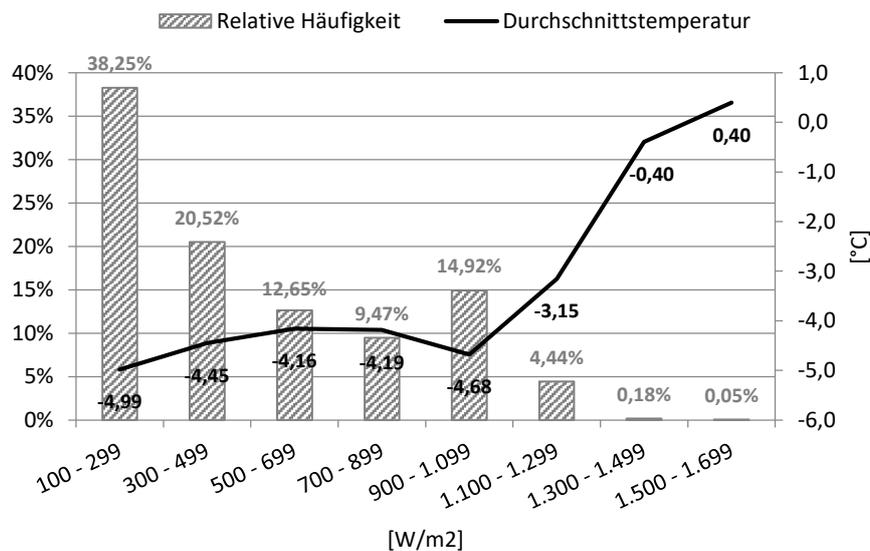


Abbildung 1: Relative Häufigkeit ausgewählter Strahlungsklassen und dazugehörige mittlere Temperatur am Sonnblick im Jahr 2014

(Quelle: Eigene Darstellung nach Olefs, 2014 – 2015)

Die Kombination aus einer intensiveren Solarstrahlung bei gleichzeitig niedrigen Temperaturen führt dazu, dass die Leistung von PV-Anlagen aufgrund niedrigerer Modultemperaturen im alpinen Raum deutlich höhere Werte annehmen kann als unter STC-

⁷ Genormte Umgebung zur Ermittlung der Modulleistung: Einstrahlung 1.000 W/m²; Modultemperatur 25 °C; Airmass 1,5;

Bedingungen. Der alpine Raum birgt somit aufgrund seiner klimatischen Bedingungen ein großes Potential für die Stromerzeugung mit PV.

4 Auswertung der hochalpinen PV-Anlage am Pitztaler Gletscher

Nachfolgend wurden die Erzeugungsdaten der hochalpinen Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher ausgewertet und analysiert, um zu untersuchen wie sich das theoretische Potential des alpinen Raumes auf die Erzeugung einer PV-Anlage auswirkt.

4.1 Technische Daten der Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher

Die Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher hat eine Leistung von insgesamt 1 MW_{p_{el}} und ist seit Ende September 2015 in Betrieb. Die PV-Anlage gehört zum Skigebiet Pitztaler Gletscher und befindet sich am nördlichen Rand des Mittelbergferners auf etwa 3.000 M.ü.A. und ist nach Süden in Richtung Wildspitze (3.768 M.ü.A.) ausgerichtet. Aufgrund der ganzjährigen Schneebedeckung und den Schneehöhen, die in diesen Höhen zu erwarten sind, ist die Anlage speziell für diese klimatischen Verhältnisse konzipiert und auf einem speziellen, etwa vier Meter hohen Fachwerkträgersystem errichtet [2].

Damit die Ergebnisse der Auswertung der PV-Anlage am Pitztaler Gletscher aussagekräftig sind und vor allem richtig interpretiert werden können, wurden diese mit einer zweiten Anlage im Tal in Inzing auf 625 M.ü.A. verglichen.

Für den Vergleich wurde der spezifische Ertrag der nominell installierten Leistung herangezogen, um die unterschiedlich dimensionierten Anlagen miteinander vergleichen zu können. Wie aus den Ergebnissen aus Tabelle 1 hervorgeht, besteht zwischen der Anlage am Pitztaler Gletscher und der Anlage in Inzing ein deutlicher Unterschied. Der durchschnittliche spezifische jährliche Ertrag der PV-Anlage am Pitztaler Gletscher betrug im Untersuchungszeitraum 1.400 kWh/kW_p. Die Anlage in Inzing erzeugte im gleichen Zeitraum 1.120 kWh/kW_p und liegt somit etwas über dem Richtwert für Aufdachanlagen in den Niederungen von 1.000 kWh/kW_p.

Im direkten Vergleich zeigt sich, dass die PV-Anlage am Pitztaler Gletscher im Untersuchungszeitraum mit einem Mehrertrag von 25 % gegenüber der PV-Anlage im Tal deutlich performanter war.

Tabelle 1: Vergleich der Ertragswerte der PV-Anlagen am Pitztaler Gletscher und in Inzing
(Quelle: Eigene Darstellung)

	Pitztaler Gletscher		Inzing		Mehrertrag Pitztaler Gletscher	
	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Untersuchungszeitraum	2016	2017	2016	2017	2016	2017
Spez. Energieertrag [kWh/kW _p /a]	1.366	1.434	1.110	1.130	23 %	26 %
Ø	1.400		1.120		25 %	

4.2 Charakteristische jährliche Erzeugungsstruktur

Neben dem absoluten Jahresertrag der Anlagen ist aber vor allem die charakteristische jährliche Erzeugungsstruktur interessant. Um diese zu untersuchen, wurde ausgehend von der mittleren Erzeugung in den zwei Jahren, des Betrachtungszeitraumes der durchschnittliche tägliche spezifische Ertrag für die einzelnen Monate ermittelt.

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse für beide Anlagen – Freiflächenanlage am Pitztaler Gletscher und Referenzanlage im Tal – im Vergleich dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, sind die durchschnittlichen spezifischen Tageserträge je Monat im Untersuchungszeitraum im Tal annähernd saisonal symmetrisch verteilt mit einem Maximum im Sommer und einem Minimum bei weniger als 20 % der Spitzenleistung im Winter. Die höchsten durchschnittlichen Tageserträge wurden im Juni mit knapp 5 kWh/kW_p/d erreicht und die niedrigsten im Dezember mit 0,8 kWh/kW_p/d. Das bedeutet, im Juni wurde im Schnitt sechs Mal mehr Energie pro Tag erzeugt als im Dezember. Daraus resultierend ist auch das Verhältnis von Winter- (Oktober-März) zu Sommerenergie (April-September) mit 30 % zu 70 % entsprechend unausgewogen.

Die Verteilung der Stromerzeugung der PV-Anlage am Pitztaler Gletscher auf die einzelnen Monate gestaltet sich im direkten Vergleich mit der Anlage im Tal im Untersuchungszeitraum gänzlich anders. Auch hier wurde der durchschnittliche tägliche Ertrag je kW_p für die einzelnen Monate ermittelt. Wie aus dem Diagramm hervorgeht, sind die Durchschnittserträge am Gletscher wesentlich gleichmäßiger über die einzelnen Monate verteilt. Die höchsten durchschnittlichen Ertragswerte am Gletscher wurden im Zeitraum März bis Juni mit knapp über 5 kWh/kW_p/d erreicht und sind nur unwesentlich höher als die der Anlage im Tal.

Bemerkenswert ist der signifikante Unterschied in den Erzeugungsprofilen in den Wintermonaten. Die durchschnittlichen Erträge in den einzelnen Monaten sind am Gletscher wesentlich höher. Besonders deutlich wird dies beim Vergleich der Ertragsminima der beiden Anlagen. Am Gletscher wird im ertragsschwächsten Monat drei Mal so viel produziert wie im Tal.

Durch die wesentlich gleichmäßigere Verteilung der Erträge über das Jahr und vor allem durch die signifikant höhere Wintererzeugung ist der Faktor zwischen dem ertragreichsten und ertragsärmsten Monat mit 2,4 deutlich geringer als im Tal. Daraus resultierend ist auch die Balance zwischen Energieerzeugung im Winter und im Sommer mit 43 % zu 57 % wesentlich ausgewogener.

Im direkten Vergleich wird deutlich, dass die PV-Anlage am Pitztaler Gletscher den Mehrertrag gegenüber der Anlage im Tal insbesondere in den Wintermonaten erwirtschaftete. Zudem zeigt die Abbildung sehr gut, dass die günstigen Bedingungen im alpinen Raum nicht nur zu höheren Erträgen als im Tal führen, sondern durch die Höhenlage eine gänzlich neue Erzeugungscharakteristik entsteht.

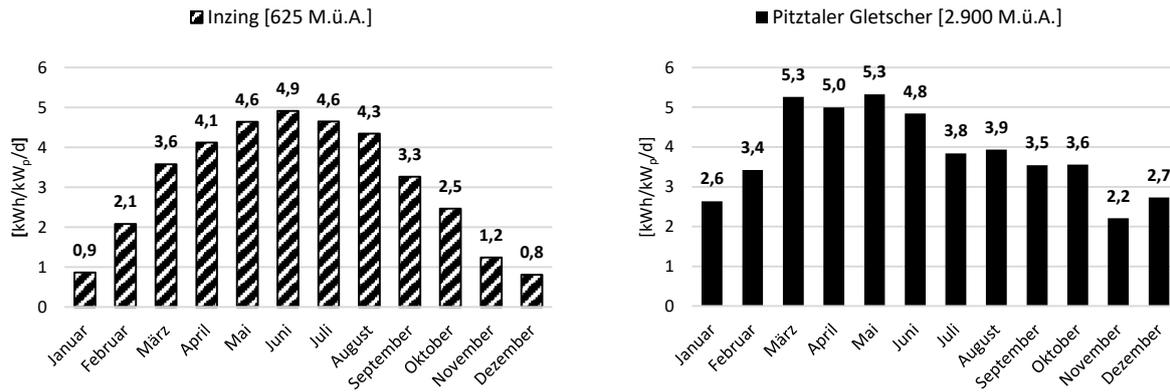


Abbildung 2: Mittlere spezifische Erträge pro Trag und Monat in Inzing und am Pitztaler Gletscher (Durchschnittswerte der beiden Jahre 2016 und 2017) (Quelle: Eigene Darstellung)

4.3 Zeitliche Korrelation der Energieerzeugung

Aufbauend auf diesen Erkenntnissen lag der Fokus der weiteren Analyse nun auf der Korrelation zwischen den Erzeugungswerten in Inzing und am Pitztaler Gletscher um zu überprüfen, ob die Erträge der beiden Anlagen zeitlich korreliert sind.

Die Darstellung der Daten in einem xy-Diagramm ließ tendenziell eine Korrelation der Datenpunkte erkennen und somit ein Zusammenhang zwischen Pitztaler Gletscher und Inzing, siehe Abbildung 3. Beide Anlagen liegen in so großer geographischer Nähe, dass sie den gleichen Wetterlagen ausgesetzt sind. Dies sollte sich in einer zeitlichen Korrelation der Erzeugungsdaten ausdrücken. Insgesamt waren die Daten aber stärker gestreut als man vermuten würde.

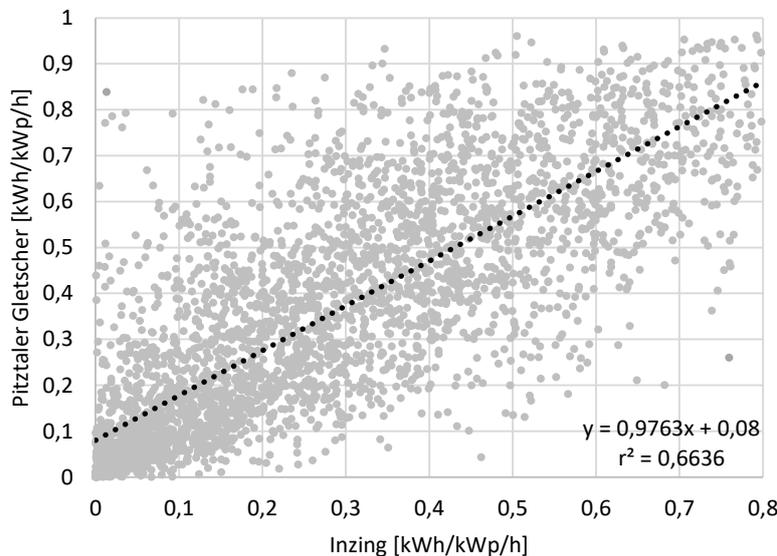


Abbildung 3: Stündliche spezifische Ertragswerte am Pitztaler Gletscher und in Inzing (Durchschnittswerte der beiden Jahre 2016 und 2017) (Quelle: Eigene Darstellung)

In einem ersten Schritt konnten einige Anomalien lokalisiert werden, welche ihre Ursache in Verschattungen hatten. Nachdem die Datenpunkte von Zeitintervallen mit Verschattung entfernt wurden, änderte sich das Ergebnis nur marginal. Sie hat also nur geringen Einfluss.

Einen größeren Einfluss sollten aber die Jahreszeiten haben. Aus diesem Grund wurde als nächstes das Winterhalbjahr und das Sommerhalbjahr separat betrachtet. Wie aus Abbildung 4 hervorgeht, sind die Werte im Winterhalbjahr sehr stark gestreut. Auffallend sind die vielen Werte im linken oberen Bereich des Diagramms (siehe Markierung). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass es im Winterhalbjahr bedeutende Zeiträume gab, an denen die Anlage am Pitztaler Gletscher deutlich mehr produzierte als die Anlage im Tal. Eine mögliche Erklärung ist die signifikant höhere Anzahl an Sonnenstunden im alpinen Raum und der Albedoeffekt der Schneedecke über die Wintermonate.

Im Gegensatz dazu lässt sich erkennen, dass die Streuung der Werte im Sommerhalbjahr deutlich geringer ist als im Winterhalbjahr. Dieser Zusammenhang verdeutlicht nochmals sehr gut, dass der Mehrertrag der Anlage am Pitztaler Gletscher vor allem über die Wintermonate erzielt wurde.

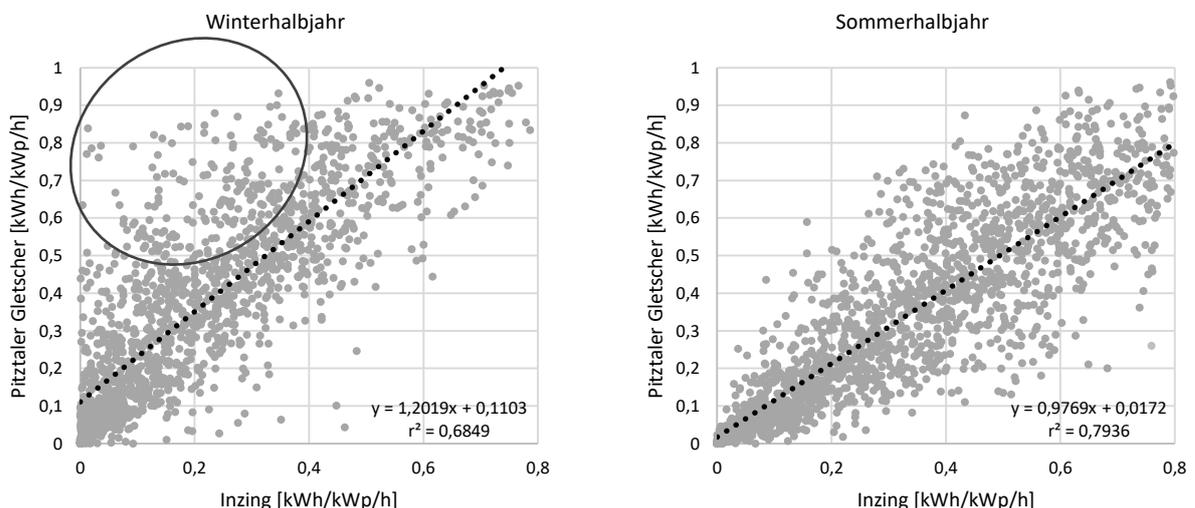


Abbildung 4: Stündliche spezifische Ertragswerte des Winter- und Sommerhalbjahres
(Durchschnittswerte der beiden Jahre 2016 und 2017)
(Quelle: Eigene Darstellung)

5 Ergebnisse und Weiterführender Handlungsbedarf

Wie die Analyse der Zeitreihen zeigte, lassen sich aus den vorhandenen Daten zwei Aussagen ableiten: einerseits ein signifikanter Mehrertrag der PV-Anlage am Pitztaler Gletscher gegenüber der Anlage in Inzing und andererseits, dass dieser Mehrertrag vor allem über die Wintermonate erzielt wurde.

Eine lineare Beziehung zwischen der Erzeugung beider Anlagen, die durch die zeitliche lineare Korrelation nachweisbar wäre, lässt sich anhand der vorliegenden Daten nicht festmachen.

Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Umgebungstemperatur, das örtliche Wettergeschehen und der Albedoeffekt einen deutlichen Einfluss auf die Erzeugung ausüben.

Weiterführend bedarf es dennoch weitergehender Untersuchungen mit meteorologischen Daten an den beiden Standorten, um den Einfluss der lokalen Höhenlage auf den Ertrag der alpinen PV-Anlage genauer identifizieren und bewerten zu können. Der wesentlichste Parameter in diesem Zusammenhang ist die Globalstrahlung, da sich anhand dieser Rückschlüsse auf den Bewölkungsgrad ziehen lassen und in weiterer Folge auf die vorherrschende Wetterlage in jeder Stunde. In Kombination mit weiteren Messwerten, wie der Niederschlagshöhe können weitere Extremwerte erklärt werden: zum Beispiel jene Zeitpunkte mit einer hohen Einstrahlung und gleichzeitig niedrigen Erträgen, die auf eine Schneebedeckung der Module hindeuten.

Überdies ist vor allem die Temperatur ein weiterer essentieller Parameter. Hierbei müssen allerdings zwei verschiedene Temperaturen unterschieden werden: einerseits die Modultemperatur, die maßgeblich für die Leistungsfähigkeit einer PV-Anlage ist und andererseits die Außentemperatur, welche zusammen mit der Windgeschwindigkeit und der Globalstrahlung zu den Haupteinflussfaktoren der Modultemperatur zählt.

In weiterer Folge kann durch diese zusätzlichen Parameter der Mehrertrag am Pitztaler Gletscher feiner aufgeschlüsselt werden um herauszufinden, ob der Mehrertrag in erster Linie durch die höhere Strahlungsintensität und höhere Anzahl an Sonnenstunden im alpinen Raum bedingt ist oder ob dieser vordergründig das Resultat der tieferen Umgebungstemperaturen und damit einhergehenden niedrigeren Modultemperaturen ist.

6 Skigebiete als prädestiniertes Anwendungsgebiet

Ungeachtet dessen zeigen die Ergebnisse der Analyse aber, dass Skigebiete optimal für die Errichtung von PV-Anlagen im alpinen Raum sind. In diesem Zusammenhang sind zwei positive Aspekte zu nennen.

Einerseits ergänzen sich der zeitliche Verlauf des Strombedarfs eines Skigebietes und die Erzeugungsstruktur alpiner PV-Anlagen im Tagesverlauf auf ideale Weise. So deckt sich einerseits die tägliche Betriebszeit des Skigebiets mit der täglichen Produktionszeit der PV-Anlagen, da beide tageslichtabhängig sind. Andererseits ist die Frequentierung von Skigebieten, ähnlich wie die Stromerzeugung aus PV, stark wetterabhängig – Schönwetter führt zu einer hohen Auslastung durch viele Besucher und gleichzeitig zu hohen Erträgen der PV-Anlagen.

Der zweite Aspekt ist die über das Jahr sehr gleichmäßige Erzeugung alpiner PV-Anlagen. Viele Skigebiete haben bereits heute einen ausgedehnten Sommerbetrieb und demzufolge einen über das Jahr konstant hohen Energiebedarf. Zudem passen die vergleichsweise höheren Erträge alpiner PV-Anlagen im Winter besser zum saisonalen Verlauf der Stromnachfrage.

In diesem Zusammenhang ist es wichtig, die Aspekte des Bedarfs an elektrischer Energie, wie die Lage der großen Verbraucher (z.B. Liftanlagen) und der potentiellen PV-Flächen, sowie die örtliche Netztopologie zu berücksichtigen. Dadurch wird es möglich, die tägliche und über das Jahr sehr gleichmäßige Erzeugung alpiner PV-Anlagen direkt im Skigebiet lokal zu verbrauchen.

Alpine PV-Anlagen sind somit bestens geeignet, das ganze Jahr über einen wesentlichen Beitrag zur Deckung des hohen Energiebedarfs im Alpintourismus zu leisten.

Derzeit gibt es erst wenige Skigebiete, welche mit alpiner PV einen Teil des Energiebedarfs decken. Weitere Projekte alpiner PV der FH Kufstein und Betreibern von Skigebieten sind in Vorbereitung, um dieses Anwendungsgebiet zu forcieren. Es zeichnet sich nach ersten Sondierungsgesprächen ab, dass die Liftgesellschaften vor allem auf eine optisch unauffällige Integration von PV-Anlagen in die Skigebiete Wert legen. Der Grund liegt in der Erwartungshaltung, mit der Touristen in ein Skigebiet kommen und diese ist mit deutlich sichtbaren PV-Flächen nicht leicht vereinbar. Vielversprechende Ansätze bietet die Gebäudeintegrierte PV (BIPV), mit welcher sich mittlerweile eine Vielzahl an Formen und Oberflächen realisieren lassen.

Abschließend lässt sich festhalten, dass das Potential der alpinen PV in Skigebieten, mit allein 200 Skigebieten in Österreich [5], nicht zu vernachlässigen ist, und damit ein wesentlicher Beitrag zu den Klima- und Energiestrategien geleistet werden kann.

Literatur

- [1] BMNT. 2018. Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus. #mission2030 - Die Klima- und Energiestrategie der Österreichischen Bundesregierung
- [2] Jamschek, Florian. 2016. ehoch2 energy engineering – PV, Heat, Charge, Storage. Europas höchstgelegenes Photovoltaikkraftwerk auf ca. 3.000 m am Pitzaler Gletscher.
- [3] Olefs, Marc. 2014 - 2015. PANGAEA. Data Publisher for Earth & Environmental Science. Basic measurements of radiation at station Sonnblick.
- [4] Mertens, Konrad. 2011. Photovoltaik – Lehrbuch zu Grundlagen, Technologie und Praxis. Steinfurt: Carl Hanser Verlag. 3. Auflage
- [5] Mountain News GmbH. 2018. Skiinfo. Österreich Karte; Schweiz Karte. [Online] 2018. [Zitat vom: 20. 05 2018.] <https://at.skiinfo.com/skigebiet.html>.