

## Der Winter – die Sonnenseite für die alpine Solarstromproduktion

### PV-Versuchsanlage Davos-Totalp liefert hohe Jahreserträge und viel Winterstrom

Gemäss Energiestrategie 2050 soll Photovoltaik eine wichtige Rolle in der Energieversorgung einnehmen. Allerdings produziert die Schweiz bereits heute im Sommer mehr Strom als im Winter, während im Winter mehr Strom benötigt wird. Diese Diskrepanz wird sich durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen einerseits und den Zubau von Photovoltaik im Mittelland andererseits verstärken. Abhilfe könnten Anlagen im alpinen Raum schaffen. Die Messdaten unserer Versuchsanlage in Davos zeigen enormes Produktionspotenzial. So konnten gegenüber einer üblichen Mittellandanlage bis zu doppelt so hohe Erträge gemessen werden. Die Hälfte davon fällt auf das Winterhalbjahr.



**Dionis Anderegg**  
Wissenschaftlicher Assistent  
Erneuerbare Energien



**Jürg Rohrer**  
Dozent Erneuerbare Energien

#### Hohe Einstrahlung und wenig Nebel

Während im Mittelland während der Wintermonate Nebeltage die Produktion reduzieren, zeigt sich die Sonne im alpinen Raum häufiger. Zusätzlich steigen die Einstrahlung und damit das Produktionspotenzial mit der Höhe über Meer grundsätzlich an. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aufgrund der tieferen Umgebungstemperaturen, welche die Modultemperaturen senken und damit die Effizienz erhöhen. Ein zentraler Faktor ist ausserdem die Schneebedeckung in der Umgebung. Sie führt zu einer höheren Einstrahlung auf die PV-Module, da zusätzliches Sonnenlicht von der Umgebung reflektiert wird.

#### Die Davoser Versuchsanlage

Die Versuchsanlage wird zusammen mit den Elektrizitätswerken des Kantons Zürich (EKZ) und dem Institut für Schnee und Lawinenforschung (SLF) betrieben und befindet sich im Skigebiet Davos-Paradise. Auf einer Höhe von 2500m ü.M. ist die Anlage optimal gegen Süden ausgerichtet. Sechs Anlagensegmente sind mit unterschiedlichen PV-Modulen belegt. So kommen sowohl Module mit Rahmen als

auch rahmenlose Module zum Einsatz. Andererseits werden die Mehrerträge durch beidseitig aktive (bifaziale) Module gegenüber konventionellen, einseitig aktiven (monofazialen) Modulen ermittelt.

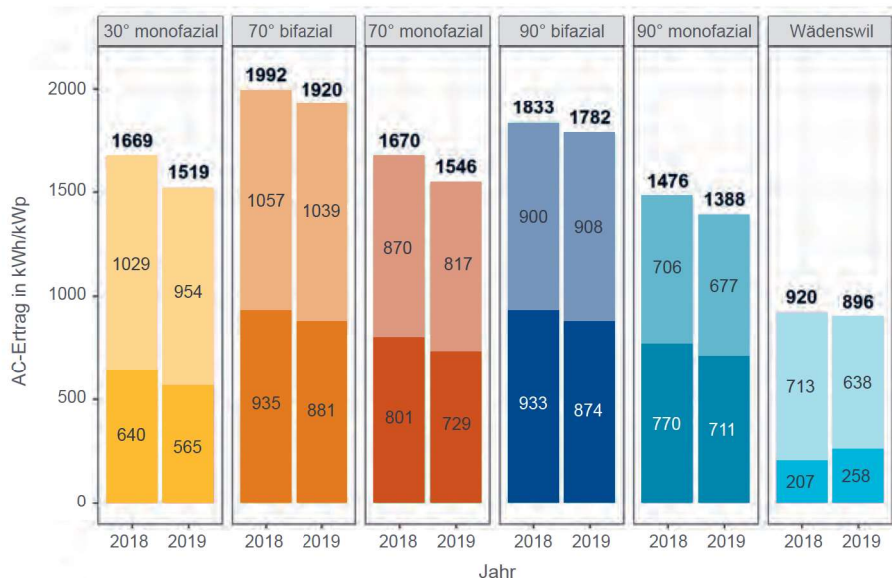
Anhand der Testanlage wird bestimmt, welche Mehrerträge durch die alpine Lage erwartet werden können, wie sich die Erträge auf den Jahresverlauf verteilen und welche Aspekte den wertvollen Winterstromertrag beeinflussen. Dazu werden insbesondere verschiedene Anstellwinkel und Modultypen auf deren Gesamt- und Winterstromproduktion untersucht.

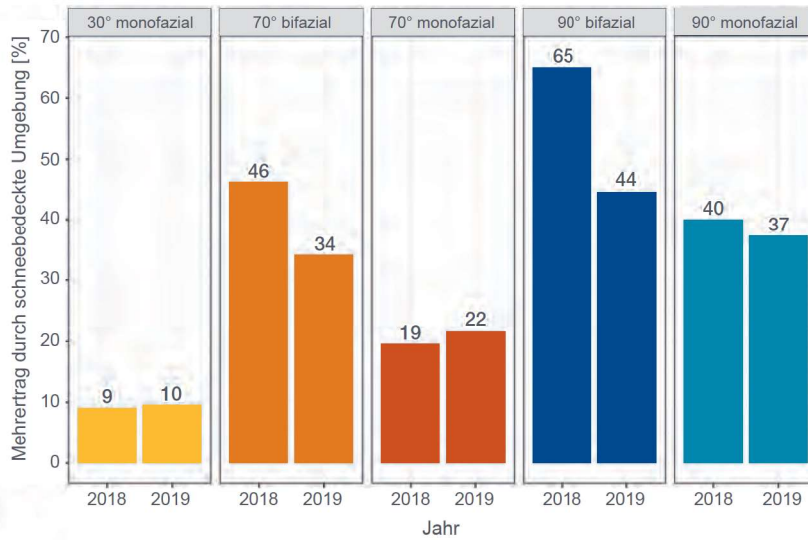
#### Messergebnisse der vergangenen zwei Jahre

Die Testanlage in Davos produzierte im Jahresvergleich zu einer Anlage im Mittelland eineinhalb bis doppelt so viel Strom. Im Winterhalbjahr wurden in Davos rund 3.5 Mal höhere Stromerträge gemessen. Oder anders ausgedrückt: Mit einer alpinen Anlage können im Winterhalbjahr ähnlich hohe Erträge erzielt werden wie mit einer Mittellandanlage während eines ganzen Jahres.

Energieertrag (AC) der verschiedenen Anstellwinkel und Technologien in den vergangenen zwei Jahren. Sommerhalbjahr = hell, Winterhalbjahr = dunkel.

Grafik: Dionis Anderegg





Mehrertrag durch schneebedeckte Umgebung im Frühling gegenüber weitestgehend schneefreiem Herbst. Aufgeteilt nach Anlagensegment und Jahr.

Grafik: Dionis Andereg

Für die steil aufgeständerten Segmente zeigten die Messungen im Allgemeinen eine gleichmässige Ertragsverteilung auf das Winter- und das Sommerhalbjahr. Die Produktionsdaten der einzelnen Segmente für die Jahre 2018 und 2019 sowie eine Unterteilung der Erträge in Sommer- und Winterhalbjahr sind in der Abbildung S. 16 dargestellt. Besonders auffällig ist, dass im alpinen Raum auch mit vertikaler Aufständigung (90° Modulneigung) wesentlich mehr Strom produziert werden kann als im Mittelland. Ausserdem führt eine Erhöhung des Winterstromanteils durch höhere Neigungswinkel nicht zwangsläufig zu einer Minderung des Jahresertrages.

### Der Schnee als wichtiger Faktor

In alpinen Regionen hat Schnee einen überdurchschnittlich grossen Einfluss auf die Erträge von PV-Anlagen. Die Schneebedeckung der Umgebung führt zu Mehrerträgen durch die Reflexion der Einstrahlung. Demgegenüber führt die Schneebedeckung von PV-Modulen zu Ertragseinbussen infolge der Verschattung.

Während der Jahre 2018 und 2019 führte die Schneebedeckung von Modulen zu Ertragsverlusten zwischen 50 und 193 kWh/kWp. Dies entspricht einem Anteil von 3 bis 15% an den gemessenen Erträgen. Je stärker die Neigung der Module, desto kleiner sind die Verluste, da der Schnee schneller abrutscht. Der Mehrertrag durch Reflexion an der schneebedeckten Umgebung hängt ebenfalls stark vom Neigungswinkel und zusätzlich von der Modultechnologie ab. Steile Neigungswinkel und bifaziale Module vergrössern den Mehrertrag. Während zwei 30-tägigen Zeiträumen mit identischer Sonnenbahn (15 Tage vor und nach der Tagundnachtgleiche am 20. März und 23. September) wurde der prozentuale Mehrertrag durch Reflexion an der Schneeoberfläche berechnet. Im Frühling war die Umgebung von Schnee

bedeckt, im Herbst war sie weitestgehend schneefrei. Die Resultate dieser Auswertung sind in der Abbildung oben dargestellt. Die Mehrerträge betragen bei 90° Modulneigung je nach Anstellwinkel und Technologie (mono- und bifacial) zwischen 44 und 65%.

### Fazit

Die bisherigen Messungen und Auswertungen zeigen ein grosses Potenzial für die Stromerzeugung mittels Photovoltaik in den Alpen. Das Potenzial ist insbesondere wegen der hohen Stromproduktion im Winter von enormer Wichtigkeit. Der Einfluss der Schneedecke ist entscheidend. Es hat sich bestätigt, dass die Mehrerträge durch an der Schneedecke reflektierte Einstrahlung bei hohem Anstellwinkel (70° bis 90°) überwiegen, weil dann die Verluste durch Schneebedeckung geringfügig sind. Basierend auf den bisherigen Ergebnissen sind für alpine Anlagen bifaziale Module mit 70° bis 90° Modulneigung zu priorisieren. Neben dem höchsten Jahresertrag zeigen sie das grösste Potenzial zur Winterstromproduktion.

dionis.andereg@zhaw.ch  
juerg.rohrer@zhaw.ch

PV-Versuchsanlage Davos-Totalp. Segmente v.l.n.r.: 30° monofacial, (neu) 30° monofacial, 70° monofacial, 70° bifacial, 90° bifacial, 90° monofacial.

Bild: Forschungsgruppe Erneuerbare Energien

