



Bern, 23. Juni 2021

Stromerzeugung im Winter dank Fotovoltaik

Bericht des Bundesrates
in Erfüllung des Postulates 19.4157, Reynard,
vom 25. September 2019



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Das Postulat 19.4157	3
1.2	Ausgangslage und Zielsetzung	3
1.3	Übersicht des Berichts	4
2	Hauptteil	5
2.1	Beitrag der Photovoltaik zur Schweizer Winterstromproduktion	5
2.2	Anreize für eine erhöhte Winterstromproduktion	9
2.3	Photovoltaik ausserhalb des Gebäudeparks im Flachland	13
3	Fazit	14

1 Einleitung

1.1 Das Postulat 19.4157

1.1.1 Inhalt des Postulats

Nationalrat Mathias Reynard reichte das Postulat 19.4157 mit dem Titel «Stromerzeugung im Winter dank Fotovoltaik» am 25. September 2019 im Nationalrat ein.

Der Inhalt des Postulats lautet wie folgt:

Eingereichter Text

«Der Bundesrat wird beauftragt, dem Parlament einen Bericht vorzulegen, in dem er erläutert, welche Rolle Fotovoltaik in Zukunft für die Schweizer Stromversorgung im Winter spielen könnte.»

Begründung

«In den nächsten dreissig Jahren wird die Fotovoltaik die erneuerbare Technologie mit dem grössten Potenzial für Anlagen in der Schweiz bilden. Sie wird neben der Wasserkraft der wichtigste Pfeiler der Stromversorgung in unserem Land werden. In diesem Schweizer Stromsystem, das hauptsächlich auf der Wasserkraft und der Fotovoltaik basieren wird, besteht das Risiko, dass die im Sommersemester bereits vorhandenen Produktions- und Exportüberschüsse und der Stromimportbedarf im Winter noch zusätzlich steigen werden. Der Bericht des Bundesrates hat zum Ziel, die zukünftige Rolle von Fotovoltaik in der Stromversorgung der Schweiz zu bestimmen. Er sollte insbesondere die Strommenge aufzeigen, die von Fotovoltaikanlagen im Winter produziert werden könnte, und wie man diese Menge gegebenenfalls mit gezielten Förderungsmassnahmen erhöhen könnte, um den Anstieg der Stromimporte in den Wintermonaten zu begrenzen.»

1.1.2 Antrag des Bundesrats

Der Bundesrat beantragte am 27. November 2019 die Annahme des Postulats. Der Bundesrat anerkennt die Notwendigkeit einer solchen Analyse, insbesondere angesichts der Rolle, die die Photovoltaik für die zukünftige Elektrizitätsversorgung der Schweiz spielen wird. In seiner Stellungnahme hat der Bundesrat hingewiesen, dass er darin auch prüfen würde, inwieweit die in der Begründung angesprochenen zielgerichteten Anreize der einheimischen Winterstromproduktion zur Begrenzung der steigenden Menge an Winter-Importstrom mit den internationalen Verpflichtungen des Bundes vereinbar sind.

1.1.3 Behandlung im Rat

Der Nationalrat hat das Postulat am 20. Dezember 2019 angenommen.

1.1.4 Verwandte Geschäfte

Am 16. Dezember 2020 hat Nationalrat Rocco Cattaneo das Postulat 20.4561 «Wasserkraftwerke und Stauseen für die Fotovoltaik-Produktion nutzen» eingereicht. Mit dem Postulat wird der Bundesrat beauftragt, auf nationaler Ebene eine Untersuchung über das Potenzial, das mit der Nutzung der Oberflächen von Wasserkraftwerken und Stauseen für die Produktion von Sonnenstrom verbunden ist, durchzuführen. Der Bundesrat hat die Annahme des Postulates beantragt. Das Geschäft wurde im Nationalrat am 19.03.2021 angenommen.

1.2 Ausgangslage und Zielsetzung

Mit der Energiestrategie 2050 und dem Inkrafttreten des totalrevidierten Energiegesetzes am 1. Januar 2018 hat die Schweiz den Weg zu einer nachhaltigen Elektrizitätsversorgung mit erneuerbaren Energien eingeschlagen. Daran anknüpfend hat der Bundesrat am 18.06.2021 die Botschaft zum Mantelerlass «Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien» vorgelegt. Mit dem Mantelerlass soll vor dem Hintergrund der Erreichung des Ziels von Netto-Null Emissionen bis zum Jahr 2050 und der damit verbundenen raschen Elektrifizierung des Verkehrs und der Dekarbonisierung des Wärmesektors, der Zubau der Erneuerbaren verstärkt werden und der

Umbau des Stromsystems für die effektive Integration eines hohen Anteils dezentraler Produktionstechnologien vorangetrieben werden¹. Wie sich die Energieversorgung einer klimaneutralen Schweiz im Jahr 2050 gestalten könnte, hat das Bundesamt für Energie (BFE) in den «Energieperspektiven 2050+» vom November 2020 aufgezeigt². Die untersuchten Szenarien unterscheiden sich in mehreren Punkten, allerdings zeigen sie gleichermassen auf, dass die Schweiz ihre Elektrizität in Zukunft zu grossen Teilen aus Wasserkraft und Photovoltaik (PV) erzeugen wird. Witterungsbedingt liefern diese beiden Technologien jedoch nur gut einen Viertel (Photovoltaik) bzw. etwa einen Drittel (Laufwasserkraft) ihrer Elektrizität im Winterhalbjahr (d.h. in den Monaten Oktober bis März)³. Im Fall der Wasserkraft kommen noch die Speicherkraftwerke hinzu, die durch Saisonumlagerung ihrer Produktion etwa die Hälfte der Elektrizität im Winter erzeugen können, so dass die Schweizer Wasserkraft insgesamt einen Winterproduktionsanteil von über 40 Prozent aufweist.

Da die Schweizer Kernkraftwerke – abgesehen von den Revisionen im Sommerhalbjahr – eine über das Jahr fast ausgeglichene Elektrizitätsproduktion zeigen und der winterliche Stromverbrauch der Schweiz den des Sommers übertrifft, weist der Stromhandel der Schweiz bereits seit dem Winter 2003/2004 im Saldo einen Einfuhrüberschuss im Winterhalbjahr auf. Dieser betrug bis 2018/2019 im Mittel ca. 4 TWh pro Winterhalbjahr. Durch den Wegfall der Elektrizitätsproduktion der Schweizer Kernkraftwerke in den nächsten Jahrzehnten ist davon auszugehen, dass der Import im Winterhalbjahr zunehmen wird. Um während des Transformationsprozesses bis zur Erreichung der Ziele der Energiestrategie 2050 und darüber hinaus eine hohe Versorgungssicherheit der Schweiz gewährleisten zu können, müssen gesetzliche Rahmenbedingungen weiterentwickelt und spezifisch für die Wintermonate notwendige Massnahmen vorgesehen werden. Dazu hat der Bundesrat im Mantelerlass Massnahmen vorgesehen, die die Versorgungssicherheit im Winter erhöhen sollen. Namentlich sind das der Ausbau der von Produktionsanlagen, insbesondere der Speicherwasserkraft bis 2040 um eine Elektrizitätsproduktion von 2 TWh im Winter sowie die Einführung einer Energiereserve, bei der eine gewisse Energiemenge in den Speicherseen für kritische Versorgungssituationen am Ende des Winters zurückgehalten werden kann.

Bedeutend für die Versorgungssicherheit ist aber insbesondere auch der rasche Ausbau der erneuerbaren Energien. Im Mantelerlass hat der Bundesrat dafür die Einführung von Auktionen für die Vergabe von Einmalvergütungen vorgesehen, womit im Speziellen der Zubau von PV-Anlagen ohne Eigenverbrauch beschleunigt werden soll. Dabei kann allenfalls neben dem Preis als Hauptzuschlagskriterium auch die Stromproduktion im Winter vom Bundesrat als ein zusätzliches Zuschlagskriterium bei den Auktionen eingeführt werden. Das kann dazu dienen, spezifisch solche PV-Anlagen zu fördern, die pro installierte Leistung besonders viel Elektrizität im Winterhalbjahr erzeugen. Das Postulat 19.4157 zielt darauf ab zu untersuchen, welche Anlagen aus technischer Sicht besonders geeignet sind, Winterstrom zu erzeugen und wie der Bau solcher Anlagen angeregt werden könnte.

1.3 Übersicht des Berichts

Der Hauptteil des vorliegenden Berichts gliedert sich in drei Teile. Zunächst wird gezeigt, wie sich durch eine spezifische Wahl der zur Verfügung stehenden Flächen an und auf Gebäuden die Winterproduktion der Photovoltaik steigern liesse. Im zweiten Teil wird erläutert, mit welchen ökonomischen Anreizen sich diese Steigerung allenfalls herbeiführen liesse. Der dritte Teil behandelt die Möglichkeiten der Installation von PV-Anlagen in alpinen Lagen, insbesondere auf Infrastrukturanlagen wie Staumauern im Hinblick auf die dadurch erreichbare Winterstromproduktion.

¹ Bundesrat verabschiedet Botschaft zum Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien ([admin.ch](#))

² Kurzbericht Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, BFE, November 2020, [Energieperspektiven 2050+ \(admin.ch\)](#)

³ [Schweizerische Elektrizitätsstatistik 2019](#), BFE

2 Hauptteil

2.1 Beitrag der Photovoltaik zur Schweizer Winterstromproduktion

2019 hat das BFE die Studie «Winterstrom Schweiz: Was kann die heimische Photovoltaik beitragen?»⁴ erstellen lassen. In der Studie wurde untersucht, wie durch eine gezielte Platzierung von PV-Anlagen auf bestimmten Gebäudeflächen deren Winterstromproduktion gesteigert werden kann. Die wichtigsten Ergebnisse der Studie werden nachfolgend zusammengefasst.

2.1.1 Vorgehen

Grundlage für die Studie waren Daten sämtlicher Schweizer Dach- und Fassadenflächen gemäss den Solarkatastern von sonnendach.ch und sonnenfassade.ch⁵. In Ergänzung wurde ein Modell entwickelt, das Produktionsverluste aufgrund von Schneebedeckung errechnet. Die Solarkataster weisen für die Gebäude der Schweiz (ohne die Berücksichtigung von Schneebedeckung) einen jährlichen Energieertrag von 50 TWh und 17 TWh für die am besten geeigneten Dach- und Fassadenflächen aus. Abbildung 1 zeigt, wie sich das Potenzial auf die verschiedenen Kategorien von Gebäudeflächen verteilt.

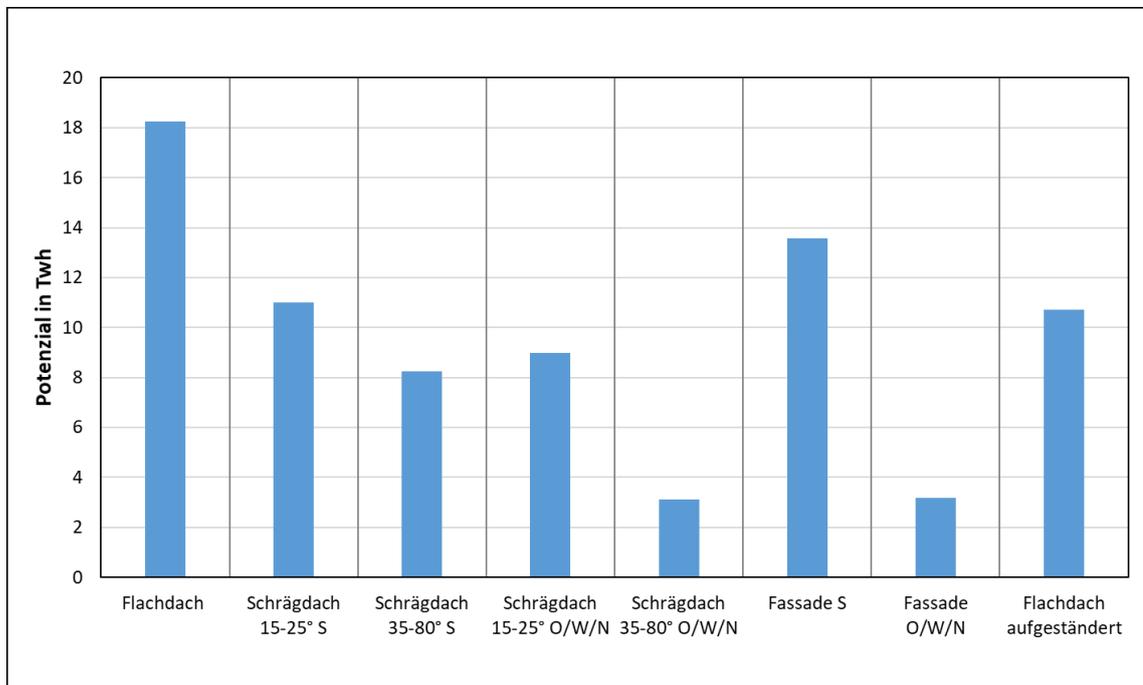


Abbildung 1: **Potenzial der Schweizer Dächer und Fassaden** kategorisiert nach Neigung und Ausrichtung («N» bedeutet «Nord» usw.). Die Kategorie «Flachdach» erscheint doppelt: im ersten Fall wird angenommen, dass die Module flach verbaut werden und im zweiten werden sie mit 25° Neigung aufgeständert. Es ist zu beachten, dass die beiden Potenzialwerte der Kategorien «Flachdach» somit nicht addiert werden sollten. Das Potenzial von «Flachdach aufgeständert» ist etwa 40 % geringer als «Flachdach», da im Fall von aufgeständerten Modulen aufgrund der Verschattung auf einem Flachdach weniger Module als bei einer flachen Installation platziert werden können. Das gesamte Potenzial von 67 TWh würde sich durch die Aufständering folglich um etwa 7 TWh reduzieren.

⁴ «Studie Winterstrom Schweiz Was kann die heimische Photovoltaik beitragen?» Schlussbericht, 25. Januar 2021, Basler & Hofmann AG, EnergieSchweiz, <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9825>

⁵ [Solarenergie: Eignung Hausdach \(admin.ch\)](#) [Solarenergie: Eignung Fassade \(admin.ch\)](#), BFE

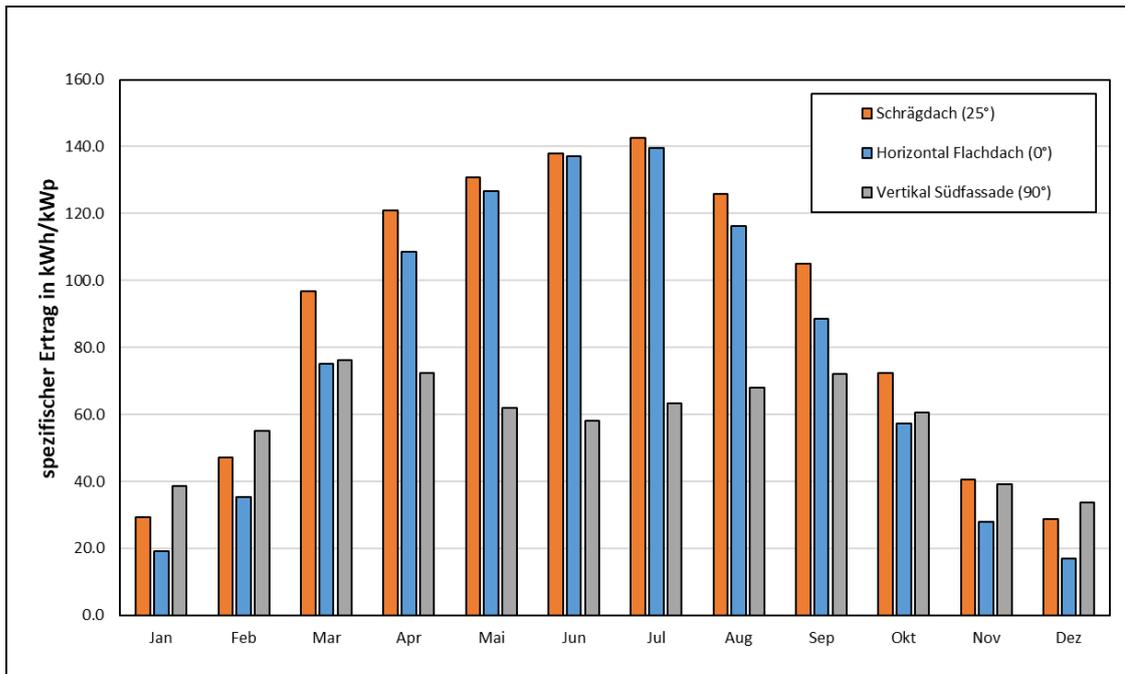


Abbildung 2 Monatliche Ertragsdaten unterschiedlicher Anlagenarten. Zugrunde gelegt wurde ein Einstrahlungswert, der dem schweizerischen Mittelwert der Jahre 2004-2018 entspricht.

In Abbildung 2 Monatliche Ertragsdaten unterschiedlicher Anlagenarten. Zugrunde gelegt wurde ein Einstrahlungswert, der dem schweizerischen Mittelwert der Jahre 2004-2018 entspricht. wird für drei typische Anlagen aufgezeigt, wie sich die Installationsart auf die monatliche Produktion pro installierte Leistung auswirkt. Die drei Anlagen unterscheiden sich durch ihre Neigung gegenüber der Horizontalen gen Süden: Horizontal auf einem Flachdach, mit 25° geneigt (Schrägdach oder aufgeständert auf einem Flachdach) und senkrecht an einer Südfassade. Es lässt sich beobachten, dass die Erträge übers Jahr bzw. im Winterhalbjahr auf dem Schrägdach mit 1078 kWh/kWp bzw. 315 kWh/kWp am höchsten liegen. Die Flachdachanlage produziert pro Jahr etwa 12% weniger und im Winter 26% weniger als die Schrägdachanlage. Im Fall der Installation an einer Fassade reduziert sich der Jahresertrag um über ein Drittel, während der Winterertrag sich lediglich um 4% verringert.

Installationsart	Schrägdach (25°)	Horizontal Flachdach (0°)	Vertikal Südfassade (90°)
Jahresertrag (kWh/kWp)	1078	949 (-12%)	699 (-35%)
Ertrag Sommerhalbjahr (kWh/kWp)	763	717 (-6%)	395 (-48%)
Ertrag Winterhalbjahr (kWh/kWp)	315	232 (-26%)	303 (-4%)

Tabelle 1 Jahres-, Sommer- und Winterertragsdaten unterschiedlicher Anlagenarten. Die Prozentangaben in Klammern zeigen jeweils den Unterschied zur Referenz «Schrägdach».

Für die Studie wurde angenommen, dass 30 TWh des Gesamtpotenzials von 67 TWh für die Installation von PV-Anlagen ausgeschöpft werden⁶. Für drei Hauptszenarien wurde je eine unterschiedliche Ausnutzung der verschiedenen Gebäudeflächen gemäss Abbildung 1 für die Produktion von jährlich 30 TWh gewählt:

- **Szenario 1: Zubau wie bisher (ZWB)**

Wie gross ist die Winterstromproduktion von PV-Anlagen, wenn der heutige PV-Anlagenpark auf eine Produktion von 30 TWh pro Jahr skaliert wird?

Dafür wird der Grossteil der PV-Anlagen auf moderat geneigten Schrägdächern sowie auf Flachdächern installiert. Wenig aufgeständerte PV-Anlagen auf Flachdächern machen knapp

⁶ Dies entspricht ungefähr der gesamten jährlichen Photovoltaikproduktion von 33.6 TWh bis 2050 gemäss «Energieperspektiven 2050+».

20% aller Anlagen aus, und stark geneigte Schrägdächer gute 20%. Fassadenanlagen sind keine vorhanden.

- **Szenario 2: Maximales Winterstrompotenzial (MWP)**

Wie gross könnte die Winterstromproduktion von PV-Anlagen hypothetisch sein, wenn nur die Flächen mit dem höchsten Winterstromertrag betrachtet werden und 30 TWh zugebaut werden? Etwas mehr als die Hälfte des Energieertrags stammt von Fassadenanlagen, der Rest von moderat und stark geneigten Dachflächen. Flachdächer werden gar nicht belegt.

- **Szenario 3: Anreize Winterstrom (AWS)**

Wie gross könnte die Winterstromproduktion von PV-Anlagen sein, wenn realistische Anreize für PV-Anlagen mit einem höheren Winterstromanteil geschaffen werden?

Im Gegensatz zum Szenario ZWB werden hier die Anlagen auf Flachdächern aufgeständert. Steile Schrägdächer werden ca. 30% häufiger verwendet als bei ZWB und Fassadenanlagen machen rund 15% des gesamten Energieertrags aus.

Die Ausnutzung der Potenziale pro Kategorie für die Szenarien wird in Abbildung 3 gezeigt.

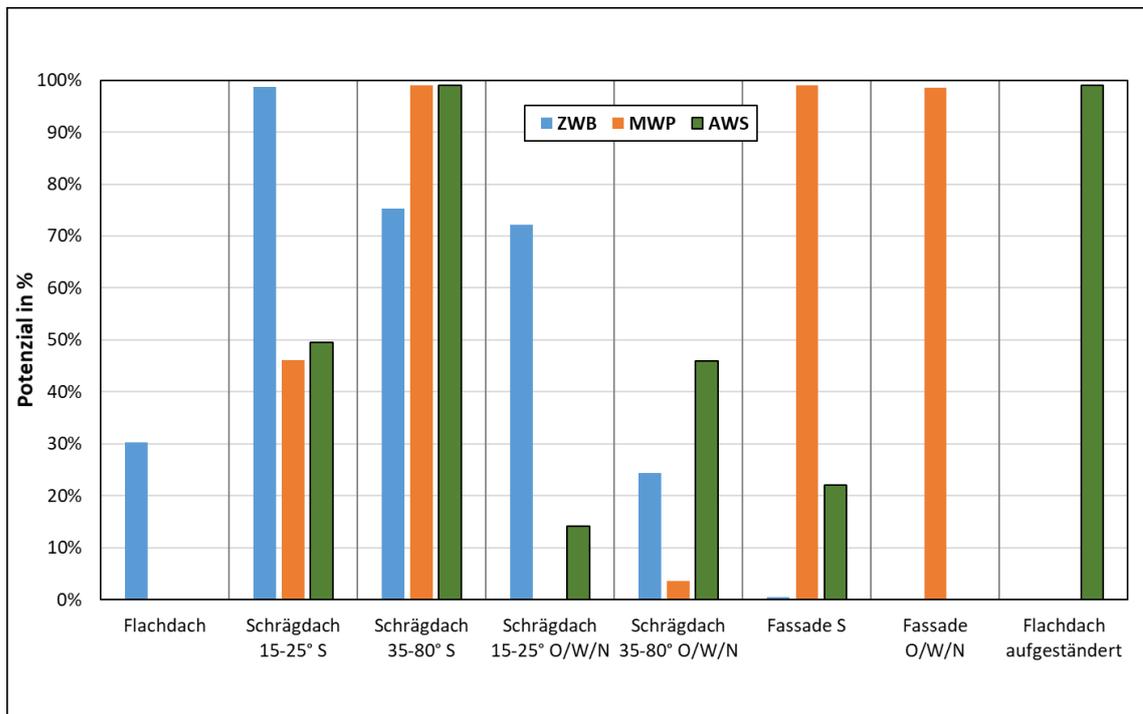


Abbildung 3 Ausnutzung der Potenziale pro Kategorie für die drei Hauptszenarien Zubau wie bisher (ZWB), Maximale Winterstromproduktion (MWP) und Anreize Winterstrom (AWS).

2.1.2 Ergebnisse

Das wesentliche Ergebnis der Studie ist die Verteilung des monatlichen Energieertrags für die drei Szenarien (siehe Abbildung 4). Daraus lässt sich die elektrische Energie, die im Winterhalbjahr bzw. in den Wintermonaten Dezember bis Februar produziert wird, ablesen. Tabelle 2 fasst diese Daten zusammen und gibt zusätzlich an, wie viel Elektrizität pro installierte Leistung jeweils produziert würde, welche elektrische Leistung pro Szenario installiert werden müsste und welche Kosten je schätzungsweise anfielen.

Hauptszenario	Jahresproduktion TWh	Produktion Winterhalbjahr TWh	Produktion Jan/Feb/Dez TWh	Installierte Leistung GWp	spez. Ertrag Winterhalbjahr kWh/kWp	spez. Ertrag Jan/Feb/Dez kWh/kWp	Kosten Mrd. CHF
Zubau wie bisher (ZWB)	30	8.0	2.6	31	258	85	38
Max. Winterstrompotenzial (MWP)	30	10.6	4.1	39	273	107	53

Anreize Winterstrom (AWS)	30	9.1	3.2	31	297	104	41
---------------------------	----	-----	-----	----	-----	-----	----

Tabelle 2 Elektrizitätsproduktion der Hauptszenarien

Die Ergebnisse der Studie lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- **Szenario 1: Zubau wie bisher (ZWB)**

Bei der Skalierung des heutigen PV-Anlagenparks auf eine Jahresproduktion von 30 TWh, entfielen 73% der Energieproduktion auf das Sommerhalbjahr und 27% auf das Winterhalbjahr. Pro kWp installierter Leistung würden im Winterhalbjahr 258 kWh Elektrizität erzeugt. Die geschätzten Kosten für dieses Szenario liegen mit 38 Mrd. CHF am niedrigsten.

- **Szenario 2: Maximales Winterstrompotenzial (MWP)**

Bei einer Ausnützung der am besten für Winterstrom geeigneten Dach- und Fassadenflächen, läge die Sommerproduktion bei 65% und die Winterproduktion bei 35%. Um dies zu erreichen, müssten allerdings die geeigneten Fassadenflächen vollständig ausgenützt werden, was wenig realistisch erscheint. Die spezifische Winterstromproduktion beträgt 273 kWh/kWp und somit nur 6% mehr als beim Szenario ZWB, während die Kosten etwa 40% höher liegen und 26% mehr Leistung installiert werden müsste. In diesem Szenario erfolgt die Winterstromoptimierung zulasten der Jahresproduktion, die hier pro installierter Leistung 20% geringer ausfällt als bei ZWB (so würden pro kWp nur 770 kWh statt wie bisher knapp 1000 kWh erzeugt). Das bedeutet, dass der hohe Winterstromanteil bei MWP erreicht wird, in dem im Sommer pro installierter Leistung deutlich weniger und im Winter nur wenig mehr Elektrizität erzeugt wird. Es wird gegenüber dem Szenario ZWB pro Winterhalbjahr eine zusätzliche Elektrizitätsmenge von 2.6 TWh erzeugt, was zusätzliche Kosten von 15 Mrd. CHF verursacht. Grob umgerechnet auf eine Laufzeit der PV-Anlagen von 30 Jahren, ergibt das geschätzte Kosten von 19 Rp. pro kWh zusätzlichem Winterstrom.

- **Szenario 3: Anreize Winterstrom (AWS)**

Bei einem Szenario, welches sich am heutigen PV-Anlagenpark orientiert, jedoch verstärkt auf winteroptimierte PV-Anlagen setzt, kann der Winterstromanteil auf 30% erhöht werden. Der spezifische Winterstromertrag liegt mit 297 kWh/kWp 9% höher als beim Szenario MWP und 15% höher als beim Szenario ZWB. Dies, weil sich in diesem Szenario gegenüber MWP zwar die absolut produzierte Elektrizitätsmenge im Winter um 14% verringert, die zu installierende Leistung mit 21% aber noch tiefer liegt. Somit kann mit derselben PV-Leistung wie bei Szenario ZWB eine Steigerung der Winterproduktion erreicht werden, weil sich der Mehr- und Minderertrag der winterstromoptimierten PV-Anlage gegenseitig ausgleichen. Die Kosten dieses Szenarios liegen nur knapp 8% höher als bei ZWB, was vor allem an der vermehrten Ausnutzung von Fassadenanlagen liegt. In diesem Fall wird somit gegenüber dem Szenario ZWB pro Winterhalbjahr eine zusätzliche Elektrizitätsmenge von 1.1 TWh erzeugt, was zusätzliche Kosten von 3 Mrd. CHF verursacht. Umgerechnet auf eine Laufzeit von 30 Jahren ergibt das Kosten von 9 Rp. pro kWh zusätzlichem Winterstrom.

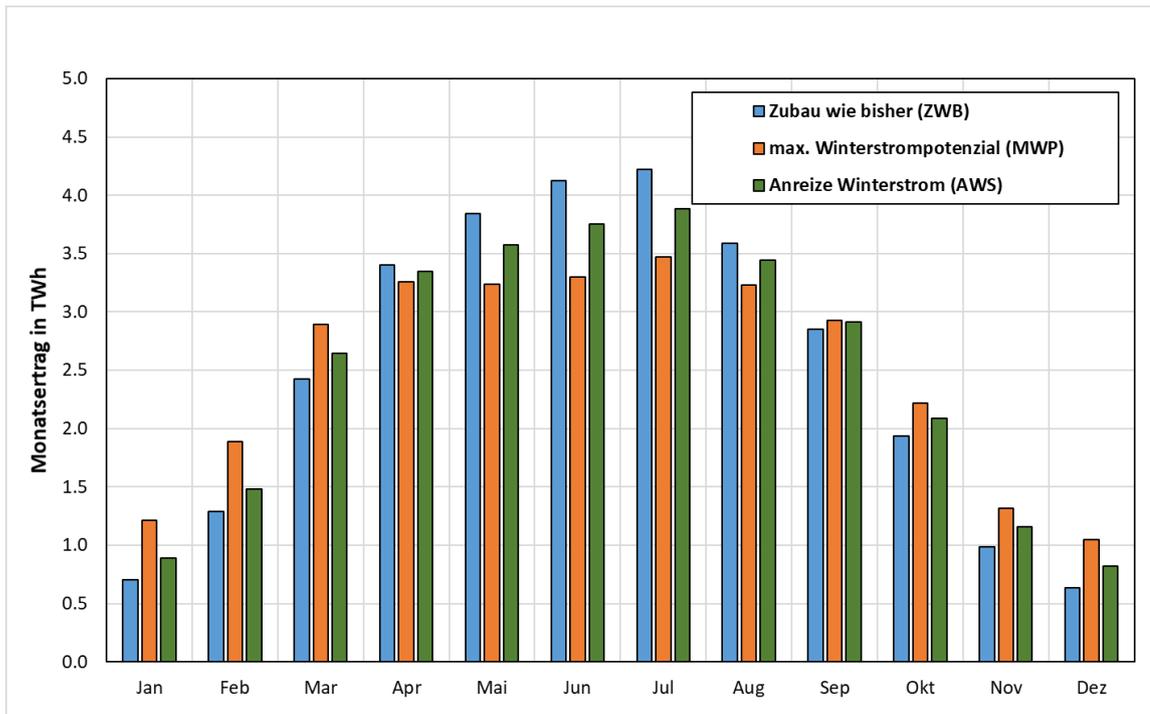


Abbildung 4 Monatliche Erträge der drei Hauptszenarien.

Aus den vorhergehenden Betrachtungen lässt sich Folgendes ableiten:

- Ausgehend von einer fixen Jahresproduktion der Schweizer Photovoltaik lässt sich durch spezifische Wahl der dafür genutzten Flächen eine gewisse Verschiebung der saisonal produzierten Elektrizitätsmengen erreichen. Die Verschiebung ist aber eher gering, so lässt sich der Winterstromanteil von aktuell 27% technisch maximal auf 35% steigern. Letzteres wird allerdings nur mittels der Nutzung von Flächen erreicht, die eine deutlich geringere Jahresproduktion aufweisen, so dass in diesem Fall für die Zielerreichung beim Ausbau der Erneuerbaren Energien deutlich mehr PV-Leistung installiert werden müsste.
- Somit liegt generell der wichtigste Ansatzpunkt zur Steigerung der absoluten Winterproduktion der Photovoltaik bei der Steigerung der gesamthaft installierten Leistung. Auch bei einer Realisierung des Szenarios ZWB würde die Photovoltaik bei einem Gesamtzubau von 30 TWh im Winterhalbjahr in etwa so viel Elektrizität erzeugen wie heute die Kernkraftwerke Leibstadt und Gösgen zusammen.
- Trotzdem kann eine Steigerung der Winterstromproduktion ohne eine Reduzierung der Jahresproduktion pro installierter Leistung erfolgen, wie im Szenario AWS gezeigt. Um das zu erreichen, müssten im Gegensatz zu Szenario ZWB vor allem nach Süden ausgerichtete Fassaden verstärkt genutzt werden, Anlagen auf Flachdächern vermehrt aufgeständert werden und schräge Dächer etwas häufiger als bei ZWB genutzt werden. Wie dafür Anreize für die Nutzung von Fassaden und die Aufständigung auf Flachdächern gesetzt werden können, wird im nächsten Kapitel erörtert.

2.2 Anreize für eine erhöhte Winterstromproduktion

Wie im vorhergehenden Abschnitt gezeigt, kann die Winterproduktion von PV-Anlagen vor allem durch die vermehrte Aufständigung von PV-Anlagen auf Flachdächern (anstelle einer flachen Installation) sowie der Nutzung von Fassadenflächen erreicht werden. In einer BFE-internen Untersuchung wurde überprüft, wie der Bau solcher Anlagen ökonomisch beanreizt werden könnte. Dafür wurden zwei für das Flachland typische winterstromoptimierte Anlagentypen (25° nach Süden geneigt auf Flachdach und an Südfassade) mit einer Referenzanlage (0° Neigung auf einem Flachdach) hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit verglichen. Dabei wurde jeweils die Höhe der Einmalvergütung (EIV) variiert, bis

die Rentabilität der betrachteten Anlagen den gleichen Wert wie die der Referenzanlage aufwies. Da die Rentabilität von PV-Anlagen sehr stark davon bestimmt wird, wie viel der produzierten Elektrizität direkt am Ort der Produktion verbraucht werden kann («Eigenverbrauchsanteil, EV»), wurde die Analyse je für die drei typischen Eigenverbrauchsanteile 0%, 45% und 80% (Referenzszenario) durchgeführt. Die unterschiedlichen Anlagenkategorien weisen jedoch durch ihr individuelles Stromproduktionsprofil über das Jahr bei gleicher Leistung abweichende Eigenverbrauchsanteile auf. Deswegen wurde der spezifische Eigenverbrauch abweichend vom Referenzszenario (Flachdach) für die Vergleichsszenarien (Flachdach aufgeständert bzw. Südfassade) auf Monatsbasis berechnet.

2.2.1 Winterstromoptimierung durch Aufständigung auf Flachdächern

Flachdächer bilden eine besondere Anlagenkategorie: Während in der Anfangszeit des Schweizer PV-Ausbaus PV-Module zur besseren Ausnützung aufgeständert und nach Süden ausgerichtet wurden, werden heute die mittlerweile sehr günstigen PV-Module mehrheitlich mit einer geringen Modulneigung und einer Ost-West-Ausrichtung installiert. Der Jahresertrag pro PV-Modul reduziert sich damit zwar um rund 10%, die Anlagenleistung und damit der Jahresertrag verdoppeln sich aber nahezu, da die Nutzung der Dachfläche maximiert werden kann, da etwa doppelt so viele Module installiert werden können. Die Verdopplung der Leistung führt allerdings auch zu einer Reduktion der Gestehungskosten, da grössere Anlagen durch Skaleneffekte deutlich niedrigere Gestehungs- und Betriebskosten aufweisen⁷.

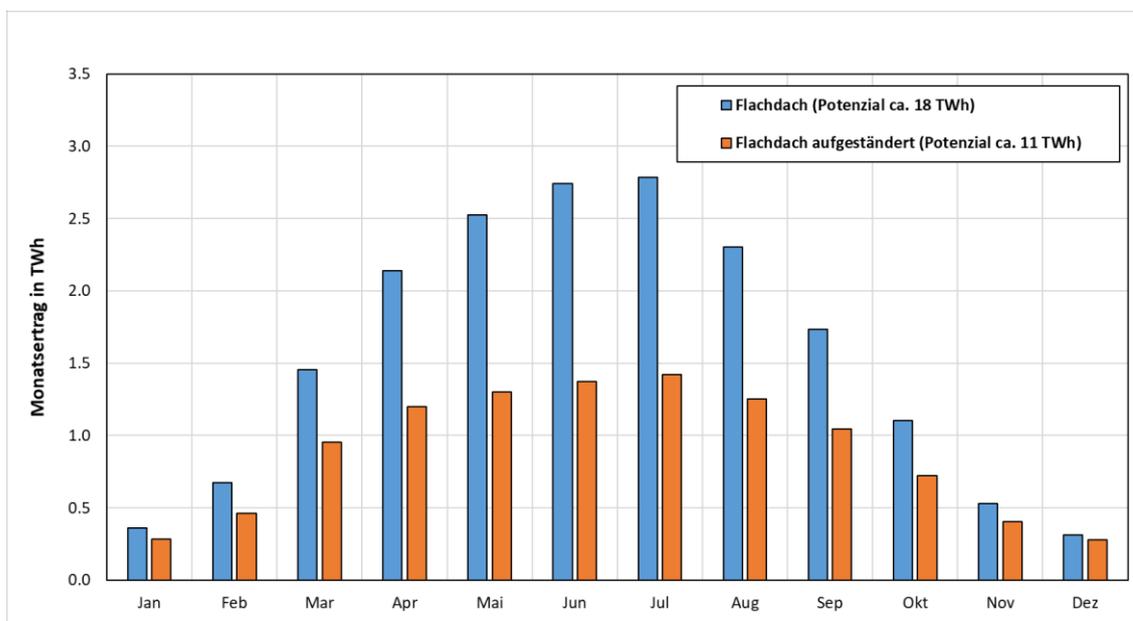


Abbildung 5 Energieertrag von Flachdachanlagen bei flacher oder aufgeständerter Installation.

Abbildung 5 zeigt auf, wie sich der monatliche Energieertrag aller potenziellen Schweizer Flachdachanlagen verhält, wenn die Anlagen entweder flach oder mit um 25° nach Südost bis Südwesten aufgeständerten PV-Modulen belegt würden. Dabei lässt sich erkennen, dass der Jahresenergieertrag bei flachen PV-Anlagen deutlich über dem Ertrag der aufgeständerten Anlagen zu liegen kommt (18 TWh gegenüber 11 TWh). Das liegt daran, dass sich durch die Aufständigung die verfügbare Fläche für PV-Module im Vergleich zu einer Ost-Westausrichtung ca. halbiert, da die Module in einem gewissen Abstand aufgestellt werden müssen, um die gegenseitige Verschattung zu vermeiden. Des Weiteren zeigt die Grafik, dass sich der Ertrag in den Wintermonaten Dezember und Januar bei den südaufgeständerten Anlagen trotz der geringeren Anlagenleistung ähnlich hoch wie bei den flachen Anlagen ist. Über das gesamte Winterhalbjahr ist er im Fall «südaufgeständert» jedoch 30% geringer. Insbesondere in dem für die Schweizer Wasserkraft kritischen Wintermonat März sowie den Monaten April und Mai, wenn die Stauseen vor dem Einsetzen der Schneeschmelze ihren

⁷ BFE 2019: «[Potenziale, Kosten und Umweltauswirkungen von Stromproduktionsanlagen. Aufdatierung des Hauptberichts \(2017\)](#)»

niedrigsten Füllgrad erreichen⁸, können die horizontal installierten Anlagen mit über 6 TWh fast doppelt so viel Elektrizität wie die südaufgeständerten produzieren (3.5 TWh).

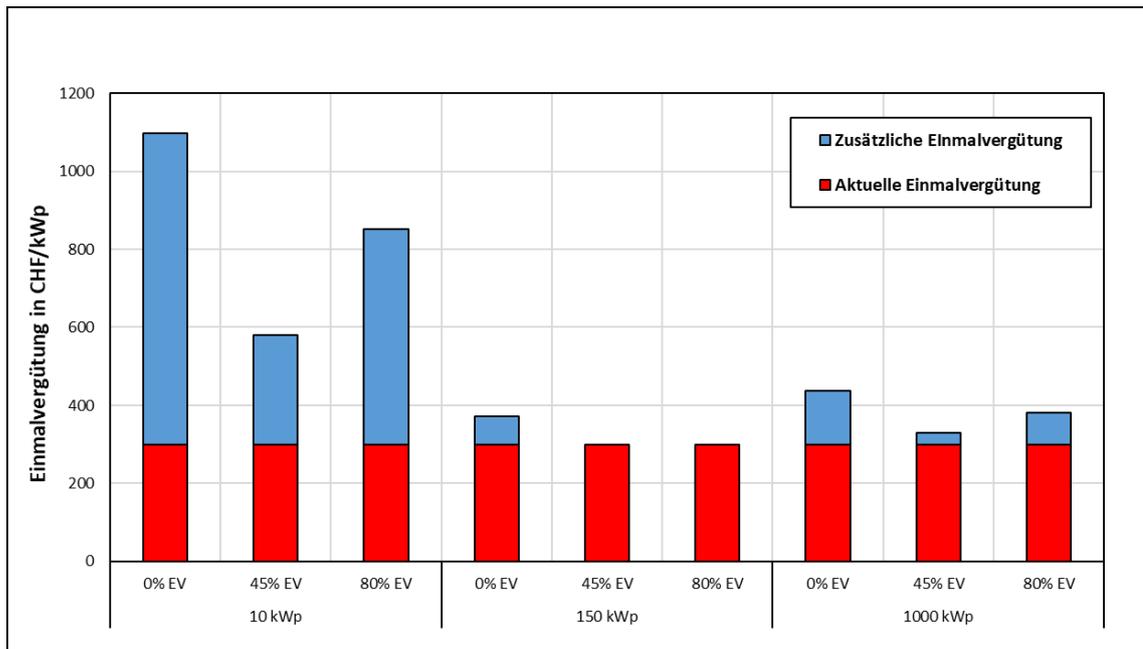


Abbildung 6 Zusätzlich notwendige Einmalvergütung für dieselbe Rendite auf einem aufgeständerten Flachdach im Vergleich zu einer klassischen Flachdachanlage. «EV» bedeutet Eigenverbrauchsanteil.

Es ergibt sich also, dass auf Flachdächern durch eine Neigung von 25° und Südausrichtung der Module der spezifische Winterstromertrag pro installierter Leistung zwar um ca. 40% erhöht werden kann, der absolute Energieertrag gegenüber einer rund doppelt so grossen, aber flachen Anlage jedoch um knapp 30% sinkt. Für die Analyse der Wirtschaftlichkeit der beiden Anlagentypen auf Flachdächern ist des Weiteren zu berücksichtigen, dass der geringere Ertrag einer aufgeständerten Anlage dazu führt, dass sich der Eigenverbrauchsanteil erhöht. Andererseits steigen die spezifischen Kosten mit der Verkleinerung der Anlagenleistung. Im Ergebnis zeigt sich, dass in fast allen untersuchten Fällen eine Erhöhung der Einmalvergütung notwendig wäre, damit die aufgeständerte Anlage dieselbe Rentabilität aufweist wie die flach installierte Anlage (Abbildung 6). Die notwendige Erhöhung der EIV beträgt zwischen 0 CHF/kWp für mittlere Anlagen mit viel Eigenverbrauch und 800 CHF/kWp für kleine Anlagen ohne Eigenverbrauch.

Für die Erhöhung der Schweizer Winterstromproduktion lässt sich bezüglich der Flachdächer zusammenfassend festhalten, dass mit einer flächendeckenden Aufständigung zwar die Winterstromproduktion pro installierter Leistung erhöht werden kann, der absolute Energieertrag im Winterhalbjahr auf derselben Dachfläche aber 30% geringer ausfällt. Die Investitionskosten sinken durch die Aufständigung zwar, da sich die Anzahl installierter Module etwa halbiert, die spezifischen Kosten aber steigen. Das heisst, auf einem Flachdach im Mittelland kann auch im Winter mehr Strom erzeugt werden, wenn PV-Module möglichst flach installiert werden und das Dach damit maximal ausgenutzt wird. In einzelnen extremen Wetterlagen mit viel Schnee mag dies nicht zutreffen, im statistisch mittleren Winter jedoch schon. Eine Aufständigung kann hingegen in schneereicheren Lagen sinnvoll sein, weil so der Schnee schneller abrutschen kann. Zudem ist zu beachten, dass voraussichtlich nicht jedes prinzipiell geeignete Flachdach mit einer PV-Anlage ausgestattet sein wird und somit diejenigen Dächer, wo dies der Fall ist, möglichst vollständig genutzt werden sollten. Flach installierte PV-Anlagen weisen ein ausgeglicheneres Produktionsprofil im Tagesverlauf auf. Wenn die absolute Winterstromproduktion der Schweiz erhöht werden soll, ist somit grundsätzlich eine maximale Belegung von Flachdachflächen gegenüber einer Belegung mit stärkerem Neigungswinkel durch Aufständigung und damit verbunden einer rund 50% kleineren Anlagengrösse zu bevorzugen.

⁸ BFE-Wochenbericht: «Füllgrad der Speicherseen»

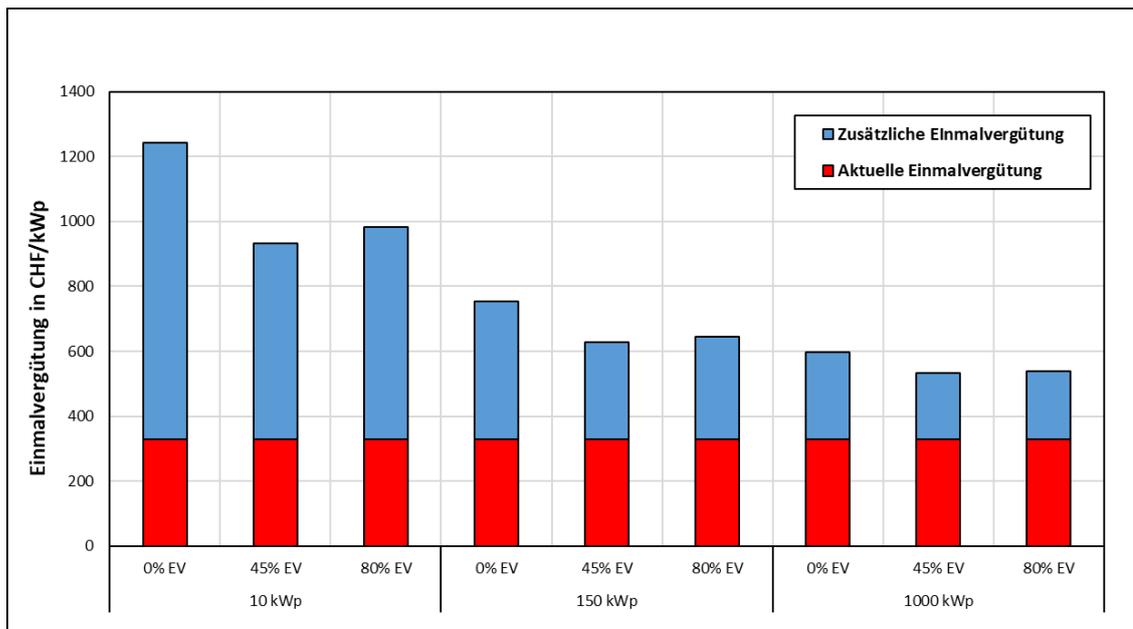


Abbildung 7 Zusätzlich notwendige Einmalvergütung für dieselbe Rendite der PV-Südfassade im Vergleich zu einer Flachdachanlage. «EV» bedeutet Eigenverbrauchsanteil.

2.2.2 Winterstromoptimierung durch Nutzung von Südfassaden

Die gut ausgerichteten Fassaden des Schweizer Gebäudeparks weisen ein jährliches Produktionspotenzial von 17 TWh aus, was einem Viertel des gesamten PV-Potenzials im Gebäudebereich entspricht. Davon können schätzungsweise 7 TWh im Winterhalbjahr erzeugt werden (43%). Fassadenanlagen werden aber bis heute nur in Einzelfällen realisiert. Einige herausragende Beispiele können der spezifischen Webseite zur Solararchitektur⁹ gefunden werden.

Für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit von Fassadenanlagen ist neben diesen Produktionseigenschaften zu berücksichtigen, dass sie in der Regel teurer sind als Dachanlagen, da sie aus mechanischen und ästhetischen Gründen aufwändiger in der Installation sind. Allerdings ergeben sich in den meisten Fällen Synergieeffekte mit einer alternativen konventionellen Fassade. Im hier angenommenen Preisaufschlag von 20% gegenüber konventionellen Anlagen sind solche Synergien mitberücksichtigt. Detailliertere Betrachtungen von baulich integrierten Anlagen allgemein und Fassadenanlagen im Speziellen und deren Kosten können der Studie «Integrierte Solaranlagen - Handlungsanleitung zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung»¹⁰ von EnergieSchweiz entnommen werden.

Aus den für diesen Bericht durchgeführten Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit geht hervor, dass insbesondere bei kleinen PV-Anlagenleistungen eine Vervielfachung der EIV notwendig wäre, damit Fassadenanlagen dieselbe Rentabilität aufweisen wie Flachdachanlagen. Bei grösseren Anlagen wäre dafür immer noch in etwa eine Verdopplung der EIV notwendig. Die detaillierten Ergebnisse sind für verschiedene Anlagengrössen und Eigenverbrauchsanteile in Abbildung 7 dargestellt. Hier wird aufgezeigt, wie solche Anlagen sinnvollerweise umgesetzt werden können, so dass sich auch mit den heutigen Rahmenbedingungen rentable Fassadenanlagen realisieren lassen.

Trotz der niedrigeren Jahresproduktion und der höheren Kosten kann es jedoch sinnvoll sein, spezielle Anreize für Fassadenanlagen zu geben. Insbesondere, weil der Ertrag im Winterhalbjahr pro installierter Leistung deutlich höher liegt als auf dem Flachdach und weil Fassadenanlagen im Gegensatz zu aufgeständerten Flachdachanlagen nicht in Flächenkonkurrenz zu anderen PV-Anlagen stehen. Die Anreize für Fassadenanlagen würden zudem helfen, dieses bisher kaum genutzte

⁹ solarchitecture.ch

¹⁰ Integrierte Solaranlagen Handlungsanleitung zur energetischen und wirtschaftlichen Bewertung, August 2020, EnergieSchweiz <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10325>

zusätzliche Winterstrompotenzial von 7 TWh zu erschliessen. Denkbar wäre bspw. ein zusätzlicher EIV-Beitrag für Fassadenanlagen mit einer Ausrichtung gegen Süden, welcher nicht unbedingt die gesamten Mehrkosten deckt, aber das Bewusstsein für den erhöhten Winterstromertrag von Fassadenanlagen stärkt. In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass der Marktwert von Winterstrom mit der vorgesehenen Verknappung des Angebots im Winter zunehmen dürfte. Durch einen höheren Winterproduktionsanteil sind auch bessere Einnahmen aus der Einspeisung voraussehbar, was einen Teil der Mehrkosten wettmachen wird. Dabei spielt auch die Liberalisierung des Strommarktes für die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen eine wichtige Rolle.

2.3 Photovoltaik ausserhalb des Gebäudeparks im Flachland

Eine weitere Möglichkeit zur Steigerung des Winterertrags von PV-Anlagen stellt der Bau solcher Anlagen in höher gelegenen Berggebieten auf bestehenden Gebäuden, auf bestehenden Infrastrukturen oder auf freien Flächen dar. Aufgrund der besseren Einstrahlungsverhältnisse (dünnere Atmosphäre, weniger Nebel) sowie des Albedo-Effekt des Schnees (Reflexion des Sonnenlichts) sind die Erträge solcher Anlagen trotz der Verluste durch Schneebedeckung im Winter mindestens 50% höher als im Flachland.¹¹ Ein limitierender Faktor bei der gebäudebasierten Installation ist hingegen, dass im alpinen Raum vergleichsweise wenig Gebäude für die Photovoltaik zur Verfügung stehen. Selbst wenn eine relativ niedrige Höhengrenze von 800 m ü.M. für die Definition von alpinen Anlagen angesetzt wird, sind dort gemäss Winterstromstudie des BFE nur etwa 13% oder 9 TWh des gesamten Schweizer Ertragspotenzials zu verorten.

Das Wissen um dieses beschränkte Potenzial auf und an bestehenden Gebäuden im alpinen Raum führt häufig zu Überlegungen, alpine Infrastrukturanlagen für die Installation von PV-Anlagen zu nutzen. Dabei kommen z.B. Staudämme, Stauseen, Lawinverbauungen oder auf Freiflächen z.B. neben Skipisten als Standorte in Frage oder werden bereits als solche benutzt¹². Grundsätzlich lässt sich zu solchen Anlagen festhalten, dass sie nicht verboten sind und auch Anrecht auf eine Förderung mit der EIV haben. Im Fall von Anlagen auf Infrastrukturanlagen ist allerdings zu beachten, dass die Kosten trotz ihrer Grösse oft höher als bei Anlagen im Mittelland liegen. In abgelegenen und wenig erschlossenen Gebieten (z.B. auf Lawinverbauungen) fehlt normalerweise die Infrastruktur, um die produzierte Elektrizität in das Stromnetz einzuspeisen. Lange Erschliessungsleitungen bis zum Anschlusspunkt an das Verteilnetz müssen erstellt werden, was erhebliche Zusatzkosten verursacht. Zudem können spezielle Unterkonstruktionen mit erheblichen Zusatzkosten bei z.B. bei schwimmenden oder hängenden Anlagen nötig werden.

Dies verdeutlichen die Angaben zu der geplanten PV-Anlage an der Staumauer des Wasserkraftwerks Muttsee^{13 14}. Diese Anlage soll bei einer Leistung von 2'200 kW, einer Jahresproduktion von 3.3 Mio. kWh und einem Winterstromanteil von 50% 7.9 Mio. CHF kosten. Damit würde diese Anlage pro kWp installierter Leistung im Winterhalbjahr 750 kWh Elektrizität produzieren, ein mehr als dreimal so hoher Wert wie bei einer im Mittelland horizontal installierten Flachdachanlage bzw. gut doppelt so hoch wie bei einer 25° geneigten Anlage im Mittelland (siehe Tabelle 1). Andererseits sind die Installationskosten der Muttsee-PV-Anlage mit 3'590 CHF/kW etwa viermal so teuer wie für gleichgrosse Anlagen im Mittelland¹⁵. Wenn man die Betriebskosten ausser Acht lässt, kostet demnach eine kWh Winterstrom der Muttsee-Anlage doppelt so viel wie die einer nach Süden geneigten PV-Anlage im Mittelland und ist 25% teurer als die einer ähnlich grossen horizontal installierten PV-Anlage im Mittelland. Dieses Beispiel kann zwar nicht verallgemeinert werden, es zeigt aber anschaulich auf, dass bei alpinen PV-Anlagen grundsätzlich zu erwägen ist, in welchem Verhältnis die zusätzliche Winterstromproduktion zu den zusätzlichen Kosten steht. Um diese Zusammenhänge und das Potenzial von PV-Anlagen auf Oberflächen von Wasserkraftwerken und Stauseen im Detail zu

¹¹ Kahl, A. (2019) "Wintersonne für die Versorgungssicherheit", VSE Bulletin 3.10.2019, [Wintersonne für die Versorgungssicherheit - Bulletin DE](#)

¹² Z.B. auf dem Lac de Toulous (VS) oder der Albigna Staumauer (GR)

¹³ [Axpo realisiert Muttsee-Solaranlage mit IWB und Denner - energate messenger Schweiz \(energate-messenger.ch\)](#)

¹⁴ [Axpo und IWB bauen Muttsee-Solaranlage: Denner bezieht den Strom](#)

¹⁵ «Photovoltaikmarkt-Beobachtungsstudie 2019. Finaler Bericht», BFE 2020, <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10107>

untersuchen, hat der Bundesrat die Annahme des Postulats 20.4561 «Wasserkraftwerke und Stauseen für die Fotovoltaik-Produktion nutzen»¹⁶ beantragt.

Bei freistehenden Anlagen im alpinen Raum sind neben den Kosten auch die Anliegen der Natur-, Landschafts- und Heimatschutz zu beachten. Die Erfahrungen beim Ausbau von Windenergie- und Wasserkraftanlagen zeigen, dass die Abwägung der widerstrebenden Interessen dieses Schutzes und der Energienutzung langwierige Bewilligungs- und Gerichtsverfahren bedarf und dass auf den Bau von Anlagen verzichtet wird, wenn das öffentliche Interesse am Schutz von Natur und Umwelt überwiegt. Dabei ist zu beachten, dass der Flächenverbrauch von z.B. Windenergieanlagen im Vergleich zur Winterproduktion deutlich günstiger als bei der Photovoltaik. So wäre für die Winterproduktion einer einzigen modernen Windenergieanlage von 4 MW Leistung eine alpine Solaranlage mit einer Modulfläche von über 8 Hektaren nötig (etwa 300x300m). Bei diesem Vergleich ist allerdings auch die verstärkte Sichtbarkeit von Windenergieanlagen durch ihre grosse Höhe von teilweise 200 zu beachten.

Da im Vergleich zur Windenergie für PV-Anlagen mit den Gebäuden eine Alternative zu freistehenden Anlagen besteht, haben sich die Bundesämter für Raumentwicklung (ARE), für Umwelt (BAFU), BFE und für Landwirtschaft (BLW) bereits 2012 in einem Positionspapier¹⁷ dafür ausgesprochen, dass freistehende Anlagen nur in Ausnahmefällen realisiert werden sollten und zunächst das Potenzial auf Gebäuden zu nutzen ist. Der Bundesrat hat schliesslich mit seinem Beschluss zum Landschaftskonzept Schweiz im Mai 2020¹⁸ das folgende Ziel behördenverbindlich festgelegt: "Photovoltaikanlagen sind grundsätzlich auf Infrastrukturen wie Dächern oder Fassaden realisiert und landschafts- und ortsbildverträglich gestaltet".

3 Fazit

Die Schweizer Photovoltaik produziert aktuell etwa 27% ihrer Elektrizität im Winterhalbjahr. Dieser Anteil kann durch eine Optimierung der genutzten Gebäudeflächen ohne grössere Zusatzkosten (+8%) auf 30% gesteigert werden. Bei einer angenommenen gesamten Jahresproduktion der Photovoltaik von 30 TWh, könnten somit 9 TWh im Winterhalbjahr erzeugt werden. Eine Steigerung auf bis zu 35% ist auch möglich, ginge aber zulasten der Jahresproduktion pro installierter Leistung und würde unverhältnismässig hohe Kosten verursachen.

Für eine moderate Winterstromoptimierung könnten vermehrt Anlagen auf nach Süden ausgerichteten Fassaden installiert werden, die bisher kaum realisiert werden. Diese Anlagen stellen ein Viertel des gesamten PV-Potenzials im Gebäudebereich dar und produzieren im Winter pro installierter Leistung ebenso viel Elektrizität wie typische Dachanlagen. Das Winterstrompotenzial der Südfassaden beträgt etwa 7 TWh. Die Stärkung des Zubaus von Fassadenanlagen könnte beispielsweise über eine höhere Einmalvergütung, ähnlich wie aktuell bei integrierten Anlagen, beanreizt werden. Eine solche Förderung stellt nur eine geringe Anpassung der aktuellen Fördermassnahmen auf Stufe Verordnung dar, weswegen die internationalen Vereinbarungen des Bundes nicht beeinflusst werden. Da Fassadenanlagen im Vergleich zu Flachdachanlagen eine höhere Sichtbarkeit für die Allgemeinheit aufweisen, muss bei ihrer Erstellung allerdings ein besonderes Augenmerk auf baukulturelle Qualität für den Erhalt von Ortsbildern und des architektonischen Ausdrucks gerichtet werden. Dieser Anspruch kann in Abhängigkeit der lokalen Gegebenheiten nach Ansicht des UVEK in ausreichender Weise durch das Baubewilligungsverfahren, das bei Fassadenanlagen im Gegensatz zu Dachanlagen aktuell vorgeschrieben wird¹⁹, erfüllt werden.

Die Winterstromoptimierung von Flachdachanlagen durch stärkere Neigung der PV-Module ist hingegen nicht zu empfehlen, da so das PV-Potenzial des schweizerischen Gebäudeparks von 67 TWh um etwa 7 TWh reduziert und die potenzielle Winterproduktion um 1.2 TWh sinken würde. Durch die Aufständigung kann der spezifische Winterstromanteil pro installierter Leistung zwar

¹⁶ [20.4561 | Wasserkraftwerke und Stauseen für die Fotovoltaik-Produktion nutzen | Geschäft | Das Schweizer Parlament](#)

¹⁷ [Positionspapier freistehende Photovoltaik-Anlagen \(admin.ch\)](#), ARE, BAFU, BFE, BLW 2012

¹⁸ BAFU (Hrsg.) 2020: Landschaftskonzept Schweiz. Landschaft und Natur in den Politikbereichen des Bundes. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Info Nr. 2011, [Landschaftskonzept Schweiz \(admin.ch\)](#)

¹⁹ [Raumplanungsgesetz](#) Artikel 18a sowie [Raumplanungsverordnung](#) Artikel 32a

erhöht werden, absolut wird im Winterhalbjahr auf derselben Dachfläche allerdings weniger Elektrizität erzeugt. Des Weiteren spielen bei der Frage der aufgeständerten oder horizontalen Installation von PV-Anlagen auf Flachdächern neben dem Jahres- und Winterstromertrag je lokalen Gegebenheiten Schneebedeckung, Investitionsvolumen und möglicher Eigenverbrauch mindestens ebenso wichtige Rollen. Vor diesem Hintergrund sollte auf die Einführung eines Anreizes zur Winterstromoptimierung von Flachdächern verzichtet werden.

Die Nutzung von alpinen Infrastrukturanlagen für die Winterstromproduktion aus PV-Anlagen wird vom Bundesrat im Rahmen der Beantwortung des Postulats 20.4561 «Wasserkraftwerke und Stauseen für die Fotovoltaik-Produktion nutzen» noch gesondert untersucht werden. In Bezug auf freistehende alpine Anlagen sieht der Bundesrat aufgrund der erheblichen Raumwiderstände, der hohen Kosten und dem gleichzeitig enormen Potential von 67 TWh mit einem ohne grössere Zusatzkosten realisierbaren Winterstromanteil von 30% bzw. 20 TWh im Gebäudebereich keinen Handlungsbedarf.