

Kanton Aargau (BVU, Abt. Energie) und Kanton Zürich (AWEL, Abt. Energie)

Grundlagen für eine kantonale Solarstrategie mit Fokus auf den beschleunigten Ausbau von Solarstromanlagen

Ausbaupotenziale sowie Auslegeordnung und Priorisierung kantonaler Massnahmen

Schlussbericht
Zürich, 28. Mai 2021

Donald Sigrist, Rolf Iten, Martin Soini, (INFRAS)
Martin Jakob, Jonas Schmid (TEP Energy)

Impressum

Grundlagen für eine kantonale Solarstrategie mit Fokus auf den beschleunigten Ausbau von Solarstromanlagen

Ausbaupotenziale sowie Auslegeordnung und Priorisierung kantonaler Massnahmen

Schlussbericht

Zürich, 28. Mai 2021

b3534a_Solarstrategie-AG-ZH_Schlussbericht_2021-05-28_V2.2.docx

Auftraggeber

Kanton Aargau (BVU, Abt. Energie) und Kanton Zürich (AWEL, Abt. Energie)

Autorinnen und Autoren

Donald Sigrist, Rolf Iten, Martin Soini, (INFRAS)

Martin Jakob, Jonas Schmid (TEP Energy)

www.infras.ch

www.tep-energy.ch

Begleitgruppe

Simone Brander, Boris Krey (Kanton Aargau)

Stefan Muster, Alex Nietlisbach (Kanton Zürich)

Inhalt

Zusammenfassung	4
1. Einleitung	8
2. Grundsätzliches zur politischen Umsetzung des Ausbauziels	11
3. Schlüsselmassnahmen zur Ausbaubeschleunigung und Rolle der Kantone	12
4. Grundsatzfragen zu kantonalen Schlüsselmassnahmen	15
5. Bewertung von Kosten und Nutzen ausgewählter kantonaler Schlüsselmassnahmen	18
6. Prioritäten zur Ergänzung und Begleitung der kantonalen Schlüsselmassnahmen	28
7. Geeignetes Vorgehen bezüglich Detailprüfung und Einführung kantonaler Massnahmen	30
Anhang: Methodik, Annahmen, Detailergebnisse	32
Literatur	50

Zusammenfassung

Ziel Solarstromproduktion Schweiz

Bis 2050 muss die jährliche Solarstromproduktion in der Schweiz auf eine Grössenordnung von 30 Mia. kWh ansteigen. Das liest sich aus aktuellen Modellrechnungen im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ zu einem Schweizer Energiesystem, das den zwei Zielen Kernenergieausstieg und forcierter Klimaschutz bei vertretbarer Importabhängigkeit am ehesten gerecht wird (BFE 2021).

Potenziale und Kosten

Die Potenziale liegen deutlich höher als der notwendige Zubau bis 2050. Schon auf Gebäudedächern könnte rund die doppelte Menge an Solarstrom produziert werden. Zählt man weitere gut nutzbare Flächen hinzu, ergibt sich ein Potenzial, das deutlich höher liegt als die Solarstrommenge, die für ein nachhaltiges Schweizer Energiesystem nötig ist. Die Transformation dorthin ist zudem selbst unter ungünstigen Bedingungen mit sehr geringen volkswirtschaftlichen Kosten verbunden.

Handlungsbedarf

Die heutige Solarstromproduktion liegt je nach Quelle um rund einen Faktor 13 bis 17 tiefer als bis Mitte des Jahrhunderts benötigt. Das zeigt deutlich den Handlungsbedarf der Energie- und Klimapolitik in diesem Bereich in den nächsten Jahren auf. Soll die Energiewende gelingen, müssen die Installationsraten zeitnah stark ansteigen. Wie dringend das ist, wird unterschätzt. Verharren die Zubauraten nur noch zehn Jahre auf heutigem oder nur geringfügig höherem Niveau, wird es v. a. aufgrund der dann benötigten Fachkräfte sehr schwierig, die Solarstrom-Ausbauziele bis 2050 zu erreichen.

Kantonale Schlüsselmassnahmen

Ohne zusätzliche, starke Anpassungen der Rahmenbedingungen ist ein solcher Schub in den nächsten Jahren nicht zu erwarten. Gefragt sind auf allen föderalen Ebenen Politikmassnahmen, die stark wirken und aufgrund des Zeitdrucks hinsichtlich Komplexität und mit Verweis auf die heutige Praxis realistische energie- und klimapolitische Umsetzungschancen haben. Im direkten kantonalen Einflussbereich sind das wirkungsvoll ausgestaltete gesetzliche Installationspflichten im Gebäudebereich, die mit einer kantonalen Zusatzförderung kombiniert werden (wie dieses Paket mit Fokus auf die zeitnahen Umsetzungschancen zu priorisieren ist, wird untenstehend präzisiert). Das heisst nicht, dass es keine anderen, stark wirkenden Massnahmen gäbe. Beispielsweise könnten generell erhöhte minimale Rückspeisetarife, optimierte Förder-

oder Ausschreibungssysteme (gleitende Marktprämie, Einspeisevergütung statt Einmalvergütung) oder Quotenmodelle mit verbindlich festgelegten Ausbauzielen dem Solarstromanlagenausbau in der Schweiz einen deutlichen Schub verleihen. Derartige Massnahmen forcieren Kantone aber besser über eine mit anderen Kantonen und Städten koordinierte Einflussnahme auf Bundesebene, wobei aufgrund des Zeitdrucks auf Ansätze mit den höchsten realpolitischen Umsetzungschancen zu fokussieren ist. Solche Massnahmen unter Zeitdruck im kantonalen Alleingang umzusetzen, ist sehr komplex und erheblichen Risiken ausgesetzt, weil Kantone hier im Gegensatz zu Installationspflichten und Investitionsbeiträgen nicht auf langjährige Praxiserfahrung abstützen können und sich übergeordnete Marktregulierungen weiterhin dynamisch entwickeln. Die folgenden drei Bausteine sind aus unserer Sicht zentral:

1. Installationspflicht für gut geeignete Dachflächen von Neubauten einführen

- Möglichst dachflächenfüllende Anlagen fordern (gut und besser geeignete Dachfläche gemäss Definition Solarkataster muss vollständig belegt werden).
- Ausnahmen möglichst auf techno-ökonomisch gut begründete Fälle reduzieren (keine freiwählbare Ersatzabgabe; falls unumgänglich: genügend hoch ansetzen).
- Kantonale Zusatzförderung zur Bundesförderung möglichst vermeiden (d. h. keine kantonalen Fördermittel im Neubaubereich).

2. Kantonale Zusatzförderung für Dachanlagen von Bestandsbauten einführen

- Förderbedingung: Kanton zahlt Zusatzbeitrag zur nationalen Einmalvergütung (EIV), sofern die gesamte Dachfläche belegt wird (optional: Reserve für thermische Solarkollektoranlagen zulässig; Bonusbeiträge für sehr grosse Dachflächen).
- Fördersatz: aus Vollzugspraxisgründen möglichst einfach ausgestalten (z. B. bei Antragsabwicklung direkt an Bundesbeitrag knüpfen: wenn Dach vollständig belegt, dann +50 % auf den Bundesbeitrag).
- Förderprogramm zeitlich begrenzen (z. B. auf acht oder zehn Jahre) und Finanzierung über die gesamte Programmlaufdauer möglichst gut absichern (eine kantonale Stromabgabe wäre ein denkbarer Ansatz).

3. Debatte zu Installationspflichten für Bestandsbauten-Dächer anstossen

- Beachten, dass Installationspflicht bei Dachsanierung nur beschränkt wirkt, weil Dachsanierungsraten sehr tief liegen (1 % pro Jahr oder weniger); zudem hemmende Wirkung auf ebenfalls erwünschte Dachwärmedämmung berücksichtigen (könnte ggf. mit Gebäudeprogramm-Beitragserhöhungen kompensiert werden).

- Bei weitergehenden Installationspflichten: Generelle Installationspflicht für geeignete Dachflächen (mit Übergangsfrist von z. B. 15 Jahren, ggf. sogar akzentuiert durch jährliche Abgabe auf nicht genutzte Dachflächen). Eine Alternative sind Installationspflichten, die an die Installation von Wärmepumpen (allenfalls beim Ersatz aller fossiler Heizungssysteme und ggf. E-Fahrzeug-Ladestationen) geknüpft sind.
- Falls Umsetzungsvarianten Chancen haben bzw. konkretisiert werden: Geeignete, gut auf Installationspflicht abgestimmte kantonale Zusatzförderung konzipieren.

Ergänzende kantonale Massnahmen

Die Schlüsselmassnahmen sind zwingend mit diversen weiteren kantonalen Massnahmen zu ergänzen, wobei folgende vier Massnahmen höchste Priorität haben:

- Zeitnahe, auf Massnahmen mit den höchsten kurzfristigen Umsetzungschancen fokussierte und mit anderen Kantonen und Städten koordinierte Intensivierung des Lobbyings auf Bundesebene, damit schweizweit stärker wirkende Massnahmen umgesetzt werden.
- Kommunikationsoffensive zum kantonalen Schlüsselmassnahmen-Paket aus Installationspflichten und kantonaler Zusatzförderung.
- Kantonal gesetzlich verankerte Pflicht, dass EVU in der Grundversorgung ein Standardstrommix mit Schweizer oder sogar kantonalem Solarstrom anbieten müssen (mit jährlich steigendem Anteil). Endkunden müssen selbst aktiv werden, wenn sie einen anderen Liefermix beziehen wollen («Nudging»).
- Planung von Ausbau und Finanzierung eines zielkonsistenten Solarstromanlagenausbaus auf Gebäuden im Kantonseigentum wie z. B. Verwaltungsgebäude, Kantonsschulen und Universitäten (Bildung, Sichtbarkeit bei der Klimajugend) sowie, soweit möglich, auf kantonsnahen Gebäuden wie bspw. Kantonsspitäler, Obergerichte etc.

Wirkungen Installationspflichten und kantonale Zusatzförderung

Zusätzlich zu eigenen qualitativen Überlegungen durch das beauftragte Expertenteam von INFRAS/TEP wurde zur Priorisierung der Schlüsselmassnahmen (vgl. oben) eine quantitative Wirkungsanalyse durchgeführt (spezifisch für die Kantone AG und ZH). Folgende Tabelle zeigt die wichtigsten Ergebnisse für ausgewählte Einzelmassnahmen bzw. Ausgestaltungen von Installationspflichten und kantonaler Zusatzförderung. Unter der Verwendung dieser Einzelmassnahmen wurden im Kapitel 5 für Neubauten sowie Bestandsbauten je vier Massnahmenpakete definiert. Dabei handelt es sich bei den hier aufgeführten Einzelmassnahmen um eine Vereinfachung der kantonalen Massnahmenpakete, in welchen es auch zu Interaktionen zwischen den Einzelmassnahmen kommen kann. Die unten dargestellten Resultate sind dementsprechend

nicht einfach kumulierbar (Erläuterung des Zusammenhangs zwischen Einzelmassnahmen und Massnahmenpaketen siehe Tabelle 24 im Anhang).

Installationspflichten für dachflächenfüllende Anlagen erzielen die höchsten Wirkungen bei den Neubauten und den Bestandsbauten zu den tiefsten kantonalen Förderkosten.

Tabelle 1: Wirkungsanalyse zu Installationspflichten und kantonalen Zusatzförderung und damit verbundene Förderkosten

	Wirkung [GWh/Jahr] im Jahr 2035		Förderkosten [Mio. CHF/Jahr] im Mittel der Periode 2020 bis 2035	
	AG	ZH	AG	ZH
	Neubauten			
Installationspflicht Dach-Anlage Neubau mind. 10 W/m ² EBF	75	128	0	0
Installationspflicht dachflächenfüllende Anlage Neubau	315	540	0	0
Installationspflicht Fassaden-Anlage Neubau mind. 10 W/m ² EBF	45	98	0	0
<i>Variante: Installationspflicht kombiniert mit kantonaler Zusatzförderung für grosse Fassadenanlagen</i>	60	117	1.1	1.5
Bestandsbauten				
nur Zusatzförderung dachflächenfüllende Anlagen	185	213	2.5	3
nur Zusatzförderung Fassaden-Anlagen	8	14	0.5	1
Installationspflicht Dach-Anlage bei Dachsanierung mind. 10 W/m ² EBF	29	79	0	0
<i>Variante: mit kantonaler Zusatzförderung für dachfüllende Anlagen</i>	238	342	4	5
Installationspflicht Dach-Anlage bei Dachsanierung und bei WP-Installation mind. 10 W/m ² EBF	81	212	0	0
Installationspflicht dachflächenfüllende Dach-Anlage bei Dachsanierung und bei WP-Installation	352	642	0	0

Hinweis:

Die einzelnen Beiträge dürfen nicht summiert werden, weil einzelne Massnahmen sich gegenseitig ausschliessen, weil sich die Wirkungen teilweise überschneiden und weil es sich z.T. um Alternativvarianten handelt.

Wichtigste Annahmen:

- Alle Installationspflichten mit nur wenigen technisch begründeten Ausnahmen (keine frei wählbare Ersatzabgabe). Zusatzförderung jeweils mit +50 % der nationalen EIV.
- Wirkung [GWh/Jahr]: Ggü. Referenzentwicklung ohne kantonale Massnahmen zusätzliche jährliche Solarstromerzeugung im fünfzehnten Jahr nach Start Massnahmenumsetzung
- Förderkosten [Mio. CHF/Jahr]: 15-Jahres-Durchschnitt des Fördermittelbedarf für die kantonale Zusatzförderung (Periode 2020 bis 2035)

Abkürzungen:

- EBF: Energiebezugsfläche
- W: Watt
- EIV: Einmalvergütung (einmalige Investitionsbeiträge)

1. Einleitung

Die Schweiz will vorwärts machen beim Ausbau mit Solarstromanlagen. Um die langfristigen Energie- und Klimaziele zu erreichen, ist bis ca. Mitte des Jahrhunderts ein Ausbau der heutigen jährlichen Solarstromerzeugung (rund 2 TWh, *BFE 2020a*) um rund den Faktor 15 notwendig (Faktor 13 bei 26 TWh gemäss *PSI 2021*) bis Faktor 17 bei 34 TWh gemäss *BFE 2021*). Dieses Anliegen ist dringend, weil der internationale Klimaschutz ohne derartige Beiträge von Industrieländern zu wenig wirksam sein wird, und weil die Schweiz ihre Kernkraftwerke in den nächsten zwei bis drei Jahrzehnten kaum ersetzen kann bzw. gemäss aktuellem Stand auch nicht will.

Ausreichende Ausbaupotenziale sowie die technische Machbarkeit gelten dabei als belegt. Das gilt in Bezug auf die angestrebte jährliche Stromerzeugung genauso wie in Bezug auf die damit zusammenhängenden Herausforderungen auf der klein- und grossräumigen Systemebene, die sich aufgrund der saisonalen sowie tageszeit- und witterungsabhängigen Stromerzeugung ergeben (u. a. *ZHAW 2021, PSI 2021, Swissgrid 2015, Empa 2019, Nordmann 2019, VSGS 2020, Consentec 2015, Berger 2010*). Zudem ist aufgrund des Zeitdrucks ein prioritätenorientiertes Vorgehen angezeigt, für das nicht alle künftigen Herausforderungen schon heute gelöst sein müssen. Immerhin ist heute klar, dass es zum starken Solarstromausbau kaum Alternativen gibt und aus volkswirtschaftlicher Sicht auch unter ungünstigen Bedingungen kostenseitig schlimmstenfalls eine «rote Null» resultiert, wenn der Ausbau zeitnah forciert und über die kommenden Jahrzehnte konsequent vorangetrieben wird.¹

Im Grundsatz sind die langfristigen Zielsetzungen, die technische Machbarkeit und die praktisch kostenneutrale Umsetzung auch auf politischer Ebene anerkannt. Konsistent dazu ist heute ein umfassender Instrumentenmix umgesetzt, mit folgenden wichtigsten Massnahmen:

- Schweizweit einheitliche Investitionsbeiträge für die Solarstromanlagen-Installation (Einmalvergütung, finanziert per nationalem Netzzuschlag)
- Gesetzliche Regelungen bzw. Möglichkeit zur Schaffung von «Zusammenschlüssen zum Eigenverbrauch» (ZEV)
- Ergänzende Investitionsbeiträge von Gemeinden (schweizweit stark verbreitet) sowie von einzelnen Kantonen
- Begleitende Massnahmen im Bereich Sensibilisierung, Information, Beratung, Aus- und Weiterbildung, Qualitätssicherung sowie seitens Grundlagen (Tools, Online-Karten etc.) und Forschung (vor allem im Rahmen des Programms EnergieSchweiz sowie nationalen Forschungsprogrammen, mit zusätzlichen kantonalen und kommunalen Massnahmen sowie unterstützt

¹ Als Teil einer umfassenden Energiestrategie (z. B. *Ecoplan 2012*) sowie mit Fokus auf einzelne Erzeugungstechnologien (z. B. *ZHAW 2020a/2020b*, zu Österreich z. B. *Energieinstitut 2020*; vgl. zudem Überschlagsrechnungen gemäss *BKW 2020*).

und multipliziert durch Aktivitäten von weiteren Organisationen, insbesondere vom Fachverband Swissolar)

Festzustellen ist hingegen auch: Trotz diesen Anstrengungen sowie einer anhaltend günstigen Entwicklung seitens Anlagenkosten² und Angebotspalette verläuft der Ausbau heute viel zu langsam.³ Bei den bestehenden Ausbauraten würde die angestrebte Solarstromerzeugung erst tief in den 2100er-Jahren erreicht. Kritisch ist das insbesondere deshalb, weil ein «Aufholen» vor allem aus Sicht notwendiger Fachkräftekapazitäten nur beschränkt möglich ist (vgl. z. B. *ZHAW 2020b*). Nach einem zusätzlichen Jahrzehnt mit heutigem oder nur geringfügig höherem Zubau rücken die angestrebten Ziele weiter in die Ferne, weil die dann notwendigen Ausbauraten kaum mehr realistisch umsetzbar sind.

² Insgesamt klarer Trend nach unten trotz bedeutendem Installationskostenanteil (PV-Modulkosten sinken deutlich und stark, Installationskostenanteil ist je nach Anlagentyp aber vergleichsweise hoch und dessen Kostendegressionen deutlich geringer; zudem sind ästhetik-, anwendungs- und integrierbarkeitsbedingt auch kostentreibende Innovationen zu erwarten).

³ Eine detaillierte Gap- und Hemmnisanalyse ist nicht Gegenstand dieses Berichts, jedoch können als ein Grund für den langsamen Ausbau trotz sinkender Kosten die ebenfalls sinkenden und sehr tiefen Rücklieferatarife genannt werden, besonders im Kanton ZH. Weitere Gründe sind in typischen Hemmnissen im Energiebereich und in den Prioritäten und Präferenzen der Akteure (namentlich Gebäudeeigentümer) zu finden; dies wird im derzeit laufenden BFE-Projekt MISTEE weitergehend untersucht.

Ausbaupotenziale (inkl. Neubau) bis 2050 Kantone Aargau und Zürich (Tabelle 2)

Gestützt auf bestehende Datengrundlagen (*Meteotest/Swissolar 2019*) wurden für die vorliegende Analyse die Ausbaupotenziale in den Kantonen Aargau und Zürich analysiert. Dabei wurde berücksichtigt, dass für eine funktionierende und volkswirtschaftlich sinnvolle Energie- und Klimawende nicht alle geeigneten Flächen für Solarstromanlagen genutzt werden sollten. Aus Kosteneffizienzgründen sollten nur gut und sehr gut geeignete Flächen genutzt werden und ein Teil der Dachflächen ist für solarthermische Kollektoranlagen zu reservieren, hauptsächlich um Warmwasser zu erzeugen, aber auch, um die Raumwärmeerzeugung zu unterstützen und in dicht besiedelten Gebieten Erdsonden zu regenerieren. Zusätzlich zu den Potenzialen gemäss (*Meteotest/Swissolar 2019*) wird auch das dynamische Potenzial berücksichtigt, das aufgrund von Neubauten entsteht.

	Kanton Aargau	Kanton Zürich
Total	5350 GWh (7800 kWh/P.)*	8500 GWh (5510 kWh/P.)*
Anlagen auf/an Gebäuden	4400 GWh (6400 kWh/P.)*	7250 GWh (4700 kWh/P.)*
Anteil auf/an Bestandsbauten 2020 bis 2050**	77 %	77 %
Anteil auf/an Neubauten 2021-2050 ***	23 %	23 %
Anteil auf Dächern	66 %	66 %
Anteil an Fassaden	34 %	34 %
Anteil auf/an Einfamilienhäusern	35 %	21 %
Anteil auf/an Mehrfamilienhäusern	35 %	42 %
Anteil auf/an übrigen Gebäuden	30 %	37 %
nicht gebäudegebundene Anlagen	950 GWh (1400 kWh/P.)*	1250 GWh (810 kWh/P.)*
Anteil auf Autobahnböschungen	31 %	32 %
Anteil auf Strassen	21 %	20 %
Anteil auf Parkplätzen	48 %	48 %

Angaben in GWh jährliche Stromerzeugung (1 GWh = 1 Mio. kWh = mittlerer Stromverbrauch von 200 Haushalten) sowie in kWh pro Person bei Bevölkerungszahlen per Ende 2020 (zum Vergleich: der Pro-Kopf verbraucht die Schweiz ca. 6700 kWh Strom pro Jahr). Weitergehende Informationen vgl. Anhang.

* Aufgrund der wachsenden Bevölkerung würde sich die Pro-Kopf-Angabe reduzieren, falls sie auf den Bevölkerungsstand 2050 bezogen würde.

** Ersatzneubaupotenziale, die bestehende EBF netto ersetzen, sind implizit im Gebäudebestand enthalten.

*** Nettoneubaupotenziale (d.h. nur EBF, die ab 2020 von neuen Gebäuden oder von Flächenerweiterungen durch Anbauten und Ersatzneubauten netto neu dazu kommt).

2. Grundsätzliches zur politischen Umsetzung des Ausbauziels

Für die Politik von Bund, Kantonen und Gemeinden ist vor diesem Hintergrund entscheidend, dass es in Anbetracht des Ambitionslevels nicht um den nächsten kleinen Fortschritt geht. Soll in der Schweiz bis 2050 eine Grössenordnung von 30 TWh jährliche Solarstromerzeugung tatsächlich erreicht werden, verbleibt heute ein Zeitfenster von nur noch wenigen Jahren, um den Anlagenubau deutlich zu beschleunigen. Mit der heute immer noch sehr tiefen schweizweiten Solarstromerzeugung besteht in den folgenden zehn bis fünfzehn Jahren die grösste Herausforderung bei der Forcierung des Anlagenubaus. Gelingt es nicht, diesen wichtigsten Bottleneck zeitnah zu beseitigen, rückt das Ausbauziel schon aufgrund des Fachkräftebedarfs für Planung und Bau der Anlagen weiter in die Ferne.

Gefragt ist demnach ein Kernpaket an tiefgreifenden *Schlüsselmassnahmen* auf allen föderalen Ebenen, die als Haupttreiber der notwendigen Ausbaubeschleunigung überhaupt in Frage kommen. Weil diese Schlüsselmassnahmen so schnell einzuführen sind, müssen hierbei zum einen die gesellschaftliche Akzeptanz und die volkswirtschaftliche Effizienz gut abgewogen werden. Zum anderen sind solche «Sprünge» beim staatlichen Eingriff durch *ergänzende Massnahmen* zwingend intensiv zu begleiten. Die Jahre nach der allfälligen Inkraftsetzung des revidierten CO₂-Gesetzes könnten hier ein Beispiel liefern, wenn auch in einem anderen Bereich. Erstmals sollen schweizweit nämlich wirklich tiefgreifende gesetzliche Anforderungen an den Heizungsersatz eingeführt werden. Entgegen der reinen ökonomischen Effizienzlehre aber sieht das Gesetz zumindest bis 2030 eine gleichzeitige starke finanzielle Förderung vor – auch für Gebäudeeigentümerschaften, die beispielsweise eine Ölheizung gesetzlich bedingt faktisch sowieso durch erneuerbare Energien (z. B. Wärmepumpe) ersetzen müssen oder anderweitig tiefgreifende Massnahmen (Wärmedämmungen, Installation thermische Solaranlagen) ergreifen müssten.⁴ Begleitet wird dieser Übergang von Bund, Kantonen und Gemeinden zudem durch vielfältige ergänzende Massnahmen in den Bereichen Forschung und Grundlagenarbeit, Sensibilisierung, Information und Beratung, Aus- und Weiterbildung, Qualitätssicherung und allfälligen Verfahrensvereinfachungen.

⁴ Dieses Vorgehen einer Förderung trotz gesetzlichen Anforderungen entspricht dem «common sense» einer pragmatischen Realpolitik, vor allem, wenn es um solch tiefgreifende Kurskorrekturen geht (ganz ausgeschlossen sind Einwände seitens Eidgenössischer Finanzkontrolle aber nicht).

3. Schlüsselmassnahmen zur Ausbaubeschleunigung und Rolle der Kantone

Weil die Solarstromanlagen in dieser Analyse auftragsgemäss isoliert betrachtet werden, eine dezidierte Kantonssicht eingenommen und mit Blick auf die nächsten zehn bis fünfzehn Jahre vor allem auf den Bottleneck des Anlagenzubaus fokussiert werden sollte, bleibt die Anzahl an grundsätzlich denkbaren Schlüsselmassnahmen letztlich überschaubar (Tabelle 3). Aus Sicht der Kantone ist dabei das Risiko zu berücksichtigen, dass seitens Bund in den nächsten (besonders kritischen!) fünf bis zehn Jahren keine zusätzlichen stark wirkenden Politikmassnahmen umgesetzt werden⁵ und zusätzliche Aktivitäten von Gemeinden, vor allem auch aufgrund des beschränkten kommunalen Einflusses, nicht ausreichen werden. Zumindest seitens Bundesmassnahmen ist dieses Risiko bedeutend, zumal umfangreichere Gesetzesrevisionen erst gerade umgesetzt oder im Ausmass absehbar sind und für tiefgreifende Intensivierungen auch unter günstigen Bedingungen einige Jahre vergehen werden. Den Kantonen kommt beim Solarstromanlagenausbau in den kommenden Jahren also eine Schlüsselrolle zu, wenn die langfristigen Energie- und Klimaziele erreicht werden sollen.

Tabelle 3: Schlüsselmassnahmen für eine deutliche Ausbaubeschleunigung von Solarstromanlagen

Schlüsselmassnahme	Hauptakteur	Rolle Kanton mit Fokus auf 2020-2035
Harmonisierung von minimalen Solarstrom-Rückliefertarifen, mit einfacher Differenzierung nach Anlagentyp und Anlagengrösse (und inkl. notwendigem Subventionierungssystem)	Bund (notfalls Kanton)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proaktives Lobbying in Zusammenarbeit mit anderen Kantonen und Städten für eine zeitnahe Einführung auf Bundesebene ▪ Unterstützung im politischen Prozess ▪ Falls es nicht vorwärtsgeht: Kantonale Einführung prüfen
Intensivierung und ggf. Optimierung der finanziellen «Breitenförderung» des Anlagenzubaus (heute hauptsächlich via nationaler Einmalvergütung EIV)	Bund	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proaktives Lobbying in Zusammenarbeit mit den anderen Kantonen für eine Beitragserhöhung im Bereich der Grossanlagen inkl. Einführung Ausschreibungssystem (politisch weniger umsetzungswahrscheinliche Ansätze wie z. B. gleitende Marktprämie im Auge halten bzw. unterstützen) ▪ Unterstützung im politischen Prozess
Installationspflichten im Bereich gebäudegebundener Solarstromanlagen (z. B. bei Neubau, ggf. bei Dachsanierung etc.)	Kanton	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Neubauten: Detailkonzipierung Ausgestaltung (zeitnah wohl nur für Dachbereich umsetzbar; geeignete Anforderung für Anlagen-Minimalgrösse noch zu konzipieren; Ausnahmen möglichst eingrenzen und für weitergehende Ausnahmen hohe Ersatzabgabe vorsehen), Einführung und Inkraftsetzung bis spätestens 2025.

⁵ Zusätzliche Massnahmen im Vergleich zum derzeitigen Massnahmenpaket 1 der Energiestrategie des Bundes sind derzeit noch nicht andiskutiert, geschweige denn vernehmlasst und entschieden.

Schlüsselmassnahme	Haupt- akteur	Rolle Kanton mit Fokus auf 2020-2035
Installationspflichten im Bereich nicht gebäudegebundener Solarstromanlagen (zumindest zu prüfen, insbesondere für neue Parkplatzanlagen und Neubauten ausgewählter Infrastruktur)	Gemeinde (Bund, Kanton)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bestandsbauten: Prüfung möglicher Eingriffstiefen und Ausgestaltungsvarianten, Einführung und Inkraftsetzung bis spätestens 2025, kombiniert mit kantonaler Zusatzförderung (vgl. unten) zur Bundes-Breitenförderung. Ergänzend zu prüfen: Erweiterungen bis hin zu einer generellen Installationspflicht im Fall einer zu starken Zielpfadabweichung – entweder als subsidiäre Massnahme mit fixem Startdatum (z. B. ab 2028 oder 2035) oder mit einer Lösung per stetig zu steigender finanzieller Abgabe für nicht genutzte Dachflächen (wie vorgeschlagen in <i>ZHAW 2020b</i>, Kap. 8.1). Zu beachten ist, dass ab 2035 bis zum Zieljahr 2050 nur noch 15 Jahre bleiben; falls man bis dahin nicht auf Zielpfad ist, sind tiefere Eingriffe bei gegebener Zielsetzung unumgänglich. ▪ In Zusammenarbeit mit Bund und ambitionierten Städten Analyse der Möglichkeiten und Identifikation von Bereichen mit sinnvollen und realistischen Umsetzungschancen (z. B. für Neubauten von Parkplatzanlagen, konsistent zur Elektromobilitätsverbreitung). ▪ Falls nötig bzw. möglich entsprechende gesetzlich gestützte «kann-Formulierungen» einführen, damit ambitionierte Gemeinden schneller vorwärts machen können.
Finanzielle Zusatzförderung zur nationalen «Breitenförderung»	Kanton und Gemeinde	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analyse und Identifikation kontextkonsistenter Fördergegenstände für eine kantonale Zusatzförderung (z. B. dachflächenfüllende Anlage, Fassadenanlagen und bis West/Ost ausgerichtete Dachanlagen zur Tagesgang-Optimierung, gestalterisch gut integrierte Anlagen, nicht gebäudegebundene Anlagen, besonders grosse Anlagen, in Gebirgskantonen Winterstrom-Anlagen), Gemeinden mit bereits bestehender oder geplanter Zusatzförderung stimmen dann wiederum auf den aktuellen Kontext Bund/Kanton ab. ▪ Konzipierung der Ausgestaltung (aufgrund des Zeitdrucks, der Komplexität und der Vollzugspraxis wohl als Investitionsbeitrag und nicht als kantonale Einspeisevergütung; vollzugspraxistaugliche Förderbedingungen und Fördersätze sind im Detail aber noch zu definieren). ▪ Finanzierung konzipieren (ggf. zum Teil per Leistungsauftrag-gestützter kantonaler Stromabgabe sowie ggf. mit Einnahmen der Ersatzabgabe aus der Installationspflicht zur Berücksichtigung Verursacherprinzip, zum Teil per ordentlichem Haushalt zur Sicherstellung Sozialverträglichkeit).

Schlüsselmassnahme	Hauptakteur	Rolle Kanton mit Fokus auf 2020-2035
<p>Gesetzlich vorgeschriebener Ausbaupfad, Varianten:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Inpflichtnahme Kantone (gemäss Vorschlag ZHAW 2020b, Kap. 8.2) mit fix vorgegebenen Ausbauquoten je Kanton, entweder mit handelbaren Zertifikaten oder mit zweckgebundenen Pönalen bei Zielverfehlungen; ▪ Inpflichtnahme Energieversorgungsunternehmen EVU (minimaler und stetig zu erhöhender Anteil an Schweizer Solarstrom im EVU-Liefermix, wohl nur für die Grundversorgung umsetzbar) 	Bund	<p>Mögliche übergeordnete Massnahme auf Bundesebene. Denkbar ist eine Unterstützung, falls diese oder eine ähnliche Massnahme auf Bundesebene bis 2025 relevant werden sollte.</p> <p>(Aus Sicht der Kantone ist das Risiko bedeutend, dass eine solche Schlüsselmassnahme auf Bundesebene in den nächsten zehn Jahren nicht umsetzbar ist; eine allfällige Inpflichtnahme der EVU müsste wohl zeitnah erfolgen, weil die Risiken bezüglich Inkonsistenzen zu übergeordneten Entwicklungen bei der Strommarktöffnung hoch sind.)</p>

4. Grundsatzfragen zu kantonalen Schlüsselmassnahmen

Kantone, die im eigenen Einflussbereich zur Ausbaubeschleunigung beitragen möchten, werden in diesem Kontext zeitnah geeignete Installationspflichten definieren und diese mit einer darauf abgestimmten kantonalen Zusatzförderung kombinieren. In diesem Zusammenhang stellen sich einige Grundsatzfragen (Tabelle 4, Tabelle 5), zu denen INFRAS/TEP in eigener Einschätzung und auf Basis ausgewählter Expertengespräche Stellung nehmen.

Tabelle 4: Grundsatzfragen zu kantonalen Installationspflichten für gebäudebezogene Solarstromanlagen

	Frage	Stellungnahme INFRAS/TEP
Neubauten	Installationspflicht nur für Dächer (bzw. freie Wahl) oder explizit auch für Fassaden?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Keine explizite, pauschale Pflicht für den Fassadenbereich, da technisch und wirtschaftlich sinnvolle Lösungen je nach spezifischer Ausgangslage komplex sind und der Eingriff in die Gestaltungsfreiheit unverhältnismässig wäre. ▪ Kombination einer Installationspflicht für den Dachbereich mit einer kantonalen Zusatzförderung für gut integrierte Fassadenanlagen wird insgesamt besser beurteilt, falls ein Kanton in diesem Bereich aktiv werden möchte.
	Umsetzung per Anlagen-Minimalgrössenanforderung (z. B. minimal 10 W/m ² EBF analog zu den <i>MuKE n 2014</i> , optional ergänzt durch finanzielle Förderung grösserer Anlagen) oder weitergehende Installationspflicht?	Im Neubaubereich sind bzw. werden Fälle mit Kleinstanlagen seltener, der Trend geht in Richtung eigenverbrauchsoptimierte Anlagen, die etwas grösser sind als die früher üblichen Kleinstanlagen. Allerdings zeigen hierzu eigene Modellierungen, dass insbesondere bei kleineren Gebäuden mit Eigenverbrauchsoptimierung bedeutende Anteile geeigneter Dachflächen nicht genutzt werden (vgl. Anhang). Zur stärkeren Ausbaubeschleunigung würden dachflächenfüllende Anlagen also einen relevanten Beitrag leisten (als Anforderung für Flachdächer unter Berücksichtigung der Dachbegrünungsanforderungen in städtischen Räumen sowie als Anforderung für Steildächer bezogen auf die besser ausgerichtete Dachfläche). Unter Berücksichtigung von Ausnahmen (Flächenbedarf für Solarthermieanlage, Fix-Verschattungen etc.) wäre eine Pflicht zur Nutzung geeigneter Dachflächen eine wirksame Option.
	Ausnahmefälle möglichst stark einschränken oder möglichst hohe Entscheidungsfreiheit der Bauherrschaft zwischen Anlageninstallation und einer Ersatzabgabe?	Weil die Hemmnisse im Bereich der Anlagen auf Bestandsbauten und der nicht gebäudegebundenen Anlagen hoch sind, müsste bei gegebener schweizweiter Zielsetzung schon aus einer Risikoüberlegung heraus ein möglichst grosser Anteil aller 2025 bis 2050 neu erstellten Gebäude mit Solarstromanlagen bestückt sein. In diesem Sinne wäre eine starke Einschränkung von Ausnahmen angezeigt, so dass letztlich nur Neubauten ohne geeignete Dachflächen (keine Ersatzabgabe zu leisten) bzw. wenige noch abzugrenzende Fälle von der Installationspflicht befreit wären (Bauherrschaft kann sich in diesen Fällen mit Nachweis/Begründung und Leistung einer Ersatzabgabe von der Pflicht befreien lassen).

Bestandsbauten	Installationspflicht nur für Dächer (bzw. freie Wahl) oder explizit auch für Fassaden?	Eine Installationspflicht für Fassadenanlagen ist schon im Neubereich kaum eine Option für die zeitnahe Einführung (vgl. oben); für Bestandsbauten wäre sie kurzfristig auch bei Beschränkung auf Fälle mit sowieso erfolgter Fassadensanierung eher nicht geeignet. Denkbar ist aber auch hier eine kantonale Zusatzförderung für gut integrierte Fassadenanlagen, falls ein Kanton in diesem Bereich aktiv werden möchte.
	Verbindlich [a] nur bei Dachsanierung, [b] auch im Rahmen anderer denkbarer Anknüpfungspunkte (v. a. WP- und Elektromobilitäts-Ladestationen-Installation) oder [c] sogar generelle Installationspflicht für alle Heizungssanierungen und/oder alle geeigneten Hausdächer mit einer Übergangsfrist von z. B. maximal 15 bis 20 Jahren?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Eine Installationspflicht im Rahmen der Dachsanierung ist grundsätzlich naheliegend, wobei eine rel. geringe Wirkung aufgrund der tiefen Dachsanierungsraten zu bedenken ist. Den mögliche adverse Effekte in Form eines zusätzlichen Hemmnis gegen Dacherneuerungen kann, falls nötig (zu prüfen), mit zusätzlicher finanzieller Förderung begegnet werden (soweit möglich im Rahmen des Gebäudeprogramms, weil der Kanton die Förderung dank den Globalbeiträgen des Bundes dann nicht allein finanzieren muss). ▪ Bezüglich weiterer Anknüpfungspunkte, v. a. der Wärmepumpeninstallation, ist im Zielkonflikt zwischen Ausbaubeschleunigung und hemmender Wirkung auf den ebenfalls wichtigen Heizungsersatz abzuwägen. Wenn dieser künftig ggf. per CO₂-Gesetz erzwungen ist, stellt sich zudem die Frage, ob die Akzeptanz-Schmerzgrenze mit einer zusätzlichen Installationspflicht nicht überschritten wird. Anreizneutraler wäre eine generelle Pflicht bei allen Heizungssanierungen. Unter dem Strich heisst das: Will ein Kanton starke Beschleunigung beim Solarstromanlagenbau, ist eine Installationspflicht bei WP-Installation (und ggf. sogar bei Ladestationen-Installation) eine Option, wobei die Pflicht aus Akzeptanzgründen zumindest in einer Übergangsphase wohl durch eine starke finanzielle Förderung begleitet werden müsste. ▪ Eine Maximalvariante mit genereller Übergangsfrist (oder stetig steigender Abgabe auf nicht genutzte Flächen) ist bei heutiger realpolitischer Ausgangslage kaum zielführend. Als subsidiäre Massnahme z. B. ab 2035 bei zu starker Zielpfadabweichung wäre sie letztlich aber wohl die einzige Option, um im Fall einer ungünstigen Entwicklung das Erreichen der Ausbauziele sicherzustellen.
	Ausnahmefälle und Ersatzabgabe analog Neubauten? (vgl. oben)	Vom Grundsatz her ähnliche Einschätzung wie bei den Neubauten. Wenn Installationspflichten eingeführt werden, sind Ausnahmen einzuschränken, wobei bei den Bestandsbauten weniger strikte Vorgaben denkbar sind (mehr begründete Ausnahmefälle mit zu leistender Ersatzabgabe, deren Einnahmen wiederum für die finanzielle Förderung eingesetzt werden können).
Nicht gebäudegebundene Anlagen	Installationspflichten möglich bzw. sinnvoll?	Kantonale Möglichkeiten wären noch vertieft zu prüfen. Es ist fraglich, ob und in welchen Bereichen aufgrund der Heterogenität bezüglich technischen Möglichkeiten und Anlagenstandorten generelle kantonale Installationspflichten überhaupt sinnvoll umsetzbar wären. In spezifischen Bereichen, z. B. bei der Neuerstellung von Parkieranlagen wären Installations-

pflichten denkbar, die aber wohl auf kommunaler Ebene definiert werden müssten. In diesem Zusammenhang könnten Kantone in Zusammenarbeit mit dem Bund entsprechende gesetzliche «kann»-Formulierungen prüfen, um ambitionierten Gemeinden mehr Handlungsspielraum zu geben.

Tabelle 5: Grundsatzfragen zur kantonalen Zusatzförderung von Solarstromanlagen

Frage	Stellungnahme INFRAS/TEP
Kantonale Installationspflichten ausreichend oder braucht es gleichzeitig eine kantonale Zusatzförderung?	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Im Neubaubereich kann mit einer weitgehenden Installationspflicht im Dachbereich (vgl. Tabelle 4) vermieden werden, dass vorgeschriebene Installationen gleichzeitig auch gefördert werden müssen. Fassadenanlagen müssten hingegen zusätzlich gefördert werden, wenn ein Kanton hier Einfluss nehmen möchte (weil eine explizite Installationspflicht im Fassadenbereich kaum eine zielführende Option darstellt, vgl. oben). ▪ Im Bestandsbau ist die Kombination einer kantonalen Zusatzförderung mit den Installationspflichten zumindest in einer Übergangsphase zwingend nötig (aus Akzeptanzgründen, aber auch, um dem hemmenden Effekt auf energetische Sanierungen von Dächern bzw. auf den Heizungsersatz entgegenzuwirken). ▪ Im Bereich nicht gebäudegebundener Solarstromanlagen, bei denen weitgehende kantonale Installationspflichten kaum in Frage kommen, kann zusätzlich gefördert werden, wenn ein Kanton hier Einfluss nehmen möchte.
«Breitenförderung» analog zum Bund (z. B. durch bedingungslose Aufdoppelung des Bundesbeitrags) oder spezifisch auf ausgewählte Fördergegenstände fokussierte Zusatzförderung?	Die Breitenförderung ist Bundesaufgabe. Zudem könnten Kantone kaum die Mittel aufbringen, um einen Grossteil aller installierter Solarstromanlagen finanziell zu fördern, vor allem, wenn die Installationsraten – wie angestrebt – stark ansteigen. Die kantonale Zusatzförderung ist also auf spezifische Fördergegenstände auszurichten (z. B. dachflächenfüllende Anlagen, Fassadenanlagen, ggf. Tagesgang-optimierte Anlagen etc.).
Investitionsbeiträge (analog Einmalvergütung Bund) oder Einspeisevergütung?	Ein kantonales Einspeisevergütungssystem ist grundsätzlich denkbar, aber bezüglich Konzipierung, Vorbereitung (technisch, juristisch), Einführung und Vollzugspraxis sehr komplex. Weil die Schlüsselmassnahmen in kurzer Zeit einzuführen sind, ist eine kantonale Förderung mit Investitionsbeiträgen wohl besser geeignet, mit der die Kantone schon langjährige Erfahrung haben. Diese Förderlogik bettet sich zudem konsistent in den Kontext der etablierten Bundes- und Gemeinden-Förderung ein.
Finanzierungsquellen?	Eine reine Finanzierung über den ordentlichen kantonalen Haushalt ist für umfangreichere kantonale Förderprogramme kaum realistisch (ein gewisser Finanzierungsanteil aus dem ordentlichen Haushalt bringt immerhin den Vorteil, dass die Förderung sozialverträglicher ist). Ebenfalls nur einen geringen Finanzierungsanteil leisten werden die Einnahmen aus der Ersatzabgabe, wenn die Ausnahmen von der Installationspflicht vergleichsweise stark eingeschränkt werden. Diese Ausgangslage bedeutet, dass eine kantonale Stromabgabe zur Mitfinanzierung der Förderung wohl unumgänglich ist (einzuführen per Leistungsauftrag). Der Vorteil ist, dass das Verursacherprinzip bei der Finanzierung damit noch höheres Gewicht erhält.

5. Bewertung von Kosten und Nutzen ausgewählter kantonaler Schlüsselmaßnahmen

Um die kantonalen Schlüsselmaßnahmen zu konkretisieren und zu priorisieren, werden die Auswirkungen ausgewählter Massnahmen im Bereich der gebäudegebundenen Solarstromanlagen analysiert. Als Basis wird auf folgendes Analyseraster abgestützt (Tabelle 6). Zudem wird hier auf die prioritäre Periode bis 2035 fokussiert (Ergebnisse für 2035 bis 2050 vgl. Anhang).

Tabelle 6: Analyseraster für die Wirkungsanalyse zu ausgewählten kantonalen Schlüsselmaßnahmen

Neubauten					
	REF (1)	V0	V1	V2	V3
Kantonale Installationspflicht	Keine	Mind. 10 W/m ² EBF (2)	Dachflächenfüllende Anlage (3)	Dachflächenfüllende Anlage (3)	Dachflächenfüllende Anlage plus Fassadenanlage (4)
Kantonale Zusatzförderung	Keine (1)	Keine	Keine	Fassadenanlage	Grosse Fassadenanlage (4)
Bestandsbauten					
	REF	V0	V1	V2	V3
Kantonale Installationspflicht	Keine	Keine	Mind. 10 W/m ² EBF bei Dachsanierung	Mind. 10 W/m ² EBF bei Dachsanierung und WP-Installation	Dachflächenfüllende Anlage bei Dachsanierung und WP-Installation
Kantonale Zusatzförderung	Keine (1)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachflächenfüllende Anlage ▪ Fassadenanlage ▪ Bonus bei WP-Installation (5) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachflächenfüllende Anlage ▪ Fassadenanlage ▪ Bonus bei WP-Installation 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Dachflächenfüllende Anlage ▪ Fassadenanlage 	Fassadenanlage <i>+ Intensivierung Geb.-Programm (6)</i>

Wichtigste Annahmen: Installationspflichten mit starker Beschränkung der Ausnahmen (Fälle ohne gut oder sehr gut geeignete Flächen, eine allfällig geltend gemachte Reserve für Solarthermie sowie ggf. stark eingeschränkte weitere Ausnahmen mit Begründung- und Nachweispflicht sowie Leistung einer hohen Ersatzabgabe). Zusatzförderung mit einfacher Ausgestaltung jeweils für nicht kantonal vorgeschriebene Leistung bzw. Flächennutzung und Bemessung anhand der bundesweiten Einmalvergütung EIV (Annahme: +33 % der EIV für V0/Bestandsbau bzw. +50 % der EIV für alle übrigen Varianten; weitergehende, hier nicht berücksichtigte Erhöhungen sind durch die Gemeinden vorzusehen). Ausserdem gilt die Grundannahme, dass die Massnahmen zeitnah eingeführt sind (z. B. spätestens in Kraft ab 1.1.2024). Spezifische Erläuterungen:

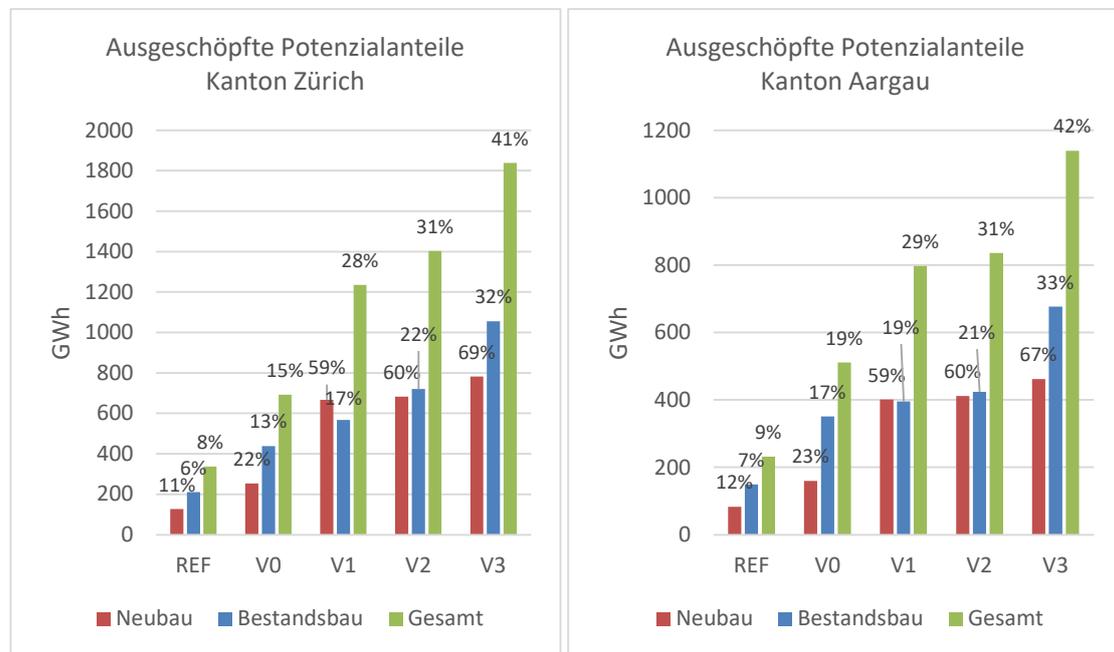
- (1) In der Referenz ohne kantonale Installationspflichten und ohne kantonale Zusatzförderung sind die heute auf Bundes- und Gemeindeebene umgesetzten bzw. absehbaren Massnahmen, insbesondere die bis 2035 unterstellte Einmalvergütung EIV enthalten.
- (2) Ausgestaltung im Prinzip gemäss den *MuKE n 2014*, aber mit starker Einschränkung von Ausnahmen (vgl. oben).
- (3) Bei Schrägdächern ist in der Regel die Dachfläche vollständig zu belegen; bei Flachdächern vollständige Belegung mit pragmatischer Berücksichtigung Dachbegrünungsanforderung in städtischen Räumen (unter genereller Berücksichtigung der möglichen Solarthermie-Flächenreserve).
- (4) Minimalanforderung explizit für Fassadenanlage (im Stil der *MuKE n 2014*, z. B. mit minimal zu installierender Leistung und abhängig von den verfügbaren, geeigneten Flächen), ergänzt um eine Zusatzförderung für leistungsstarke Fassadenanlagen.
- (5) Als zusätzlichen Anreiz vorgesehen, da als «Anknüpfungspunkt» für die kantonale Zusatzförderung naheliegend.
- (6) Dem zusätzlichen Hemmnis in Bezug auf Dachsanierungen (V1 bis V3) bzw. WP-Installationen (V2, V3) ist aus Klimaschutzgründen dringend entgegenzuwirken. Als Option (hier nicht weiter vertieft) bietet sich eine generelle Beitragserhöhung im Rahmen des Gebäudeprogramms an (mit dem Vorteil, dass der Kanton nur einen Teil der Finanzierung selbst aufbringen muss).

Nicht gebäudegebundene Anlagen wurden aus methodisch-empirischen Gründen bei den quantitativen Analysen der Auslösewirkung nicht berücksichtigt.

Wirkung auf die Ausbaubeschleunigung

Folgende Abbildung 1 zeigt die Kernergebnisse der Wirkungsanalyse (Details zu Methodik, Annahmen und Ergebnissen vgl. Anhang).

Abbildung 1: Geschätzte Wirkung der unterstellten Bundes- und Kantonsmassnahmen V0 bis V3 im Vergleich zur Referenzentwicklung «REF» für die Periode bis 2035 für die Kantone Zürich (links) und Aargau (rechts).



Erläuterung: Die %-Werte geben den Ausschöpfungsanteil des gut, sehr gut und hervorragend geeigneten Potentials abzüglich Reserveflächen für Solarthermie an. Dabei wurde für den Bestandsbau 60 % des gesamten Potentials als 100 %-Marke für die Periode bis 2035 festgelegt. Das gesamte Potenzial des Bestandsbau für den Kanton Zürich beträgt 5570 GWh (60% davon beträgt 3340 GWh) und für den Kanton Aargau 3390 GWh (60% davon beträgt 2030 GWh). Das gesamte Potential des Neubaus zwischen 2020 und 2035 beträgt 1130 GWh für den Kanton Zürich und 685 GWh für den Kanton Aargau.

Im Gesamtüberblick zeigt sich bei zunehmender Intensität der verpflichtenden und fördernden Massnahmen, dass sich die Auslösewirkung konsistent dazu sukzessive erhöht. Wird sowohl für Neubauten wie auch Bestandsbauten Variante V3 zugrunde gelegt, wird bis 2035 insgesamt gut 40 % des dynamischen Potentials⁶ an gut, sehr gut und hervorragend geeigneten

⁶ Dynamisches Potenzial bis 2035 bezieht sich beim Neubau auf die zw. 2021 und 2035 netto neu erstellten Gebäude. Im Gebäudebestand wird annahmengenäss nicht von 100 % des Potentials des heutigen Gebäudebestands ausgegangen, sondern nur von 60% (d. h. von etwas mehr als die Hälfte), um eine realistische Potenzialgrösse zu erhalten, da das realisierbare Potenzial u.a. an technische und ökonomische Zyklen gebunden ist.

Flächen abzüglich Solarthermie-Reserve ausgeschöpft. Das zeigt, dass Kantone erheblichen Einfluss auf den Ausbaupfad nehmen können. Zur vollständigen Ausschöpfung der Potenziale ist eine zeitnahe Ergänzung und Intensivierung von Massnahmen auf Bundesebene aber dringend nötig.

Ergebnisse im Bereich der Neubauten

Gegenüber der Referenz erzielt die Variante V0 eine deutliche Zusatzwirkung, d. h. eine gesetzliche Anforderung in Anlehnung an jene gemäss *MuKE n 2014* ist wirksam, wenn Ausnahmen so stark als möglich beschränkt werden (sowohl begründbare Ausnahmen ohne wie auch mit Ersatzabgabe). Die Wirkung kann bedeutend erhöht werden, wenn – wie in Variante V1 unterstellt – eine dachflächenfüllende Anlage gefordert wird. Eine zusätzliche kantonale Förderung von Fassadenanlagen (V2) bringt eher geringe Zusatzwirkung, weil annahmengenäss aus Akzeptanz- und anderen Gründen von einer geringen Auslösewirkung ausgegangen wird. Wird diese mit einer expliziten Fassadeninstallationspflicht kombiniert (V3), kann hingegen eine spürbare Zusatzwirkung erzielt werden.

Ergebnisse im Bereich der Bestandsbauten

- V0: Eine gegenüber der Referenz zusätzliche kantonale Förderung dachflächenfüllender Anlagen, Fassadenanlagen sowie einem Bonusbeitrag bei WP-Installation (V0) erzeugt eine spürbare Zusatzwirkung (mehr als eine Verdoppelung im Vergleich zur Referenz), die im absoluten Ausmass aber moderat bleibt.
- V1: Die Kombination dieses kantonalen Förderpakets mit einer Installationspflicht bei Dachsanierung (per Minimalanforderung 10 W/m² EBF) (V1) führt, auch bei starker Einschränkung von Ausnahmen, nur zu einer gewissen Akzentuierung, die aber v. a. wegen der tiefen Dachsanierungsraten beschränkt ausfällt.
- V2: Einen weiteren Anstieg der Wirkung würde mit einer Kombination des kantonalen Förderpakets mit einer Installationspflicht bei WP-Installation erreicht (V2), deren Umsetzungs-raten bei unterstellter Annahme des CO₂-Gesetzes höher liegen als jene bei den Dachsanierungen. Allerdings ist schon ein substanzieller Teil der Gebäude (gegen 40 %, siehe Jakob et al. 2021) mit erneuerbaren Energien ausgestattet, so dass die WP-Installationsrate zwar höher ist als die Dachsanierungsrate, aber nicht um Grössenordnungen (zudem sind Doppelzählungen mit Dachsanierungen und WP-Installationen herauszurechnen).
- V3: Eine Installationspflicht im Zusammenhang mit WP zusammen mit der Anforderung einer dachflächenfüllenden Anlage (V3) würde die Wirkung sehr stark erhöhen (um rund die Hälfte im Vergleich zu V2), so dass mit V3 rund ein Drittel des dynamischen Bestandspotenzials (siehe Fussnote⁶ Seite 19) bis 2035 ausgeschöpft wird.

Förderbedarf für die kantonale Zusatzförderung und Rückschlüsse zur Finanzierung

Folgende Tabelle 7 zeigt die Kernergebnisse der Wirkungsanalyse (Details zu Methodik, Annahmen und Ergebnissen vgl. Anhang).

Tabelle 7: Benötigte kantonale Mittel für die finanzielle Förderung (zusätzlich zu einer kontinuierlichen Bundesförderung basierend auf den Jahren 2018/2019), kumuliert 2021 bis 2035 (in Mio. Franken)

Kanton Aargau						
		Ref	V0	V1	V2	V3
National (EIV)	gesamt	104	230	345	387	618
	Neubau	41	64	160	181	332
	Bestand	63	166	185	207	285
Kantonal	gesamt	0	51	79	90	90
	Neubau	0	0	0	10	18
	Bestand	0	47	73	75	68
Total		104	281	424	477	708
Ergänzend Gebäudeprogramm-Beiträge⁷		0	0	33	91	91
Kanton Zürich						
National (EIV)	gesamt	131	282	473	563	1027
	Neubau	58	87	235	275	622
	Bestand	74	195	239	288	405
Kantonal	gesamt	0	56	90	108	101
	Neubau	0	0	0	14	21
	Bestand	0	56	90	94	80
Total		131	338	563	671	1128
Ergänzend Gebäudeprogramm-Beiträge⁸		0	0	53	160	160

Die Ergebnisse zeigen, dass der Bund eine tragende finanzielle Rolle bei diesen Strategievarianten hätte, von V0 bis V2, besonders aber bei V3 (Faktor 7 bis 10 zw. kantonalen und Bundesmitteln). Der hohe Bundesanteil (im Vergleich zu den Kantonsbeiträgen) erklärt sich durch den

⁷ Bei den Kosten der ergänzenden Gebäudeprogramm-Beiträge sind nur die für den Solarstrom in fragekommenden Dachflächen berücksichtigt worden.

Umstand, dass beim Bund auch Anlagen in Neubauten gefördert werden⁸ und dass sich die Kantonsmassnahmen mehr auf Anforderungen und Pflichten abstützen (auch im Bestandbereich). Eine hohe Bundesbeteiligung ist also Voraussetzung der Strategievarianten. Falls sie sich so umsetzen liessen, liegt die Grössenordnung der kantonalen Zusatzfördervolumen in einem Bereich, in dem eine mehrheitliche Finanzierung der Kantonsbeiträge über den ordentlichen Haushalt grundsätzlich denkbar wäre.⁹ Eine kantonale Stromabgabe zur Mitfinanzierung der Zusatzförderung ist also wohl nicht zwingend notwendig, wenn diese wie hier angenommen auf ausgewählte Fördergegenstände eingeschränkt wird und keine allzu hohen kantonalen Fördersätze vorgesehen werden. Eine kantonale Stromabgabe würde allerdings seitens Finanzierungsrisiken bei einem über (z. B.) zehn Jahre angesetzten Förderprogramm einen zentralen Beitrag leisten. Eine finanzierungsseitig erzwungene «stop-and-go»-Politik, die Folge einer haushaltsfinanzierten Förderung sein kann, würde die Erreichung der Ausbauziele in Frage stellen. In diesem Sinne bleibt eine kantonale Stromabgabe zumindest eine zu prüfende kantonale Schlüsselmassnahme, die im Kontext der kantonalen Zusatzförderung integral mitzudenken ist. Eine kantonale Stromabgabe ist zudem prüfenswert, wenn es darum geht, minimale Einspeisetarife (zur Harmonisierung zwischen den Kantonen) sicherzustellen.

Kantonaler Vollzugaufwand

Tabelle 8 zeigt die mit den untersuchten Varianten verbundenen Anzahl Fälle mit kantonalem Zusatzbeitrag und/oder Installationspflicht bis 2035. Die Anzahl der Fälle liegt in einer Grössenordnung, die bezüglich dem kantonalen Vollzugaufwand bedeutend ist. Zu beachten ist diesbezüglich, dass bei Neueinführung tiefgreifender Massnahmen der Vollzugaufwand besonders in den ersten Jahren typischerweise überproportional hoch ausfällt (Initialaufwände sowie Reibungsverluste in frühem Lernkurven-Stadium).

⁸ Vorbehältlich Limitierungen auf Bundesebene, die hier nicht berücksichtigt sind, ebenso wenig wie die nationale Revision des Energiegesetzes.

⁹ Die Einnahmen aus der Ersatzabgabe seitens der Installationspflichten könnten unabhängig von der Detailausgestaltung hier nur einen kleinen Anteil der Finanzierung leisten, wenn Ausnahmen von der Installationspflicht – wie in dieser Analyse angenommen – möglichst stark eingeschränkt werden.

Tabelle 8: Anzahl Fälle mit kantonalem Zusatzbeitrag und/oder Installationspflicht bis 2035 (in 1000)

Kanton Aargau					
	REF	V0	V1	V2	V3
gesamt	–	50	60	80	110
Neubau	–	30	30	40	70
Bestandsbau	–	20	30	40	40
Kanton Zürich					
	REF	V0	V1	V2	V3
gesamt	–	70	85	115	160
Neubau	–	45	45	55	100
Bestandsbau	–	25	40	60	60

Ausgelöste Investitionen und Wirtschaftlichkeit aus der volkswirtschaftlichen Perspektive

Die Ergebnisse zu den Varianten mit maximalem kantonalem Eingriff zeigen (d. h. Fall mit Variante V3 für Neubauten und Bestandsbauten), dass die Ausschöpfung von rund 40 % des Gesamtpotenzials (bis 2035) an gut und sehr gut geeigneten Flächen abzüglich Solarthermie-Reserve mit bedeutenden Investitionen verbunden ist (Tabelle 9).

Tabelle 9: Gesamthaftes Investitionsvolumen in Solarstromanlagen bis 2035 (in Mio. Franken)

	REF	V0	V1	V2	V3
Kanton Aargau	252	662	1080	1200	1770
Kanton Zürich	301	979	1620	1930	3140

Ob und in welchem Ausmass diese Investitionen (un-)wirtschaftlich sind, kann mit einer volkswirtschaftlichen Investitionsrechnung quantifiziert werden, wie sie für den Solarstromanlagen-ausbau aktuell z. B. im Rahmen von *ZHAW 2020a* durchgeführt wurde. Diese Studie kommt in Übereinstimmung zu älteren Studien zum Ergebnis (vgl. z. B. *INFRAS/TNC 2010*), dass ein forcierter Solarstromanlagenausbau in der Schweiz mit einer «deutlich schwarzen Null», d. h. sogar mit einer geringen volkswirtschaftlichen Rendite, möglich ist. Diese Ergebnisse sind Tendenzaussagen, welche nicht 1:1 auf die Kantone Aargau und Zürich übertragen werden können. Ein generell kritischer Punkt bei solchen Investitionsrechnungen ist, welcher finanzielle Wert dem in den nächsten Jahrzehnten erzeugten Solarstrom unterstellt wird. Ein Teil des jährlich erzeugten Stroms wird in einem europäischen Umfeld, wo generell viel Solarstromanlagen zugebaut werden, vor allem in Sommerzeiten und um den Mittag volkswirtschaftlich bzw. finanzi-

ell nicht verwertbar sein. Je stärker dieser in *BKW 2020* explizit geschätzte «Kannibalisierungseffekt» ausfällt, desto unwirtschaftlicher wird die Investition in den Solarstromanlagen ausbau. Auf der anderen Seite verdeutlicht selbst eine Analyse wie in *BKW 2020*, dass die volkswirtschaftlichen Kosten eines sehr starken Solarstromanlagen ausbaus in der Schweiz auch unter ungünstigen Bedingungen überschaubar bleiben, sowohl absolut wie auch im Vergleich zur hiesigen Wirtschaftskraft.

Inländische Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekte

In Übereinstimmung mit vorangehenden Erläuterungen ist ein forcierter Solarstromanlagen ausbau in einer komparativ-statischen, partialanalytischen Perspektive (Tabelle 10) aus heutiger Sicht insgesamt mit neutralen bis positiven Auswirkungen auf die inländische Wertschöpfung und positiven Auswirkungen auf die hiesige Beschäftigung verbunden. Die Studienlandschaft mit direktem und indirektem Bezug zu dieser spezifischen Fragestellung zeigt, dass je nach Methode und Annahmen unterschiedliche Ergebnisse resultieren – beim Effekt auf die Wertschöpfung zum Teil auch mit umgekehrtem Vorzeichen. Allen Studien gemeinsam ist, dass die entsprechenden Effekte im Vergleich zur gesamten Wirtschaftsleistung bzw. Beschäftigung sehr gering sind. Eine starke Kurswende im Bereich der Solarstromerzeugung in der Schweiz (primäres Ziel) ist also mit sehr geringen Auswirkungen auf Wertschöpfung und Beschäftigung möglich.

Tabelle 10: Qualitative Analyse zu Wertschöpfungs- und Beschäftigungseffekten des Solarstromausbaus

	positive Effekte	negative Effekte	Nettoeffekt
Anlagen-installation «einmalige» Effekte während der Transformationsphase	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Direkte und indirekte (Vorleistungen) positive Effekte der Anlageninstallation (vgl. z. B. <i>ZHAW 2020b</i>) ▪ Hauptprofiteurin: Bau- und Installationsbranche («Solarbranche») 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Volkswirtschaftlicher Mittelentzug zur Finanzierung des Ausbaus. ▪ Betrifft Gesamtwirtschaft 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weil der wertschöpfungskettenübergreifende Importanteil des Solaranlagenausbau eher höher liegt als beim Mittelentzugseffekt, wirkt sich der Anlagenausbau (ohne Berücksichtigung der Betriebsphase) eher negativ auf das BIP aus. ▪ Weil die Bruttowertschöpfung je Vollzeitäquivalent (VZÄ) für den Solaranlagenausbau deutlich tiefer liegt als jene im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt, wirkt sich der der Anlagenausbau (ohne Berücksichtigung der Betriebsphase) positiv auf die Beschäftigung aus.
Betriebsphase anhaltende Effekte über die Lebensdauer der Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Positiver volkswirtschaftlicher Einkommenseffekt, weil bei ausschliesslicher Betrachtung der Betriebsphase weniger Ausgaben für Strom getätigt werden müssen. ▪ Hauptprofiteure: in erster Linie Stromverbraucher 	Umsatzrückgang der Strombranche (bei ausschliesslicher Betrachtung der Betriebsphase)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Weil die wertschöpfungsseitigen, positiven Effekte wohl zu einem höheren Anteil im Inland wirksam sind als die negativen, kann von einem gering positiven Nettowertschöpfungseffekt ausgegangen werden. Zu beachten ist, dass dieser über die Lebensdauer der installierten Solaranlagen anhält. ▪ Seitens Beschäftigung ist der über die Lebensdauer der Anlagen anhaltende Nettoeffekt positiv, weil die Bruttowertschöpfung je VZÄ in der Strombranche wesentlich höher liegen als jene im gesamtwirtschaftlichen Durchschnitt.

Finanzierung und Verteilungseffekte

Folgende Tabelle 11 zeigt die Finanzierungsanteile der Investitionen in den Solaranlagenausbau, wobei die heute bereits etablierte kommunale Zusatzförderung nicht berücksichtigt ist (eine Detailanalyse wurde im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht durchgeführt). Zu den hiermit verbundenen Verteilungseffekten ist folgendes zu erwähnen:

- Finanzierungsanteil EIV: Dieser wirkt moderat regressiv; regressiv, weil mit dem zugrundeliegenden nationalen Netzzuschlag die durchschnittliche, relative Belastung des Haushaltseinkommens mit zunehmendem Einkommen sinkt. In absoluten Zahlen ist dieser Effekt moderat, weil der Anteil der Stromaushgaben am Einkommen auch bei Haushalten mit tiefem Einkommen gering ist (vgl. hierzu *BSS 2019*).
- Finanzierungsanteil Kanton: Würde die kantonale Zusatzförderung über eine kantonale Stromabgabe finanziert, gälte bezüglich Verteilungseffekten das gleiche wie zum Finanzierungsanteil EIV. Würde sie hauptsächlich über den ordentlichen Haushalt finanziert, hätte

sie eine gewisse progressive Wirkung (wegen Steuerprogression; dieser Effekt wird allerdings durch den Umstand gemildert, dass v. a. einkommensstarke Haushalte und Eigentümer in den Genuss von Fördergeldern kommen, im Gegensatz zu einkommensschwachen und Mietenden).

- **Finanzierungsanteil Eigentümerschaften:** Gebäudeeigentümerschaften können die Investitionen in Solarstromanlagen nicht auf die Mieten überwälzen (Solarstromanlage gilt diesbezüglich nicht als Teil der Immobilie, und den Mietenden kann kein erhöhter Strompreis verrechnet werden). Jedoch können die Investitionen vom steuerlichen Einkommen abgezogen werden (Privatpersonen) bzw. als Investition bzw. Abschreibung auf der Sollseite verbucht werden (institutionelle Eigentümer). Zudem werden im Bereich der Einfamilienhäuser viele Anlagen auf Häusern erstellt, die von den Eigentümerschaften selbst bewohnt werden. Bei Vernachlässigung weitergehender Rück- und Wechselwirkungen würde sich dieser Finanzierungsanteil – unter der Annahme, dass den EigentümerInnen letztlich nicht amortisierbare Mehrkosten entstehen – tendenziell progressiv auswirken, weil Gebäudeeigentümerschaften mehrheitlich zu den einkommensstarken Haushalten zählen. Der letztlich resultierende Verteilungseffekt ist wegen den Wechselwirkungen zu den Strompreisen aber nicht abschätzbar bzw. müsste vertieft analysiert werden.
- **Gesamtfazit:** Weil der Finanzierungsanteil der Eigentümerschaften den mit Abstand grössten Anteil ausmacht und die Finanzierung seitens kantonaler Zusatzförderung nicht definiert ist, sind detaillierte Aussagen zu den netto resultierenden Verteilungseffekten nicht möglich. Insgesamt werden sie aber unabhängig vom «Vorzeichen» (regressiv bzw. progressiv) für die hier untersuchten Varianten sehr moderat ausfallen.

Tabelle 11: Finanzierungsanteile Investitionen in den Solarstromanlagenausbau bis 2035 (heute bereits etablierte kommunale Zusatzförderungen sind hier nicht berücksichtigt)

Kanton Aargau					
	<i>REF</i>	<i>V0</i>	<i>V1</i>	<i>V2</i>	<i>V3</i>
Einmalvergütung (Bund)		30 %	30 %	30 %	30 %
kantonale Zusatzförderung		7 %	7 %	7 %	5 %
Eigentümerschaften		63 %	63 %	63 %	65 %
Kanton Zürich					
	<i>REF</i>	<i>V0</i>	<i>V1</i>	<i>V2</i>	<i>V3</i>
Einmalvergütung (Bund)		30 %	30 %	30 %	30 %
kantonale Zusatzförderung		5 %	6 %	6 %	3 %
Eigentümerschaften		65 %	64 %	64 %	67 %

Weitere Auswirkungen

Weitere Auswirkungen sind im Rahmen dieser Analyse nicht untersucht worden, insbesondere jene bezüglich folgender ebenfalls wichtiger Aspekte (im Rahmen einer Detailprüfung bzw. Einführung von kantonalen Schlüsselmassnahmen wären diese Auswirkungen auf Basis verfügbarer Literatur zu vertiefen):

- Versorgungssicherheit
- Verteilnetze (im Bereich der Spannungshaltung, aber auch im Umgang mit Leistungsspitzen sowie dem Netzschutz), Netzausbaubedarf sowie Wechselwirkungen in Bezug auf weitere Themenfelder (Demand-Side-Management, Smartgrid, Strom- und Energiespeicher, Power-to-X-Technologien (namentlich Elektromobilität), etc.)
- Stromwirtschaft (Herausforderungen Gesamtmarkt und Marktstruktur in der Schweiz, Auswirkungen auf Unternehmensebene), Wechselwirkungen in Bezug auf Entwicklungen bei der Strommarktregulierung
- Ökologische Auswirkungen (v. a. im Bereich der Produktionsvorketten hinsichtlich Klimaschutz und Ressourcen)
- Auswirkungen auf Architektur, Städtebau und Ortsbild- und Landschaftsschutz

6. Prioritäten zur Ergänzung und Begleitung der kantonalen Schlüsselmassnahmen

Die Schlüsselmassnahmen sind mit *ergänzenden und begleitenden Massnahmen* zu kombinieren, die als Haupttreiber zwar nicht hinreichend, aber für die angestrebte starke Ausbaubeschleunigung zwingend notwendig sind. Die heute seitens Bund, Kantonen und Gemeinden bereits umgesetzten Massnahmen bieten dabei eine solide Ausgangslage für zusätzliche Anstrengungen im kantonalen Einflussbereich. Als Zielgruppen höchste Priorität haben zum einen die Energieversorgungsunternehmen, die im Kanton Kunden mit Strom beliefern, und zum anderen die Hauseigentümerschaften. Zudem ist entscheidend, dass der Kanton eine glaubwürdige und ambitionierte Vorbildrolle einnimmt und sich auf übergeordneter Ebene beim Bund sowie anderen wichtigen Akteuren aktiv für stärker wirkende Massnahmen einsetzt.

Tabelle 12: Ergänzende und begleitende kantonale Massnahmen

Prioritäre Massnahmen	
Energieversorgungsunternehmen (EVU)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Grundversorgung auf Kantonsgebiet: Angebot Standardstrommix mit Schweizer Solarstrom (zu prüfen: z. T. oder ganz auf Kantonsgebiet erzeugter Strom) möglichst kantonal gesetzlich verankert zur Pflicht machen (Einführung Minimalanteil am Liefermix, mit sukzessiver Steigerung im Zeitverlauf), Endkunden müssen selbst aktiv werden, wenn sie anstelle des Energiestrategie-konsistenten Liefermix einen anderen Mix beziehen wollen. ▪ Im kantonalen Einflussbereich EVU im (Mit-)Eigentum mit allen möglichen Mitteln dazu bewegen, direkte und indirekte Beiträge an die Anlagenausbaubeschleunigung zu leisten (u. a. mit eigenen Regelungen zu minimalen Rückspeisetarifen). Bei Bedarf spezifische finanzielle Unterstützung vorsehen (Grossprojekte identifizieren, mit Machbarkeits- und Vorstudien konkretisieren und «investment-ready» machen, Vorzeigeprojekte von EVU mit direktem oder indirektem Bezug zum Solarstromanlagenausbau, technische Analysen und juristische Gutachten etc.).
Gebäudeeigentümerschaften	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kommunikationsoffensive zum kantonalen Schlüsselmassnahmen-Paket (bestehende Sensibilisierung und Information ergänzen, schärfen, intensivieren). ▪ Indirekte finanzielle Förderung (bestehende Beratungsmassnahmen im Gebäudebereich hinsichtlich Solarstromanlagenausbau ergänzen/optimieren; weitere indirekte Massnahmen zu prüfen, z. B. Übernahme Transaktionsmehrkosten Grossprojekte, ZEV-Projekte etc.).
Vorbildrolle und Engagement	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Planung (Ausbau und Finanzierung) eines zielkonsistenten Solarstromanlagenausbaus auf/an Gebäuden im Kantonseigentum sowie, soweit möglich, auf/an «kantonsnahen Gebäuden» (z. B. Kantonsspitäler); Vorantreiben politischer Beschlüsse zur Umsetzung, möglichst mit Zieljahr 2040 (Ambitionsniveau muss deutlich höher sein als jenes für den Gesamtmarkt). ▪ Konsequente Einflussnahme bei Akteuren im (Mit-)Eigentum oder mit (in-)direkter Einflussmöglichkeit (bei Bund und Gemeinden genauso wie bei EVU, Pensionskassen, Kantonalbanken, Verkehrsverbundunternehmen, Kantonsspitalern etc.) sowie im Rahmen von Siedlungs- und Verkehrsentwicklungsprojekten mit kantonalen Beteiligung (Grundsatz: keine Infrastrukturausbauten ohne Solarstromanlagenausbau).

Weitere Massnahmen (zu prüfen)

- Initiierung und aktive Unterstützung von Aktivitäten auf Bundesebene im Bereich Aus- und Weiterbildung von Fachkräften mit Fokus auf den Solarstromanlagenausbau, Prüfung und Konkretisierung von Möglichkeiten für das kantonale Engagement im Bereich Aus- und Weiterbildung
- Verfahrensvereinfachungen und -optimierungen innerhalb des Spielraums der übergeordneten Raumplanungsgesetzgebung (im Kanton Aargau z. B. im Bereich der Flachdächer) und Optimierung der Grundlagen für Bauherrschaften und Planer (GIS-Informationen mit gebäudescharfen Informationen zu den Verfahrensanforderungen; in Zusammenarbeit mit den Gemeinden zu entwickeln)
- Eigene Umsetzung bzw. Ergänzung von finanziellen Anreizen, die typischerweise in den Aufgabenbereich des Bundes fallen:
 - Kantonale Minimal-Rückliefertarife (falls auf Bundesebene nicht zeitnah umgesetzt)
 - Spezifische (Zusatz-)förderung von Grossanlagen auf Kantonsgebiet, die an der möglicherweise in wenigen Jahren eingeführten bundesweiten Grossanlagenförderung teilnehmen (z. B. im Rahmen des vorgeschlagenen Ausschreibungsmodells)
- Kantonale Unterstützung von P+D-Projekten auf dem eigenen Kantonsgebiet (Potenzialanalysen, Unterstützung für Machbarkeits- und Vorstudien, Projektanträge für Förderung etc.; Beispiele: Solarstromanlagen im Bereich von Gewächshäusern, Sonnen-/Hagelschutz etc.).
- Initiierung und Unterstützung Grundlagen/Tools für die Erfolgskontrolle und Bekanntmachung des Solarstromausbaustands auf Kantonsgebiet

7. Geeignetes Vorgehen bezüglich Detailprüfung und Einführung kantonaler Massnahmen

Auf Basis der Auswirkungsanalyse im vorangehenden Kapitel 5 können kantonale Schlüsselmassnahmen hinsichtlich ihrer Relevanz und Effektivität (Zielbeitrag innerhalb des prioritären Zeithorizonts bis 2035) sowie ihren weiteren Auswirkungen bewertet werden. Um ein Prioritätenorientiertes und fokussiertes Vorgehen für das kantonale Engagement zu definieren, ist bei gegebenem Zeitdruck aber vor allem auch das Kriterium der Umsetzbarkeit einzubeziehen, wobei insbesondere Komplexität und minimale Einführungsdauer, Transparenz und Nachvollziehbarkeit, «Akzeptanz-Schmerzgrenze» betroffener Zielgruppen sowie ein praxistauglicher Vollzug wichtig sind. Unter Einbezug dieser Kriterien sehen wir aus einer kantonalen Perspektive folgende Prioritäten:

1. Aktive Unterstützung im politischen Prozess in Zusammenarbeit mit anderen Kantonen sowie ambitionierten Städten, dass Schlüsselmassnahmen auf Bundesebene (vgl. Kap. 3) zeitnah umgesetzt werden. Den Fokus gilt es hier auf Massnahmen zu legen, die im politischen Prozess in Bezug auf die kommenden zwei bis drei Jahre die höchsten Umsetzungschancen haben (Intensivierung und Optimierung der Förderung Grossanlagen, staatlich regulierte minimale Rückspeisetarife, ggf. Intensivierung der Breitenförderung sowie bundesweite spezifische Zusatzförderung von dachflächenfüllenden Anlagen). Theoretisch wirksamere Massnahmen auf dem Radar halten und Opportunitäten nutzen (Quotenmodelle mit vorgegebenem Ausbaupfad, schweizweite Installationspflichten mit stetig erhöhter Abgabe für nicht genutzte, geeignete Flächen etc.).
2. Detailprüfung und Forcierung der ergänzenden und begleitenden Massnahmen gemäss Kap. 6, mit Fokus auf die prioritären Massnahmen im Bereich der wichtigsten Zielgruppen (Energieversorgungsunternehmen, Gebäudeeigentümerschaften) sowie der eigenen Vorbildwirkung. Ein solches Massnahmenpaket ist für eine gelingende Solarstromwende zwar nicht hinreichend, aber zwingend notwendig.
3. Zeitnahe Einführung kantonaler Installationspflichten für gut und sehr gut geeignete Dachflächen von Neubauten, mit möglichst starker Einschränkung von Ausnahmen sowie mit Anforderung zur vollständigen Belegung der betroffenen Dachflächen (Flächenreserve für Solarthermie kann vorgesehen werden). Diese Verschärfung gegenüber der in den *MuKE 2014* vorgeschlagenen Ausgestaltung trägt viel bei zur notwendigen Ausbaubeschleunigung und ist die kantonale Schlüsselmassnahme mit dem besten Kosten-Nutzen-Verhältnis (Kap. 5). Zum zentralen Bottleneck der Akzeptanz ist hier anzumerken, dass die bundesweite Einmalvergütung wohl weiterhin gewährt würde, auch wenn die Installation einer Solarstromanlage in

einem Kanton gesetzlich vorgeschrieben ist. Diese Opportunität kann im kantonalen politischen Prozess verwertet werden («fordern und fördern», so wie dies bei tiefergreifenden Massnahmen im Kanton Basel-Stadt schon länger und bundesweit wohl auch nach Einführung des CO₂-Gesetzes im Bereich des Heizungsersatzes praktiziert wird und in Übergangsphasen aus Akzeptanzgründen zwingend nötig ist).

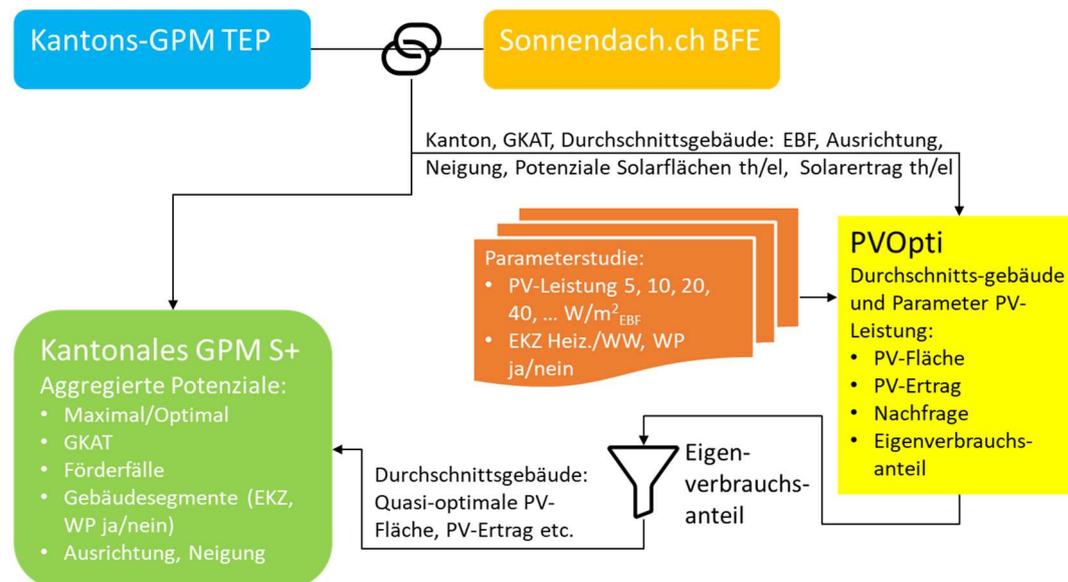
4. Vertiefte Prüfung eines geeigneten Vorgehens im Bereich der Bestandsbauten. Die Ausgangslage ist hier schwieriger, weil eine reine Förderstrategie im Vergleich zu den hohen Potenzialen nur wenig Wirkung auf die Ausbaubeschleunigung hat und die sanfteste Form einer Installationspflicht (eine Art *MuKE*-2014-Anforderung bei Dachsanierung mit starker Einschränkung von Ausnahmen) wegen der tiefen Dachsanierungsraten keinen allzu starken zusätzlichen Schub auslösen wird (Kap. 5). Dieser wäre an sich nur per Installationspflicht mit vollständiger Belegung gut und sehr gut geeigneter Dachflächen zu erreichen (mit möglicher Solarthermie-Reserve), die sowohl bei Dachsanierung wie auch bei WP-Installation vorgeschrieben würde. Die Eingriffstiefe einer solchen Massnahme ist im heutigen Kontext allerdings so hoch, dass als Alternative eine generelle Installationspflicht mit Übergangsfrist (z. B. 20 Jahre) für alle gut und sehr gut geeigneten Dachflächen gleichwertig in die Abwägung einbezogen werden kann (ggf. ergänzt durch eine stetig steigende Abgabe auf nicht genutzte Flächen). Weil die zeitnahe Umsetzbarkeit solcher Massnahmen grossen akzeptanzseitigen Risiken ausgesetzt ist, ist eine finanzielle Förderung mit sehr hohen kantonalen Fördersätzen als Second-best-Lösung vertieft zu prüfen (v. a. hinsichtlich Finanzierbarkeit, denn die kurzfristige Einführung einer kantonalen Stromabgabe – sollte diese hierfür nötig sein – ist ebenfalls mit bedeutenden Umsetzungsrisiken verbunden).

Anhang: Methodik, Annahmen, Detailergebnisse

Studiendesign und Grundlagen

Um die Auswirkungen der ausgewählten kantonalen Schlüsselmassnahmen beurteilen zu können, musste primär ein Mengengerüst der Solarpotenziale der Kantone Zürich und Aargau für Bestandsbauten, Neubauten und sonstige Anlagen erstellt werden. Als Basis dafür dienten der Solarkataster von Sonnendach.ch des BFE und Berechnungen von TEP Energy über den Anteil des eigenstromoptimierten Anteils (siehe Abbildung 2). Veröffentlichte Abrechnungen von Pronovo geben Aufschluss über die Dynamik der Potenzialausschöpfung der letzten zwei Jahre. Mit den Daten des Solarkatasters ist es möglich, eine erste Grundabschätzung des gesamten Potenzials zu erstellen und die Pronovo-Abrechnungen dienen als Basis für die Setzung der Referenzentwicklung.

Abbildung 2: Methodik der Dachflächenberechnung «optimiert» und «gesamt»



Grundlagen Bestandsbau

Die Grundlage der Studie basiert auf den Berechnungen der Solarpotenzialanalyse für Sonnendach.ch des BFE. Die Daten von Sonnendach.ch sind auf der Ebene von einzelnen Gemeinden und Gebäuden verfügbar. Im Rahmen dieser Studie wurden die gebäudescharfen Daten zu Ausrichtung, Neigung und Potenzielle der Dachflächen der Kantone Aargau und Zürich verwendet und ausgewertet. Diese Daten wurden mit Angaben zu Gebäudegrösse und EBF aus dem Gebäudeparkmodell von TEP Energy ergänzt, um eine detaillierte Analyse, aufgeteilt auf thermische und elektrische Erzeugnisse, zu ermöglichen. Dabei wurden nur Dachflächen mit mehr als

10 m² berücksichtigt. Der Modulwirkungsgrad wird auf 17 % geschätzt und die Performance ratio auf 80 %.

In der Berechnung des PV-Potenzials des Gebäudeparks wurde gemäss Methodik von Sonnendach.ch (BFE 2019) eine dem geschätzten Bedarf angepasste Reserve für solarthermische Anlagen berücksichtigt, damit der PV-Ausbau nicht zulasten des solarthermischen Potenzials gehen würde und letztere Option weiterhin zur Verfügung steht. Diese Reserve beträgt ungefähr 30 % der potenziell verfügbaren Dachflächen. Als Grundlage für die Potenzialberechnungen werden in diesem Bericht nur Dachflächen mit einer Eignungskategorie von mindestens "gut" für das gesamte Solarpotenzial berücksichtigt. Die Einteilung in die verschiedenen Kategorien kann der Tabelle 13 entnommen werden.

Tabelle 13: Einteilung der Dachflächen in die verschiedenen Eignungsklassen

Code	Beschreibung/Wert	Abhängigkeit zur mittleren jährlichen Einstrahlung
1	Gering	< 800 kWh / m ² / Jahr
2	Mittel	> 800 und < 1000 kWh / m ² / Jahr
3	gut	> 1000 und < 1200 kWh / m ² / Jahr
4	Sehr gut	> 1200 und < 1400 kWh / m ² / Jahr
5	Hervorragend	> 1400 kWh / m ² / Jahr

Die Fassadenflächen wurden von Sonnendach.ch nach einer vergleichbaren Methodik klassifiziert (Tabelle 14). Im vorliegenden Bericht sind ebenfalls nur Flächen mit einer Klassifizierung von mindestens "gut" für das Gesamtpotenzial berücksichtigt. Anzumerken ist, dass im Fall des Fassadenpotenzials keine thermische Reserve berücksichtigt wurde.

Tabelle 14: Einteilung der Fassadenflächen in die verschiedenen Klassen.

Code	Beschreibung/Wert	Abhängigkeit zur mittleren jährlichen Einstrahlung
1	Gering	< 600 kWh / m ² / Jahr
2	Mittel	> 600 und < 800 kWh / m ² / Jahr
3	gut	> 800 und < 1000 kWh / m ² / Jahr
4	Sehr gut	> 1000 und < 1200 kWh / m ² / Jahr
5	Hervorragend	> 1200 kWh / m ² / Jahr

Die Daten der Solarpotenzialanalyse bilden somit das Grundlagengerüst der Bestandsbauten wie auch für den Neubau.

Grundlagen Neubau

Die Daten von Sonnendach.ch für den Bestandsbau bilden auch die Grundlage für die Berechnung des PV-Potenzials im Bereich Neubau. Das dafür gewählte Vorgehen wird in den folgenden Abschnitten erläutert.

Unter Berücksichtigung einer Abschätzung der Energiebezugsflächenentwicklung bis 2050 mit dem Gebäudeparkmodell von TEP Energy und den Daten aus dem Sonnendach.ch-Solarkataster ist es möglich, das zusätzliche Solarpotenzial der Neubauten zu berechnen. Die wichtigsten Annahmen dazu sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Zuwachs der EBF Flächen der drei Gebäudekategorien

Zeitraum	Aargau		Zürich	
	2020-2035	2035-2050	2020-2035	2035-2050
Entwicklung der EBF Fläche Einfamilienhaus [EFH]	20 % Zuwachs	8 % Zuwachs	20 % Zuwachs	8 % Zuwachs
Entwicklung der EBF Fläche Mehrfamilienhaus [MFH]	15 % Zuwachs	8 % Zuwachs	20 % Zuwachs	7 % Zuwachs

Aus der Sonnendach.ch-Studie kann man entnehmen, dass nur ca. 70 % der gesamten Dachflächen in der Schweiz zu den Kategorien von mindestens "gut" gerechnet werden können. Dies wird für die Neubauten im Kanton Zürich und Aargau übernommen. Um das Neubaupotenzial zu berechnen, werden die Verhältnisse der so definierten PV-Flächen zur EBF berechnet und auf die Neubauten angewendet. Die dazu verwendeten Daten wurden auch aus dem Solarkataster entnommen und die resultierenden Verhältnisse sind in der Tabelle 16 dargestellt.

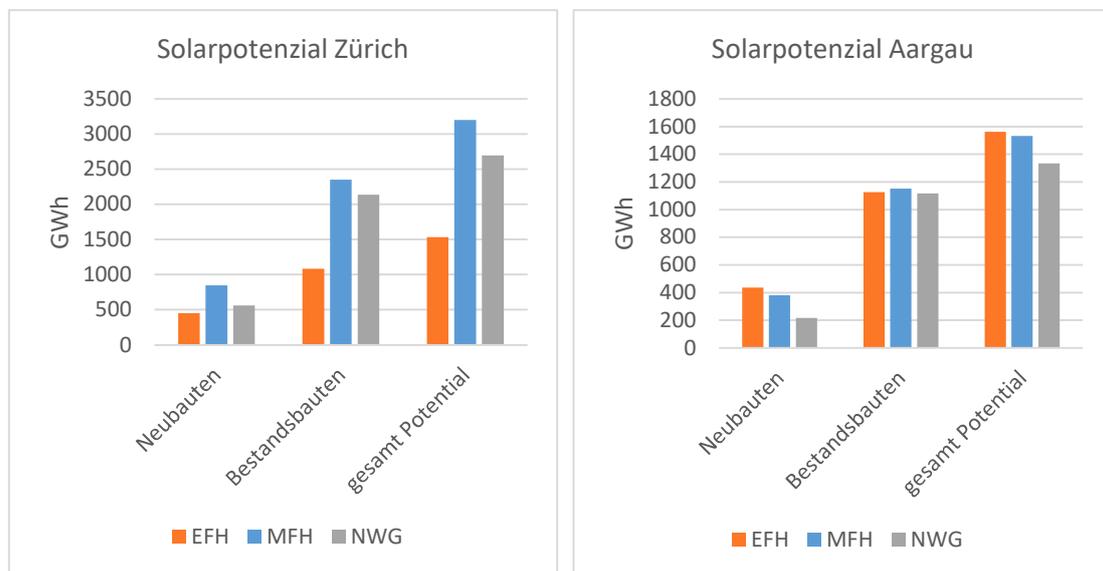
Tabelle 16: Von Sonnendach.ch abgeleitete Verhältnisse PV-Dachfläche zu EBF und PV-Fassadenfläche zu EBF

	Einfamilienhaus	Mehrfamilienhaus	Nicht-Wohngebäude
AG Nutzbare Dachfläche zu EBF	0.4	0.3	0.4
AG: Nutzbare Fassadenfläche zu EBF	0.5	0.4	0.2
ZH: Nutzbare Dachfläche zu EBF	0.35	0.2	0.4
ZH Nutzbare Fassadenfläche zu EBF	0.45	0.3	0.2

Die Ergebnisse der Potenzialberechnungen sind in Abbildung 3 dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass das Gesamtpotenzial des Kantons Zürichs nur ca. 50 % höher ist als das Potenzial des

Kantons Aargau. Dies kann auf die Daten des Solarkatasters zurückgeführt werden. Das so berechnete totale PV-Potenzial des Kantons Zürich wird auf ca. 7250 GWh und jenes des Kanton Aargau auf 4400 GWh geschätzt, wobei nur die gut geeigneten Dächer und Fassaden berücksichtigt sind. Zudem ist ersichtlich, dass das Neubaupotenzial bis 2050 ca. 25 % des gesamten Potenzials ausmacht.

Abbildung 3: Berechnete Potenziale der beiden Kantone Zürich und Aargau aufgeteilt auf die drei Gebäudekategorien Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Nicht-Wohngebäude.



Definition der Referenzentwicklung (REF)

Zur Analyse der Auswirkungen von zusätzlichen kantonalen Schlüsselmassnahmen wird in einem ersten Schritt eine Baseline berechnet. Das Baseline-Szenario stellt die Situation dar, falls nur die Pronovo-Förderung auf Bundesebene weitergeführt würde. Ausgehend von diesem Referenzszenario werden die Auswirkungen von zusätzlichen kantonalen Massnahmen bewertet.

Die Baseline wird von den abgerechneten Einmalvergütungen «klein» und «gross» der Pronovo abgeleitet. Dabei werden Fassadenanlagen im Referenzszenario als vernachlässigbar betrachtet. Das abgerechnete Solarpotenzial zwischen 2018 und 2020 der Pronovo für die zwei Kantone ist in Tabelle 16 dargestellt. Ein wichtiger Hinweis für die Interpretation der Resultate ist, dass im Kanton Zürich zwischen 2018 und 2020 nur ca. 20 % mehr Solarenergie gefördert wurde als im Kanton Aargau.

Ausgehend von statistischen Daten der Pronovo kann davon ausgegangen werden, dass ca. 30 % des abgerechneten Potenzials auf Grossanlagen zurückzuführen sind. Weil der Fokus dieser Studie vor allem auf Gebäude-gebundenen Anlagen liegt und Gebäude mit mehr als 100

kWp (Grenze für Grossanlagen) im berechneten PV-Potenzial vernachlässigbar sind, werden die Grossanlagen in dieser Studie vernachlässigt.

Tabelle 17: 70 % des abgerechneten Pronovo-Potenzials zwischen 2018 und 2020 ist in der Tabelle ersichtlich

	Zürich	AG
Abgerechnete Fördermenge (GWh)	46	38

In einem weiteren Schritt wird die abgerechnete Pronovo-Fördermenge auf die drei Gebäudetypen für die beiden Kantone umgerechnet (Tabelle 17). Dabei wird der unterschiedlichen Gebäudetypstruktur (z. B. mehr EFH im Kanton AG) und den Gebäudegrössen (grössere Gebäude mit weniger Dachfläche pro EBF) Rechnung getragen. Anzumerken ist, dass es sich hierbei mangels statistischer kantonaler Daten bei Pronovo um eine Schätzung handelt.

Tabelle 18: Die dargestellten Prozentangaben beziehen sich auf die 70 % der in Tabelle 16 festgehaltenen Fördermengen. Die fehlenden 5 % sind nicht Gebäude-gebundenen Anlagen zuzuschreiben (BFE Markterhebung Sonnenenergie 2019).

	Schweiz	Aargau	Zürich
Einfamilienhaus	30 %	50 %	30 %
Mehrfamilienhaus	10 %	15 %	15 %
Nicht-Wohngebäude	55 %	30 %	50 %

Der Unterschied der abgerechneten Pronovo-Fördermengen zwischen den beiden Kantonen im Zeitraum 2018 bis 2020 beträgt nur ca. 20 %. Wir gehen davon aus, dass sich das relative Verhältnis im Referenzszenario mittelfristig an den 50 %-Unterschied der gesamten PV-Potenziale angleichen wird. Deshalb werden die Annahmen für die beiden Kantone noch in dieser Hinsicht harmonisiert. Dies bedeutet, dass im Falle der Bestandsbauten und Neubauten von den gleichen prozentualen Anteilen des PV-Potenzials pro Gebäudegruppe ausgegangen wird. Die dabei festgelegten Werte für die beiden Kantone können Tabelle 19 entnommen werden. Dabei wird das im Referenzszenario geförderte Potenzial in Prozenten des jeweiligen gesamt PV-Potenzials dargestellt.

Tabelle 19: Die dargestellten Prozentangaben beziehen sich auf das gesamte Neubaupotenzial zwischen 2021 und 2035 bzw. auf das gesamte Bestandsbaupotenzial im Jahr 2020. Die Werte werden für beide Kantone angewendet.

	Neubau	Bestandsbau
	Anteil am gesamt PV-Potenzial	Anteil am gesamt PV-Potenzial
Einfamilienhaus	25 %	10 %
Mehrfamilienhaus	20 %	3 %
Nicht-Wohngebäude	15 %	6 %

Mit diesen Angaben ist es möglich, die im Referenzszenario erreichte PV-Energie zu berechnen.

Bewertung und Analyse der Schlüsselmassnahmen

Im folgenden Abschnitt wird das detaillierte Vorgehen für die Bewertung der Schlüsselmassnahmen beschrieben. Dabei wird vor allem auf die verschiedenen notwendigen Annahmen, welche zur Berechnung der Resultate notwendig sind, eingegangen. Interessante Zwischenergebnisse werden hervorgehoben. Das Kapitel wird in Bestandsbau, Neubau und einer Gesamtbeurteilung unterteilt.

Analyse der Bestandsbauten

Das berechnete Referenzszenario, kombiniert mit statistisch erhobenen Daten bezüglich den Sanierungsraten und Anteilen der drei gewählten Gebäudegruppen am gesamten Gebäudepark, bildet die Basis zur Auswertung der Auswirkungen der Schlüsselmassnahmen.

In einem ersten Schritt wird festgelegt, wie viel Prozent des Referenzszenarios durch Sanierungen ausgelöst werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass ohne zusätzliche Anreize maximal 30 % aller Dachsanierungen eine Anlage auf ihrem Dach installieren würden.

In Tabelle 20 sind die Verteilungsverhältnisse und die generellen Annahmen, welche z. T. auf einer Erhebung von TEP Energy bei 18 Kantonen in der Schweiz beruhen, dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass es im Kanton Zürich nur ca. 50 % mehr Gebäude gibt, welche im berechneten PV-Potenzial berücksichtigt werden. Zudem sind die relevanten Dachflächen der einzelnen Gebäude in Aargau ca. 20 % grösser als jene in Zürich (bezogen auf die EBF).

Tabelle 20: Mengengerüst der Kantone Zürich und Aargau. Die Prozentangaben beziehen sich auf die totale Anzahl an Dachsanierungen pro Kanton in der Referenzentwicklung.

	Aargau			Zürich		
	Total Anzahl Gebäude	Total Anzahl Dachsanierungen	Anteil Dachsanierungen mit PV (*)	Total Anzahl Gebäuden	Total Anzahl Dachsanierungen	Anteil Dachsanierungen mit PV (*)
EFH	83'000	7'300	20 %	87'000	7'700	30 %
MFH	38'000	3'500	10 %	81'000	6'600	10 %
Nicht-Wohngebäude	11'000	900	35 %	33'000	2'100	20 %

(*) Im Referenzszenario

Um die Schlüsselmassnahmen V0-V3 konsistent durchrechnen zu können, sind noch zwei weitere Parameter zu definieren.

- Der Anteil der Dachfläche, welcher im Falle einer Eigenverbrauchsoptimierung bedeckt würde.

- Der Anteil der Dachfläche, welcher im Falle einer MuKEn-Pflicht von 10 W installierter PV-Leistung pro Quadratmeter Energiebezugsfläche bedeckt wird.

Der erste Parameter wird zur weiteren Differenzierung des Referenzszenarios verwendet. Hierbei wird davon ausgegangen, dass die PV-Installationen mit dem Ziel einer eigenverbrauchsoptimierten Anlage erbaut werden. Der Ausnutzungsgrad einer eigenverbrauchsoptimierten Anlage zu berechnen wird mit dem PV-Opti der FHNW berechnet. Auch die PV-Produktion einer nach dem MuKEn-Standard gebauten Anlage wird damit bestimmt. Zur Vereinfachung der Berechnungen wird davon ausgegangen, dass die meisten Bestandsgebäude nicht mit Elektrizität (oder WP) beheizt werden und somit die Erzeugung der Raumwärme keinen Einfluss auf die Auslegung der PV-Anlage hat. Zusätzlich wird davon ausgegangen, dass im Falle einer batterie-losen eigenverbrauchsoptimierten Anlage ca. 30 % des Eigenverbrauchs durch die PV-Anlage abgedeckt werden.

In Tabelle 21 sind die gemittelten Werte der Dachausnutzungen der drei betrachteten Gebäudekategorien dargestellt. Der Grund für die unterschiedlichen Resultate zwischen den beiden Kantonen sind die unterschiedlichen für PV-Anlagen nutzbaren Dachflächen im Verhältnis zu den Energiebezugsflächen. Da im Kanton Aargau vergleichsweise grössere Dachflächen gebaut wurden, sind die «benötigten» Anteile (mit der Ausnahme der EFH) kleiner.

Tabelle 21: Dachausnutzung (%) für eine Dachauslegung nach MuKEn 2014 und für eine eigenverbrauchsoptimierte Anlage, differenziert nach Gebäudegruppe

	Aargau		Zürich	
	MuKEn 2014	Eigenverbrauch optimiert	MuKEn 2014	Eigenverbrauch optimiert
EFH	15 %	30 %	15 %	25 %
MFH	25 %	40 %	35 %	45 %
NWG	20 %	85 %	4 %	100 %

In Tabelle 22 sind die wichtigsten Annahmen der Auswirkungen der Förder- und Pflichtmassnahmen dargestellt. Da davon auszugehen ist, dass die relative Auslösewirkung in einem bestimmten Segment zwischen den beiden Kantonen grundsätzlich ähnlich ist, werden die Annahmen für beide Kantone einheitlich gewählt.

Tabelle 22: Verwendete Annahmen zu Berechnung der Auswirkungen der Schlüsselmassnahmen

	EFH	MFH	NWG
V0-V3: Anteil der in PV Installierungen in der Baseline, welche die Förderung in Anspruch nehmen	50 %	30 %	100 %
V0: Förderzusatz des Kantons an die Investitionskosten	10 %	10 %	10 %
V0-V3: Anteil der Fassadensanierungen, welche die Förderung in Anspruch nehmen	20 %	20 %	20 %
V1, V2 Anteil der Sanierungen, welche die Förderung für die dachfüllende Anlage in Anspruch nehmen	50 %	40 %	40 %
V1, V2 Förderzusatz des Kantons an die Investitionskosten	15 %	15 %	15 %
V3: Umsetzungsgrad der Pflichten	100 %	100 %	100 %

Analyse der Neubauten

Im Falle der Neubauten werden ähnliche Annahmen wie für die Bestandsbauten getroffen. Dabei wurden die Dachausnutzungsanteile aus Tabelle 21 für die Neubauten übernommen.

Analog zur Tabelle 22 werden in Tabelle 23 die notwendigen Annahmen zu den Auswirkungen der Förder- und Pflichtmassnahmen für die Neubauten festgehalten.

Tabelle 23: Unterstellte Auswirkungen für die verschiedenen Schlüsselmassnahmen.

	EFH	MFH	NWG
V2: Erreichtes Fassadenpotenzial	5 %	3 %	2 %
V3: Anteil des Fassadenpotenzials, welches durch die Förderung für grosse Anlagen erreicht wurde	10 %	20 %	20 %
V3: Anteil der PV-Fassadenbelegung, um die Förderung für grosse Anlagen in Anspruch nehmen zu können	40 %	40 %	40 %
V0-V3: Umsetzung der Pflichten	100 %	100 %	100 %

Analyse von Kosten und Nutzen ausgewählter kantonaler Schlüssel-massnahmen

Nachfolgend werden verschiedene Zwischenresultate und Erkenntnisse der Kosten- und Nutzenanalyse ausgewählter kantonaler Schlüssel-massnahmen beschrieben.

Zunächst wird auf die Ausnutzung des Potenzials bzw. die Wirkung der Schlüssel-massnahmen eingegangen. Dafür werden detailliertere und differenziertere Darstellungen, wie auch weitere Erklärungen und Interpretationen der Resultate bereitgestellt.

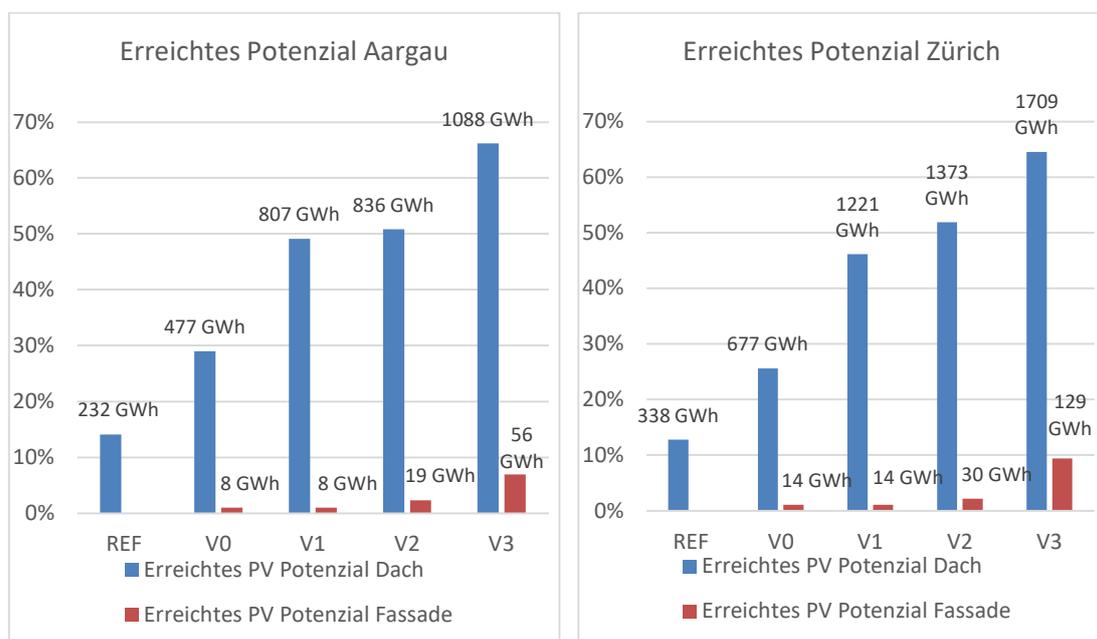
Abbildung 4 stellt die erreichten Potenziale der kantonalen Schlüssel-massnahmen und deren prozentuale Ausschöpfung des gesamten PV-Potenzials dar. Da das Dachpotenzial aber heutzutage schon stärker ausgenutzt wird und die gewählten Massnahmen stärker auf eine

Ausschöpfung des Dachpotenzials ausgelegt sind, werden die erreichten Dach- und Fassadenpotenziale in Abbildung 4 getrennt dargestellt.

Im Referenzfall ist der Kanton Aargau mit einer Ausschöpfung des Dachpotenzials von 16 % fast 50 % höher als der Kanton Zürich, was ebenfalls auf die höhere PV-Installationsrate des Kantons Aargau zurückzuführen ist. Weil der Referenzfall zu ca. 90 % aus renovationsunabhängigen Fällen besteht, zieht sich dieser Unterschied durch alle Schlüsselmaßnahmen durch. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die renovationsunabhängigen Fälle nur schwach von den ausgewählten Schlüsselmaßnahmen tangiert werden. Dieser Effekt auf die prozentuale Gesamtausschöpfung schwächt sich bei den verstärkten Massnahmen ab.

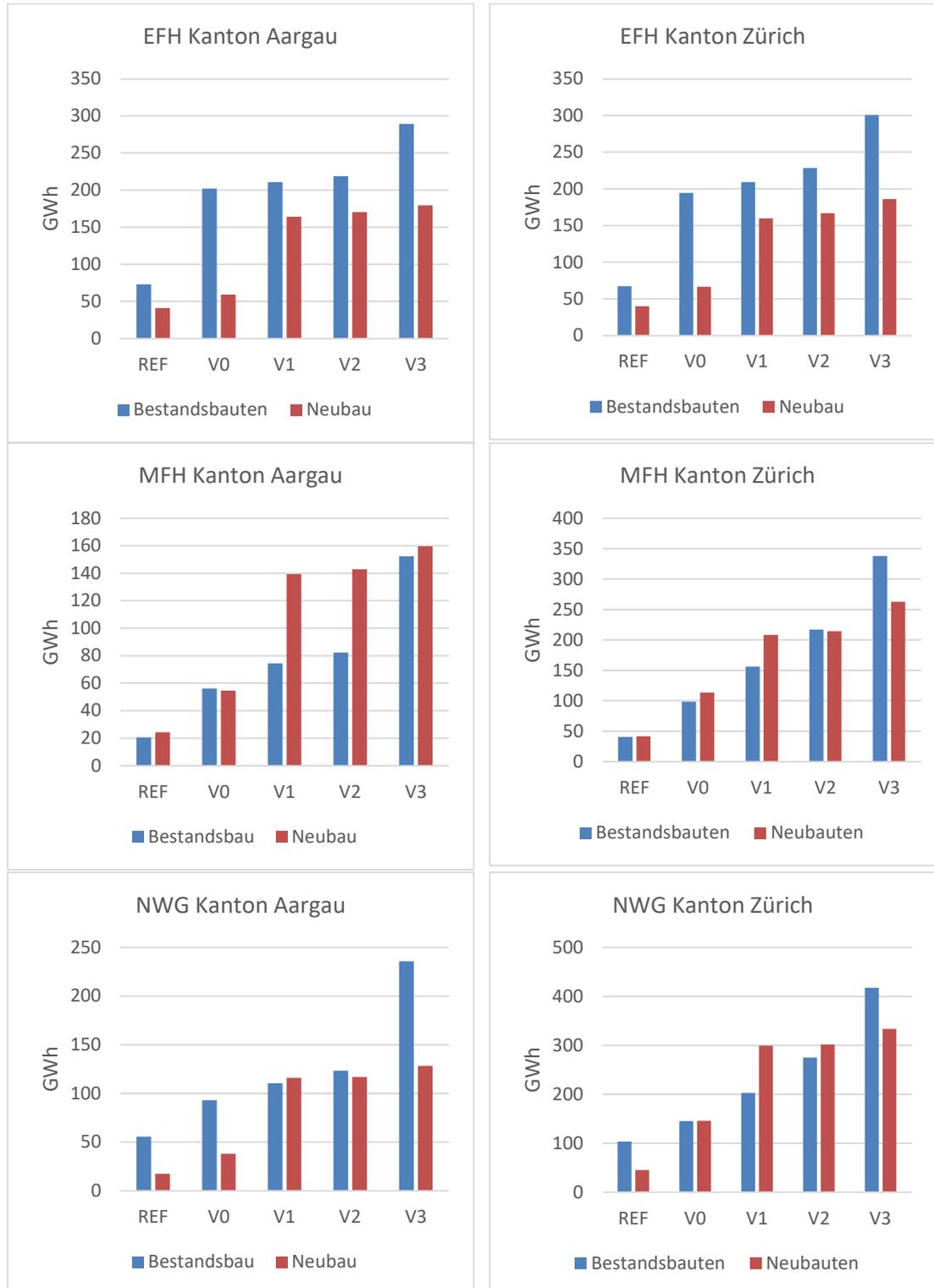
Wie aus Abbildung 4 ersichtlich ist, wird ca. 90 % des Fassadenpotenzials nicht ausgeschöpft. Dies kann auf eine fehlende Pflicht im Fassadenbereich im Bestandsbau und die angenommene schwache Wirkung von Fassadenförderungen zurückgeführt werden. Zusätzlich ist in Abbildung 3 auch die Absolutwerte der totalen erreichten Potenziale ersichtlich. Dabei ist zu bemerken, dass im Kanton Zürich trotz doppelter Fläche und Einwohnerzahl nur ein ca. 50 % höheres Potenzial erreicht wird. Dies kann wieder auf die Daten des Solarkatasters des Solardach.ch zurückgeführt werden, in welchem das gesamte Potenzial von Zürich auch nur ca. 50 % höher ist. Zu begründen ist dies durch den höheren Anteil an MFH und NWG im Kanton ZH im Vergleich zum Kanton AG, woraus ein geringeres Verhältnis Dachfläche zu EBF resultiert.

Abbildung 4: Ausgeschöpfte Potenziale (absolut und als Anteil) auf Dach- und Fassaden-PV aufgeteilt. Die Prozentangaben beziehen sich auf 60 % des gesamten im Kanton erreichbaren Potenzials (Anteil, der bis 2035 erreicht wird), aufgeteilt auf jeweils Dach- und Fassaden-Anlagen für die Kantone Aargau (links) und Zürich (rechts), bezogen auf die Periode 2020-2035.



Weil in Abbildung 4 keine Differenzierung der Gebäudegruppen gemacht wird, wird auf diese Unterschiede in Abbildung 5 genauer eingegangen. Daraus wird ersichtlich, dass ca. 50 % des Potenzials im Bereich Nicht-Wohngebäude erschlossen werden, wobei die durchschnittliche Anlagegrösse ca. 90 kWp beträgt. Es ist auch ersichtlich, dass sich die vergleichsweise stärkeren Regulationen im Neubau mit höheren Potenzialausschöpfungen auszahlen. Die unterschiedlichen Verhältnisse zwischen Neu- und Bestandsbau für die verschiedenen Gebäudekategorien können auf die Annahmen der Tabelle 18 zurückgeführt werden. So wurden zum Beispiel 90 % des Referenzpotenzials für Nicht-Wohngebäude den Bestandsbauten zugerechnet, welches zur Auswirkung hat, dass ein entsprechend höheres Potenzial im Bestandsbau erreicht werden kann als mit den Neubauten. Dies, obwohl im Falle der Neubauten verhältnismässig stärkere Massnahmen getroffen wurden.

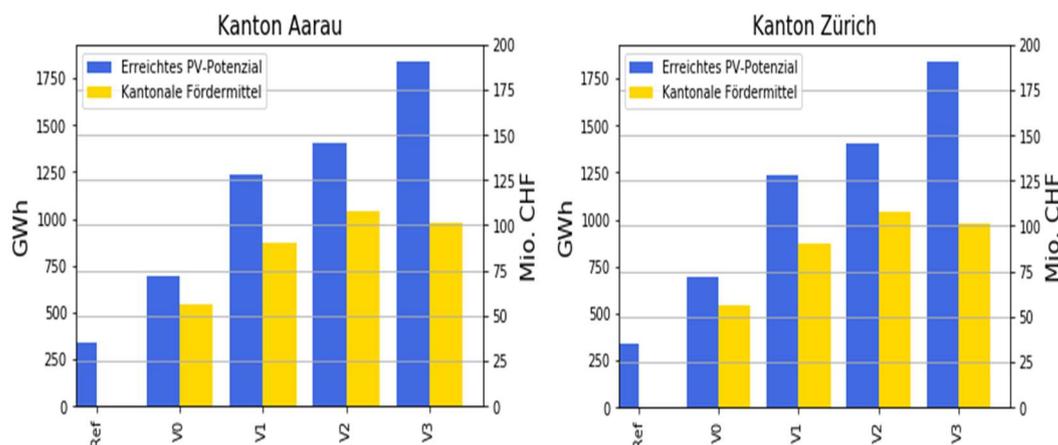
Abbildung 5: Ausgeschöpfte Potenziale in den Jahren 2020-2035 für die verschiedenen Gebäudetypen in den Kantonen Aargau (links) und Zürich (rechts)



In der Abbildung 6 werden die ausgeschöpften Potenziale mit den notwendigen kantonalen Fördermitteln in Verbindung gebracht.

Im Falle des Neubaus sind die meisten kantonalen Schlüsselmassnahmen in der Form von Pflichten angelegt, somit trägt der Neubau nur mit ca. 10 % zu den notwendigen kantonalen Förderbeiträgen bei. Auffallend in Abbildung 6 ist, dass obwohl in Zürich ein fast 50 % höheres Potenzial erreicht wird, die kantonalen Fördermittel nur ca. 30 % höher sind als im Aargau. Dies wird durch die intensiven Pflichten im Neubausektor ausgelöst, welche sich auf Grund der Pflichtnatur nicht in den kantonalen Fördermitteln widerspiegeln.

Abbildung 6: Ausgeschöpfte Potenziale und die damit verbundenen kantonalen Fördermittel. Das Potenzial ist dabei in Form der Säulendiagramme ablesbar und die dazu verwendeten kantonalen Fördermittel sind über den entsprechenden Säulen eingetragen (die mit GWh bezeichnete Achse bezieht sich auf die blaue Säule und die mit Mio. CHF bezeichnete Achse bezieht sich auf die gelbe Säule).



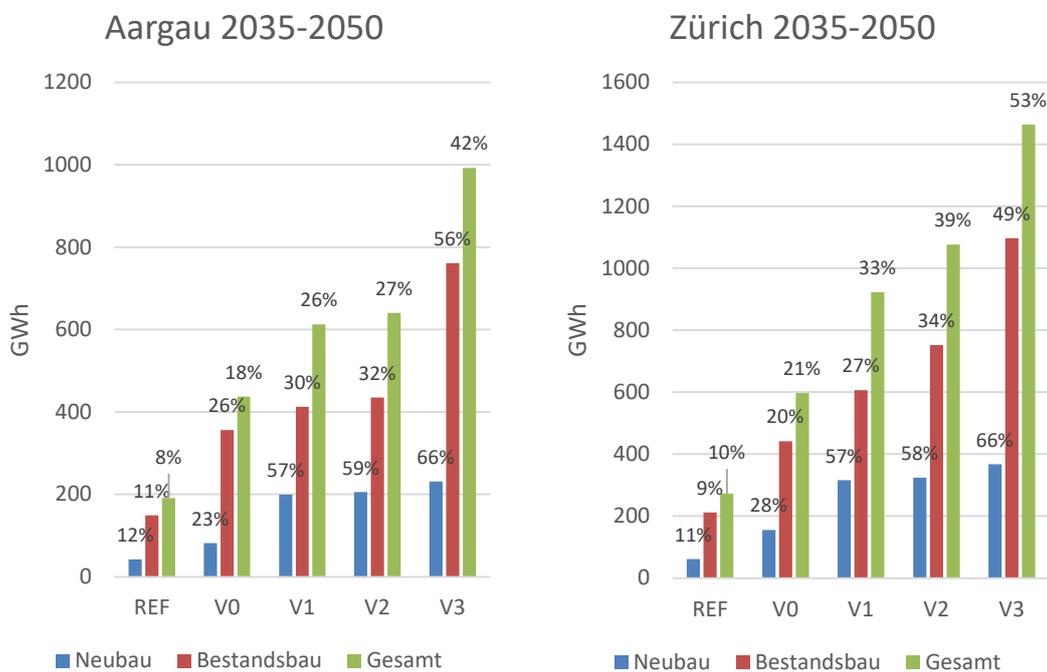
Resultate der Periode 2035-2050

In den bisherigen Betrachtungen wurde nur auf die Periode zwischen 2020 und 2035 eingegangen, da diese Periode als der kritische Zeitraum identifiziert wurde. Die Berechnungen wurden aber auch für den Zeitraum von 2035 bis 2050 durchgeführt. Die Resultate sind in Abbildung 7 dargestellt. Weil für den Bestandsbau von einer ungefähr gleich grossen mittleren Installationsrate im Zeitraum zwischen 2020 und 2035 wie zwischen 2035 und 2050 ausgegangen wird¹⁰, sind die Resultate für die Periode 2035-2050 sehr ähnlich wie jene zwischen 2020 und 2035.

¹⁰ Damit wird u.a. berücksichtigt, dass das Vorbereiten, Entscheiden, Definieren und Aufstarten der Umsetzung der verschiedenen Massnahmen eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt.

Da es einen kleineren Zuwachs an Gebäuden gibt, ist das zu erreichende Potenzial im Neubau etwa 50 % kleiner als in der ersten Zeitperiode. Da die Massnahmen und deren Auswirkungen gleich wie für den früheren Zeitraum angenommen wurden, ist der prozentual erreichte Anteil des Potenzials ähnlich wie jener des Zeitraums 2020-2035.

Abbildung 7: Ausgeschöpftes Potenzial im Zeitraum 2035-2050. Links die Potenziale des Kantons Aargau und rechts jene des Kantons Zürich. In diesen Plots wurde die 100 % Marke für den Bestandsbau bei 40 % des gesamten Potenzials im Bestandsbau gewählt.



Analyse von Kosten und Nutzen ausgewählter kantonaler Schlüssel-massnahmen

Wirkung auf die Ausbaubeschleunigung (Detailerläuterungen zu Kap. 5/Abbildung 1)

Die Referenzentwicklung wird anhand der von Pronovo geförderten PV-Anlagen zwischen den Jahren 2018 und 2019 bestimmt. Im Sinn eines sehr vereinfachten Ansatzes wird von einer linearen Fortschreibung ausgegangen. Bei diesem vereinfachten Ansatz kompensieren sich mögliche Überschätzungen (Abbau von Gesuchen der Warteliste in der ersten Phase des Pronovo-Regimes) und mögliche Unterschätzungen (mögliche künftige Steigerung der PV-Installationen bei Beibehaltung des aktuellen Förderregimes). Die Aufteilung auf die Kantone und innerhalb der Kantone auf die drei betrachteten Gebäudesegmente wird auf die Markterhebung Sonnenenergie 2019 abgestützt. Mangels verfügbarer statistischer Grundlagen handelt es sich bei der

Aufteilung auf Neubau und Bestand um eine grobe Schätzung (im Wohngebäudebereich betreffen grob geschätzt 70 % bis 90 % der aktuellen Förderung den Gebäudebestand, 10 % bis 30 % den Neubau und im Nicht-Wohngebäudebereich wird von einem Verhältnis von 90 % zu 10 % ausgegangen, wobei diese Anteile je nach Gebäudesegment unterschiedlich sein können). Die sich ergebenden rund 300 GWh im Kanton ZH betreffen rund 8 % des sehr gut und gut geeigneten Potenzials von Bestand und Neubau bis 2035 (jeweils abzüglich Reserveflächen für Solarthermie) und die gut 200 GWh im Kanton AG rund 9 %.

Im Vergleich zu dieser Referenzentwicklung wird die abgeschätzte Wirkung der in Tabelle 6 spezifizierten Massnahmen der Varianten V0 bis V3 wie folgt begründet:

V0:

- Die Installationspflicht bewirkt bei Neubauten den grössten Unterschied im Vergleich zur Referenzentwicklung. Die relative Wirkung im Gebäudebestand ist vergleichsweise geringer, weil die Förderung von dachfüllenden Anlagen im Vergleich zu eigenstromoptimierten Anlagen nur bei EFH eine gewisse Wirkung entfaltet, bei den übrigen Gebäudesegmenten wird bereits im Referenzfall ein Grossteil des Dachs ausgenutzt. Zudem wird die Auslösewirkung im Fassadenbereich als gering eingeschätzt.

V1:

- Bei Variante V1 hat die Installationspflicht einer dachfüllenden Anlage bei Neubauten eine spürbare Wirkung und diese Massnahme trägt dazu bei, dass dieses Segment rund 20 % des berücksichtigten Potenzials bis 2035 ausschöpft (siehe Abbildung 1). Im Gebäudebestand ist die Zusatzwirkung gegenüber V0 relativ gering, weil die Dachsanierungsrate relativ gering ist (rund 0.5 % pro Jahr, d. h. rund 7 % bis 2035) und weil die Pflicht von 10 W/m² EBF nur relativ kleine Anlagen ergibt.
- Durch die Schlüsselmassnahme V1 wird ein ca. 40 % höheres Potenzial im Kanton Zürich ausgelöst.
- Dies wird auch in den ca. 40 % höheren Förder- und Pflichtfällen im Vergleich zum Kanton Aargau widerspiegelt.
- Sie benötigt nur 15 % mehr Fördermittel im Kanton Zürich. Dies ist durch die Pflichtnatur der V1-Massnahme im Neubau zu erklären, welche nicht zu den Förderbeiträgen beiträgt, jedoch aber zu den Förderfällen.
- Zusätzlich sind ca. 50 % aller Förderfälle im Einfamilienhausbereich anzutreffen, welche durchschnittlich im Kanton Aargau eine grössere Dachfläche aufweisen.

V2:

- Bei der Variante V2 ergibt sich im Neubaubereich kaum eine Zusatzwirkung gegenüber V1, weil im Fassadenbereich eine relative geringe Auslösewirkung zugeschrieben wird. Im Gebäudebestand ist die relative Zusatzwirkung höher, weil nebst der Dachsanierung auch der

Fall Wärmepumpeninstallation als Instanz für eine Installationspflicht zugrunde gelegt wird. Diese Installationsrate ist höher als die Dachsanierungsrate, – je nach Szenario und energie- und klimapolitischen Massnahmen deutlich.

- Durch die Schlüsselmassnahme V2 wird ein ca. 50 % höheres Potenzial im Kanton Zürich ausgelöst.
- Dies spiegelt sich auch in den ca. 30 % höheren Förder- und Pflichtfällen im Vergleich zum Kanton Aargau wider.
- Jedoch sind die kantonalen Investitionen nur ca. 20 % höher im Kanton Zürich als im Kanton Aargau.
- Dies kann wieder darauf zurückgeführt werden, dass im Neubaubereich beinahe keine kantonalen Investitionen getätigt werden (ca. 10 % des Förderbeitrags aber ca. 70 % der Förder- und Pflichtfälle).

V3:

- Bei der Variante V3 erhöht sich die Strommenge im Neubaubereich nochmals leicht gegenüber V2, zurückzuführen auf Massnahmen im Bereich Fassade: Installationspflicht im Bereich Neubauten (wobei nur eine geringe spezifische Leistung verlangt wird) und Förderung von grossen Fassadenanlagen. Im Gebäudebestand hat die Variante V3 relativ gesprochen die grösste Auslösewirkung, dies wegen der Installationspflicht für dachfüllende Anlagen bei Dacherneuerung und WP-Installation.
- Durch die Schlüsselmassnahme V3 wird ein ca. 55 % höheres Potenzial im Kanton Zürich ausgelöst.
- Die kantonalen Fördergelder nehmen im Bestandsbau um ca. 10 % ab, da es keine Förderungen mehr für dachfüllende Anlagen gibt.
- Die kantonalen Fördergelder im Neubau sind im Falle des Kantons Zürichs nur ca. 20 % höher, dies kann durch den höheren MuKE-Anteil an der Fassade im Falle des Kanton Zürichs und, dass die Kantone Zürich und Aargau ähnlich viele Einfamilienhäuser haben, welche das Fassadenpotenzial definieren, erklärt werden.

Fazit: Bei zunehmender Intensität der verpflichtenden und fördernden Massnahmen erhöht sich die Auslösewirkung sukzessive. Bei Variante V3 wird bis 2035 insgesamt rund ein Viertel des zugrunde gelegten Potenzials ausgeschöpft.

Förderbedarf für die kantonale Zusatzförderung und Rückschlüsse zur Finanzierung

Der Bedarf an kantonal aufzubringenden Mitteln für die Zusatzförderung wird vor allem durch Förderung im Bereich der Bestandsbauten bestimmt.

- Bei der Referenzentwicklung (Ref) werden bei der unterstellten Fortschreibung der vergangenen Entwicklung bis 2035 (siehe oben) im Kanton AG rund 140 Mio. CHF und im Kanton ZH rund 100 Mio. CHF an nationalen Fördergeldern beansprucht.
- Auch bei Variante V0 wird in beiden Kantonen der weitaus grösste Teil der Mittel vom Bund beansprucht. Für beide Kantone gilt, dass ungefähr ein Drittel der Mittel in den Neubau gehen.
- Bei Variante V1 ist die Verteilung der Mittel im Kanton AG und Kanton ZH zwischen Neubau und Gebäudebestand in etwa ausgeglichen (auch die produzierte Menge an PV-Strom ist in etwa ausgeglichen).
- Bei Variante V2 erhöht sich der Anteil der kantonalen Fördermittel auf rund einen Fünftel der Pronovo-Fördermittel im Kanton AG und Kanton ZH. In beiden Fällen stammt die Mehrheit der Mittel nach wie vor vom Bund.
- Auch bei Variante V3 ist der Anteil der Bundesgelder nach wie vor hoch; im Kanton ZH sinkt der kantonale Anteil sogar um 10 % verglichen mit den Mitteln in V2, zurückzuführen v. a. auf den Neubaubereich.

Fazit: die kantonale Strategie ist finanziell im hohen Mass von verfügbaren Bundesmitteln abhängig. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass sich die kantonalen Mittel stark erhöhen müssten, falls der Bund seine Förderung nicht im unterstellten Mass fortsetzen würde bzw. für die beiden Kantone AG und ZH diese Mittel nicht zur Verfügung stünden.

Bezug zwischen Einzelmassnahmen und Massnahmenpaketen

Die in Tabelle 1 dargestellten Werte leiten sich von den vorstehend präsentierten Resultaten zu den Massnahmenpaketen (varianten V0 bis V3) ab. Um die Nachvollziehbarkeit der Werte in Tabelle 1 zu gewährleisten, werden die einzelnen Zeilen der Tabelle 1 und deren Berechnungsgrundlagen in der Form von kurzen Abschnitten beschrieben. Bei allen Berechnungen wird davon ausgegangen, dass Pronovo bei jeglichen PV-Installationen max. 30% des Investitionsbeitrages übernimmt. Alle in Tabelle 1 dargestellten Wirkungen beziehen sich auf das durch die Einzelmassnahme ausgeschöpfte Potential im Jahre 2035 und die berechneten Förderkosten stellen die durchschnittlichen jährlichen Förderkosten im Zeitraum 2020-2035 dar.

Tabelle 24: Herleitung der in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse zu den Einzelmassnahmen und den Massnahmenpaketen (Varianten V0 bis V3)

Neubauten	Beschreibung der der Berechnungsgrundlagen
Installationspflicht Dach-Anlage mind. 10 W/m ² EBF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das berechnete Potential und die damit verbundenen Kosten wurden direkt aus dem V0 der Neubauten Massnahmenpakete übernommen. ▪ Die Wirkung stellt nur die direkte Wirkung der beschriebenen Massnahme dar. Zum Beispiel ist das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential nicht enthalten.
Installationspflicht dachflächenfüllende An- lage Neubau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das berechnete Potential und die damit verbunden Kosten wurden direkt aus dem V1 der Neubauten Massnahmenpakete übernommen. ▪ Das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential ist nicht enthalten.
Installationspflicht Fas- saden-Anlagen Neubau mind. 10 W/m ² EBF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Das berechnete Potential und die damit verbunden Kosten wurden direkt aus dem V3 der Neubauten Massnahmenpakete übernommen. Die Wirkung stellt nur die direkte Wirkung der beschriebenen Massnahme dar. Das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential ist nicht enthalten.
Variante: mit kantonaler Zusatzförderung für grosse Fassadenanlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Analog zu den oben stehenden Beschreibungen.
Bestandsbau	
Nur Zusatzförderung dachflächenfüllende An- lagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die dargestellten Werte wurden aus dem berechneten Potential des Massnahmenpakets V0 der Bestandsgebäude in der Periode 2020-2035 übernommen. ▪ Das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential ist nicht enthalten ▪ Da die Auswirkungen der Zusatzförderung stark von den anderen Massnahmen abhängig sind, können diese Werte nicht einfach zu einer andern Einzelmassnahme addieren werden.
Nur Zusatzförderung Fassaden Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die dargestellten Werte wurden aus dem berechneten Potential des Massnahmenpakets V0 der Bestandsgebäude in der Periode 2020-2035 übernommen. ▪ Das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential ist nicht enthalten ▪ Da die Auswirkungen der Zusatzförderung stark von den anderen Massnahmen abhängig sind, können diese Werte nicht einfach zu einer andern Einzelmassnahme addieren werden.
Installationspflicht Dach-Anlagen bei Dachsaniierungen min 10 W/m ² EBF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die dargestellten Werte wurden aus dem berechneten Potential des Massnahmenpakets V1 der Bestandsgebäude in der Periode 2020-2035 übernommen. ▪ Das im Referenzszenario schon ausgeschöpfte Potential ist nicht enthalten ▪ Es wurde nur das durch die Einzelmassnahme zusätzlich ausgelöste Potential unter den in V1 ausgegangen Umständen berücksichtigt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierende, welche schon im Referenzszenario PV-installiert hätten, sind nicht berücksichtigt. ▪ Zusätzliches PV-Potential, welches durch dachflächenfüllende Anlagen der Sanierenden ausgelöst werden könnte, wurde auch nicht berücksichtigt.
Variante: Installations- pflicht kombiniert mit kantonaler Zusatzförde- rung für dachflächenfüll- ende Anlagen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ In diesem Fall wurde das zusätzlich ausgeschöpfte Potential von folgenden Fällen berücksichtigt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierende aus dem Referenzszenario und jene, die aufgrund der Pflicht für eine dachflächenfüllende Anlage installieren. ▪ Das Potential jener, die sich aufgrund der zusätzlichen Förderung für eine PV-Anlage entscheiden. ▪ Das zusätzliche Potential der sanierungsunabhängigen PV-Installationen, welche sich anstatt für eine Eigenverbrauchsoptimierte Anlage für eine dachfüllende entscheiden.

Installationspflicht Dach-Anlagen bei Dachsanierungen und bei WP-Installationen mind. 10W/m ² EBF	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die dargestellten Werte wurden aus dem berechneten Potential des Massnahmenpakets V2 der Bestandsgebäude in der Periode 2020-2035 übernommen. ▪ Es wurde nur das durch die Einzelmassnahme zusätzlich ausgelöste Potential unter den in V2 ausgegangen Umständen berücksichtigt: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sanierende, welche schon im Referenzszenario PV-installiert hätten sind nicht berücksichtigt. ▪ Zusätzliches PV-Potential, welches durch dachflächenfüllende Anlagen der Sanierenden ausgelöst werden könnte, wurde auch nicht berücksichtigt.
Installationspflicht dachflächenfüllende Dach—Anlage bei Dachsanierungen und bei WP-Installationen	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Die dargestellten Werte wurden aus dem berechneten Potential des Massnahmenpakets V3 der Bestandsgebäude in der Periode 2020-2035 übernommen (inkl. Beiträge der Sanierenden aus der Referenzentwicklung). ▪ In diesem Falle wurde das gesamte Potential aller einem Sanierungsfall oder WP-Installationsfall betreffenden Gebäuden berücksichtigt.

Literatur

- Basler&Hofmann 2021:** «Studie Winterstrom Schweiz» – Was kann die heimische Photovoltaik beitragen? Schlussbericht V3, Basler&Hofmann 2021 im Auftrag von EnergieSchweiz, Januar 2021.
- Berger 2010:** Auswirkungen des Photovoltaik-Ausbaus auf die Verteilernetze (Anm.: in Deutschland), Studie von Roland Berger Strategy Consultants, November 2010.
- BFE 2020a:** Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2019, Bundesamt für Energie BFE, September 2020.
- BFE 2020b:** Markterhebung Sonnenenergie 2019, Teilstatistik der Schweizerischen Statistik der erneuerbaren Energien, Swissolar im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, Juli 2020.
- BFE 2021:** Energieperspektiven 2050+, Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse, Bundesamt für Energie BFE, November 2020.
- BFE 2019:** Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch Berechnung von Potenzialen in Gemeinden, Bundesamt für Energie, März 2019.
- BKW 2020:** Was kostet eine Energiewende mit Solarenergie? BKW-Blog-Beitrag von Christian Schütz, Adrian Kammer und Urs Meister (blog.bkw.ch/was-kostet-eine-energiewende-mit-solarenergie, aufgerufen am 18.3.2021), April 2020.
- Consentec 2015:** Entwicklung der Netzkosten in der Schweiz vor dem Hintergrund des derzeitigen Bedarfs, der ES2050 und der Strategie Stromnetze, Consentec im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, September 2015 (mit Aktualisierung per 25.3.2017).
- Ecoplan 2012:** Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen, Schlussbericht, Ecoplan im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE, September 2012.
- Empa 2019:** Impacts of an Increased Substitution of Fossil Energy Carriers with Electricity-Based Technologies on the Swiss Electricity System, Martin Rüdisüli, Sinan L. Teske und Urs Elber, Swiss Federal Laboratories for Materials Science and Technology (Empa), Juni 2019.
- Energieinstitut 2020:** Wirtschaftswachstum und Beschäftigung durch Investitionen in Erneuerbare Energien, Volkswirtschaftliche Effekte durch Investitionen in ausgewählte Produktions- und Speichertechnologien, Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz, Oktober 2020.
- INFRAS/TNC 2010:** Stromeffizienz und erneuerbare Energien – Wirtschaftliche Alternative zu Grosskraftwerken, Schlussbericht, INFRAS und TNC im Auftrag von WWF Schweiz, Greenpeace Schweiz, Schweizerische Energienstiftung, Pro Natura sowie den Kantonen Basel-Stadt und Genf, Mai 2010.

- Kahl 2019:** Wintersonne für die Versorgungssicherheit, Vorteile der alpinen Photovoltaik, Fachartikel im Bulletin SEV/VSE vom 3.10.2019 (<https://www.bulletin.ch/de/news-detail/wintersonne-fuer-die-versorgungssicherheit.html>), aufgerufen am 19.3.2021), Dr. Annelen Kahl, Oktober 2019.
- Meteotest/Swissolar 2019:** Das Schweizer PV-Potenzial basierend auf jedem Gebäude, Conference Paper von Jan Remund (Meteotest), Simon Albrecht (Meteotest) und David Stickelberger (Swissolar), März 2019. (Die zugrundeliegenden Daten von sonnendach.ch und sonnenfassade.ch, die im Auftrag des Bundesamts für Energie BFE erstellt wurden, standen für vorliegende Analyse ebenfalls zur Verfügung.)
- MuKE n 2014:** Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich MuKE n, Ausgabe MuKE n 2014, Konferenz Kantonalen Energiedirektoren EnDK, April 2018.
- Nordmann 2019:** Sonne für den Klimaschutz – Ein Solarplan für die Schweiz, Roger Nordmann, Zytglogge Verlag, August 2019.
- ÖGUT/INFRAS 2018:** Vergleich der Effizienz klimarelevanter Förderlinien, Wirkungsanalyse zu Klima- und volkswirtschaftlichen Effekten, Österreichische Gesellschaft für Umwelt und Technik ÖGUT in Kooperation mit INFRAS im Auftrag des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) sowie der Länder Kärnten, Niederösterreich, Oberösterreich, Salzburg, Steiermark, Tirol und Vorarlberg, Dezember 2018. (Bericht wurde nicht publiziert bzw. ist im Internet nicht aufrufbar.)
- Pronovo 2021:** Cockpit EIV 2020 Gesuche KLEIV.
- Pronovo 2020:** Einspeisevergütungssystem (EVS) und Einmalvergütungen für Photovoltaik (EIV), Anmeldestatistik, Stand 1.1.2020, Milada Mehinovic, Hans-Heiri Frei.
- PSI 2021:** Long-term Energy Transformation Pathways, Integrated Scenario Analysis with the Swiss Times Energy Systems Model, Paul Scherrer Institute PSI, März 2021.
- Streiff 2021:** Raumplanung und Photovoltaik, Schriften zum Energierecht (Band 18), Dike Verlag, Oliver Streiff, Ursula Ramseier, Christoph Jäger, Leonie Dörig, Januar 2021.
- Swissgrid 2015:** Bericht zum Strategischen Netz 2025, Swissgrid AG, Februar 2015.
- TEP Energy 2020:** Kantonale Energiekennzahlen und CO₂-Emissionen im Gebäudebereich - Zwischenbericht (unveröffentlicht). TEP Energy i. A. BAFU, EnDK, KVV.
- TEP Energy 2016:** Erweiterung des Gebäudeparkmodells und Herstellung der Kompatibilität des SIA Effizienzpfades mit langfristigen energiepolitischen Zielen. TEP Energy i.A. Bundesamt für Energie (BFE).
- VSGS 2020:** Limitierung der PV-Einspeiseleistung (Whitepaper), Verein Smart Grid Schweiz VSGS, August 2020.
- ZHAW 2020a:** Technische und Suffizienz-Massnahmen zur Reduktion der schweizerischen Treibhausgasemissionen: Der Vermeidungskostenansatz, Muriel Siegwart, Léonore Hälg,

David Sauter, Jürg Rohrer, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, September 2020.

ZHAW 2020b: Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz – Bedarf, Potenzial und Umsetzung, Jürg Rohrer, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Juli 2020.

ZHAW 2021: Das Schweizer Solarstrompotenzial auf Dächern, Niccolò Moro, David Sauter, Sven Strelbel, Jürg Rohrer, ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Januar 2021.