



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Dienst Geoinformation

Bericht vom 8. März 2019

Sonnendach.ch und Sonnenfassade.ch: Berechnung von Potenzialen in Gemeinden



Datum: 8. März 2019

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE

CH-3003 Bern

www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:

e4plus AG

Kirchrainweg 4a, 6010 Kriens

www.e4plus.ch

Autor/in:

Markus Portmann, e4plus, Markus.Portmann@e4plus.ch

David Galvagno-Erny, e4plus, David.Galvagno@e4plus.ch

Priska Lorenz, e4plus, Priska.Lorenz@e4plus.ch

David Schacher, e4plus, David.Schacher@e4plus.ch

Rolf Heinrich, e4plus, Rolf.Heinrich@e4plus.ch

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern

Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Die interaktiven Anwendungen www.sonnendach.ch und www.sonnenfassade.ch informieren über die Eignung von Hausdächern und Hausfassaden für die Solarenergienutzung. Auf einfache Weise wird vermittelt, wieviel Solarstrom oder Solarwärme mit einem Hausdach respektive einer Hausfassade produziert werden könnte.

Auf der Grundlage der Solarpotenziale einzelner Hausdächer und Hausfassaden berechnet das BFE für die Gemeinden die Gesamtpotenziale für Solarstrom und Solarwärme.

Die dabei angewendete Methodik wird in diesem Dokument beschrieben und ergibt pro Gemeinde drei Aussagen zum Solarpotential:

1. Potenzial Solarwärme: Berechnung des zu erwartenden Ertrages an Solarwärme, wenn die beste Dachfläche oder die beste Fassadenfläche eines Hauses nur für Solarwärme verwendet wird.
2. Potenzial Solarstrom 1: Berechnung des zu erwartenden Ertrages an Solarstrom, falls ergänzend zur Solarwärme die restlichen Dachflächen und Fassadenflächen für Photovoltaik-Anlagen verwendet werden.
3. Potenzial Solarstrom 2: Berechnung des zu erwarteten Ertrages an Solarstrom, falls alle Dachflächen und Fassadenflächen nur für Photovoltaik-Anlagen verwendet werden.

Die Resultate sind auf der Webseite von EnergieSchweiz abrufbar:

<https://www.energieschweiz.ch/page/de-ch/solarpotenzial-von-schweizer-gemeinden>

Résumé

Les applications interactives www.toitsolaire.ch et www.facade-au-soleil.ch fournissent des informations sur l'aptitude des toitures et des façades des bâtiments à exploiter l'énergie solaire. Elles renseignent de manière simple sur les quantités d'électricité et de chaleur qui pourraient être produites sur le toit ou la façade d'un bâtiment.

Sur la base du potentiel solaire des toits et des façades des différents bâtiments, l'OFEN calcule le potentiel global des communes pour la production d'électricité et de chaleur.

Ce document décrit la méthode appliquée pour ce faire et fournit le potentiel solaire de chaque commune en trois chiffres:

1. potentiel solaire thermique: calcul du rendement prévu en chaleur d'origine solaire si la surface de toit ou la façade la plus appropriée d'une maison est utilisée uniquement pour le solaire thermique;
2. potentiel solaire photovoltaïque 1: calcul du rendement électrique prévu si les autres surfaces de toit et de façade sont utilisées pour les installations photovoltaïques, en complément du solaire thermique;
3. potentiel solaire photovoltaïque 2: calcul du rendement électrique prévu si toutes les surfaces de toit et de façade sont uniquement utilisées pour des installations photovoltaïques.

Les résultats peuvent être consultés sur le site Internet de SuisseEnergie:

<http://www.suisseenergie.ch/page/fr-ch/potentiel-solaire-des-communes-suissees?hoss1=true>

Teil 1: Sonnendach.ch

Aggregation auf räumliche Gebiete

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1	Ausgangslage	1
1.2	Auftrag	1
1.3	Datengrundlagen	1
2.	Vorbemerkungen	2
2.1	Attribute	2
2.2	Qualität der Potenzialabschätzung	2
2.3	Definition des räumlichen Perimeters	2
3.	Methodisches Vorgehen	2
3.1	Drei Solarpotenziale	2
3.2	Reduzierende Elemente der Dachflächen	3
3.3	Methoden zur Potenzialberechnung	5
3.3.1	Berechnungsmethodik Potenzial Solarwärme	6
3.3.2	Berechnungsmethodik Potenzial Solarstrom	8
4.	Berechnungsschema Potenzial Solarwärme	9
5.	Berechnungsschema Solarstrom	10
6.	Erklärung der Attribute	11

	<p>1. Einleitung</p> <p>1.1 Ausgangslage</p>
sonnendach.ch	<p>Mit der interaktiven Anwendung sonnendach.ch stellen das Bundesamt für Energie (BFE) und EnergieSchweiz ein Instrument zur Verfügung, welches eine einfache Abschätzung des Solarenergie-Potenzials einzelner Gebäude ermöglicht.</p>
Potenzialabschätzung für Gemeinden und Regionen	<p>Mit dem Bilanzierungstool für Gemeinden und Regionen, welches ebenfalls von EnergieSchweiz zur Verfügung gestellt wird, können Gemeinden und Regionen bilanziert werden. Dabei werden auch die Potenziale für die Produktion von erneuerbarer Energie ermittelt.</p> <p>Für die Ermittlung des Solarenergiepotenzials drängt es sich auf, dass die vorhandenen Daten von Einzelgebäuden für ganze Gemeinden aggregiert werden können.</p>
	<p>1.2 Auftrag</p>
Auftrag	<p>Der Auftrag war die Entwicklung einer Methodik zur Aggregation der Solarkataster-Daten von sonnendach.ch für Potenzialaussagen in räumlichen Gebieten wie Gemeinden und Regionen.</p>
Aufgaben	<ol style="list-style-type: none">1. Reflexion der Grundlagen und Zielformulierungen2. Entwicklung der Methodik zur Aggregation der Potenziale Solarwärme und Solarstrom über das Gebiet einer Gemeinde3. Testen der Methodik4. Dokumentation der Methodik mit Flussdiagrammen5. Entwicklung eines Faktenblattes als Grundlage für die Publikation von Resultaten bei den Nutzern
	<p>1.3 Datengrundlagen</p>
Dokumente	<p>Die Erarbeitung und das Testing der Methodik basiert auf folgenden Grundlagen:</p> <ul style="list-style-type: none">– Solarkataster Schweiz - Datenmodell vom 21.09.2015– Solar-Potenzialanalyse für Sonnendach.ch - Schlussbericht vom 19.02.2016– Beilage "Solarkataster Schweiz: Abschätzung der Solarthermie-Potenziale" vom 01.02.2016– Beilage "Solarkataster Schweiz: Abschätzung des Wärme- und Brauchwärmewasserbedarfs" vom 01.02.2016– GIS-Grundlagendaten von Sonnendach.ch der Gemeinden der Energie-Region Surental (Ende 2015/ Anfang 2016)– Merkmalskatalog zum eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (2012)– Energiespiegel für Gemeinden (Hrsg. Kt. Luzern 2015)
Umfrage bei Vertretern von Swissolar	<ul style="list-style-type: none">– Für die Belegung der unterschiedlichen Dachflächen wurde eine Umfrage bei Vertretern von Swissolar durchgeführt.
Expertenwissen	<ul style="list-style-type: none">– Bei der Erarbeitung wurden diverse Interviews mit Experten geführt.

2. Vorbemerkungen

2.1 Attribute

Benennung Attribute

Die hier behandelte Aggregationsmethode benötigt für die Berechnung der Potenziale und den Zwischenschritten viele Attribute. Es werden zum Teil neue Attribute definiert oder aus Sonnendach übernommen. Aus diesem Grund ist eine klare Zuordnung der Attribute zwingend notwendig. Kapitel 6 gibt eine Übersicht aller verwendeter Attribute inkl. dessen Ursprung und Bedeutung.

Ein Attribut schreibt sich immer in Grossbuchstaben (z.B. WAERMEERTRAG aus dem Datensatz sonnendach.ch).

2.2 Qualität der Potenzialabschätzung

Theoretisches Potenzial bei Sonnendach

Die gesamte Berechnung des Solarpotenzials stützt sich auf die Datenbank von sonnendach.ch. Diese Datenbank listet Teildachflächen der Schweiz, teilt diese Gebäuden zu, definiert ihre Grösse (in m²) und bewertet sie in Bezug auf ihr Solarpotenzial. Dieses durch sonnendach.ch ermittelte Potenzial nennt sich das theoretische Potenzial.

Interpretationen der Potenziale

Die theoretischen Potenziale betrachten immer die ganze Teildachfläche ohne Einschränkung (Kapitel 3.2 gibt dazu detailliertere Informationen). Aus diesem Grund wurde das theoretische Potenzial für die hier betrachtete Aggregationsmethode mit Hilfe von Reduktionsfaktoren angepasst. Die so ermittelten Ergebnisse sind jedoch noch immer ein Abschätzung welche für die weitere Verwendung interpretiert werden muss.

Zu beachten ist zudem, dass im ausgewiesenen Potenzial auch die zum heutigen Zeitpunkt bestehenden solaren Anlagen enthalten sind. Das ausgewiesene Potenzial ist also bereits zu einem Teil ausgeschöpft.

2.3 Definition des räumlichen Perimeters

Gemeinden

Der räumliche Perimeter für das solare Potenzial ist die Gemeinde.

Regionen

Für die Ermittlung der Solarpotenziale von Regionen können/müssen die Potenziale einzelner Gemeinden durch die Benutzer addiert werden.

Die Abschätzung der räumlichen Potenziale für Sonnenergie erfolgt durch die Aufsummierung der Potenziale von allen Einzelgebäuden aus dem Solarkataster sonnendach.ch. Abgebildet wird daher immer das aggregierte Potenzial in einem geografisch klar definierten und abgegrenzten Raum der politischen Gemeinde.

3. Methodisches Vorgehen

3.1 Drei Solarpotenziale

Grundsätzliches

Das Ziel der hier behandelten Methode ist die Ausgabe des Solarpotenzials einer Gemeinde. Die Resultatausgabe erfolgt in MWh/Jahr. Pro Gemeinde werden drei Potenziale ausgewiesen:

1. **Potenzial Solarwärme:**
Berechnung des zu erwartenden Ertrages an Solarwärme
2. **Potenzial Solarstrom 1:**
Berechnung des zu erwartenden Ertrages an Solarstrom, falls in der Gemeinde PV-Anlagen und Solarwärme installiert werden
3. **Potenzial Solarstrom 2:**

Berechnung des zu erwarteten Ertrages an Solarstrom, falls in der Gemeinde nur PV-Anlagen installiert würden

Das Potenzial „**Solarstrom 1**“ kann nur gemeinsam mit dem Potenzial „**Solarwärme**“ berechnet werden. Wie diese Berechnung funktioniert, ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

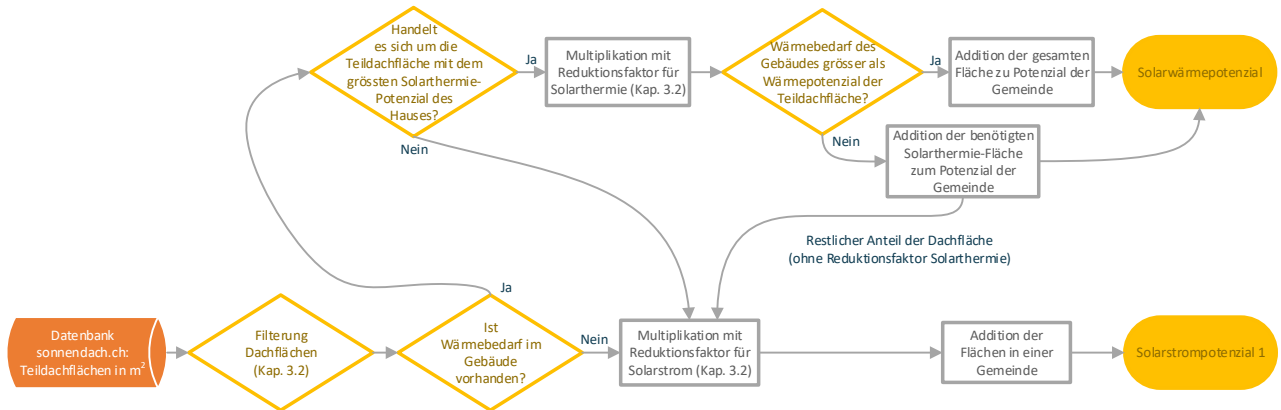


Abbildung 1: Ablaufschema zur Berechnung von Potenzial „Solarstrom 1“ und Potenzial „Solarwärme“

Vorgehensweise

Wie wir in Abbildung 1 sehen können, werden das Potenzial „Solarstrom 1“ und „Solarwärme“ stets zusammen berechnet und ausgewiesen. Dachflächen mit dem grössten Solarwärme-Potenzial werden hier immer in erster Priorität mit Solarwärme belegt. Falls der Solarwärme-Ertrag der verfügbaren Teildachfläche den mit Sonnenenergie abdeckbaren Wärmebedarf übersteigt, wird nur diese Fläche des Teildaches für Solarwärme verwendet. Die restliche Fläche wird dann mit PV-Modulen bedeckt.

Potenzial Solarstrom 2

Im „**Potenzial Solarstrom 2**“ wird das Solarstrompotential aus sämtlichen geeigneten Teildachflächen (> 10 m², Einstrahlung, Eignung top, sehr gut oder gut) in einer Gemeinde aggregiert.

Abbildung 2 stellt den Ablauf Aggregationsmethode zum „Potenzial Solarstrom 2“ schematisch dar.

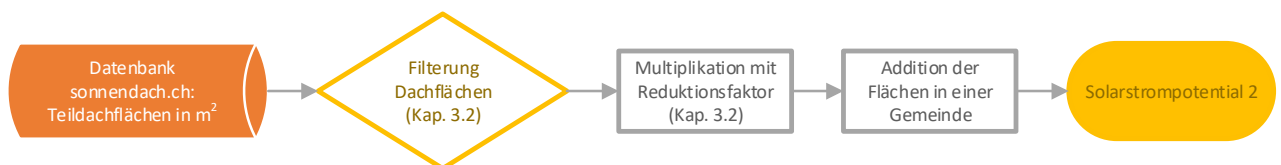


Abbildung 2: Ablaufschema zur Berechnung von Potenzial „Solarstrom 2“

3.2 Reduzierende Elemente der Dachflächen

Datengrundlage

Die Grundlage der Berechnung der hier behandelten Aggregationsmethode bildet die Datenbank von sonnendach.ch. Da sonnendach.ch 100% der gesamten zur Verfügung stehenden und damit theoretisch möglichen Dachfläche rechnet, sind die ermittelten Solarflächen aber generell zu hoch. Real wird von einer Teildachfläche immer nur ein Teil wirklich mit Modulen/Kollektoren belegt.

Reduzierende Elemente

Aus diesem Grund wird in der hier betrachteten Methode zuerst jede Dachfläche nach bestimmten Regeln bewertet. Anhand dieser Bewertung wird eine Fläche dann eventuell ausgeschlossen (herausgefiltert) und mit einem Reduktionsfaktor multipliziert.

Reduktionsfaktoren


Die Reduktionsfaktoren dienen dazu die von sonnendach.ch ermittelten Solarflächen zu reduzieren. So werden bei sonnendach.ch zum Beispiel begehbbare Dachflächen wie z.B. Attika-Terrassenflächen ebenfalls als nutzbare Dachflächen ausgewiesen. Aber auch technische Einschränkungen wie Dachränder/Wartungsgänge, verschiedene Konfliktbereiche auf dem Dach (Dachdurchdringungen, Aufbauten, Dachfenstern etc.) werden von sonnendach.ch nicht zwingend berücksichtigt.

Zur Definition der Reduktionsfaktoren wurden Experten von relevanten Schweizer Solar-Unternehmen und von Swissolar befragt. Diese teilten uns ihre Erfahrungswerte aus ihren Bauprojekten mit, indem Sie abschätzten wie viel einer Dachfläche effektiv in Prozenten belegt werden kann. Dabei wurde unterschieden zwischen verschiedenen Gebäudenutzungstypen (EFH, MFH oder weitere) sowie verschiedene Dachgrößen. Aus allen erhaltenen Experten-Rückmeldungen wurde eine Faktorentabelle entwickelt, welche als Berechnungswerte in die Berechnungen einfließen. Abbildung 3 bis Abbildung 6 listet diese Tabellen.

Reduktionsfaktoren Solarwärme, Dachneigung >10°

Abbildung 3 Reduktionsfaktoren Solarwärme, Dachneigung >10°


Tabelle der Faktoren für Dachneigung >10°

	Steildach		
	Neigung > 10 Grad		
	Solarthermie		
	Anteil Kollektorfläche ²⁾ zur theoretischen Gesamtdachfläche ¹⁾		
Dachfläche < 300 m ²	Dachfläche 300-1000 m ²	Dachfläche ≥ 1000 m ³	
Anteil	Anteil	Anteil	
EFH (GKAT = 1021)	0.3	0.3	
MFH (GKAT = 1025)	0.3	0.3	0.3
Gebäude mit Wohn-Nebennutzung Schulhäuser, Gewerbegebäude, etc. (GKAT = 1030)	0.3	0.3	0.3
Gebäude ohne Wohnnutzung Scheunen, Gewerbe, Industrie, etc. (GKAT = 1010, 1040, 1060, 1080)	0.3	0.3	0.3

Reduktionsfaktoren Solarwärme, Dachneigung ≤ 10°

Abbildung 4 Reduktionsfaktoren Solarwärme, Dachneigung ≤ 10°

Tabelle der Faktoren für Dachneigung ≤ 10°

	Nicht-geneigtes Dach		
	Neigung ≤ 10 Grad		
	Solarthermie		
	Anteil Kollektorfläche ²⁾ zur theoretischen Gesamtdachfläche ¹⁾		
Dachfläche < 300 m ²	Dachfläche 300-1000 m ²	Dachfläche ≥ 1000 m ³	
Anteil	Anteil	Anteil	
EFH (GKAT = 1021)	0.4	0.3	
MFH (GKAT = 1025)	0.4	0.3	0.3
Gebäude mit Wohn-Nebennutzung Schulhäuser, Gewerbegebäude, etc. (GKAT = 1030)	0.4	0.3	0.3
Gebäude ohne Wohnnutzung Scheunen, Gewerbe, Industrie, etc. (GKAT = 1010, 1040, 1060, 1080)	0.4	0.3	0.3

Reduktionsfaktoren Solarstrom, Dachneigung >10°

Tabelle der Faktoren für Dachneigung >10°

GKAT	Steildach		
	Neigung > 10 Grad		
	Photovoltaik		
	Anteil Modulfäche zur theoretischen Gesamtdachfläche ¹⁾		
	Dachfläche < 300 m ²	Dachfläche 300-1000 m ²	Dachfläche ≥ 1000 m ³
	Anteil	Anteil	Anteil
EFH (GKAT = 1021)	0.7	0.7	
MFH (GKAT = 1025)	0.7	0.7	0.7
Gebäude mit Wohn-Nebennutzung Schulhäuser, Gewerbegebäude, etc. (GKAT = 1030)	0.7	0.7	0.7
Gebäude ohne Wohnnutzung Scheunen, Gewerbe, Industrie, etc. (GKAT = 1010, 1040, 1060, 1080)	0.7	0.7	0.7

Abbildung 5 Reduktionsfaktoren Solarstrom, Dachneigung > 10°

Reduktionsfaktoren Solarwärme, Dachneigung ≤ 10°

Tabelle der Faktoren für Dachneigung ≤ 10°

GKAT	Nicht-geneigtes Dach		
	Neigung ≤ 10 Grad		
	Photovoltaik		
	Anteil Modulfäche zur theoretischen Gesamtdachfläche ¹⁾		
	Dachfläche < 300 m ²	Dachfläche 300-1000 m ²	Dachfläche ≥ 1000 m ³
	Anteil	Anteil	Anteil
EFH (GKAT = 1021)	0.7	0.7	
MFH (GKAT = 1025)	0.6 x 0.7 ¹⁾	0.6 x 0.7 ¹⁾	0.6 x 0.8
Gebäude mit Wohn-Nebennutzung Schulhäuser, Gewerbegebäude, etc. (GKAT = 1030)	0.7	0.7	0.8
Gebäude ohne Wohnnutzung Scheunen, Gewerbe, Industrie, etc. (GKAT = 1010, 1040, 1060, 1080)	0.7	0.7	0.8

¹⁾ Terrassen- und Balkonflächen verringern die nutzbare Fläche, generell um 40%, deshalb 60% vom effektiven Wert


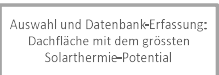

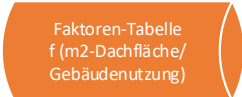

Abbildung 6 Reduktionsfaktoren Solarstrom, Dachneigung ≤ 10°

3.3 Methoden zur Potenzialberechnung

Zwei Methoden

Basis der hier folgenden Erklärungen sind die zwei Methoden „Potenzial Solarstrom“ und „Potenzial Solarwärme“, welche in Abbildung 7 und Abbildung 8 schematisch dargestellt sind. Grundsätzlich unterscheiden sich die beiden Methoden nur geringfügig voneinander. Die nachfolgenden zwei Kapitel erklären die Vorgehensweise.

3.3.1 Berechnungsmethodik Potenzial Solarwärme

Ausschlusskriterien der Dachflächen	<p>Sämtliche Teildachflächen eines Gebäudes werden auf folgende Kriterien geprüft. Falls eine oder mehr eintrifft, wird die Teildachfläche aus dem Prozess ausgeschlossen:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Wärmebedarf (Warmwasser und Heizung) des Gebäudes = 0 [kWh/ a] (BEDARF_WARMWASSER = 0 oder BEDARF_HEIZUNG = 0) b) Teildachfläche < 10m² (FLAECHE < 10) c) Klassifizierung jährliche Einstrahlung „gering“ (KLASSE = 1) oder „mittel“ (KLASSE = 2) 	
Auswahl der «besten Teildachfläche»	<p>Für die weitere Berechnung wird nur noch die Teildachfläche mit dem grössten Solarthermie-Potenzial pro Gebäude (grösster Wert im Attribut WAERMEERTRAG) betrachtet. Alle anderen Teildachflächen des Gebäudes werden für die weiteren Schritte nicht mehr verwendet und das Potenzial Solarwärme wird auf Null gesetzt (POTENZIAL_SOLARWAERME = 0)</p>	
Bestimmung des Dachtyps	<p>Zur Bestimmung des Reduktionsfaktors ist zuerst die Einteilung „Nicht geneigtes Dach“ oder „geneigtes Dach“ zu machen.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nicht geneigtes Dach = Dachneigung ≤ 10° - Steildach = Dachneigung > 10° 	
Reduktion der Dachfläche	<p>Die «beste Teildachfläche» wird anschliessend mit dem Reduktionsfaktor multipliziert. Dieser Faktor ist abhängig von der Gebäudekategorie gemäss GWR, der Dachneigung und der gesamten Teildachfläche in m². Er bestimmt sich anhand der Tabellen in Kapitel 3.2.</p>	
KOLLEKTORFLAE-CHE_POTENZIAL	<p>Durch die Multiplikation des Reduktionsfaktors mit der «besten Teildachfläche» ergibt sich ein neuer Wert, welcher gleichzeitig als neues Attribut abgespeichert wird. Dieses neue Attribut nennt sich KOLLEKTORFLAE-CHE_POTENZIAL.</p>	
Berechnung POTENZIAL_SOLARWAERME	<p>In diesem Schritt gilt es sicher zu stellen, dass für ein Gebäude nicht mehr Solarkollektoren gerechnet werden, als zur Deckung des optimierten Anteils des Wärmebedarfs benötigt sind.</p> <p>Dazu wird der Wert FLAECHE_KOLLEKTOREN [m²] mit KOLLEKTORFLAE-CHE_POTENZIAL [m²] verglichen.</p> <p>Ist KOLLEKTORFLAE-CHE_POTENZIAL [m²] kleiner oder gleich FLAECHE_KOLLEKTOREN [m²], wird die gesamte «beste Teildachfläche» mit Solarwärme belegt. Das POTENZIAL_SOLARWAERME [kWh] berechnet sich in diesem Fall wie folgt:</p>	
	$ \begin{aligned} & POTENZIA_SOLARWAERME \text{ [kWh/Jahr]} \\ &= \frac{WAERMEERTRAG \text{ [kWh/Jahr]}}{FLAECHE_KOLLEKTOREN \text{ [m}^2\text{]}} \\ & * KOLLEKTORFLAE-CHE_POTENZIAL \text{ [m}^2\text{]} \end{aligned} $	

Ist KOLLEKTORFLAECHE_POTENZIAL [m²] grösser als FLAECHE_KOLLEKTOREN [m²], wird nur ein Teil der «besten Teildachfläche» mit Solarwärme belegt. Das POTENZIAL_SOLARWAERME [kWh] berechnet sich in diesem Fall wie folgt:

$$\text{POTENZIAL_SOLARWAERME} = \text{WAERMEERTRAG}$$

KOLLEKTORFLAECHE_NEU

Die nun tatsächlich mit Solarkollektoren belegte Dachfläche wird für die weitere Berechnung des PV-Potenzials benötigt und muss deshalb als neues Attribut abgespeichert werden.



KOLLEKTORFLAECHE_NEU

Falls KOLLEKTORFLAECHE_POTENZIAL kleiner oder gleich ist als FLAECHE_KOLLEKTOREN, berechnet sich KOLLEKTORFLAECHE_NEU wie folgt:

$$\text{KOLLEKTORFLAECHE_NEU [m}^2\text{]} = \frac{\text{KOLLEKTORFLAECHE_POTENZIAL [m}^2\text{]}}{\text{REDUKTIONSFAKTOR}}$$

Falls KOLLEKTORFLAECHE_POTENZIAL grösser ist als FLAECHE_KOLLEKTOREN, berechnet sich KOLLEKTORFLAECHE_NEU wie folgt:

$$\text{KOLLEKTORFLAECHE_NEU [m}^2\text{]} = \frac{\text{FLAECHE_KOLLEKTOREN [m}^2\text{]}}{\text{REDUKTIONSFAKTOR}}$$

Potenzial einer Gemeinde

Um das Potenzial einer Gemeinde zu ermitteln, müssen nun alle Werte des Attributs POTENZIAL_SOLARWAERME zusammengezählt werden.

3.3.2 Berechnungsmethodik Potenzial Solarstrom

Ablauf	<p>Mit dieser Berechnungsmethodik lassen sich das Potenzial Solarstrom 1 und 2 berechnen. Um das „Potenzial Solarstrom 1“ zu berechnen, muss aber zuerst das „Potenzial Solarwärme“ gerechnet werden.</p> <p>Das Verfahren ist sehr ähnlich zu dem in Kapitel 0 beschriebenen. Es werden in diesem Kapitel deshalb nur noch die Unterschiede erläutert.</p>
Ausschlusskriterien	<p>Für die Berechnung des Potenzials Solarstrom 1 muss von der Teildachfläche die Kollektorfläche (KOLLEKTORFLAECHE_NEU) abgezogen werden (falls Solarwärme auf dieser Teildachfläche berechnet ist).</p> <p>Für die Berechnung des „Potenzial Solarstrom 2“ wird die gesamte Fläche des Teildachs ohne Abzug für die Verwendung von Solarwärme (KOLLEKTORFLAECHE_NEU = 0) verwendet.</p>
Reduktion der Dachfläche	<p>Teildachflächen bei denen kein GKAT hinterlegt ist, werden als Gebäude ohne Wohnnutzung kategorisiert und mit diesem Reduktionfaktor multipliziert.</p>
Berechnung POTENZIAL_SOLARSTROM	<p>Die Formeln für die Berechnung der Potenziale Solarstrom 1 und 2 sind identisch und finden sich unten. Bei der Berechnung von Solarstrom 2 ist KOLLEKTORFLAECHE_NEU immer gleich Null.</p>

$$\begin{aligned}
 & \text{POTENZIAL_SOLARSTROM [kWh/Jahr]} = \\
 & \text{REDUKTIONSFAKTOR * STROMERTRAG [kWh/Jahr]} \\
 & * \frac{\text{FLAECHE [m2]} - \text{KOLLEKTORFLAECHE_NEU [m2]}}{\text{FLAECHE [m2]}}
 \end{aligned}$$

4. Berechnungsschema Potenzial Solarwärme

Berechnungsmethodik Potenzial Solarwärme pro Gebäude

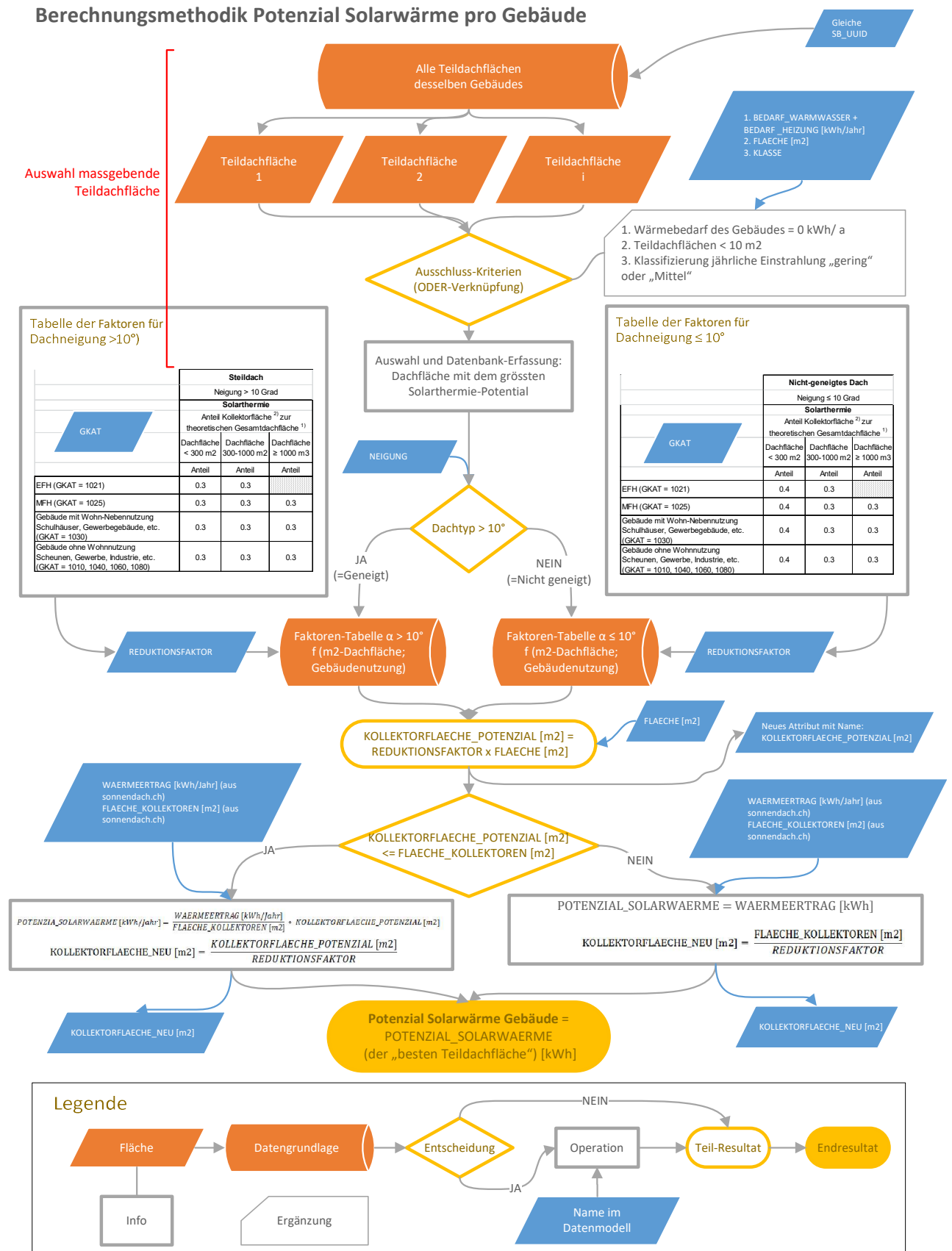


Abbildung 7 Berechnungsmethodik Solarwärme

5. Berechnungsschema Solarstrom

Berechnungsmethodik Potenzial Solarstrom pro Gebäude

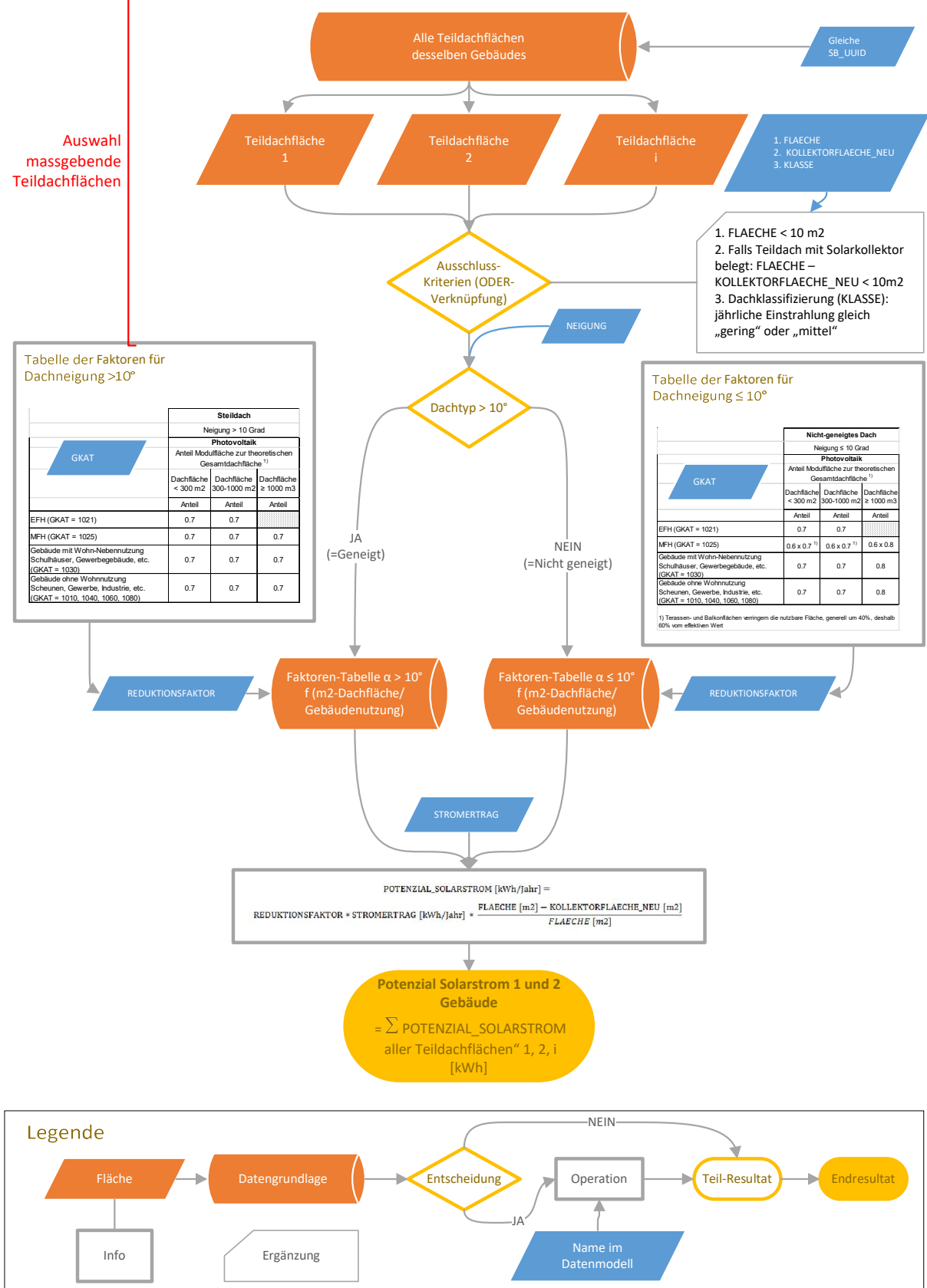


Abbildung 8 Berechnungsmethodik Solarstrom

6. Erklärung der Attribute

FLAECHE	Attribut aus sonnendach.ch Entspricht der Fläche (in m ²) der in sonnendach.ch ausgewiesenen Teildachfläche.
FLAECHE _KOLLEKTOREN	Attribut aus sonnendach.ch Fläche (in m ²) reiner Kollektorfläche welcher benötigt wird, um den mit Kurzzeitspeicher abdeckbaren Wärmebedarf des Gebäudes zu decken.
GKAT	Attribut aus sonnendach.ch bzw. GWR Gebäudekategorie des Gebäudes, auf welchem die Teildachfläche liegt.
KLASSE	Attribut aus sonnendach.ch Klassifizierung der Dachfläche betreffend dem Potenzial für Solarwärme/strom.
KOLLEKTORFLAE- CHE_NEU	Fläche eines Teildaches (in m ²), welche für die Nutzung von Solarwärme reserviert ist. Diese Fläche liegt zwischen Null und der gesamten Teildachfläche. Diese Fläche wird in der Berechnungsmethodik „Potenzial Solarwärme“ (siehe Abbildung 7) evaluiert und für die Berechnung des „Potenzial Solarstrom“ (siehe Abbildung 8) weiter verwendet.
KOLLEKTORFLAE- CHE_POTENZIAL	Durch die Aggregations-Methode errechnete maximale, reine Kollektorfläche in m ² auf einer Teildachfläche. Dieser Wert ist mit einem Reduktionsfaktor gewichtet und entspricht deshalb einem annähernd realistischen Wert.
NEIGUNG	Attribut aus sonnendach.ch Neigung der Teildachfläche in Grad. 0° ist gleich horizontal.
POTENZIAL _SOLARSTROM	Durch die Aggregations-Methode errechneter Solarstrom-Ertrag in kWh/Jahr eines Gebäudes.
POTENZIAL _SOLARWAERME	Durch die Aggregations-Methode errechneter Solarwärme-Ertrag in kWh/Jahr eines Gebäudes. Dieser Ertrag liegt zwischen null und dem mit Sonnenenergie abdeckbaren Wärmebedarf (in kWh/Jahr) eines Gebäudes.
REDUKTIONSAKTOR	Faktor, um Teildachfläche aus sonnendach.ch auf ein für die Solarenergie nutzbares Mass zu reduzieren. Siehe auch Kapitel 3.2.
STROMERTRAG	Attribut aus sonnendach.ch Stromertrag (in kWh/Jahr) einer Teildachfläche, falls diese mit PV-Modulen belegt ist.
WAERMEERTRAG	Attribut aus sonnendach.ch Dem mit Sonnenenergie abdeckbaren Wärmebedarf (in kWh/Jahr) einer Teildachfläche. Das heisst dieser Wert entspricht dem Wärmeertrag eines Teildaches, ist aber maximal so gross wie der mit Sonnenenergie und Kurzzeitspeicher abdeckbare Wärmebedarf des Gebäudes.

Teil 2: Sonnenfassade.ch

Aggregation auf räumliche Gebiete

Inhaltsverzeichnis

1.	Grundlagen.....	1
1.1	Ausgangslage.....	1
1.2	Vorgehen.....	1
2.	Errechnete Potenziale.....	2
3.	Aggregationsmethodik	3
3.1	Ausschlusskriterien	3
3.1.1	Fläche.....	3
3.1.2	Objektart.....	5
3.1.3	Einstrahlung	6
3.1.4	ISOS-Gebiet	6
3.2	Belegungsfaktoren	7
4.	Flussdiagramm.....	10
5.	Testing der Methode	11
6.	Fazit.....	11

	<h2>1. Grundlagen</h2>
	<h3>1.1 Ausgangslage</h3>
Bestehende Grundlagen	<p>Das BFE stellt mit www.sonnendach.ch und www.sonnenfassade.ch Instrumente zur Verfügung, mit denen das Solarpotenzial von Einzeldächern und Einzelfassaden abgeschätzt werden können.</p> <p>Um das Solarpotenzial von räumlichen Gebieten (z.B. Gemeinden) zu ermitteln, hat e4plus AG im Jahr 2016 eine Aggregationsmethodik für die Dachflächen entwickelt.</p>
Auftrag	<p>Um auch die Solarpotenziale der Einzelfassaden räumlich zu aggregieren, wurde e4plus wiederum mit der Entwicklung einer Aggregationsmethodik beauftragt. Diese wird im vorliegenden Bericht erläutert.</p> <p>Sonnenfassade.ch geht von einem theoretischen Potenzial aus (100% Belegung der Fassadenflächen mit Solarmodulen). Um die bestehenden Daten sinnvoll zu aggregieren, wird dieses theoretische Potenzial auf ein technisches und ein ausschöpfbares Potenzial reduziert.</p> <p>Das technische Potenzial umfasst die belegbaren Fassadenflächen (sprich ohne Fenster, Jalousien, Randabschlüsse etc.).</p> <p>Daraus wird unter Berücksichtigung von Objektarten (historische Gebäude, Türme etc.), Schutzgebieten (ISOS), Minimalanforderungen bezüglich Einstrahlung und Fläche das ausschöpfbare Potenzial berechnet.</p>
Datengrundlage	<p>Die verwendeten Datengrundlagen sind die folgenden:</p> <ul style="list-style-type: none">- Datenmodell Sonnendach/Sonnenfassade- Produktinformation swissBUILDINGS3D 2.0 <p>Um die entwickelte Methodik zu testen, standen die Sonnenfassaden-Daten der Stadt Kriens sowie der Region Sursee-Mittelland zur Verfügung, jeweils ergänzt mit der Gebäudekategorie (GKAT) gemäss Gebäude- und Wohnungsregister GWR. Die Datenbasis umfasst in der Region Sursee-Mittelland 149'924 Einzelfassadenflächen, in der Stadt Kriens sind es deren 30'929. Die beiden Gebiete sind aussagekräftig, da sie unterschiedlich strukturiert sind: Kriens ist urban geprägt, dicht bebaut, weist viele Mehrfamilienhäuser und einige Industrie- und Dienstleistungsbauten auf. Sursee-Mittelland hingegen ist – bis auf die Stadt Sursee – vor allem ländlich geprägt, hat viele Einfamilienhäuser, Gewerbe- und Industriebauten, Bauten ausserhalb der Bauzonen sowie einzelne historische Ortskerne.</p> <p>Ebenfalls verwendet wurden die verfügbaren Geodaten des Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz von nationaler Bedeutung ISOS (open-data.swiss).</p>
Methodik Sonnenfassade.ch	<p>Detaillierte Ausführungen zur Berechnungsmethodik von Sonnenfassade.ch sind dem entsprechenden Bericht zu entnehmen.</p> <p>Wichtig für die Berechnung des Solarpotenzials der Fassaden ist, dass der Albedo-Faktor (Rückstrahlung bspw. von Schnee) bereits in der Berechnung der Sonnenfassaden-Daten auf der Einzelfassade berücksichtigt ist.</p>
Datenanalyse	<h3>1.2 Vorgehen</h3> <p>Um die Datenbasis zu verstehen, wurden die vorhandenen Daten analysiert und hinsichtlich der Merkmale «Fläche», «Klasse/Einstrahlung», «Objektart gemäss swissBUILDINGS», «Gebäudekategorie» ausgewertet.</p> <p>Die entwickelte Aggregationsmethodik wurde danach laufend anhand der Daten aus Kriens und Sursee-Mittelland getestet.</p>

Feldstudie	Um die angewandten Belegungsfaktoren (siehe 3.2) zu bestimmen, wurde in Kriens eine Feldstudie durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 45 Fassaden (10 EFH, 15 MFH, 20 übrige Gebäude) fotografiert und ausgewertet.
Expertenworkshop	An einem Workshop mit Experten am 14. Dezember in Bern wurde die Methodik diskutiert und plausibilisiert. Folgende Personen nahmen teil: <ul style="list-style-type: none"> - Wieland Hintz BFE - Martin Hertach BFE - Thomas Hostettler, Ingenieurbüro Hostettler/Swissolar - Peter Toggweiler, Basler & Hoffmann/Swissolar - Jan Remund, Meteotest AG - Urs Hanselmann, Gebäudehülle Schweiz - Karl Viridén, Viridén + Partner AG - Leo-Philipp Heiniger, Swissolar Romandie
Potenziale in Sonnendach.ch	<p>2. Errechnete Potenziale</p> <p>Als Ergebnis der Sonnendach-Aggregation werden pro Gemeinde zwei Potenziale errechnet:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Szenario 1: Nur Solarstrom - Szenario 2: Kombination Solarwärme und Solarstrom
Ergänzung mit Fassadenpotenzial	Die beiden Szenarien werden nun mit dem Solarpotenzial der Fassaden ergänzt. Daraus ergeben sich die zwei neuen Szenarien 3 und 4.

Szenario	Technologien	Berücksichtigte Flächen	Bemerkungen
Szenario 1	nur Solarstrom	nur Dachflächen	
Szenario 2	Kombination Solarwärme und Solarstrom	nur Dachflächen	Hier wird jeweils die beste Dachfläche eines Gebäudes für die Solarwärme reserviert und die übrigen Teildachflächen mit einer PV-Bedeckung berechnet
Szenario 3	nur Solarstrom	Dach- und Fassadenflächen	Szenario 1 + PV-Belegung der Fassade
Szenario 4	Kombination Solarwärme und Solarstrom	Dach- und Fassadenflächen	Szenario 2 + PV-Belegung der Fassade

Solarwärme

Auf den Fassadenflächen wird bei der Aggregation nur Photovoltaik-Belegung und keine Solarwärme berechnet. Grund dafür ist, dass der Wärmebedarf pro Gebäude bereits auf den Dachflächen berechnet wurde und in den meisten Fällen auch auf dem Dach gedeckt werden kann. Wo genau die thermische Solaranlage am Gebäude platziert wird, ist jedoch im Einzelfall zu prüfen. Darüber hinaus ergibt sich dadurch eine Vereinfachung der oben beschriebenen Szenarien.

Zudem läuft der Trend zu Erzeugung von solarer Wärme mittels der Kombination von Photovoltaik-Anlagen mit Wärmepumpen.

3. Aggregationsmethodik

Um vom theoretischen Potenzial zum technischen Potenzial zu gelangen und damit die Basis für die Aggregation auf räumliche Gebiete zu schaffen, werden einerseits Ausschlusskriterien definiert. Diese müssen nicht kumulativ erfüllt sein. Ist eines der Kriterien erfüllt, wird die Fassadenfläche nicht berücksichtigt.

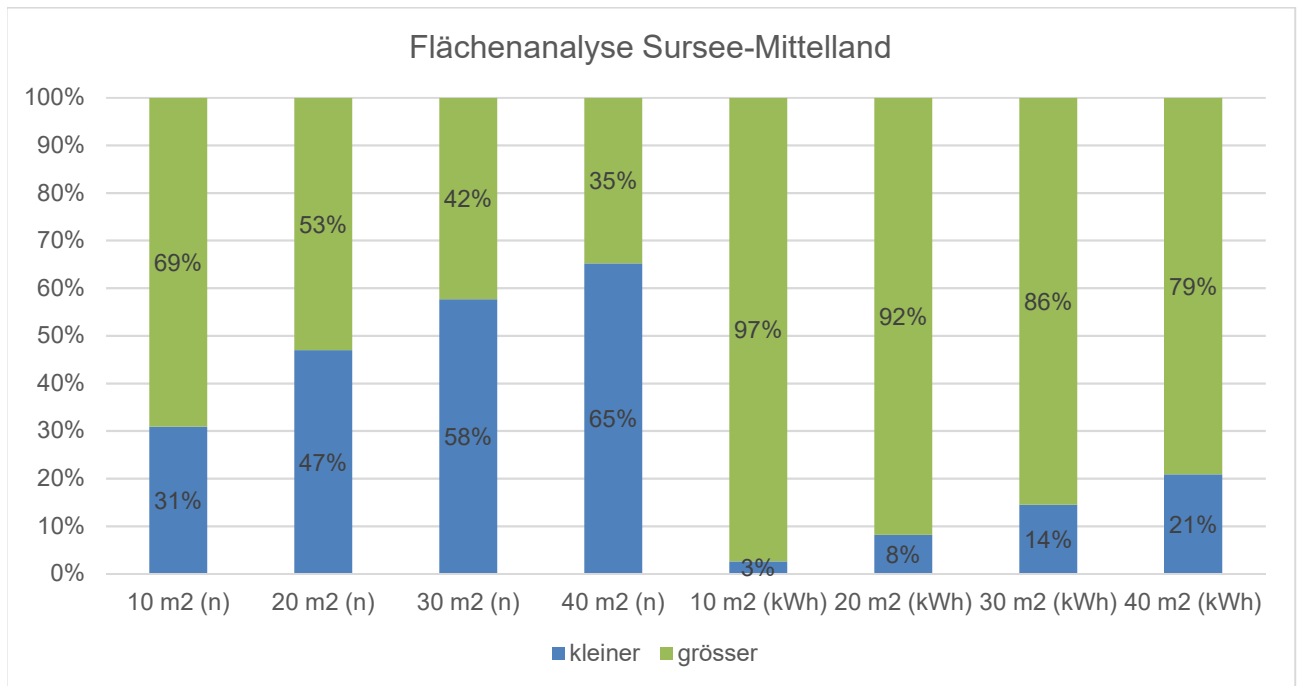
Auf die übrigen Gebäude werden Reduktionsfaktoren angewandt, welche die mögliche Belegung der Fassaden mit Solarmodulen abbilden.

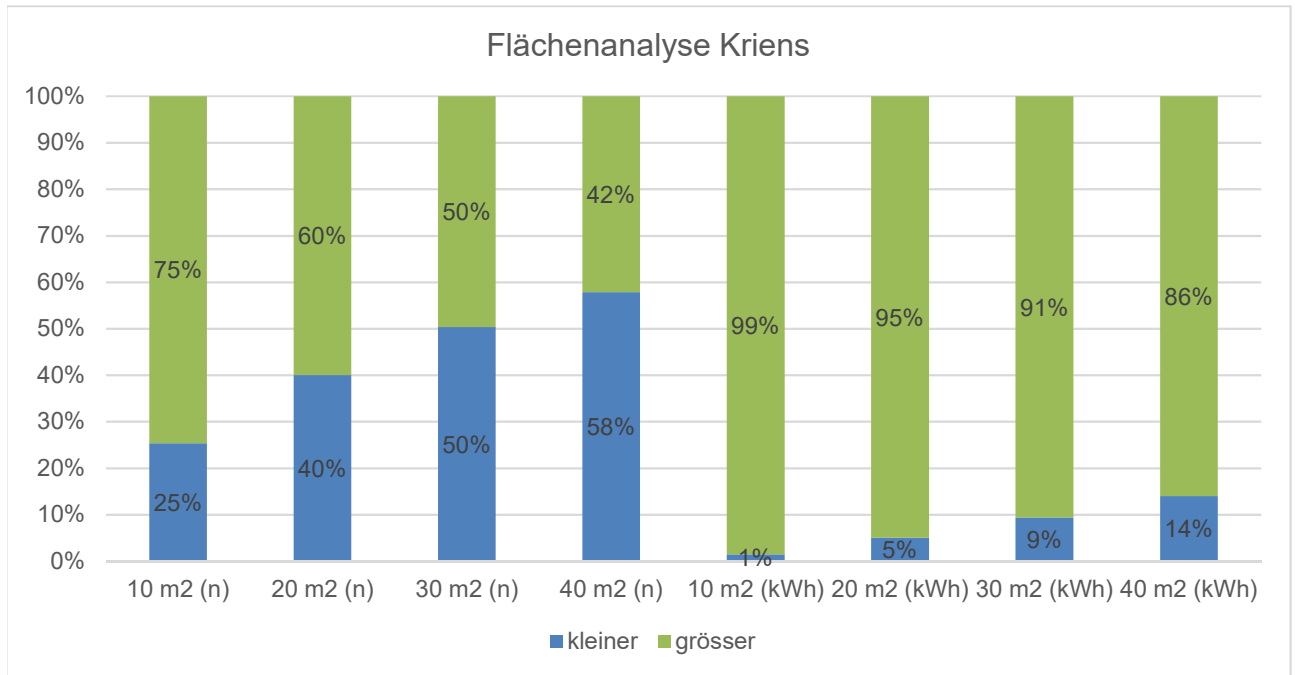
3.1 Ausschlusskriterien

3.1.1 Fläche

Datenanalyse

Die Datenanalyse (siehe untenstehende Grafiken) zeigt, dass relativ viele kleine Flächen in den Daten enthalten sind, welche jedoch entsprechend ihrer Grösse nur einen kleinen Anteil am Stromertrag generieren.





Kriterium FLAECHE

Als Ausschlusskriterium wird $< 20\text{m}^2$ festgelegt. Es werden für die Aggregation nur Flächen berücksichtigt, welche $\geq 20\text{m}^2$ sind.

Auf 20m^2 -Flächen mit einer Belegung von 50% lassen sich Anlagen von ca. 2 kWp erstellen. Ab dieser Grösse ist bei einer üblichen Struktur der Fassade davon auszugehen, dass eine, aus technischer Sicht, vernünftige Anlage realisiert werden kann.

3.1.2 Objektart

Attribut
SB_OBJEKTART

Aus dem Sonnenfassade.ch zugrundeliegenden Gebäudemodell swissBUILDINGS sind alle Fassadenflächen einem Gebäude und damit einer Kategorie «Objektart» zugeteilt. Es bestehen die folgenden Kategorien:

Brücke gedeckt	Flugdach	Gebäude Einzelhaus
Gebäude unsichtbar	Historische Baute	Hochhaus
Hochkamin	Im Bau	Kapelle
Lagertank	Mauer gross	Mauer gross gedeckt
Offenes Gebäude	Sakraler Turm	Sakrales Gebäude
Treibhaus	Turm	Unterirdisches Gebäude

Datenanalyse

Kriens			
Objektart	% n	% Fläche	% kWh
Gebäude Einzelhaus	91.8%	96.9%	96.7%
Hochhaus	0.5%	1.6%	1.7%
Im Bau	0.7%	0.8%	0.9%
Übrige	7.0%	0.7%	0.7%

Sursee-Mittelland			
Objektart	% n	% Fläche	% kWh
Gebäude Einzelhaus	86.2%	97.5%	97.4%
Hochhaus	0.0%	0.1%	0.1%
Im Bau	0.4%	0.7%	0.7%
Übrige	13.4%	1.7%	1.8%

Der überwiegende Anteil der Fassadenflächen, der Fläche in m² sowie des Stromertrags in kWh stammt von Gebäuden mit Objektart «Gebäude Einzelhaus».

Kriterium
SB_OBJEKTART

Es werden nur «Gebäude Einzelhaus», «Hochhaus» und «im Bau» berücksichtigt. Alle anderen Fassadenflächen werden nicht berücksichtigt, da eine Solar-energienutzung derer Fassaden nicht sinnvoll ist.

3.1.3 Einstrahlung

Attribut MSTRABLUNG

Das Attribut MSTRABLUNG weist die mittlere Einstrahlung auf die Fassade in kWh/m²/Jahr aus.

Gleichzeitig ist das Attribut MSTRABLUNG die Basis für die Einteilung der Flächen in die Klassen. Flächen < 600 kWh/m²/a werden als «gering» klassiert.

Datenanalyse

Kriens			
MSTRABLUNG	% n	% Fläche	% kWh
>= 600 kWh/m ² /a	30%	34%	51%
< 600 kWh/m ² /a	70%	66%	48%

Sursee-Mittelland			
MSTRABLUNG	% n	% Fläche	% kWh
>= 600 kWh/m ² /a	45%	47%	65%
< 600 kWh/m ² /a	55%	53%	35%

Kriterium MSTRABLUNG

Für die Aggregation der Fassadenflächen werden nur Flächen berücksichtigt, welche eine Einstrahlung von mehr als 600 kWh/m²/Jahr aufweisen.

Im Gegensatz zur Aggregation der Dächer (nur Klassen «gut», «sehr gut» und «hervorragend» berücksichtigt) werden bei den Fassaden auch mittel geeignete Fassaden berücksichtigt. Diese sind oft Ost- und Westfassaden und liefern damit auch bei tiefem Sonnenstand (morgens, abends) Strom, welcher dadurch höherwertig ist.

3.1.4 ISOS-Gebiet

ISOS

Das Bundesinventar der schützenswerten Ortsbilder der Schweiz ISOS legt Erhaltungsziele in verschiedenen Stufen fest. In ISOS-geschützten Ortskernen ist die Denkmalpflege bei baulichen Veränderungen beizuziehen. Eine solare Nutzung von Fassaden ist daher momentan nicht realistisch.

Die ISOS-Daten sind nur als Punkte georeferenziert verfügbar. Es bestehen dabei unterschiedliche Kategorien:

- Weiler
- Dorf
- Kleinstadt/Flecken
- Verstädtertes Dorf
- Stadt
- Spezialfall (meist Einzelobjekte)

Alle Fassaden in einem Umkreis um die erfassten Punkte werden nicht berücksichtigt, wobei sich die Umkreise je ISOS-Kategorie unterscheiden.

Sollten die ISOS-Daten zukünftig als Flächen verfügbar sein, wäre es sinnvoll, diese ISOS-Flächen als Ausschlussgebiete zu verwenden.

Kriterium ISOS

Alle Fassaden in folgenden Umkreisen von ISOS-Punkten werden bei der Aggregation ausgeschlossen:

- Weiler und Dorf: 100 m
- Kleinstadt/Flecken und Verstädtertes Dorf: 150 m
- Stadt: 200 m
- Spezialfall: kein Ausschlusskriterium

Datenanalyse

Im betrachteten Gebiet Sursee-Mittelland sind 6 ISOS-Ortsbilder erfasst (1 Dorf, 2 Weiler, 3 Kleinstadt/Flecken) enthalten. Werden die oben definierten

Umkreise angewandt, ergibt sich Folgendes: Rund 2'400 von 150'000 Fassadenflächen liegen in einem ISOS-Umkreis.

Sursee-Mittelland			
	% n	% Fläche	% kWh
ISOS-Gebiet	1.6%	1.9%	1.6%
Nicht-ISOS-Gebiet	98.4%	98.1%	98.4%

3.2 Belegungsfaktoren

Auf jene Flächen, welche kein Ausschlusskriterium erfüllen, werden Belegungsfaktoren angewandt. Diese Faktoren tragen dem Umstand Rechnung, dass die Fassaden aufgrund Fenstern, Türen etc. nicht zu 100% mit Solarmodulen belegt werden können und unterscheiden sich nach Gebäudekategorie.

Datenanalyse

Die Analyse der Daten zeigt, wie sich die Anzahl Fassadenflächen, die Fassadenfläche in m² sowie der Stromertrag auf die Kategorien Einfamilienhäuser, Mehrfamilienhäuser sowie übrige Gebäude verteilt.

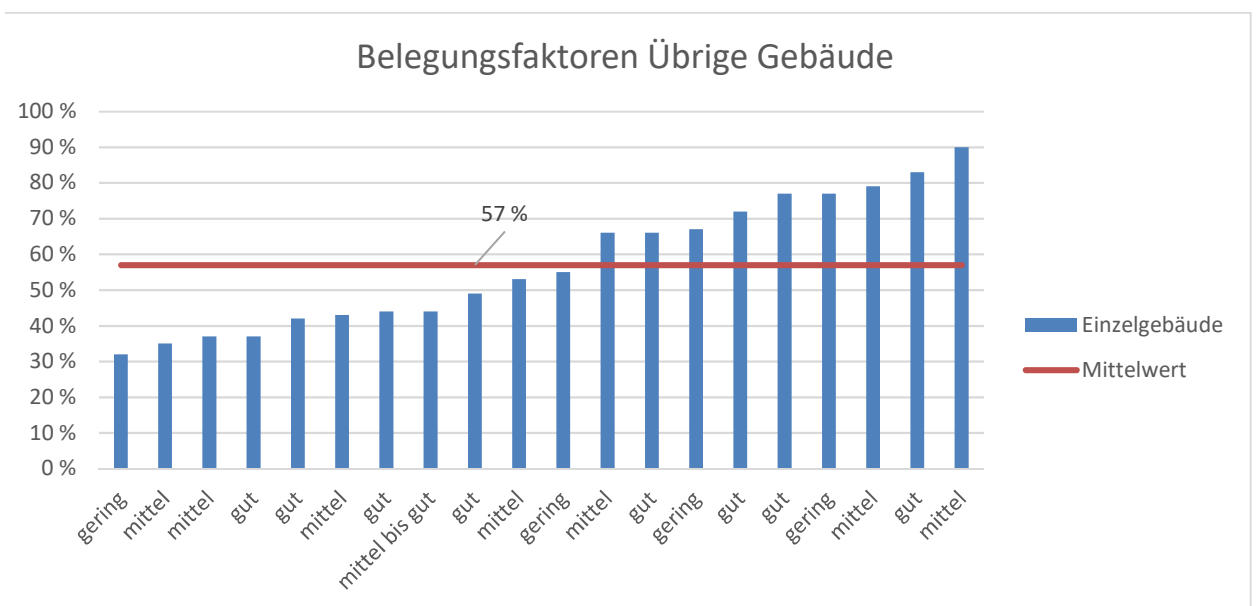
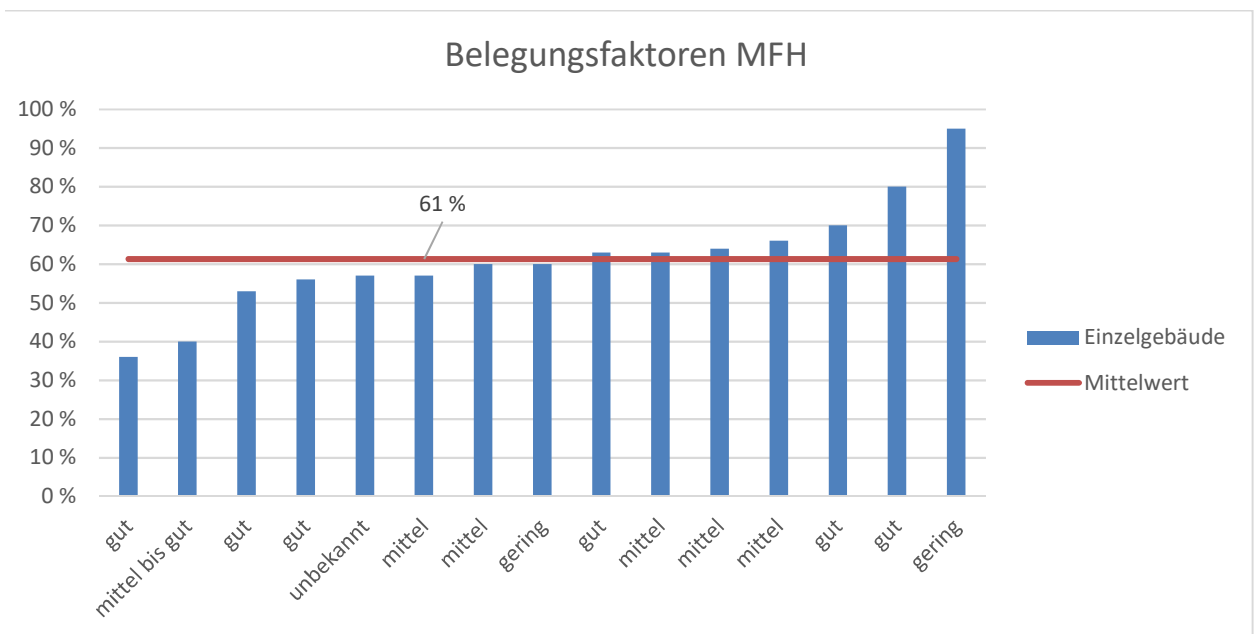
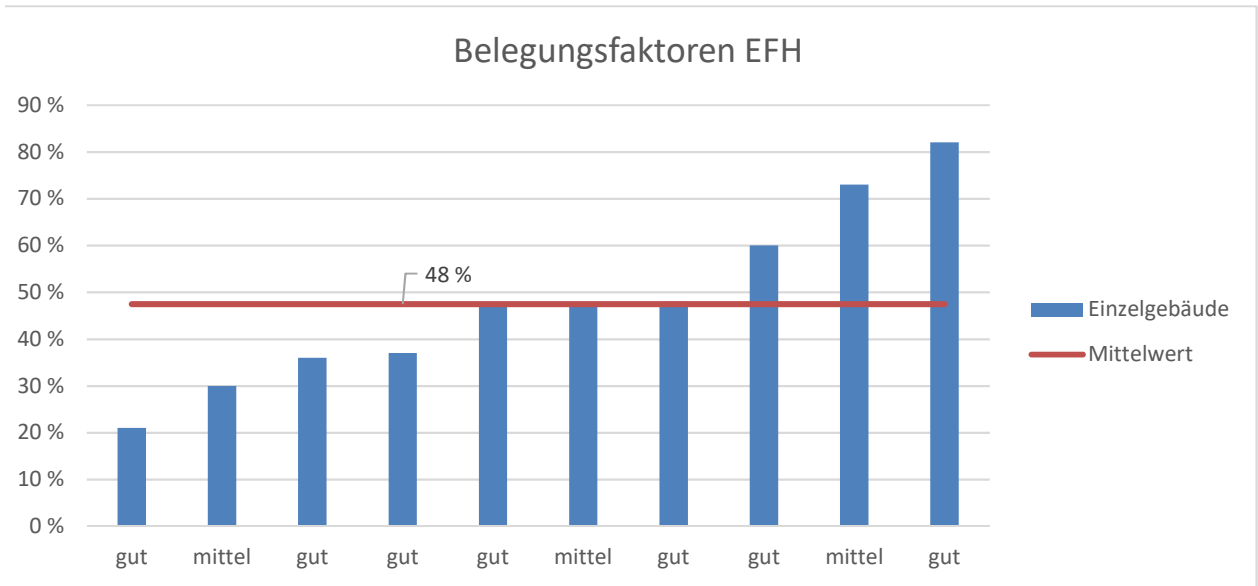
Sursee-Mittelland			
	% n	% Fläche	% kWh
EFH	28%	22%	23%
MFH	20%	25%	24%
übrige Gebäude	52%	53%	53%

Kriens			
	% n	% Fläche	% kWh
EFH	27%	17%	17%
MFH	39%	52%	51%
übrige Gebäude	34%	32%	32%

Feldstudie

Um die Belegungsfaktoren festzulegen, wurde in Kriens eine Feldstudie durchgeführt. Dabei wurden 10 Fassaden von Einfamilienhäusern, 15 Mehrfamilienhäuser-Fassaden und 20 Fassaden von übrigen Gebäuden fotografiert und deren mögliche Solarbelegung analysiert.

Daraus ergaben sich die folgenden Resultate:



Angewandte Faktoren

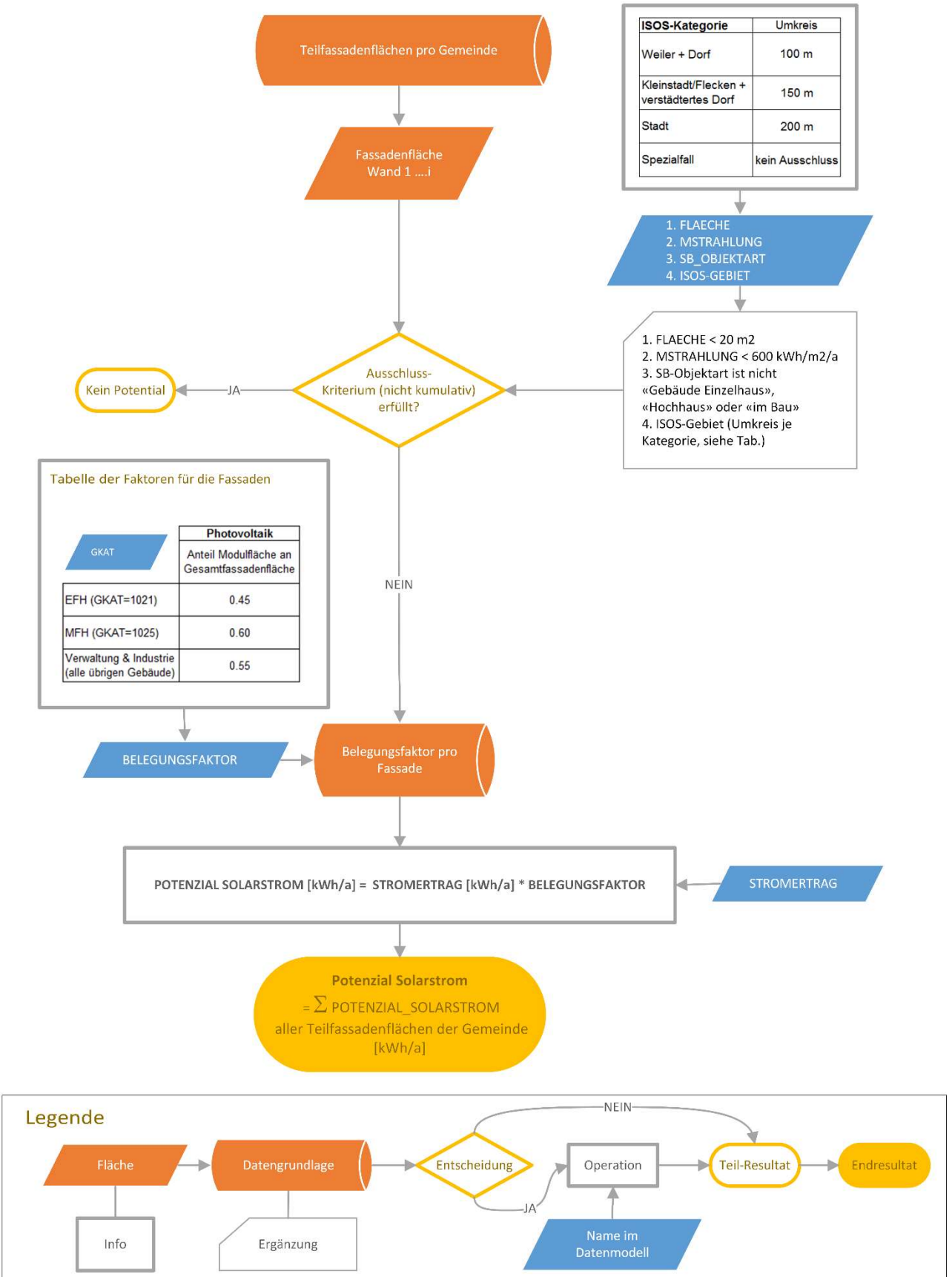
Basierend auf diesen Ergebnissen werden für die Aggregationsmethodik die folgenden Belegungsfaktoren verwendet.

	EFH	MFH	übrige Gebäude
Belegungsfaktor	45%	60%	55%

Dabei werden die Gebäudekategorien GKAT gemäss GWR verwendet (1021 = «EFH», 1025 = «MFH», alle übrigen GKAT sowie die Gebäude ohne GKAT = «übrige Gebäude»). Die Kategorie «übrige Gebäude» umfasst diverse Gebäudetypen: Bürogebäude, Gewerbegebäude, Industrie, landwirtschaftliche Ökonomiegebäude etc.

4. Flussdiagramm

Berechnungsmethodik Potenzial Solarstrom Fassade pro Gemeinde



5. Testing der Methode

Resultate

Die entwickelte Methodik wurde an den Daten der Stadt Kriens und der Region Sursee-Mittelland getestet. Daraus resultiert, dass in den beiden Gebieten das technische Potenzial bei rund 35% des theoretischen Potenzials liegt.

	Kriens	Sursee-Mittelland
Potenzial sonnenfassade.ch	100%	100%
Nach Ausschlusskriterien verbleibende Fläche (m ²)	45%	52%
Nach Ausschlusskriterien verbleibender Stromertrag (kWh)	63%	68%
Verbleibendes Potenzial (kWh) nach Anwendung Belegungsfaktoren (ganze Methodik)	35%	37%

6. Fazit

Erhebliche Potentiale

Die Datenanalyse zeigt, dass ein erheblicher Anteil der Fassaden in den untersuchten Gebieten technisch geeignet für die Produktion von Solarstrom ist. Rund 50% der Fassadenfläche (m²) sind genügend gross, befinden sich auf für die PV-Nutzung geeigneten Objekten, weisen genügend Einstrahlung auf und liegen nicht in ISOS-Gebieten. Nach Abzug von Fenstern etc. ergibt sich daraus eine Nettofläche von rund 25% der gesamten Fassadenfläche als potenzielle Solarstrom-Fläche.

Mit dem technischen Potential an den Fassaden liesse sich in den untersuchten Gemeinden zwischen 1/3 und 1/2 des gesamten Strombedarfs decken.

Keine Rückschlüsse auf die Sinnhaftigkeit einzelner Projekte

Im Potenzial nicht eingerechnet sind Flächen mit einer Einstrahlung von unter 600 kWh/m²/a. Aus der Perspektive der Verteilung der Stromproduktion im Tagesverlauf kann es im Einzelfall trotzdem Sinn machen, auch solche Fassaden (oft mit Ost- oder West-Ausrichtung) in PV-Fassadenprojekte einzubeziehen.