

Das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der Schweiz



Auftraggeberin

Schweizerische Energie-Stiftung
Sihlquai 67
8005 Zürich
www.energiestiftung.ch

Projektteam

Léonore Hälg, Dr. sc. ETH
Giovanni Battista Cavadini, MSc. ETH
Jürg Rohrer, Prof., dipl. Ing. ETH

Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW)
Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen
Forschungsgruppe Erneuerbare Energien
Campus Grüental
8820 Wädenswil
www.zhaw.ch/iunr/erneuerbareenergien

Kontakt

Jürg Rohrer (E-Mail: juerg.rohrer@zhaw.ch, Tel.: +41 58 934 54 33)

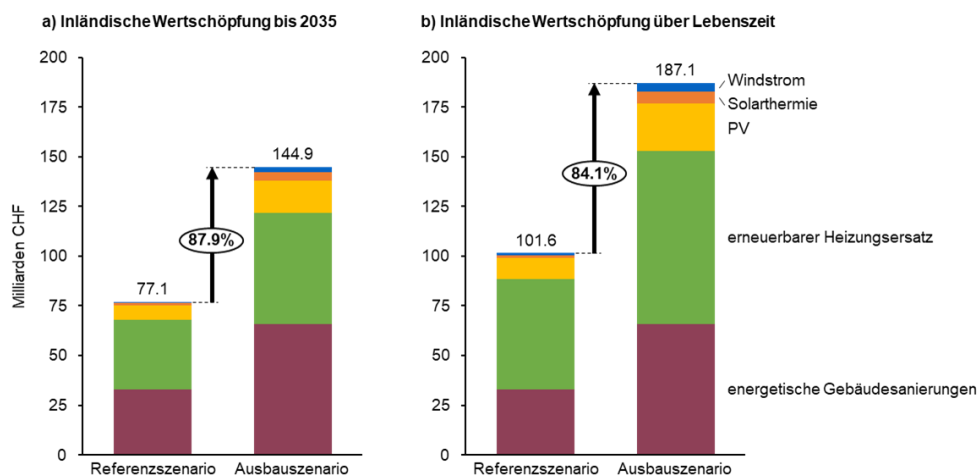
Die Studie wurde von Flumroc AG (Flums) finanziell unterstützt. Die wissenschaftliche Unabhängigkeit blieb gewahrt.

Wädenswil, 24. September 2021

Zusammenfassung

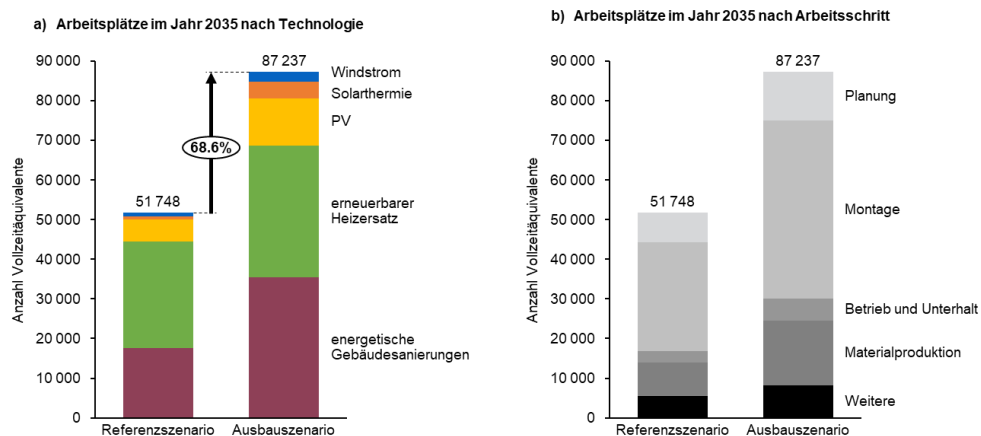
Die Schweiz muss zur Erreichung ihrer Klimaziele den Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz voranbringen. Dieser Ausbau bedingt zwar grosse Investitionen, er schafft aber auch inländische Wertschöpfung und Arbeitsplätze. In der vorliegenden Studie wurde berechnet, wie gross dieses Potential ist. Spezifisch wurde das inländische Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential, sowie die Wirtschaftlichkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz von 2021 bis 2035 in zwei Szenarien untersucht. Das Referenzszenario orientierte sich stark am Szenario ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+, während im Ausbauszenario ein zusätzlich beschleunigter Ausbau angenommen wurde, welcher nötig ist, um bis 2035 die Treibhausgasemissionen auf netto null zu senken. Die untersuchten Massnahmen und Technologien beinhalten die Photovoltaik (PV), den Windstrom, die Solarthermie, energetische Gebäudesanierungen, der erneuerbare Heizungsersatz und die Energieeffizienz im Strombereich, wobei für letztere nur die volkswirtschaftlichen Kosten berechnet wurden, da ihr inländisches Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential als gering eingestuft wurde.

Der moderate Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz im Referenzszenario schafft bis 2035 rund 77.1 Milliarden Franken inländische Wertschöpfung, wie in der nachfolgenden Grafik dargestellt. Über die gesamte Lebensdauer der verschiedenen Anlagen gesehen, steigt dieser Wert auf 101.6 Milliarden Franken, da Technologien, wie PV, Windstrom-Anlagen oder Heizsysteme, auch während ihrem Betrieb Wertschöpfung generieren. Das Wertschöpfungspotential des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz, hier berechnet im Ausbauszenario, ist um mehr als 80 Prozent höher. Bis 2035 schaffen zusätzliche energetische Gebäudesanierungen, erneuerbare Heizsysteme und PV-, Windstrom- und solarthermische Anlagen rund 144.9 Milliarden Franken inländische Wertschöpfung. Über die gesamte Lebenszeit dieser Anlagen werden sogar 187.1 Milliarden Franken an inländischer Wertschöpfung generiert. Der grösste Anteil am Wertschöpfungspotential haben die energetische Gebäudesanierungen und der erneuerbare Heizungsersatz. Ein Grund liegt in der grossen Zahl an Altbauten, welche noch saniert und deren fossilen Heizsysteme ersetzt werden können. Ein weiterer wichtiger Grund besteht darin, dass bei Gebäudesanierungen und beim Ersatz von Heizsystemen viel Arbeit entsteht, welche lokale Wertschöpfung schafft. Schliesslich werden auch ein Grossteil der verwendeten Produkte, wie Dämmstoffe, Fenster und in kleinerer Zahl auch Wärmepumpen, in der Schweiz hergestellt. Bei der Installation von PV- und Windstrom-Anlagen ist der Anteil an ausführenden Arbeiten an den Investitionskosten geringer und die Produkte werden mehrheitlich importiert. Zusätzlich ist beim Windstrom wie auch bei der Solarthermie das Ausbaupotential klein.



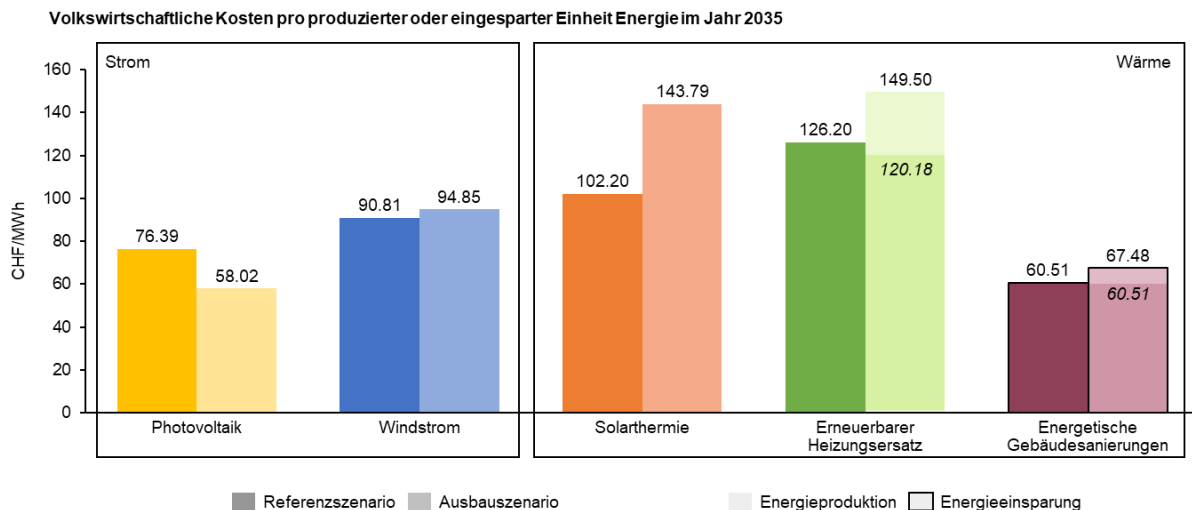
Das grosse inländische Wertschöpfungspotential des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz schlägt sich auch in der Anzahl Arbeitsplätze nieder, die so geschaffen werden können.

Die Resultate der Berechnungen in der nachfolgenden Grafik zeigen, dass bei einem moderaten Ausbau im Referenzszenario bis im Jahr 2035 rund 52'000 Arbeitsplätze entstehen können. Diese Zahl steigt um rund 70 Prozent im Ausbauszenario auf rund 87'000 Arbeitsplätze. Auch hier entstehen die meisten Arbeitsplätze bei den energetischen Gebäudesanierungen und dem erneuerbaren Heizungsersatz aus den gleichen Gründen wie bei der inländischen Wertschöpfung. Die Aufteilung der Arbeitsplätze nach Arbeitsschritten zeigt, dass anteilmässig die Montage der neuen Anlagen inklusive der Gebäudesanierungsarbeiten mit rund 52 Prozent die meisten Arbeitsplätze ausmachen. Aber auch die Herstellung von Materialien, wie Dämmstoffe, Fenster, Wärmepumpen und solarthermische Module, sowie die Planung solcher Anlagen generieren einen erheblichen Anteil an Arbeitsplätzen mit bis zu 19 Prozent, respektive 14 Prozent je nach Szenario. Der Betrieb und der Unterhalt schaffen schliesslich rund 6 Prozent der Arbeitsplätze. Diese sind jedoch wertvoll, da sie im Gegensatz zu den anderen nicht nur einmal bei der Installation, sondern jährlich auch über 2035 hinaus anfallen. An dieser Stelle ist es wichtig zu erwähnen, dass es sich mit Ausnahme des erneuerbaren Heizungsersatzes um zusätzliche Arbeitsplätze handelt. Das heisst, dass beim Ausbau der PV-, Windstrom- und solarthermischen Kapazitäten sowie den energetischen Gebäudesanierungen keine Arbeitsplätze geschaffen werden, die anderweitig verloren gehen. Letzteres ist jedoch der Fall beim erneuerbaren Heizungsersatz, wo Wärmepumpen und Holzpelletheizungen anstelle von Öl- und Gasheizungen eingesetzt werden und so Arbeitsplätze im Transport und Vertrieb der fossilen Energieträger und im Service und Unterhalt der Heizsysteme verloren gehen. Diese Verluste sind jedoch kleiner im Vergleich zu den zusätzlichen Arbeitsplätzen, die durch die Herstellung von Wärmepumpen, die Bohrung von Erdsonden und die zusätzliche Strom- und Holzpelletproduktion entstehen.



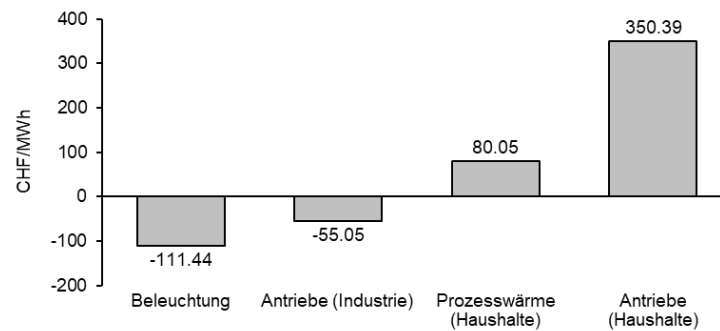
Die Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Massnahmen in den beiden Szenarien wurde als direkte volkswirtschaftliche Kosten pro produzierter oder eingesparter Energie im Jahr 2035 berechnet. Die in der nachfolgenden Grafik dargestellten Resultate zeigen ein gemischtes Bild. Ein beschleunigter PV-Ausbau wie im Ausbauszenario modelliert lohnt sich doppelt, da mehr Kapazität zu tieferen volkswirtschaftlichen Kosten zugebaut werden. Die Gründe liegen in den PV-Stromgestehungskosten, welche einerseits im Jahr 2035 tiefer sein werden als für den Schweizer Strommix und andererseits über die Zeit sinken werden, sodass sich der beschleunigte Ausbau mehr und mehr lohnt. Beim Windstrom zeigt sich, dass der moderate Ausbau im Referenzszenario volkswirtschaftlich ein bisschen günstiger ist als der beschleunigte Ausbau. Dies liegt mehrheitlich daran, dass die Windstromgestehungskosten im Jahr 2035 über dem Preis für den Schweizer Strommix liegen werden. Die volkswirtschaftlichen Kosten der Solarthermie sind einerseits erheblich höher als für PV. Der Grund liegt in der Annahme, dass solarthermische Anlagen durchschnittlich viel kleiner sind als PV-Anlagen und so nicht von Skaleneffekten profitieren. Der grosse Unterschied zwischen den Szenarien für den solarthermischen Ausbau kommt hauptsächlich daher, dass die Differenz des kleineren Ausbaus im Referenzszenario durch Heizwärme

gedeckt werden muss, deren Kosten pro Megawattstunde produzierter Wärme unter denen der Solarthermie liegen. Der erneuerbare Heizungsersatz und die energetischen Gebäudesanierungen beeinflussen sich gegenseitig. Das heisst, dass der Ausbau der einen Massnahme auf die volkswirtschaftlichen Kosten der anderen einwirkt. Der beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Heizsysteme beim Ersatz ist teurer, wenn gleichzeitig die energetischen Gebäudesanierungen forciert werden. Der Grund liegt in den Kosten, welche sich auf eine kleinere Wärmeproduktion verteilen, da mehr sanierte Gebäude die durchschnittliche Nachfrage nach Raumwärme senken. Ist das nicht der Fall und die Nachfrage nach Raumwärme also in beiden Szenarien gleich hoch, ist der erneuerbare Heizungsersatz im Ausbauszenario volkswirtschaftlich kostengünstiger als im Referenzszenario. Auch der beschleunigte Ausbau der energetischen Gebäudesanierungen ist teurer, wenn gleichzeitig der erneuerbare Heizungsersatz forciert wird. Der Grund liegt in den tiefen Betriebskosten der Wärmepumpen, die bei grösserer Anzahl die durchschnittlichen Heizkosten senken. Wird jedoch auch im Ausbauszenario ein moderater Ausbau des erneuerbaren Heizungsersatzes und deshalb in beiden Szenarien gleich hohe Heizkosten angenommen, verursachen die energetischen Gebäudesanierungen in beiden Szenarien die gleichen volkswirtschaftlichen Kosten.



Die Wirtschaftlichkeit von Massnahmen zur Energieeffizienz im Strombereich wurde als Differenz zwischen zwei Szenarien, welche den moderaten und den beschleunigten Ausbau der Stromeffizienz modellierten, berechnet. Die Resultate in der nachfolgenden Grafik zeigen also, wie hoch die volkswirtschaftlichen Kosten pro zusätzlich eingesparter Megawattstunde Strom ausfallen. Im Bereich der Beleuchtung können mit einem konsequenten Einsatz von Leuchtdioden (LEDs) über 100 Franken für jede eingesparte Megawattstunde gespart werden. Kosteneinsparungen gibt es auch im Bereich der industriellen Antriebe, wo stromeffiziente Motoren aus volkswirtschaftlicher Sicht über 50 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom sparen können. Erhöhte Stromeffizienz im Bereich der Kochherde (Prozesswärme) und Haushaltsgrossgeräte (Antriebe) hingegen führt zu volkswirtschaftlichen Mehrkosten von rund 75, beziehungsweise 350 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom. Hier ist jedoch herauszuheben, dass die volkswirtschaftlichen Kosten der Kochherde immer noch unter dem angenommenen Strompreis des Schweizer Strommix von 89.5 Franken pro Megawattstunde liegen wird. Das heisst, dass eine durch effizientere Kochherde eingesparte Megawattstunde Strom immer noch billiger sein wird als eine zusätzlich produzierte Megawattstunde Strom.

Volkswirtschaftliche Kosten pro eingesparter Einheit Energie im Jahr 2035 für Energieeffizienz-Massnahmen im Strombereich



Die vorliegende Studie untersucht die inländische Wertschöpfung, die Arbeitsplätze und die volkswirtschaftlichen Kosten, welche der beschleunigte Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der Schweiz schaffen. Es ist wichtig zu betonen, dass nur die direkten Effekte untersucht wurden. Indirekte Effekte, wie erhöhte Steuereinnahmen, zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze in der Zulieferindustrie und durch Exporte und die Förderung der Innovation in der Schweizer Industrie wurden nicht berücksichtigt. Auch die gesellschaftlichen Vorteile eines beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz, wie die Senkung der Treibhausgasemissionen und die Förderung der Energiewende, wurden nicht untersucht. Diese sind aber wichtig in einer umfassenden Beurteilung der einzelnen Massnahmen.

Damit die Schweiz ihre Klimaziele erreicht, muss der Ausstoss von Treibhausgasen vollständig eliminiert werden. Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz hilft, dieses Ziel zu erreichen. Die vorliegende Studie zeigt, dass dieser Ausbau gleichzeitig Wertschöpfung und wertvolle Arbeitsplätze im Inland schafft. Ohne die richtigen politischen Rahmenbedingungen werden jedoch keine zusätzlichen Anstrengungen im Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz passieren. Es liegt also an den politischen Entscheidungsträgern, die Weichen so zu stellen, dass nicht nur das Klima, sondern auch die Schweizer Wirtschaft von der Energiewende profitieren kann.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	i
Inhaltsverzeichnis.....	v
Abbildungsverzeichnis.....	vi
Tabellenverzeichnis.....	viii
1 Einleitung.....	1
2 Methode.....	3
2.1 Untersuchte Massnahmen und Technologien und Szenarienbildung.....	3
2.2 Berechnung der Wertschöpfung.....	4
2.3 Berechnung des Arbeitsplatzpotentials.....	5
2.4 Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten.....	7
3 Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz.....	11
3.1 Aggregierte Resultate.....	11
3.2 Photovoltaik.....	14
3.3 Windstrom.....	15
3.4 Solarthermie.....	16
3.5 Energetische Gebäudesanierungen.....	17
3.6 Erneuerbarer Heizungsersatz.....	17
3.7 Energieeffizienz im Strombereich.....	21
4 Wirtschaftlichkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz.....	22
4.1 Resultate zu den erneuerbaren Energien und den Gebäudesanierungen.....	22
4.2 Resultate zur Energieeffizienz im Strombereich.....	24
5 Sensitivitätsanalyse.....	27
6 Fazit.....	29
7 Literaturverzeichnis.....	31
A. Anhang.....	34
A. 1. Allgemeine Daten und Annahmen.....	34
A. 2. Photovoltaik.....	35
A. 3. Windenergie.....	38
A. 4. Solarthermie.....	41
A. 5. Energetische Gebäudesanierungen.....	43
A. 6. Erneuerbarer Heizungsersatz.....	45
A. 7. Energieeffizienz im Strombereich.....	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1. Berechnete Stromproduktion im Jahr 2035 und Gestehungspreis von PV-Anlagen nach deren Baujahr im Referenzszenario.	8
Abbildung 2. Resultate der Wertschöpfungsberechnung a) für den Zeitraum bis 2035 und b) über die gesamte Lebenszeit der eingesetzten Technologien, wenn die Massnahmen bis 2035 umgesetzt werden.	11
Abbildung 3. Resultate der Arbeitsplatzberechnung aufgeteilt a) nach Technologie und b) nach Arbeitsschritt.	13
Abbildung 4. Entwicklung der PV-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von PV-Kapazität von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.	14
Abbildung 5. Entwicklung der Wind-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von Wind-Kapazität von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.	15
Abbildung 6. Entwicklung der Solarthermie-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von Solarthermie-Fläche von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.	16
Abbildung 7. Kumulierte inländische Wertschöpfung bis 2035 (links) sowie die Anzahl Arbeitsplätze und sanierten Gebäude (rechts) im Referenzszenario und Ausbauszenario.	17
Abbildung 8. Anzahl jährlich installierte Wärmepumpen und Holzpellettheizungen in Altbauten und die geschaffenen Arbeitsplätze (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.	19
Abbildung 9. Vergleich der Anzahl jährlich installierter erneuerbarer Heizsysteme und der geschaffenen Arbeitsplätze (links) sowie der kumulierten Wertschöpfung bis und nach 2035 (rechts) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario. Die durch den Ersatz fossiler Heizsysteme durch erneuerbare geschaffenen Wertschöpfung und Arbeitsplätze sind in grün und die Wertschöpfung und Arbeitsplätze durch den gesamthaften Ersatz mit erneuerbaren Heizsystemen in hellgrau.	20
Abbildung 10. Vergleich der Arbeitsplätze, die gesamthaft im Ausbauszenario (oben) und im Referenzszenario (unten) geschaffen werden.	21
Abbildung 11. Vergleich der Vollzeitäquivalente, welche die verschiedenen Technologien pro Heizsystem über 25 Jahre generieren. Links sind die Arbeitsplätze dargestellt, welche einmalig bei der Investition anfallen, während rechts die Arbeitsplätze dargestellt sind, welche durch den Betrieb und Unterhalt über 25 Jahre entstehen.	21
Abbildung 12. Volkswirtschaftliche Kosten der verschiedenen Massnahmen im Jahr 2035 im Referenzszenario (dunkle Balken) und im Ausbauszenario (helle Balken) pro produzierter Einheit Energie (einfarbige Balken) oder pro eingesparter Einheit Energie (umrahmte Balken). Photovoltaik und Windstrom produzieren Strom, während der erneuerbare Heizungersatz, die Solarthermie und die energetischen Gebäudesanierungen Wärme produzieren beziehungsweise einsparen.	22
Abbildung 13. Volkswirtschaftliche Kosten pro eingesparte Megawattstunde Strom in den Bereichen Beleuchtung, industrielle Antriebe, Haushalts-Prozesswärme und Haushalts-Antriebe.	25
Abbildung 14. a) Volkswirtschaftliche Kosten der untersuchten Haushaltsgrossgeräten und b) deren Anteil am berechneten Stromsparpotential dieses Bereichs.	26

Abbildung A. 1. Ausbaukurven für die Photovoltaik im Ausbauszenario (durchgezogene Linie) und Referenzszenario (gestrichelte Linie) bis 2050.....	35
Abbildung A. 2. Stromgestehungskosten von PV berechnet anhand der Investitions- und Unterhaltskosten sowie dem spezifischen Ertrag.	36
Abbildung A. 3. Sensitivitäten der PV-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der PV-Module und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.....	37
Abbildung A. 4. Ausbaukurven für die Windenergie im Ausbauszenario (durchgezogene Linie) und Referenzszenario (gestrichelte Linie).	38
Abbildung A. 5. Stromgestehungskosten von Wind berechnet anhand der Investitions- und Unterhaltskosten sowie dem spezifischen Ertrag.	39
Abbildung A. 6. Sensitivitäten der Windstrom-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Wind-Anlagen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.....	40
Abbildung A. 7. Sensitivitäten der Solarthermie-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Solarthermie-Anlagen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.	42
Abbildung A. 8. Sensitivitäten der Gebäudesanierungs-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Sanierungen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.	44
Abbildung A. 9. Anteile der Ölheizungen am Gebäudebestand (inklusive Neubauten) im Ausbauszenario (durchgezogene Linie), Referenzszenario (gestrichelte Linie) und in den Energieperspektiven 2050, ZERO Basis (gepunktete Kurve) (Prognos <i>et al.</i> , 2021b).....	47
Abbildung A. 10. Anteile der verschiedenen Heizsysteme am Bestand a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario ohne Neubauten ab 2020.	48
Abbildung A. 11. Berechnete Entwicklung der Heizkosten von Altbauten anhand der Anteile der Heizsysteme am Bestand in Abbildung A. 10 und den Energiepreisen in Tabelle A. 7.....	49
Abbildung A. 12. Sensitivitäten der Heizungsersatz-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Heizsysteme und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.	49

Abbildung A. 13. Sensitivitäten der volkswirtschaftlichen Kosten auf Veränderungen im Ausbauszenario (in blau) und im Referenzszenario (in rot) im Bereich a) der Beleuchtung, b) der industriellen Antriebe und c) der Prozesswärme in den Haushalten..... 53

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Massnahmen. Weitere Informationen zu den Szenarien sowie die Daten und Annahmen sind im Anhang.....	3
Tabelle 2. Die Personalkosten in den verschiedenen Massnahmen. Die Bruttolöhne und die verwendeten NOGA-Codes sowie deren Quellen befinden sich im Anhang.	6
Tabelle 3. Wertschöpfung bis 2035 und über die Lebensdauer der einzelnen untersuchten Massnahmen.....	12
Tabelle 4. Arbeitsplätze im Jahr 2035 und über die Lebensdauer der einzelnen untersuchten Massnahmen.....	13
Tabelle A. 1. Allgemeine Daten und Annahmen.	34
Tabelle A. 2. Daten und Annahmen für Photovoltaik.	35
Tabelle A. 3. Daten und Annahmen für Windstrom.....	38
Tabelle A. 4. Daten und Annahmen für Solarthermie.	41
Tabelle A. 5. Daten und Annahmen für energetische Gebäudesanierungen.	43
Tabelle A. 6. Daten und Annahmen für den erneuerbaren Heizungsersatz.	45
Tabelle A. 7. Energiepreise zur Berechnung der Heizkosten.....	48
Tabelle A. 8. Daten und Annahmen für Energieeffizienz im Strombereich.	50
Tabelle A. 9. Preis- und Stromverbrauchsdaten für die Geräte der Kategorie «Antriebe und Prozesse in Haushalten». Die Preisdaten sind exklusiv der Mehrwertsteuer. Für die beliebtesten Geräte wurden die Bestseller von frankenspalter.ch und nettoshop.ch gewählt und deren jährlichen Stromverbrauch mit den Angaben von Prognos et al. (2021a) abgeglichen. Die effizientesten Geräte wurden anhand von topten.ch definiert.	52
Tabelle A. 10. Technische und Kostendaten für industrielle Antriebe. Alle Daten stammen direkt von Werle und Hangartner (2020) oder wurden anhand ihrer Daten berechnet.	52

1 Einleitung

Der Klimawandel ist eine der grössten gesellschaftlichen Herausforderungen unserer Zeit und die Vermeidung von Treibhausgasemissionen bedingt unter anderem den Umbau des heutigen Energiesystems. Mit der Unterzeichnung und Ratifizierung des Übereinkommens von Paris sowie der kürzlich veröffentlichten langfristigen Klimastrategie bekennt sich auch die Schweiz dazu, ihre Treibhausgasemissionen so schnell auf null zu reduzieren, dass die globale Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit begrenzt wird, wobei ein maximaler Temperaturanstieg von 1.5°C angestrebt wird (Bundesrat, 2021). Drei Viertel der in der Schweiz ausgestossenen Treibhausgase sind energiebedingt. Sie stammen also vorwiegend aus der Verbrennung von fossilen Energieträgern (BFE, 2020b). Um die Klimaziele zu erreichen, müssen also im Energiebereich Anstrengungen unternommen werden, die energetische Nutzung von Erdöl und Erdgas mit nicht-fossilen Alternativen zu ersetzen.

Ein Grossteil der energiebedingten Emissionen kann durch erneuerbare Energien für die Strom- und Wärme Gewinnung und durch Energieeffizienz nachhaltig und langfristig gesenkt werden. In den Energieperspektiven 2050+ zeigt das Bundesamt für Energie, wie dank einer solchen Energiewende aber auch dank Negativemissionstechnologien die Schweiz bis 2050 die inländischen Treibhausgasemissionen auf netto null senken kann (BFE, 2020a). Die Energieperspektiven 2050+ sind aber wenig ambitioniert in Anbetracht dessen, dass die Schweiz als reiches Industrieland ihre Treibhausgasemissionen viel schneller senken sollte, um das Ziel des Pariser Klimaabkommens zu erreichen, und dass Negativemissionstechnologien noch nicht marktfähig und potentiell teurer sind als der heutige Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz. Dieser Ausbau setzt natürlich zusätzliche Investitionen in die energetische Sanierung von Gebäuden, den Ersatz von Öl- und Gasheizungen durch erneuerbare Heizsysteme, den Bau von Photovoltaik- und Windanlagen und den Ersatz von stromverschwendenden durch effizientere Geräte voraus. Diese Investitionen werden oft ausschliesslich als zusätzliche Kosten angesehen. Sie sind jedoch tatsächlich ein Treiber inländischer Wertschöpfung und können zusätzliche Arbeitsplätze im Inland schaffen. Ausserdem bringen vermehrte Investitionen in erneuerbare Energien und Energieeffizienz über den Lebenszyklus gesehen in vielen Fällen Kosteneinsparungen im Vergleich zur weiteren Nutzung von fossilen Technologien. Zum Beispiel sind Wärmepumpen zwar teurer in der Anschaffung als Öl- oder Gasheizsysteme. Sie haben aber tiefere Unterhalts- und Betriebskosten und sind im Betrieb effizienter als ihre fossilen Alternativen und sind so in der Gesamtrechnung über ihre Lebensdauer kostengünstiger.

In der vorliegenden Studie wurden das inländische Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential sowie die Wirtschaftlichkeit des beschleunigten Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz im Strom- und Wärmebereich analysiert. Es wurde also berechnet, inwiefern dieser Ausbau zwischen 2021 und 2035 zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze im Vergleich zum Szenario ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ kreieren könnten und wie hoch die jährlichen volkswirtschaftlichen Kosten oder Einsparungen wären. Die untersuchten Massnahmen sind der Ausbau der Photovoltaik- und Windstromkapazitäten, der Ausbau der Solarthermie, energetische Gebäudesanierungen, der erneuerbare Heizungsersatz und die vermehrte Nutzung von stromeffizienten Geräten. Methodisch basiert die Studie auf verschiedenen kürzlich erschienenen Studien, welche Teilaspekte der hier analysierten Fragen untersuchten (Sperr and Rohrer, 2016, 2017c, 2017b, 2017a; Rohrer, 2020; Siegwart *et al.*, 2020).

Das Ziel dieser Studie ist es, das Potential an inländischer Wertschöpfung und neuen Arbeitsplätzen in der Schweiz durch einen beschleunigten Ausbau von Energieeffizienz und erneuerbaren Energien gemäss dem heutigen Stand der Erkenntnisse neu abzuschätzen. Die Wertschöpfungs- und Arbeitsplatz-

potentiale und die volkswirtschaftlichen Kosten der einzelnen Massnahmen werden zwischen den Sektoren verglichen. So können die Öffentlichkeit und politische Entscheidungsträger über die positiven Effekte des beschleunigten Ausbaus der Energieeffizienz und der erneuerbaren Energien, namentlich die inländische Wertschöpfung und die Schaffung neuer Arbeitsplätze informiert werden. Dies ist zum jetzigen Zeitpunkt besonders wichtig, da die Schweizer Stimmbevölkerung kürzlich das revidierte CO₂-Gesetz abgelehnt hat und das Parlament neue Massnahmen aufgleisen muss, um die nationalen Klimaziele zu erreichen.

2 Methode

2.1 Untersuchte Massnahmen und Technologien und Szenarienbildung

Für die Berechnung der inländischen Wertschöpfung und des Arbeitsplatzpotentials wurden in einem ersten Schritt die zu untersuchenden Massnahmen und Technologien und in einem zweiten Schritt ein Referenzszenario und ein Ausbauszenario definiert (siehe Tabelle 1). Diese Szenarien beschreiben, inwiefern sich die verschiedenen Massnahmen zwischen 2021 und 2035 in der Schweiz entwickeln.

Tabelle 1. Übersicht der untersuchten Massnahmen. Weitere Informationen zu den Szenarien sowie die Daten und Annahmen sind im Anhang.

Massnahme	Beschreibung
1 PV-Ausbau	Die Stromproduktion aus Photovoltaik wird im Referenzszenario nach der Ausbaukurve der Energieperspektiven 2050+, Szenario ZERO Basis bis 2035 auf 14.4 TWh/a und im Ausbauszenario mit einer festgelegten Ausbaukurve auf 30.0 TWh/a erhöht. Für weitere Informationen siehe A. 2.
2 Windstrom-Ausbau	Die Stromproduktion aus Windanlagen wird im Referenzszenario nach der Ausbaukurve der Energieperspektiven 2050+, Szenario ZERO Basis bis 2035 auf 1.2 TWh/a und im Ausbauszenario anhand einer festgelegten Ausbaukurve auf 4.2 TWh/a erhöht. Für weitere Informationen siehe A. 3.
3 Solarthermie-Ausbau	Die Warmwasserproduktion aus Solarthermie wird exponentiell von 0.76 TWh/a im Jahr 2020 bis ins Jahr 2035 auf 1.25 TWh/a im Referenzszenario und 2.5 TWh/a im Ausbauszenario erhöht. Für weitere Informationen siehe A. 4.
4 Energetische Gebäudesanierung	Die Rate für energetische Gebäudesanierung beträgt im Referenzszenario 1% der Altbauten und im Ausbauszenario 2%. Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird zusätzlich angenommen, dass der Heizwärmebedarf von Altbauten nach einer energetischen Sanierung von durchschnittlich 85.6 kWh/m ² auf durchschnittlich 22.5 kWh/m ² sinkt. Die in Altbauten installierten Heizungen werden von der Massnahme «Erneuerbarer Heizungsersatz» beeinflusst. Für weitere Informationen siehe A. 5.
5 Erneuerbarer Heizungsersatz	Bei Ersatz werden fossile Heizsysteme im Referenzszenario durch Öl-, Gas- und Holzpellettheizungen sowie durch Wärmepumpen und Fernwärme ersetzt. Die Anteile der verschiedenen Heizsysteme beim Ersatz variieren über Zeit und sind in Tabelle A. 6 präzisiert. Im Ausbauszenario werden fossile Heizsysteme bei Ersatz durch Fernwärme, Wärmepumpen und Holzpellettheizungen ersetzt. Dabei wird angenommen, dass die gleiche Anzahl Fernwärmeanschlüsse wie im Referenzszenario gebaut werden. Die restlichen Heizungen werden zu 90% durch Wärmepumpen und zu 10% durch Holzpellettheizungen ersetzt. Dabei wird angenommen, dass die Massnahme «Energetische Gebäudesanierungen» ebenfalls und gleichzeitig umgesetzt wird und so den Heizwärmebedarf der Gebäude in den beiden Szenarien unterschiedlich beeinflusst. Für weitere Informationen siehe A. 6.
6 Energieeffizienz im Strombereich	Die Energieeffizienz im Strombereich wird in vier Bereichen untersucht: «Prozesswärme im Haushalt», «Beleuchtung», «Antriebe im Haushalt» und «industrielle Antriebe». Der Bereich «Prozesswärme im Haushalt» umfasst die Kochherde. Hier wird angenommen, dass Kochherde werden bei Ersatz im Referenzszenario zu einem Drittel durch Induktionsherde und zu zwei Dritteln durch Glaskeramikherde und im Ausbauszenario ausschliesslich durch Induktionsherde ersetzt werden. Im Bereich «Beleuchtung» werden Leuchtmittel bei Ersatz im Referenzszenario zur Hälfte durch Leuchtdioden (LED) und zur Hälfte durch Kompaktleuchtstofflampen (CFL) und im Ausbauszenario ausschliesslich durch LED ersetzt. Im Bereich «Antriebe im Haushalt» werden die grössten Haushaltsgeräte, d.h. Kühlschränke, Tiefkühler, Waschmaschinen, Tumbler und Geschirrspüler untersucht. Im Referenzszenario werden Geräte am Ende der Lebensdauer durch die beliebtesten Geräte und im Ausbauszenario durch die effizientesten verfügbaren Geräte ersetzt. Im Bereich «industrielle Antriebe» werden schliesslich strombetriebene Motoren in der Industrie untersucht. Im Referenzszenario wird angenommen, dass 90% der neuen Motoren der zweithöchsten Effizienzklasse IE3 und 10% der höchsten Effizienzklasse IE4 angehören, während im Ausbauszenario die Anteile genau umgekehrt sind. Für weitere Informationen siehe A. 7.

Im Referenzszenario wird angenommen, dass sich der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz im Rahmen des zu erwartenden politischen und wirtschaftlichen Umfelds entwickelt. Das Referenzszenario orientiert sich stark am Szenario ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ (BFE, 2020a).

Im Ausbauszenario wird dagegen angenommen, dass die Anstrengungen verstärkt werden und der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz beschleunigt wird. Die genauen Annahmen und Daten, welche für die Berechnungen der einzelnen Massnahmen benutzt wurden, sowie deren Quellen befinden sich im Anhang A ab Seite 34. Für die Massnahme «Energieeffizienz im Strombereich» wurden nur die volkswirtschaftlichen Kosten berechnet, da angenommen wird, dass diese Massnahme nur minim zusätzliche Wertschöpfung und Arbeitsplätze im Inland generiert.

Es ist wichtig anzumerken, dass sich die Massnahmen teilweise gegenseitig beeinflussen. So senken energetische Gebäudesanierungen den Bedarf nach Heizenergie, was sich auf die Resultate des erneuerbaren Heizungsersatzes auswirkt. Umgekehrt beeinflusst der Ersatz fossiler Heizsysteme mit erneuerbaren die Heizkosten und so die Wirtschaftlichkeit von energetischen Gebäudesanierungen und des Solarthermie-Ausbaus. Für die beiden Szenarien wird in diesem Fall angenommen, dass die jeweiligen Massnahmen in beiden Szenarien vollständig umgesetzt wurden. Das heisst, dass zum Beispiel der Bedarf nach Heizenergie bei der Wirtschaftlichkeitsrechnung für den erneuerbaren Heizungsersatz im Ausbauszenario tiefer ist als im Referenzszenario, da im Ausbauszenario mehr Gebäude energetisch saniert werden.

2.2 Berechnung der Wertschöpfung

Für die einzelnen Massnahmen wird berechnet, welche inländische Wertschöpfung im Referenz- und im Ausbauszenario geschaffen wird. Dabei werden die Kosten ermittelt, welche in den Szenarien anfallen und wie viel direkte inländische Wertschöpfung diese generieren. Es wird *bottom-up* berechnet, wie viele Anlagen von welcher Technologie in welchem Jahr in den beiden Szenarien gebaut werden und die nötigen Investitionen in diese Anlagen sowie deren Betriebs- und Unterhaltskosten aufsummiert. Beispielsweise wird bei den energetischen Gebäudesanierungen berechnet, wie viele Gebäude im jeweiligen Szenario saniert werden und welche Investitionen dafür nötig sind. Beim erneuerbaren Heizungsersatz wird bestimmt, wie viele fossile Heizsysteme in den beiden Szenarien durch erneuerbare ersetzt werden und wie hoch deren Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten bis 2035 sind.

Es werden jeweils die gesamten Investitionskosten¹, die Unterhaltskosten und die Betriebskosten für alle Anlagen und Effizienzmassnahmen in die Analyse einbezogen, die über den untersuchten Zeitraum von 2021 bis 2035 gebaut, beziehungsweise umgesetzt werden. Da sie verschieden zur inländischen Wertschöpfung beitragen, werden die Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten für die einzelnen Massnahmen separat berechnet und, wo möglich, zusätzlich in die einzelnen Arbeitsschritte wie zum Beispiel Planung, Montage und Material unterteilt. Schliesslich wird berechnet, wie viel jeder Arbeitsschritt zur inländischen Wertschöpfung beiträgt und in welchem Jahr dieser anfällt. Die Importanteile der Arbeitsschritte wurden vorgängig anhand von Literaturdaten ermittelt. Für die inländische Wertschöpfung einer Massnahme wird schliesslich die Summe aus allen Kosten berechnet, welche für die einzelnen Arbeitsschritte in der Schweiz anfallen. Um die bis 2035 generierte Wertschöpfung zu berechnen, werden dabei alle Investitionskosten sowie die Unterhalts- und Betriebskosten, welche bis 2035 anfallen, berücksichtigt. Für Technologien mit hohen Unterhalts- und Betriebskosten wie Heizun-

¹ Die Investitionskosten beinhalten die Kosten für die Planung, die Montage und das Material inklusive dessen Produktions- und Herstellungskosten.

gen fällt ein erheblicher Anteil der Wertschöpfung nach 2035 an, da die zwischen 2021 und 2035 eingesetzten Heizsysteme eine Lebensdauer haben, die über 2035 hinausgeht. Aus diesem Grund wird zusätzlich die Wertschöpfung, welche nach 2035 generiert wird, berechnet.

Es ist wichtig zu beachten, dass die angenommenen Investitionskosten sowie auch die Unterhalts- und Betriebskosten in den Massnahmen, wo marktneue Technologien eingesetzt werden, abhängig sind vom Jahr der Umsetzung. Für den PV- und Windstrom-Ausbau sowie beim erneuerbaren Heizungsersatz, wo Wärmepumpen eingesetzt werden, wird mit zukünftig sinkenden Kosten gerechnet, da für diese Technologien weitere Lern- und Skaleneffekte erwartet werden können. Dies ist nicht der Fall für bereits gut etablierte und weniger komplexe Technologien, wie beispielsweise Dämmmaterialien für Gebäude und Holzpelletsheizungen (siehe Datentabellen zu den einzelnen Massnahmen im Anhang für mehr Informationen zu den spezifischen Annahmen).

Wie anfangs erwähnt, werden die Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten der einzelnen Anlagen aufsummiert, um die inländische Wertschöpfung zu berechnen. Dabei wird in allen Fällen der Nettobarwert (*Net present value, NPV*) bezogen auf das Jahr 2021 berechnet, damit die in verschiedenen Jahren getätigten Investitionen für die Anschaffung, aber auch für den Unterhalt und den Betrieb der verschiedenen Technologien vergleichbar sind (siehe Formel (1)).

$$NPV_{K,2021}[\text{CHF}] = \sum_t^T n_t \frac{K}{(1+i)^{t-2021}} \quad (1)$$

$NPV_{K,2021}$ steht dabei für den Nettobarwert des Kosten K einer Massnahme bezogen auf das Jahr 2021, K steht für die Kosten aus Anschaffung, Unterhalt oder Betrieb, die im Jahr t anfallen, n_t für die Anzahl der Anlagen, die im Jahr t die berechneten Kosten generieren, i für den Diskontsatz, T für das Jahr, bis zu welchem die Wertschöpfung berechnet wird.

Die inländische Wertschöpfung im Referenz- und Ausbauszenario wird schliesslich anhand des Anteils der diskontierten Gesamtkosten berechnet, welcher in der Schweiz investiert wird und nicht ins Ausland abfließt. Wie bereits erwähnt, können diese Anteile für die Investitions-, Unterhalts- und Betriebskosten verschieden ausfallen.

2.3 Berechnung des Arbeitsplatzpotentials

Das Arbeitsplatzpotential wird anhand der Wertschöpfungsberechnungen für die einzelnen Arbeitsschritte innerhalb der Massnahmen sowie den Personalkosten in den verschiedenen Branchen berechnet. Durch die Personalkosten wird bestimmt, wie viele Vollzeitäquivalente (VZÄ) durch die inländisch generierte Wertschöpfung der verschiedenen Massnahmen entstehen. Sie werden durch den durchschnittlichen Jahresbruttolohn in den einzelnen Branchen sowie einem Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ bestimmt (siehe Formel (2)).

$$\text{Personalkosten}_B [\text{CHF}/\text{VZÄ}] = \text{Jahresbruttolohn}_B \cdot k \quad (2)$$

Personalkosten_B steht dabei für die Personalkosten in Branche B , $\text{Jahresbruttolohn}_B$ für den durchschnittlichen Jahresbruttolohn in Branche B und k für den Kostenfaktor, welcher weitere durch das Personal verursachte Kosten einbezieht. Der Kostenfaktor wird überall als 1.5 angenommen, wie es Rohrer (2020) für Photovoltaik gemacht hat. Die durchschnittlichen Jahresbruttolöhne werden anhand

der NOGA-Codes der verschiedenen Branchen und den Angaben von BFS (2020b) ermittelt². Die berechneten Personalkosten pro Arbeitsschritt sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2. Die Personalkosten in den verschiedenen Massnahmen. Die Bruttolöhne und die verwendeten NOGA-Codes sowie deren Quellen befinden sich im Anhang.

Massnahme	Arbeitsschritt	Personalkosten pro VZÄ
1 PV-Ausbau	Planung	131'220 CHF/VZÄ
	Montage	111'924 CHF/VZÄ
	Materialherstellung	122'922 CHF/VZÄ
	Betrieb und Unterhalt	147'582 CHF/VZÄ
2 Windstrom-Ausbau	Planung	131'220 CHF/VZÄ
	Montage	111'924 CHF/VZÄ
	Materialherstellung	122'922 CHF/VZÄ
	Betrieb und Unterhalt	147'582 CHF/VZÄ
3 Solarthermie-Ausbau	Planung	131'220 CHF/VZÄ
	Montage	111'924 CHF/VZÄ
	Materialherstellung	122'922 CHF/VZÄ
	Betrieb und Unterhalt	147'582 CHF/VZÄ
4 Energetische Gebäudesanierung	Planung	131'220 CHF/VZÄ
	Montage	111'924 CHF/VZÄ
	Materialherstellung	109'049 CHF/VZÄ
5 Erneuerbarer Heizungsersatz	Planung	131'220 CHF/VZÄ
	Montage	111'924 CHF/VZÄ
	Heizungsbau	117'000 CHF/VZÄ
	Unterhalt	117'882 CHF/VZÄ
	Kaminfeger	91'089 CHF/VZÄ
	Holzpelletproduktion und -verkauf	108'810 CHF/VZÄ
	Öffentliche Verwaltung	148'644 CHF/VZÄ
	Stromversorgung	147'582 CHF/VZÄ

Statt mit den jährlichen Personalkosten könnte das Arbeitsplatzpotential auch mit dem jährlichen Umsatz pro Mitarbeiter berechnet werden. In der vorliegenden Studie wurde aber darauf verzichtet, da einerseits die Datenlage diesbezüglich für einige Branchen dünn ist und andererseits teilweise schwierig abzuschätzen ist, welcher Anteil des Umsatzes ins Ausland abfliesst. Das gewählte Vorgehen erlaubt es ausserdem, die Resultate zwischen den Massnahmen zu vergleichen, da für alle die gleiche Methodik und die gleiche Datenquelle für die Personalkosten angewendet wurden.

Das Arbeitsplatzpotential der verschiedenen Arbeitsschritte innerhalb einzelner Massnahmen wird anhand der inländischen Wertschöpfung und der Personalkosten in der entsprechenden Branche bestimmt (siehe Formel (3)). Es ist wichtig zu beachten, dass das hier berechnete Arbeitsplatzpotential nur die direkten Arbeitsplätze einbezieht. Aus diesem Grund werden bei der Arbeitsplatzberechnung vorgängig Steuern und allfällige Abgaben, wie die Mehrwert- oder die Mineralölsteuer, von der inländischen Wertschöpfung abgezogen, da diese keine direkten Arbeitsplätze generieren.

$$\text{Arbeitsplätze}_t \text{ [VZÄ]} = \text{Wertschöpfung}_{B,t} / \text{Personalkosten}_B \quad (3)$$

Arbeitsplätze_t steht dabei für die Arbeitsplätze, die in Jahr t generiert werden, Wertschöpfung_{B,t} für die inländische Wertschöpfung in Branche B im Jahr t, Personalkosten_B für die Personalkosten in Branche

² Die Allgemeine Systematik der Wirtschaftszweige (frz. Nomenclature Générale des Activités économiques, NOGA) dient der konsistenten Gruppierung statistischer Einheiten anhand ihrer wirtschaftlichen Haupttätigkeit. Die NOGA-Codes sind bei der vorliegenden Studie relevant, da das Bundesamt für Statistik die Bruttolöhne der einzelnen Wirtschaftsabteilungen nach der NOGA veröffentlicht.

B. Es wird dabei mit der nicht-diskontierten Wertschöpfung gerechnet. Ausserdem wird angenommen, dass die Personalkosten konstant bleiben.

2.4 Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die Kosten und die Kosteneinsparungen, welche die Umsetzung der einzelnen Massnahmen im Jahr 2035 verursachen, einander gegenübergestellt. Dabei wird berechnet, wie hoch die jährlichen Kosten oder -einsparungen sind, wenn die Massnahmen ab 2021 umgesetzt werden. Diese Berechnungen unterscheiden sich leicht zwischen den einzelnen Massnahmen, weshalb sie in der Folge individuell beschrieben sind. Allfällige Steuern und Abgaben werden nicht miteinberechnet, da sie nur eine Umverteilung bedeuten und auf volkswirtschaftlicher Ebene keine Kosten oder Kosteneinsparungen generieren. Die hier berechneten volkswirtschaftlichen Kosten repräsentieren nicht die Kosten, welche für einzelne Investoren und Privatpersonen bei der Umsetzung einer Massnahme anfallen würden.

Wirtschaftlichkeit des PV- und Windstrom-Ausbaus

Die Wirtschaftlichkeit des Ausbaus von PV- und Windstrom wird anhand der zukünftigen Stromgestehungskosten für die beiden Technologien, der angenommenen Energieproduktion in den Referenz- und Ausbau-Szenarien sowie des zukünftigen Schweizer Strompreises berechnet. Durch die Einbettung der Schweiz in den europäischen Strommarkt wird angenommen, dass der Schweizer Strompreis nicht vom inländischen Ausbau der PV- und Windkapazitäten sondern mehrheitlich von ausländischen und deshalb exogenen Entwicklungen beeinflusst wird. Aus diesem Grund wird in beiden Szenarien der gleiche Strompreis verwendet.

Die Stromgestehungskosten (*Levelised Cost of Electricity, LCOE*) für PV- und Windstrom zeigen auf, wie viel die Produktion einer Stromeinheit kosten, wenn alle Investitions- und Unterhaltskosten miteinbezogen werden. Sie werden nach der Kapitalwertmethode berechnet (siehe Formel (4)). Da die Investitions- und Unterhaltskosten von PV- und Windanlagen sinken, gelten die Stromgestehungskosten nur für die im Berechnungsjahr gebauten Anlagen. Das heisst, dass der Strom einer im Jahr 2021 gebauten Anlage mehr kostet hat als der Strom einer im Jahr 2030 gebauten Anlage, da sich die Investitions- und Unterhaltskosten über den Zeitraum zwischen 2021 und 2030 verändern werden (siehe Abbildung A. 2 und Abbildung A. 5).

$$LCOE_t = \frac{K_{i,t} + \sum_{t=1}^n \frac{K_{U,t}}{(1+i)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{P_t}{(1+i)^t}} \quad (4)$$

$LCOE_t$ steht dabei für die Stromgestehungskosten einer im Jahr t gebauten Anlage, $K_{i,t}$ für die Investitionskosten im Jahr t , $K_{U,t}$ für die Unterhaltskosten im Jahr t , P_t für die Stromproduktion im Jahr t , $(1+i)^t$ für den Diskontierungsfaktor und n für die Lebensdauer der Anlage (siehe Tabelle A. 2 und Tabelle A. 3 für die verwendeten Daten und Quellen). Die berechneten Gestehungskosten von PV und Windstrom für die Jahre 2021 bis 2035 sind in Abbildung A. 2 und Abbildung A. 5 grafisch dargestellt.

Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung wird schliesslich bestimmt, wie viel Energie zu welchen Gestehungskosten in den beiden Szenarien bis 2035 produziert wird. Es wird also berechnet, wie viel Strom die im analysierten Zeitraum gebauten Anlagen im Jahr 2035 produzieren und mit den Gestehungskosten des jeweiligen Baujahres der Anlage multipliziert (siehe die Angaben zu PV in Abbildung 1). Diese Gesamtkosten werden dann verglichen mit den Kosten, welche anfallen würden, wenn die gleiche Strommenge für den 2035 geltenden Preis für den Schweizer Strommix von 89.5 Franken pro Megawattstunde produziert würde (BFE, 2021a). Beispielsweise produziert PV im Jahr 2035 im Referenzszenario 14.42 Terawattstunden und im Ausbauszenario 30 Terawattstunden. Um die beiden Szenarien

zu vergleichen, wird also angenommen, dass im Referenzszenario die fehlenden 15.58 Terawattstunden im Jahr 2035 zum dann geltenden Strompreis gekauft werden müssen, während die 14.42 Terawattstunden PV-Strom zum PV-Stromgestehungspreis anfällt. Schliesslich wird berechnet, wie viel eine Megawattstunde PV-Strom im Ausbauszenario im Vergleich zum Strommix im Referenzszenario durchschnittlich kostet. Für Windstrom werden die volkswirtschaftlichen Kosten analog berechnet.

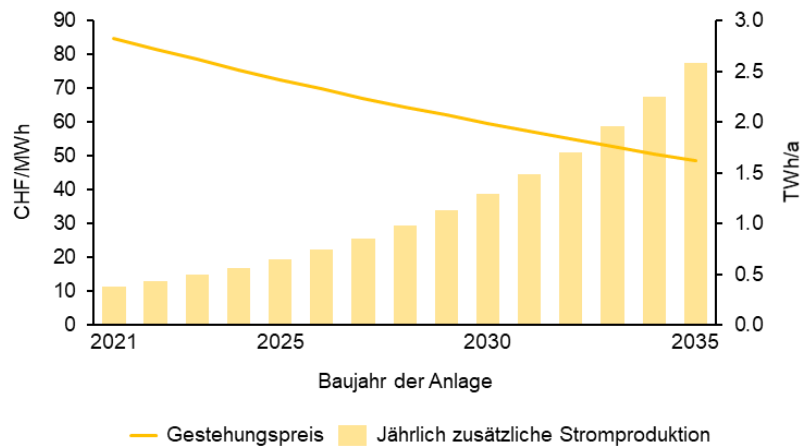


Abbildung 1. Berechnete Stromproduktion im Jahr 2035 und Gestehungspreis von PV-Anlagen nach deren Baujahr im Referenzszenario.

Wirtschaftlichkeit des Solarthermie-Ausbau»

Die Wirtschaftlichkeit des Solarthermie-Ausbau wird analog dem PV- und Windstrom-Ausbau berechnet mit der Ausnahme, dass im vorliegenden Fall die Wärmegegestehungskosten statt der Stromgegestehungskosten berechnet werden. Die Gestehungskosten für Solarwärme werden analog der Methode für die Stromgegestehungskosten in Formel (4) berechnet. Da für Solarwärme keine zukünftigen Kostenreduktionen angenommen werden, bleiben die Gestehungskosten konstant.

Ausserdem wird für die Solarthermie statt des Schweizer Strompreises der Preis für Heizwärme benutzt. Dieser wird anhand der Anteile der verschiedenen Heizsysteme am Bestand und deren Energiekosten berechnet (siehe Abbildung A. 11). Da der Solarthermie-Ausbau im Ausbauszenario grösser ist als im Referenzszenario ist nur der Heizwärmepreis des Referenzszenarios relevant. Schliesslich wird berechnet, wie viel eine Megawattstunde Wärme aus Solarthermie im Ausbauszenario und aus dem Wärmemix im Referenzszenario durchschnittlich kostet.

Wirtschaftlichkeit der energetische Gebäudesanierungen

Für die Berechnung der Wirtschaftlichkeit der energetischen Gebäudesanierungen werden die Einsparungen durch die reduzierte Nachfrage nach Raumwärme den Investitionskosten für die Sanierungen gegenübergestellt. Dabei wird zuerst berechnet, wie viel Raumwärme gesamthaft durch die Sanierungen in den beiden Szenarien eingespart werden kann (siehe Anhang A. 5 für die spezifischen Annahmen, Daten und Quellen). Dabei wird angenommen, dass der durchschnittliche Raumwärmebedarf pro Gebäude durch eine Sanierung um 63.1 kWh/m^2 pro Jahr sinkt. Die wirtschaftlichen Einsparungen durch die reduzierte Nachfrage nach Raumwärme werden anhand der durchschnittlichen Heizkosten berechnet, welche von den Anteilen der verschiedenen Heizsystemen am Bestand und deren Energiekosten abhängen (siehe Abbildung A. 11). Diese Anteile verändern sich unterschiedlich in den beiden Szenarien über die Zeit, da beim erneuerbaren Heizungsersatz fossile Heizsysteme zu unterschiedlichen Anteilen durch erneuerbare und fossile Heizsysteme ersetzt werden (siehe Abbildung A. 10). Die

Heizkosten der Heizsysteme, welche in Neubauten eingesetzt werden, werden dabei nicht miteinberechnet, da angenommen wird, dass Neubauten im untersuchten Zeitraum nicht energetisch saniert werden.

Die Sanierungskosten werden in der Wirtschaftlichkeitsrechnung auf jährlicher Basis berechnet. Dies bedeutet, dass sie als fließende jährliche Rückzahlung eines Darlehens über die Lebensdauer der Sanierung modelliert werden. Diese sogenannte Annuität beinhaltet die Tilgung und den Zins und wird anhand des Annuitätenfaktors α berechnet (siehe Formeln (5) und (6)). In der vorliegenden Studie wird eine konstante Annuität angenommen.

$$\text{Annuität [CHF/a]} = \alpha \cdot \text{Investitionskosten} \quad (5)$$

$$\alpha [-] = \frac{(1+r)^n \cdot r}{(1+r)^n - 1} \quad (6)$$

r steht dabei für den Zinssatz und n für die Lebensdauer der Sanierung.

Die Wirtschaftlichkeit der energetischen Gebäudesanierungen in den beiden Szenarien wird schliesslich durch die Differenz zwischen den diskontierten jährlichen Heizkosteneinsparungen und den diskontierten jährlichen Investitionskosten bestimmt (siehe Formel (1) für die Diskontierung).

Wirtschaftlichkeit des erneuerbaren Heizungersatz

Für die volkswirtschaftlichen Kosten des erneuerbaren Heizungersatzes wird zuerst berechnet, wie viel Raumwärme durchschnittlich durch die ersetzten Heizsysteme im Jahr 2035 generiert werden soll. Dafür wird die gesamte Heizwärmeeinsparung, welche 2035 durch die Umsetzung der Massnahme «Energetische Gebäudesanierungen» in den beiden Szenarien erzielt wird, vom Raumwärmebedarf im Jahr 2020 abgezogen und durch die Anzahl Gebäude im Jahr 2020 geteilt. Der durchschnittliche Raumwärmebedarf pro Gebäude beträgt im Jahr 2035 22.8 Megawattstunden im Referenzszenario und 17.1 Megawattstunden im Ausbauszenario. Die Nachfrage nach Raumwärme ist im Ausbauszenario geringer, da in diesem Szenario eine höhere energetische Sanierungsrate und als Konsequenz eine schnellere Reduzierung der Nachfrage nach Raumwärme angenommen wird als im Referenzszenario. Ausserdem ist es wichtig zu beachten, dass hier nur Altbauten untersucht werden, da nicht angenommen wird, dass die Heizsysteme in Neubauten, während dem analysierten Zeitraum bereits ersetzt werden.

Dann werden die jährlichen Kosten berechnet, zu welchen die einzelnen Technologien (Wärmepumpen, Holzpelletsheizungen, Ölheizungen, Gasheizungen) diesen Raumwärmebedarf bereitstellen. Diese bestehen einerseits aus den jährlichen Fixkosten wie der Annuität (siehe Formeln (5) und (6)) und den jährlichen Unterhaltskosten. Andererseits beinhalten die Gestehungskosten die Energiekosten, welche für die Deckung des Raumwärmebedarfs durch die jeweilige Technologie anfallen (siehe Formel (7)). Diese Energiekosten werden analog den Preisen für Strom, Öl und Erdgas in den Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis im Jahr 2035 berechnet (BFE, 2021b, 2021a).

$$\text{Jährliche Kosten [CHF]} = \text{Annuität} + \text{Unterhaltskosten} + \text{Energiekosten} \cdot \text{jährlicher Raumwärmebedarf} \quad (7)$$

Die jährlichen Kosten für Raumwärme werden für die beiden Szenarien anhand der Anteile, welche die einzelnen Heiztechnologien am Bestand haben, berechnet. Diese Anteile verändern sich im untersuchten Zeitraum, da fossile Heizsysteme mehr und mehr durch erneuerbare ersetzt werden, wobei diese Transition im Ausbauszenario schneller vorangeht (siehe Abbildung A. 10). Dies ist relevant, da die Heizsysteme, welche im Zeitraum zwischen 2021 und 2035 ersetzt werden, in die Kostenrechnung für das Jahr 2035 einfließen.

Schliesslich wird verglichen, wie viel die Bereitstellung einer Megawattstunde Raumwärme in den beiden Szenarien kostet.

Wirtschaftlichkeit der Energieeffizienz im Strombereich

Für die volkswirtschaftlichen Kosten von Energieeffizienzmassnahmen im Strombereich werden in den beiden Szenarien die jährlichen Kosten der verschiedenen Gerätetypen mit der Anzahl neuer und ersetzter Geräte multipliziert und aufsummiert. Siehe Anhang A. 7 für mehr Informationen zu den Szenarien.

Die jährlichen Kosten bestehen einerseits aus den jährlichen Fixkosten wie der Annuität (siehe Formeln (5) und (6)) und den jährlichen Stromkosten, welche sich aus dem Strompreis und dem jährlichen Strombedarf zusammensetzen (siehe Formel (8)). Da angenommen wird, dass die Geräte bis 2035 effizienter werden (siehe Tabelle A. 8), weshalb für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten im Jahr 2035 einbezogen wird, wann ein Gerät gekauft wurde.

$$\text{Jährliche Kosten [CHF]} = \sum_t^T (\text{Annuität}_G + \text{Strompreis} \cdot \text{jährlicher Strombedarf}_{G,t}) \quad (8)$$

Annuität_G steht dabei für die jährlichen Investitionskosten von Gerät G, Strompreis für den im Jahr 2035 geltenden Strompreis und jährlicher Strombedarf_{G,t} für den durchschnittlichen jährlichen Strombedarf von Gerät G, das in Jahr t gekauft wurde.

Schliesslich wird die Differenz der jährlichen Kosten zwischen dem Ausbauszenario und dem Referenzszenario durch die Stromeinsparungen geteilt, welche im Ausbauszenario gegenüber dem Referenzszenario erzielt werden.

3 Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz

3.1 Aggregierte Resultate

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz hat sowohl im Referenz- als auch im Ausbauszenario ein grosses inländisches Wertschöpfungspotential. Die Resultate dargestellt in Abbildung 2a) zeigen, dass ein moderater Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz analog der Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis im Zeitraum von 2021 bis 2035 77.1 Milliarden Franken an Wertschöpfung generieren können. Im ambitionierteren Ausbauszenario steigt dieser Wert bis 2035 um 88% auf 144.9 Milliarden Franken. Abbildung 2b) zeigt die inländische Wertschöpfung, die der Ausbau der erneuerbaren Energien und Energieeffizienz bis 2035 über die gesamte Lebensdauer der einzelnen Technologien generieren kann. Dies ist relevant für Technologien, wie erneuerbare Heizsysteme, die Photovoltaik, den Windstrom und die Solarthermie, welche durch ihren Betrieb und Unterhalt über die gesamte Lebensdauer von mehreren Jahrzehnten inländische Wertschöpfung generieren. Im Fall der Photovoltaik oder der Solarthermie mit durchschnittlichen Lebensdauern von 30 Jahren heisst das beispielsweise, dass die im Jahr 2035 gebauten Anlagen bis ins Jahr 2064 inländische Wertschöpfung schaffen (siehe Anhang für Quellen zu den Daten). Bei erneuerbaren Heizsystemen und Windstrom wird dagegen eine Lebensdauer von 25 Jahren angenommen, weshalb diese Anlagen bis ins Jahr 2049 inländische Wertschöpfung generieren. Gebäudesanierungen sind die Ausnahme, da wärmedämmende Fenster und Fassaden keinen Unterhalt benötigen und keine Betriebskosten bewirken und so nur bei der Herstellung und der Montage inländische Wertschöpfung generieren. Über die gesamte Lebensdauer der Massnahmen steigt die geschaffene inländische Wertschöpfung im Referenzszenario auf 72.4 Milliarden Franken, während das Ausbauszenario 124.8 Milliarden Franken generieren kann.

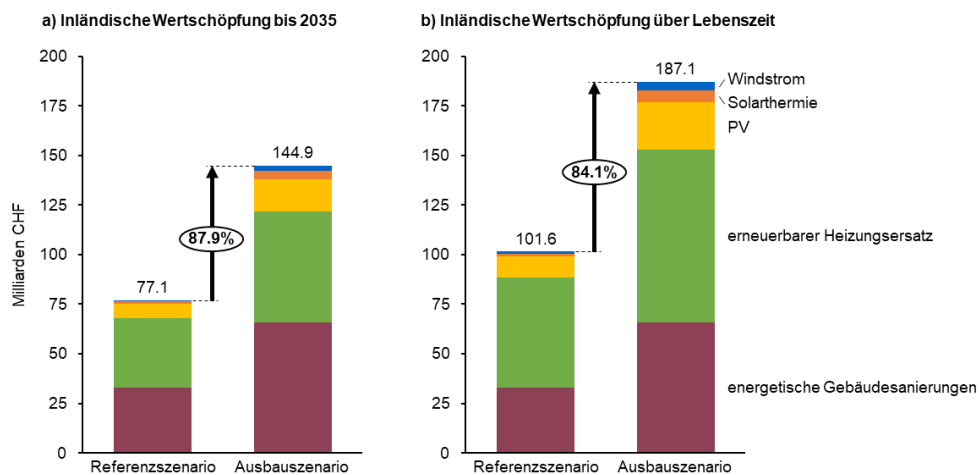


Abbildung 2. Resultate der Wertschöpfungsberechnung a) für den Zeitraum bis 2035 und b) über die gesamte Lebenszeit der eingesetzten Technologien, wenn die Massnahmen bis 2035 umgesetzt werden.

Die Abbildung 2 zeigt, dass energetische Gebäudesanierungen bis 2035 am meisten inländische Wertschöpfung generiert. Mit 32.85 Milliarden Franken im Referenzszenario und 65.69 Milliarden Franken im Ausbauszenario schaffen die energetischen Gebäudesanierungen rund 44% der gesamten Wertschöpfung bis 2035. Dieser Anteil fällt auf rund einen Drittel, wenn die inländische Wertschöpfung über die ganze Lebenszeit berechnet wird, da energetische Gebäudesanierungen wie bereits erwähnt keine Unterhalts- und Betriebskosten haben. Auch die anderen untersuchten Massnahmen können substantielle inländische Wertschöpfung generieren. Vor allem der erneuerbare Heizungsersatz hat

über die Lebenszeit gesehen einen grossen Anteil an der geschaffenen Wertschöpfung mit 55% im Referenzszenario und 47% im Ausbauszenario. Die detaillierten Werte zu den einzelnen Technologien und Massnahmen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Der Hauptgrund für den hohen Anteil der energetischen Gebäudesanierungen und des erneuerbaren Heizungsersatzes an der inländischen Wertschöpfung liegt an deren grossem Potential. In der Tat liegt die Zahl an Altbauten in der Schweiz im Jahr 2020 bei rund 2.6 Millionen, weshalb auch tiefe Sanierungsraten von einem Prozent im Referenzszenario und zwei Prozent im Ausbauszenario zu anzahlmässig vielen energetischen Gebäudesanierungen führen. Dasselbe gilt für die über 1.5 Millionen fossilen Heizsysteme in der Schweiz, welche immer noch ersetzt werden müssen. Auch bleibt bei Gebäudesanierungen und dem Ersatz von Heizsystemen ein erheblicher Teil der Investitionen im Inland, da ausführende Arbeiten ein grösserer Anteil an den Investitionskosten haben und zusätzlich ein grosser Anteil der verwendeten Produkte, wie Dämmstoffe, Fenster, aber auch Wärmepumpen, in der Schweiz hergestellt werden. Dahingegen hat die Photovoltaik zwar auch ein grosses Potential, die Planung und Montage von PV-Anlagen macht aber ein kleinerer Anteil der Investitionskosten aus und die Module werden mehrheitlich importiert. Dasselbe gilt für den Windstrom, dessen Potential zusätzlich wie auch bei solarthermischen Anlagen begrenzt ist.

Tabelle 3. Wertschöpfung bis 2035 und über die Lebensdauer der einzelnen untersuchten Massnahmen.

Massnahme	Szenario	Wertschöpfung bis 2035 [Mia. CHF]	Wertschöpfung über Lebensdauer [Mia. CHF]
Photovoltaik-Ausbau	<i>Referenzszenario</i>	7.15	10.57
	<i>Ausbauszenario</i>	15.96	23.93
Windstrom-Ausbau	<i>Referenzszenario</i>	0.73	1.16
	<i>Ausbauszenario</i>	2.88	4.52
Solarthermie-Ausbau	<i>Referenzszenario</i>	1.24	1.58
	<i>Ausbauszenario</i>	4.34	5.89
Energetische Gebäudesanierungen	<i>Referenzszenario</i>	32.85	32.85
	<i>Ausbauszenario</i>	65.69	65.69
Erneuerbarer Heizungsersatz	<i>Referenzszenario</i>	35.15	55.47
	<i>Ausbauszenario</i>	56.06	87.09

Die inländische Wertschöpfung schlägt sich auch in der Anzahl Arbeitsplätze nieder, welche die untersuchten Massnahmen in der Schweiz schaffen können, wie in Abbildung 3 dargestellt. Der moderate Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz im Referenzszenario generiert bis im Jahr 2035 über 51'000 Arbeitsplätze. Im Ausbauszenario entstehen über den gleichen Zeitraum mehr als ein Drittel mehr Arbeitsplätze, nämlich über 87'000. Abbildung 3a) und Tabelle 4 zeigen, dass wiederum die energetischen Gebäudesanierungen einen Grossteil der Arbeitsplätze ausmachen gefolgt vom erneuerbaren Heizungsersatz. Die Gründe liegen auch hier im grösseren Potential für energetische Gebäudesanierungen und den erneuerbaren Heizungsersatz sowie dem grösseren Anteil an Arbeit, welche im Inland bei der Produktion von Material und der Planung und der Montage ausgeführt wird. Die Arbeitsplätze im Jahr 2035 aller Massnahmen sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

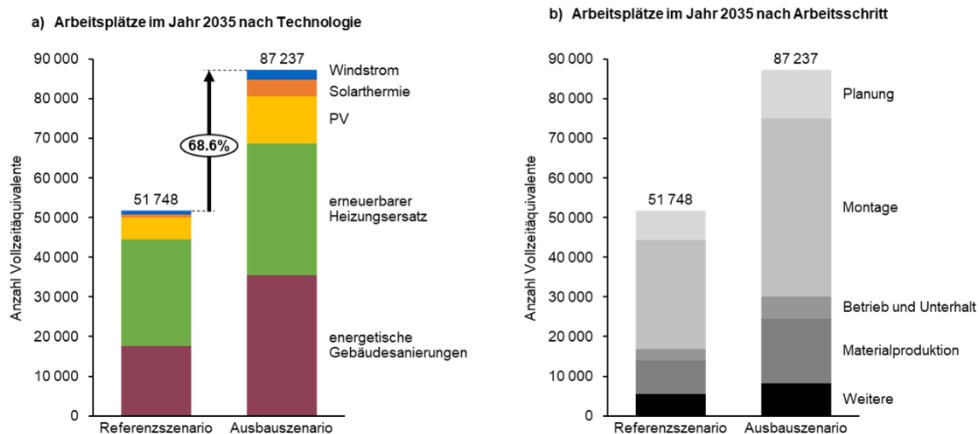


Abbildung 3. Resultate der Arbeitsplatzberechnung aufgeteilt a) nach Technologie und b) nach Arbeitsschritt.

In Abbildung 3b) ist das Arbeitsplatzpotential in den beiden Szenarien nach Arbeitsschritt aufgeteilt. Es zeigt sich, dass die Montage mit rund 52% in beiden Szenarien das grösste Potential aufweist, gefolgt von der Materialproduktion mit 16% im Referenz- und 19% im Ausbauszenario. Die Planung von Projekten generiert in beiden Szenarien rund 14% der Arbeitsplätze. Dies ist wichtig, da die Planung von Erneuerbare-Energien- und Energieeffizienz-Projekten höher bezahlte Arbeitsplätze schafft. Der Betrieb und der Unterhalt generieren schliesslich rund 6% der Arbeitsplätze. Auch dies sind wichtige Stellen, da sie über das Jahr 2035 hinaus bestehen bleiben, bis die Lebensdauer der einzelnen Anlagen erreicht ist. Weitere Arbeitsplätze werden durch die Energieproduktion für den Betrieb von Heizungen und im öffentlichen Sektor generiert.

Tabelle 4. Arbeitsplätze im Jahr 2035 und über die Lebensdauer der einzelnen untersuchten Massnahmen.

Massnahme	Szenario	VZÄ im Jahr 2035	VZÄ nach 2035 ³
Photovoltaik-Ausbau	Referenzszenario	5'433	1'045
	Ausbauszenario	11'953	2'373
Windstrom-Ausbau	Referenzszenario	879	160
	Ausbauszenario	2'459	620
Solarthermie-Ausbau	Referenzszenario	915	132
	Ausbauszenario	4'126	468
Energetische Gebäudesanierungen	Referenzszenario	17'691	-
	Ausbauszenario	35'382	-
Erneuerbarer Heizungsersatz	Referenzszenario	26'829	6'249
	Ausbauszenario	33'317	10'223

Es ist wichtig zu beachten, dass die in Abbildung 3 dargestellten Arbeitsplatzpotentiale die Vollzeitäquivalente im Jahr 2035 aufzeigen. Da in den meisten Fällen eine steigende Ausbaugeschwindigkeit angenommen wird, sind es im Jahr 2021 noch weniger Vollzeitäquivalente, welche jedoch bis 2035 zu den angegebenen Werten ansteigen. Deshalb können die Arbeitsplätze je nach Ausbautempo von Jahr zu Jahr stark variieren, wie in den nachfolgenden Abschnitten mit den Detailresultaten zu den einzelnen Massnahmen ersichtlich wird. Ausserdem können die meisten Arbeitsplätze nur längerfristig gesichert werden, wenn der Ausbau nach 2035 in ähnlicher Geschwindigkeit weitergeht, da die Arbeitsplätze in der Planung, der Montage und der Materialproduktion nur einmal anfallen und erst wieder

³ Da sich die Anzahl Vollzeitäquivalente nach 2035 von der Lebensdauer der verschiedenen Technologien abhängt, ist hier der Wert für 2036 angegeben.

nachgefragt werden, wenn die Technologie an ihrem Lebensende ist und ersetzt werden muss. Die Arbeitsplätze aus dem Betrieb und Unterhalt sind jedoch längerfristig und fallen jedes Jahr über die gesamte Lebensdauer der Technologien an.

3.2 Photovoltaik

Der Ausbau der Photovoltaik in den Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis, welche hier als Referenzszenario dienen, steigt stetig aber nicht linear (siehe Abbildung 4a), rechte Grafik) und erreicht eine Stromproduktion von 14.4 Terawattstunden im Jahr 2035 (siehe Abbildung A. 1). So wird inländische Wertschöpfung von 7.15 Milliarden Franken bis 2035 und zusätzliche 3.42 Milliarden Franken für den Unterhalt nach 2035 generiert (siehe Abbildung 4a), linke Grafik). Die Anzahl Arbeitsplätze steigt von 1'527 im Jahr 2021 auf 5'433 im Jahr 2035 (siehe Abbildung 4a), rechte Grafik). Mit 3'199 Arbeitsplätzen im Jahr 2035 entsteht das Gros der Arbeitsplätze bei der Montage der Anlagen. Aber auch der Unterhalt schafft bis 2035 1'042 Arbeitsplätze, welche über 2035 bis ans Ende der Lebensdauer der Anlagen bestehen bleiben. Schliesslich generieren auch die Planung von PV-Anlagen sowie die Materialherstellung Arbeitsplätze mit 546, respektive 629 Vollzeitäquivalenten im Jahr 2035. Zwölf Prozent der in der Schweiz verbauten PV-Module werden nämlich im Inland hergestellt (BFE, 2020c).

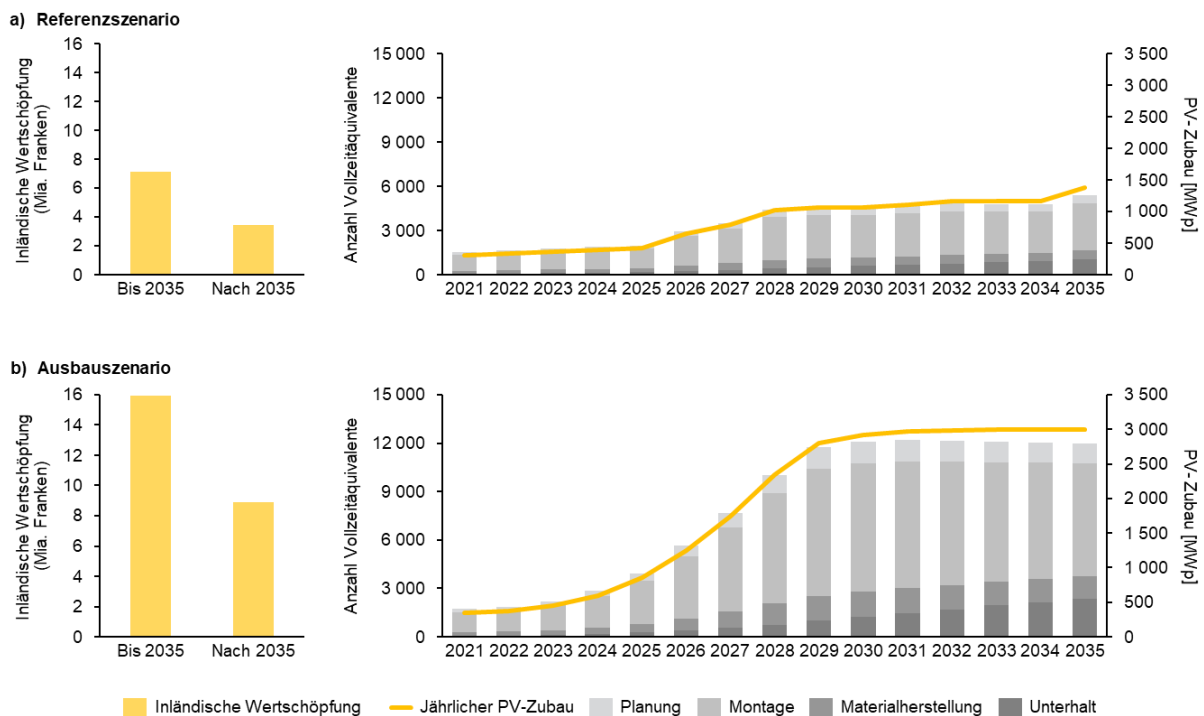


Abbildung 4. Entwicklung der PV-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von PV-Kapazität von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.

Im Ausbauszenario wird ein Ausbau der PV-Stromproduktion von 2.52 Terawattstunden im Jahr 2020 auf 30 Terawattstunden im Jahr 2035 angenommen (siehe Abbildung A. 1). Die jährlich zugebauten PV-Kapazitäten steigen von 350 Megawatt im Jahr 2021 auf 3 Gigawatt im Jahr 2035 (siehe Abbildung 4b), rechte Grafik). Die so generierte inländische Wertschöpfung beläuft sich auf 15.96 Milliarden Franken bis 2035 und 8.89 Milliarden Franken für den Unterhalt nach 2035 (siehe Abbildung 4b), linke Grafik). Die Zahl der Arbeitsplätze im Ausbauszenario beträgt 1'750 im Jahr 2021 und nimmt bis im Jahr 2035 auf rund 12'000 zu (siehe Abbildung 4b), rechte Grafik). Mit 7'007 Arbeitsplätzen im Jahr 2035 schafft auch in diesem Szenario die Montage der Anlagen am meisten Arbeitsplätze. Der Unterhalt generiert über 2035 hinaus rund 2'370 Arbeitsplätzen. Die Planung und die Materialherstellung schaf-

fen bis 2035 1195 und 1378 Vollzeitäquivalente. Neben dem Unterhalt werden nach 2035 weitere Arbeitsplätze sowohl durch den weiteren Ausbau der PV-Kapazitäten als auch durch den Ersatz bestehender Anlagen, welcher ab dem Jahr 2040 an Wichtigkeit zunehmen wird, entstehen und erhalten.

3.3 Windstrom

Der Ausbau der Windkapazitäten erfolgt in den Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis und als Folge im hier untersuchten Referenzszenario nicht linear, sondern ungleichmässig – wie dargestellt in Abbildung 5a). Die Windstromproduktion nimmt bis auf 1.21 Terawattstunden im Jahr 2035 zu (siehe Abbildung A. 4). Bis 2035 generiert der Windausbau im Referenzszenario so inländische Wertschöpfung von 0.73 Milliarden Franken und zusätzliche 0.43 Milliarden Franken für den Unterhalt nach 2035 (siehe Abbildung 5a), linke Grafik). Bis 2035 werden im Inland 879 Arbeitsplätze geschaffen (siehe Abbildung 5a), rechte Grafik). Jedoch schwankt die Anzahl Arbeitsplätze in den ersten Jahren analog dem stockenden Ausbau im Referenzszenario. Die Arbeitsplätze sind beim Windausbau gleichmässiger auf die verschiedenen Arbeitsschritte verteilt als bei den anderen Technologien. So entfallen im Jahr 2035 162 Vollzeitäquivalente auf die Planung, 269 auf die Montage der Anlagen, 305 auf die Materialherstellung in den Schweizer Zulieferfirmen und 143 auf den Betrieb und den Unterhalt. Nach 2035 kann für den Betrieb und Unterhalt, sowie die Herstellung von Material für den Unterhalt für die bis 2035 gebauten Windanlagen mit jährlich rund 160 Arbeitsplätzen gerechnet werden

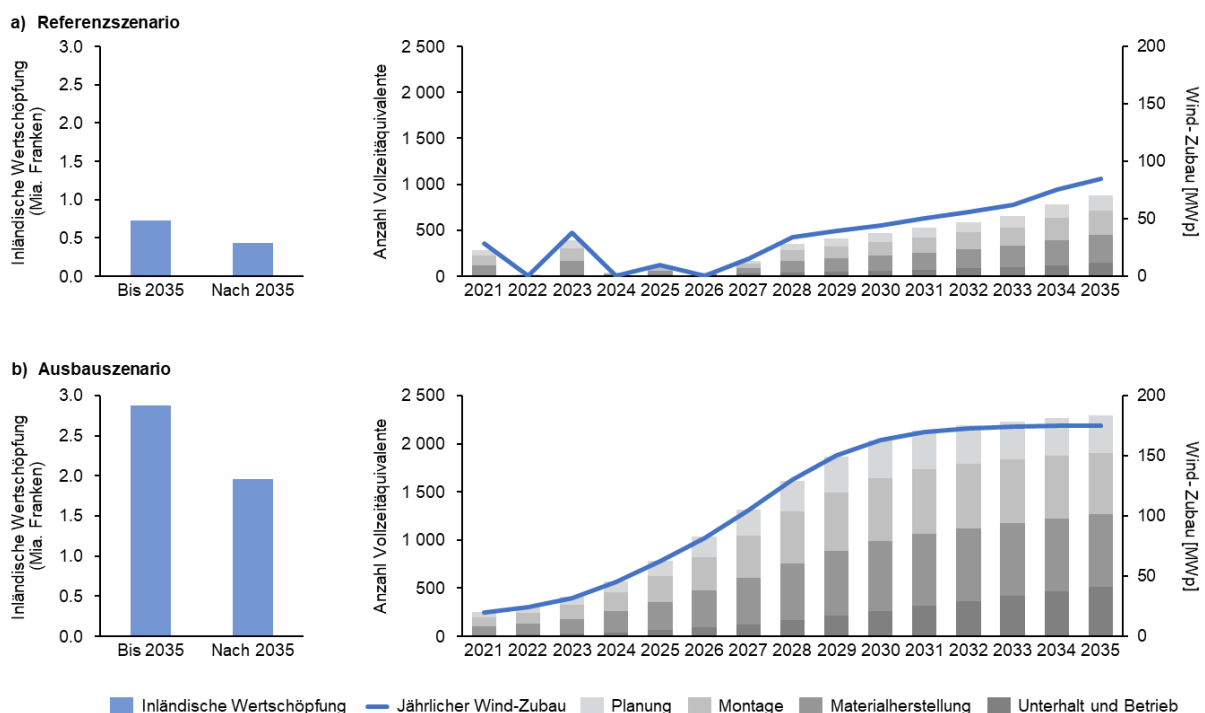


Abbildung 5. Entwicklung der Wind-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von Wind-Kapazität von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.

Im Ausbauszenario wird ein Ausbau der Windstromproduktion von 0.17 Terawattstunden im Jahr 2020 auf 4.2 Terawattstunden im Jahr 2035 angenommen (siehe Abbildung A. 4). So steigert sich der Zubau der Windkapazitäten von 20 Megawatt im Jahr 2021 auf rund 175 Megawatt im Jahr 2035 (siehe Abbildung 5b), rechte Grafik). Dies schafft inländische Wertschöpfung von 2.88 Milliarden Franken bis 2035 und zusätzliche 1.96 Milliarden Franken nach 2035 (siehe Abbildung 5b), linke Grafik). Die Zahl der Arbeitsplätze steigt von 253 im Jahr 2021 auf 2'459 im Jahr 2035 (siehe Abbildung 5b), rechte Grafik). Davon entfallen 386 Vollzeitäquivalente auf die Planung und 642 auf die Montage der Anlagen, sowie 749 auf die Materialherstellung und 516 auf den Betrieb und den Unterhalt. Nach 2035 kann mit

rund 620 Arbeitsplätzen für den Betrieb und den Unterhalt sowie zusätzliche Materialherstellung für den Unterhalt der bis 2035 gebauten Windanlagen gerechnet werden.

3.4 Solarthermie

Im Referenzszenario für den Solarthermie-Ausbau wird angenommen, dass bis 2035 die Wärmeproduktion von 0.73 Terawattstunden im Jahr 2019 exponentiell auf 1.25 im Jahr 2035 ausgebaut wird (siehe Anhang A. 4). Aus diesem Grund beläuft sich der jährliche Zubau an solarthermischer Fläche im Jahr 2021 auf 52'879 Quadratmeter und steigert sich bis im Jahr 2035 auf 84'253 Quadratmeter (siehe Abbildung 6a), rechte Grafik). Dies schafft inländische Wertschöpfung von 1.24 Milliarden Franken bis 2035 und zusätzliche 0.34 Milliarden Franken für den Unterhalt nach 2035 (siehe Abbildung 6a), linke Grafik). Die Zahl der so geschaffenen Arbeitsplätze beläuft sich auf 499 im Jahr 2021 und steigt auf 915 im Jahr 2035 (siehe Abbildung 6a), rechte Grafik). Während die Arbeitsplätze aus der Planung, der Montage und der Materialherstellung langsam steigen, wachsen die Arbeitsplätze für den Unterhalt schneller, da immer mehr Anlagen gebaut und unterhalten werden müssen. Im Jahr 2035 entfallen 139 Vollzeitäquivalente auf die Planung der solarthermischen Anlagen und 288 auf deren Montage. Die Herstellung von Solarthermie-Modulen schafft im Jahr 2035 357 Arbeitsplätze, da je nach Modultyp die inländische Produktion einen grossen Anteil der Nachfrage abdeckt. Im Schnitt werden rund 56 Prozent der in der Schweiz verbauten Solarthermie-Module importiert (BFE, 2020c). Der Betrieb und der Unterhalt der Anlagen schaffen bis im Jahr 2035 132 Arbeitsplätze. Diese bleiben über 2035 hinaus bestehen, da die Anlagen weiterhin unterhalten werden müssen.

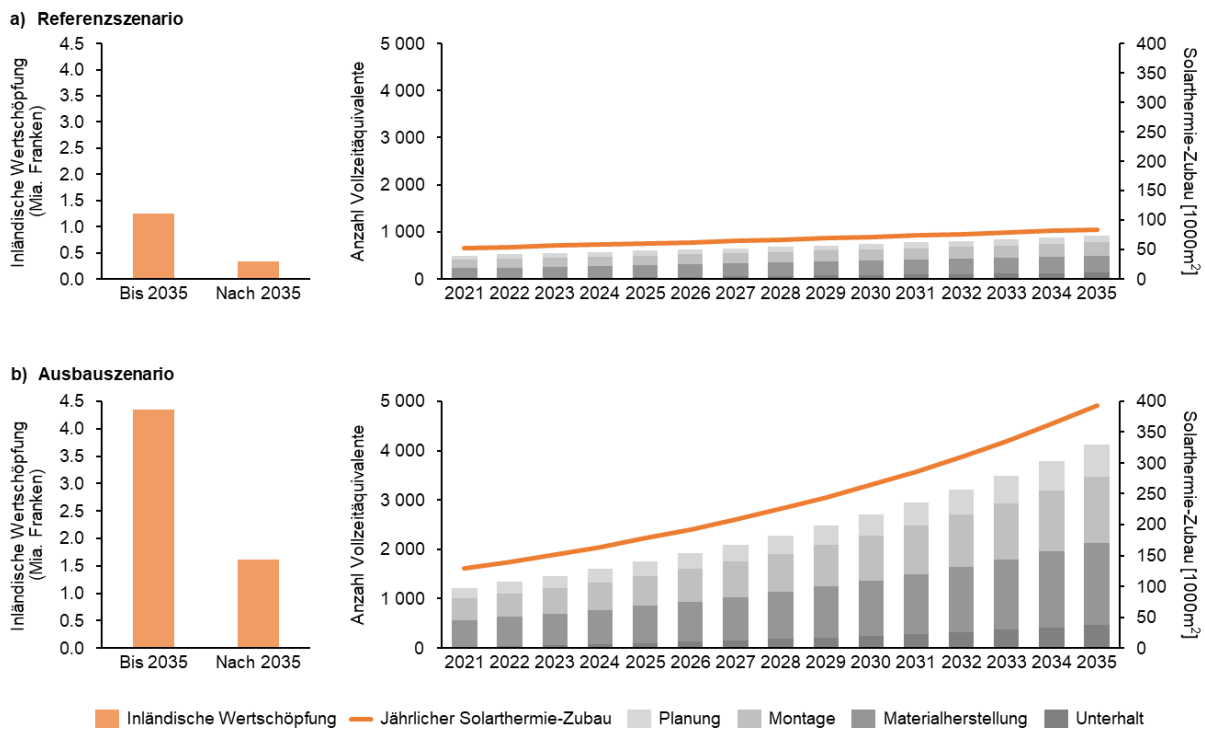


Abbildung 6. Entwicklung der Solarthermie-Arbeitsplätze und der jährliche Zubau von Solarthermie-Fläche von 2021 bis 2035 (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.

Im Ausbauszenario für den Zubau von solarthermischen Anlagen wird analog zum Referenzszenario angenommen, dass sich die Wärmeproduktion exponentiell erhöht – in diesem Fall von 0.73 Terawattstunden im Jahr 2019 auf 2.5 Terawattstunden im Jahr 2035 (siehe Anhang A. 4). Der Ausbau der solarthermischen Fläche beläuft sich auf 129'929 Quadratmeter im Jahr 2021 und erhöht sich bis auf

379'670 Quadratmeter im Jahr 2035 (siehe Abbildung 6b), rechte Grafik). Die inländische Wertschöpfung bis 2035 beläuft sich auf 4.34 Milliarden Franken sowie zusätzliche 1.62 Milliarden Franken für den Unterhalt nach 2035 (siehe Abbildung 6b), linke Grafik). Im Jahr 2021 werden so 1'219 Arbeitsplätze geschaffen (siehe Abbildung 6b), rechte Grafik). Diese Zahl steigt bis im Jahr 2035 auf 4'126. Auch hier steigen die Arbeitsplätze für die Planung und Montage von solarthermischen Anlagen sowie deren Herstellung langsamer als die Arbeitsplätze für den Unterhalt. Die Planung und Montage von solarthermischen Anlagen schaffen bis im Jahr 2035 648, respektive 1343 Vollzeitäquivalente, während die Herstellung der Module 1669 inländische Arbeitsstellen schafft. Der Unterhalt der bis 2035 gebauten solarthermischen Anlagen generiert bis 2035 und darüber hinaus 468 Arbeitsplätze.

3.5 Energetische Gebäudesanierungen

Bei den energetischen Gebäudesanierungen wird angenommen, dass unsanierte Altbauten vollständig saniert werden, d.h. dass die Fenster ersetzt und die Aussenwände, das Dach und der Keller isoliert werden. Im Referenzszenario wird eine energetische Sanierungsrate von 1% angenommen (siehe Anhang A. 5). Dies bedeutet, dass jährlich 26'289 Altbauten energetisch saniert und so bis im Jahr 2035 inländische Wertschöpfung von 32.85 Milliarden Franken generiert werden (siehe Abbildung 7). Dies resultiert in 17'691 Arbeitsplätzen, wovon 2'825 auf die Planung der Sanierungen, 10'190 auf die Montage und 4'677 auf die Herstellung von Fenstern und Dämmmaterialien entfallen. Im Ausbauszenario wird eine Sanierungsrate von 2% angenommen. Durch die Verdoppelung der Sanierungsrate werden jährlich auch doppelt so viele, nämlich 52'578 Gebäude energetisch saniert, was in einer inländischen Wertschöpfung bis 2035 von 65.69 Milliarden Franken und 35'382 Arbeitsplätzen resultiert (siehe Abbildung 7). Da die Baubranche eine sehr lokale und arbeitsintensive Branche ist, hat die Erhöhung der Sanierungsrate einen direkten und substantiellen Einfluss auf die inländische Wertschöpfung und die Anzahl Arbeitsplätze. Bis im Jahr 2035 entstehen im Ausbauszenario 5'649 Vollzeitäquivalente in der Planung der Sanierungen, 20'379 in der Montage und 9'354 in der Herstellung der Materialien.

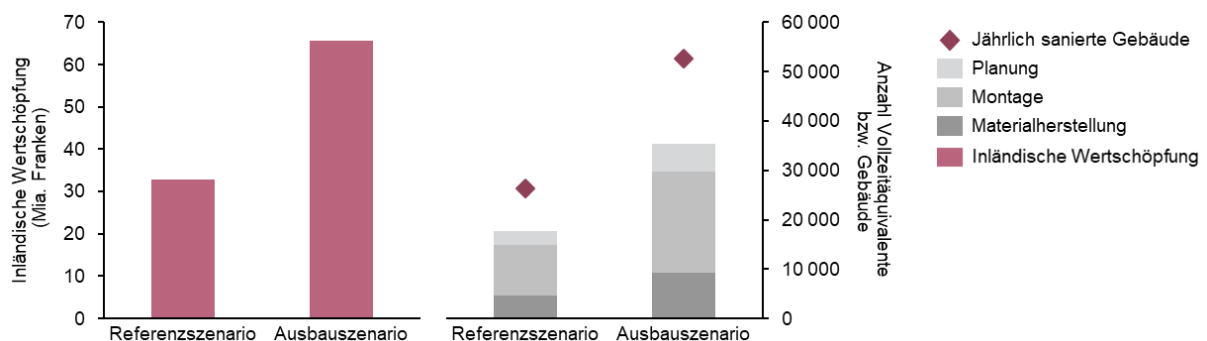


Abbildung 7. Kumulierte inländische Wertschöpfung bis 2035 (links) sowie die Anzahl Arbeitsplätze und sanierten Gebäude (rechts) im Referenzszenario und Ausbauszenario.

3.6 Erneuerbarer Heizungsersatz

Beim erneuerbaren Heizungsersatz wird das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential von erneuerbaren Heizsystemen beim Ersatz alter Heizsysteme quantifiziert. Die hier untersuchten erneuerbaren Heiztechnologien beinhalten Wärmepumpen und Holzpellettheizungen (siehe Anhang A. 6). Im Referenzszenario wird angenommen, dass auch fossile Technologien, das heisst Öl- und Gasheizungen, wieder zum Zug kommen können, während im Ausbauszenario exklusiv erneuerbare Heizsysteme eingesetzt werden. Die Wertschöpfung der fossilen Heizsysteme im Referenzszenario wird hier nicht berechnet. Auch wird das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential von Fernwärmesystemen nicht berechnet, da Fernwärmeanschlüsse je nach Rahmenbedingungen sehr unterschiedliche Investitions-

und Arbeitsaufwände bedingen können. Da das Fernwärmepotential begrenzt ist, wird für beide Szenarien jedoch sowieso der gleiche Fernwärmeausbau angenommen. Es ist wichtig zu beachten, dass in den hier modellierten Szenarien Heizsysteme in Neubauten, welche nach 2020 erstellt werden, nicht miteingerechnet sind.

Das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential des erneuerbaren Heizungsersatzes wurde auf zwei Arten berechnet. In einem ersten Schritt wurden die Berechnungen für alle durch Erneuerbare ersetzten Heizsysteme durchgeführt. Es wurden also auch erneuerbare Heizsysteme berücksichtigt, welche bereits erneuerbare Heizsysteme an deren Lebensende ersetzen. Wenn also beispielsweise eine alte Wärmepumpe durch eine neue ersetzt wird, wird die geschaffene Wertschöpfung auch miteingerechnet. Diese Resultate sind in Abbildung 9 zusammengefasst. In einem zweiten Schritt wurden dann nur die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze berechnet, welche durch den Ersatz eines fossilen Heizsystems durch ein erneuerbares geschaffen werden. Die Resultate dieser Berechnungen werden in Abbildung 9 mit den Resultaten aus dem ersten Schritt verglichen.

Im Referenzszenario werden im Jahr 2021 alte fossile und erneuerbare Heizsysteme gesamthaft durch 32'340 neue Wärmepumpen und 7'946 neue Holzpellettheizungen ersetzt (siehe Abbildung 9a), rechte Grafik). Diese Werte steigen, beziehungsweise sinken bis 2035 auf 75'274 und 2'091. Die Gesamtzahl der erneuerbaren Heizsystemen nimmt in diesem Masse zu, da der Anteil der fossilen Heizsysteme beim Ersatz bis 2035 stark abnimmt (siehe Anhang A. 6). Der Ausbau der erneuerbaren Energien beim Heizungsersatz, vor allem der Wärmepumpen, schafft eine inländische Wertschöpfung bis 2035 von 35.15 Milliarden Franken und zusätzlichen 20.32 Milliarden Franken nach 2035 für den Unterhalt und den Betrieb der bis 2035 installierten Wärmepumpen und Holzpellettheizungen (siehe Abbildung 9a), linke Grafik). Diese Wertschöpfung drückt sich auch in der Anzahl an Arbeitsplätzen aus, welche sich 2021 auf 10'292 belaufen und bis 2035 auf 26'829 steigen (siehe Abbildung 9a), rechte Grafik). Das Gros der Arbeitsplätze entstehen in der Montage der erneuerbaren Heizsysteme, wo bis im Jahr 2035 13'575 Arbeitsplätze geschaffen werden, während es in der Planung 3'765 Arbeitsplätze sind. Die Herstellung der Heizsysteme kreiert zusätzliche 1'927 Arbeitsplätze bis im Jahr 2035, da rund 15 Prozent der in der Schweiz eingesetzten Wärmepumpen auch im Inland produziert werden, während Holzpellettheizungen jedoch ausschliesslich importiert werden (siehe Tabelle A. 6). Schliesslich entstehen im Referenzszenario durch den erneuerbaren Heizungsersatz bis im Jahr 2035 1'497 Arbeitsplätze in der öffentlichen Verwaltung wegen der Bewilligungsverfahren für Wärmepumpen, 2'010 im Service und Unterhalt der erneuerbaren Heizsysteme und 4'055 in der Bereitstellung der Energie, das heisst des Stroms und der Holzpellets. Nach 2035 kann mit jährlich rund 7'000 Arbeitsplätzen für den weiteren Unterhalt und Betrieb der bis 2035 eingesetzten erneuerbaren Heizsystemen gerechnet werden.

Im Ausbauszenario wird angenommen, dass, wo kein Fernwärmeanschluss möglich ist, alte Heizsysteme zu 90% durch Wärmepumpen und zu 10% durch Holzpellettheizungen ersetzt werden (siehe Anhang A. 6). So werden im Jahr 2021 gesamthaft 85'248 Wärmepumpen und 9'472 Holzpellettheizungen installiert (siehe Abbildung 9b), rechte Grafik). Diese Zahlen sinken auf 79'979 und 8'887 im Jahr 2035, da einerseits eine konstante Ersatzrate angenommen wird und die Anzahl Fernwärmanschlüsse zunimmt (siehe Anhang A. 6). Die im Ausbauszenario generierte inländische Wertschöpfung beläuft sich auf 56.06 Milliarden Franken bis 2035 und weiteren 31.03 Milliarden Franken nach 2035 für den Unterhalt und den Betrieb der bis 2035 eingesetzten erneuerbaren Heizsysteme (siehe Abbildung 9b), linke Grafik). So werden im Jahr 2021 24'608 Arbeitsplätze geschaffen (siehe Abbildung 9b), rechte Grafik). Diese Zahl steigt auf 33'317 im Jahr 2035. Die Montage der erneuerbaren Heizsysteme schafft mit 15'452 Vollzeitäquivalenten im Jahr 2035 am meisten Arbeitsplätze. Bei der Planung, in der öffentlichen Verwaltung und bei der Materialherstellung entstehen im Jahr 2035 4'293, 1'590, respektive 2'047 Arbeitsplätze. Der Service und Unterhalt der Anlagen und die Energiebereitstellung schaffen

schliesslich 3'249 und 6'685 Arbeitsplätze. Diese rund 10'000 Arbeitsplätze bleiben über 2035 bestehen.

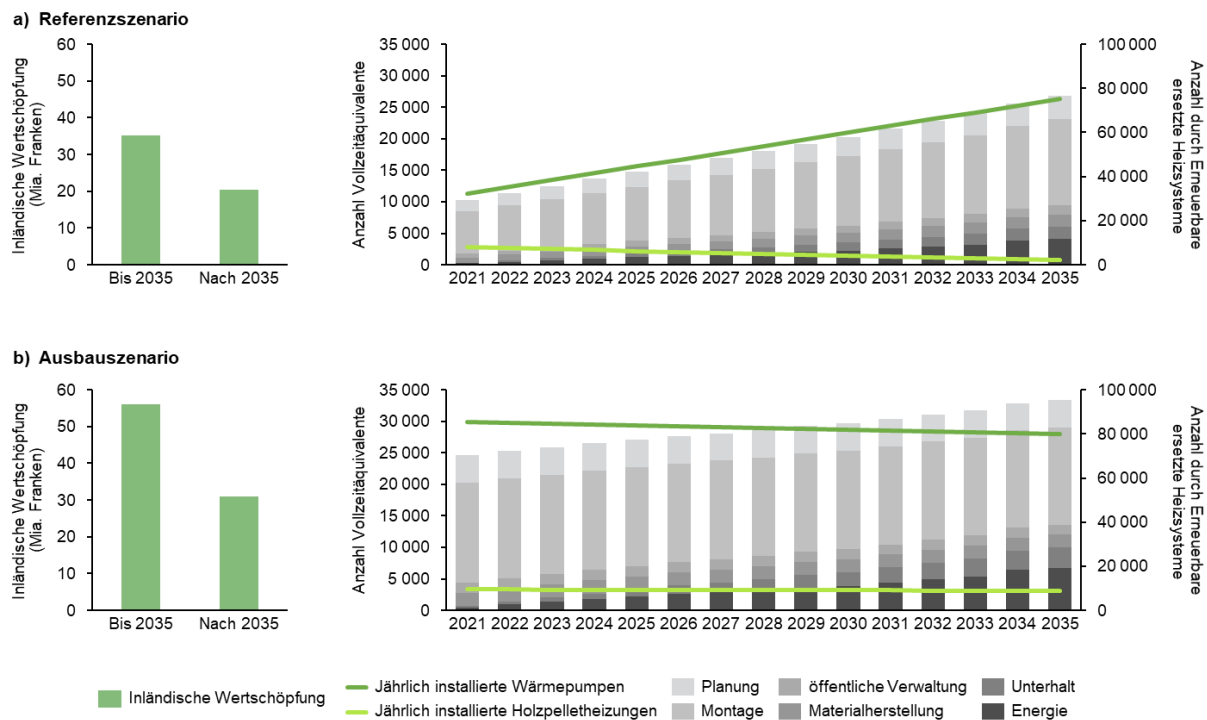


Abbildung 8. Anzahl jährlich installierte Wärmepumpen und Holzpellettheizungen in Altbauten und die geschaffenen Arbeitsplätze (rechts) sowie die kumulierte Wertschöpfung bis und nach 2035 (links) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario.

Werden die Wertschöpfung und die Anzahl Arbeitsplätze, welche durch den Ersatz fossiler Heizsysteme durch erneuerbare geschaffen werden, verglichen, zeigen sich unterschiedliche Entwicklungen (siehe Abbildung 9). Im Referenzszenario ersetzen im Jahr 2021 19'592 erneuerbare Heizsysteme alte fossile Heizsysteme (siehe Abbildung 9a), rechte Grafik). Dies entspricht 49 Prozent aller in Altbauten eingebauten erneuerbaren Heizsysteme. Die 29'053 erneuerbaren Heizsysteme, welche im Jahr 2035 fossile Heizsysteme ersetzen, entsprechen jedoch nur noch 38 Prozent aller im Referenzszenario eingesetzten erneuerbaren Heizsysteme. Der Grund für die relative Stagnation des Ersatzes fossiler Heizsysteme durch erneuerbare im Referenzszenario liegt darin, dass die Anzahl fossiler Heizsysteme, welche noch ersetzt werden können, bis 2035 stetig abnimmt, da immer mehr erneuerbare eingebaut werden. Bis 2035 schafft der Fossilersatz durch erneuerbare Heizsysteme im Referenzszenario 15.51 Milliarden Franken Wertschöpfung und 10'286 Arbeitsplätze. Nach 2035 generieren diese Heizsysteme zusätzlich 8.61 Milliarden Franken Wertschöpfung und rund 3'000 Arbeitsplätze im Unterhalt und Betrieb.

Im Ausbauszenario ersetzen im Jahr 2021 52'329 erneuerbare Heizsysteme alte fossile Heizsysteme (siehe Abbildung 9b), rechte Grafik). Dies entspricht 55 Prozent aller in Altbauten eingebauten erneuerbaren Heizsysteme. Bis 2035 sinkt dieser Wert auf 31'664 erneuerbare Heizsysteme als Fossilersatz, was 36 Prozent der in Altbauten eingebauten erneuerbaren Heizsysteme entspricht. Wie im Referenzszenario ist auch im Ausbauszenario der Grund für die Abnahme der Anzahl erneuerbarer Heizsysteme als Fossilersatz die kleinere Anzahl fossiler Heizsysteme, welche noch ersetzt werden können. Diese Entwicklung ist im Ausbauszenario noch akzentuierter als im Referenzszenario, da angenommen wird, dass ab 2021 gar keine fossilen Heizsysteme mehr eingebaut werden, die später ersetzt werden könnten. Bis 2035 schafft der Ersatz fossiler Heizsysteme durch erneuerbare im Ausbauszenario 26.17 Milliarden Franken Wertschöpfung. Die Zahl der Arbeitsplätze nimmt von 13'634 im Jahr 2021 auf 12'828

im Jahr 2035 ab. Nach 2035 generiert der Fossilersatz durch erneuerbare Heizsysteme zusätzlich 13.79 Milliarden Franken Wertschöpfung und rund 5'000 Arbeitsplätze im Unterhalt und Betrieb.

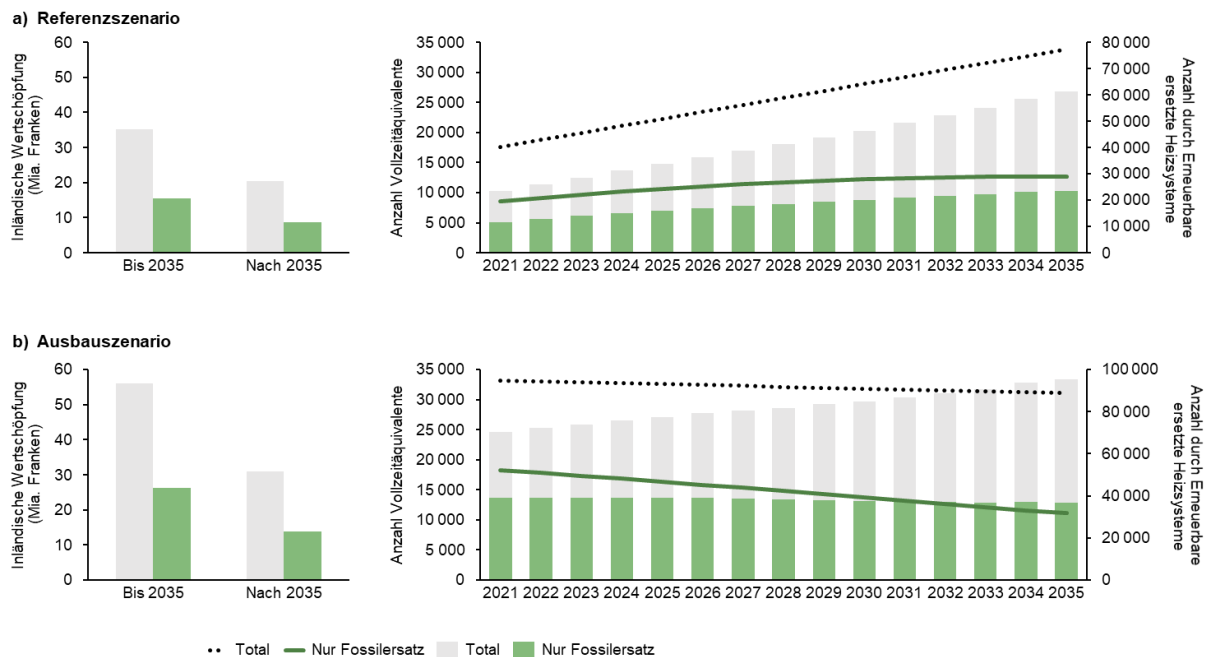


Abbildung 9. Vergleich der Anzahl jährlich installierter erneuerbarer Heizsysteme und der geschaffenen Arbeitsplätze (links) sowie der kumulierten Wertschöpfung bis und nach 2035 (rechts) a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario. Die durch den Ersatz fossiler Heizsysteme durch erneuerbare geschaffenen Wertschöpfung und Arbeitsplätze sind in grün und die Wertschöpfung und Arbeitsplätze durch den gesamthaften Ersatz mit erneuerbaren Heizsystemen in hellgrau.

In den vorliegenden Berechnungen wurde untersucht, wie viele Arbeitsplätze erneuerbare Heizsysteme beim Heizungsersatz schaffen könnten. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu beachten, dass durch den Ersatz fossiler Heizsysteme auch Arbeitsplätze in den fossilen Branchen verloren gehen. Zum Beispiel werden Bereiche wie der Heizöl- und Erdgasvertrieb und auch die Kaminfeger weniger Leute beschäftigen, wenn keine fossilen Heizsysteme mehr eingebaut werden. Solche Arbeitsplatzverluste sind in den bisherigen Resultaten nicht berücksichtigt, bei welchen es sich also um die Bruttozahl an Arbeitsplätzen geht, welche durch den Einsatz erneuerbarer Heizsysteme beim Heizungsersatz geschaffen werden können.

Es wurde jedoch auch berechnet, wie viele Arbeitsplätze erneuerbare Heizsysteme im Vergleich zu fossilen Technologien schaffen können. Dazu wurde untersucht, wie viele Arbeitsplätze fossile Heiztechnologien im Referenzszenario schaffen und wie viele Arbeitsplätze im Ausbauszenario an deren Stelle durch erneuerbare Heiztechnologien geschaffen würden. Die Resultate in Abbildung 10 zeigen, dass die Arbeitsplätze, welche im Referenzszenario im fossilen Bereich geschaffen werden, im Ausbauszenario durch die erneuerbaren Heiztechnologien mehr als wettgemacht werden. Vor allem am Anfang der untersuchten Zeitspanne schafft das Ausbauszenario mit total 24'608 Arbeitsplätzen im Jahr 2021 sogar mehr Arbeitsplätze als die erneuerbaren und die fossilen Heiztechnologien im Referenzszenario kombiniert mit 21'615 Arbeitsplätzen im Jahr 2021. Dieser Effekt nimmt gegen Ende der untersuchten Zeitspanne ab. Im Jahr 2035 stehen im Ausbauszenario total 33'317 Arbeitsplätze zu Buche, während es im Referenzszenario gesamthaft 32'767 sind. Der Grund dafür zeigt Abbildung 11, welche die Vollzeitäquivalente darstellt, die die verschiedenen Technologien über eine Lebensdauer von 25 Jahren pro Heizung generieren. Die Berechnungen zeigen, dass Wärmepumpen mehr Arbeitsplätze bei der Installation generieren. Dies ist einerseits auf die Bohrungen von Erdsonden zurückzuführen, welche bei einigen Wärmepumpen durchgeführt werden. Andererseits werden mehr Wärmepumpen als Öl- und Gasheizungen in der Schweiz produziert, wodurch beim Einsatz zusätzlicher Wärmepumpen

weitere Arbeitsplätze entstehen. Holzpellet- und Ölheizungen schaffen weniger Arbeitsplätze bei der Anschaffung, dafür beim Betrieb und Unterhalt durch den Einsatz von Kaminfeuern, die Auslieferung von Heizöl und Holzpellets sowie die Produktion von letzteren, welche teilweise in der Schweiz stattfindet. Gasheizungen schliesslich generieren weder bei der Investition noch beim Betrieb und Unterhalt viele Arbeitsplätze, da das Erdgas in der Schweiz nicht mehr aufbereitet werden muss und die Endverbraucherinnen durch existierende Netze erreicht.



Abbildung 10. Vergleich der Arbeitsplätze, die gesamthaft im Ausbauszenario (oben) und im Referenzszenario (unten) geschaffen werden.

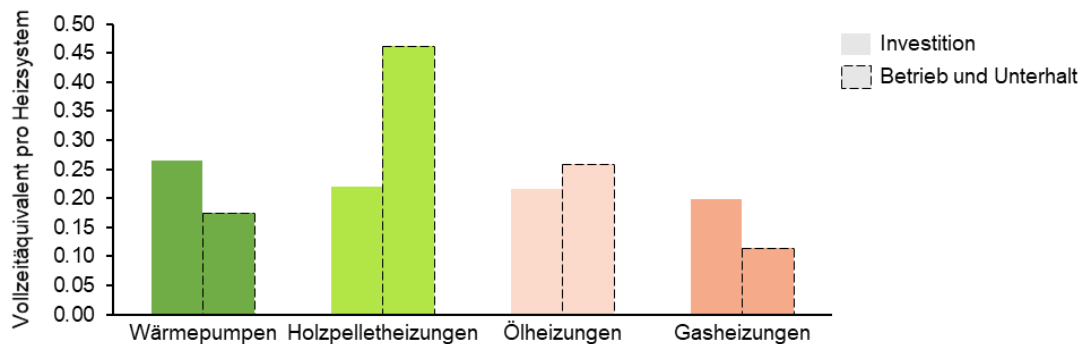


Abbildung 11. Vergleich der Vollzeitäquivalente, welche die verschiedenen Technologien pro Heizsystem über 25 Jahre generieren. Links sind die Arbeitsplätze dargestellt, welche einmalig bei der Investition anfallen, während rechts die Arbeitsplätze dargestellt sind, welche durch den Betrieb und Unterhalt über 25 Jahre entstehen.

3.7 Energieeffizienz im Strombereich

Für die Massnahme «Energieeffizienz im Strombereich» wurden das Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential nicht berechnet, da es sich in diesem Bereich mehrheitlich um den Ersatz weniger effizienter durch effizientere Geräte geht ohne zusätzliche Arbeitsschritte. Diese Geräte werden auch nicht in der Schweiz produziert, sondern aus dem Ausland importiert. Aus diesem Grund kann angenommen werden, dass die zusätzlich geschaffene inländische Wertschöpfung und die Anzahl zusätzlich geschaffener Arbeitsplätze gering sind.

4 Wirtschaftlichkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz

In diesem Kapitel werden die Resultate der Wirtschaftlichkeitsberechnungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz präsentiert. In Abschnitt 4.1 werden die Resultate der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die erneuerbaren Energien und die Gebäudesanierungen präsentiert und diskutiert. Dabei werden die Resultate der beiden Szenarien individuell angeschaut. Die Resultate zu den Energieeffizienzmassnahmen im Strombereich werden erst im nächsten Abschnitt 4.2 diskutiert, da ihre Wirtschaftlichkeit anhand der Stromeinsparungen zwischen den beiden Szenarien berechnet wurde.

4.1 Resultate zu den erneuerbaren Energien und den Gebäudesanierungen

Abbildung 12 zeigt, wie hoch die volkswirtschaftlichen Kosten sind, welche bei der Produktion oder Einsparung einer Einheit Energie in den beiden Szenarien anfallen. Dabei werden einerseits die Ausgaben berücksichtigt, welche für die einzelnen Anlagen selber anfallen. Andererseits werden allfällige Kosteneinsparungen miteinbezogen, welche durch den Ausbau der Erneuerbaren-Energie-Produktion und Energieeffizienz erzielt werden können. Ausserdem wird berücksichtigt, dass in manchen Fällen der Ausbau der Erneuerbaren im Referenzszenario geringer ausfällt als im Ausbauszenario und dieser Unterschied mit alternativen Strom- und Wärmequellen gedeckt werden muss.

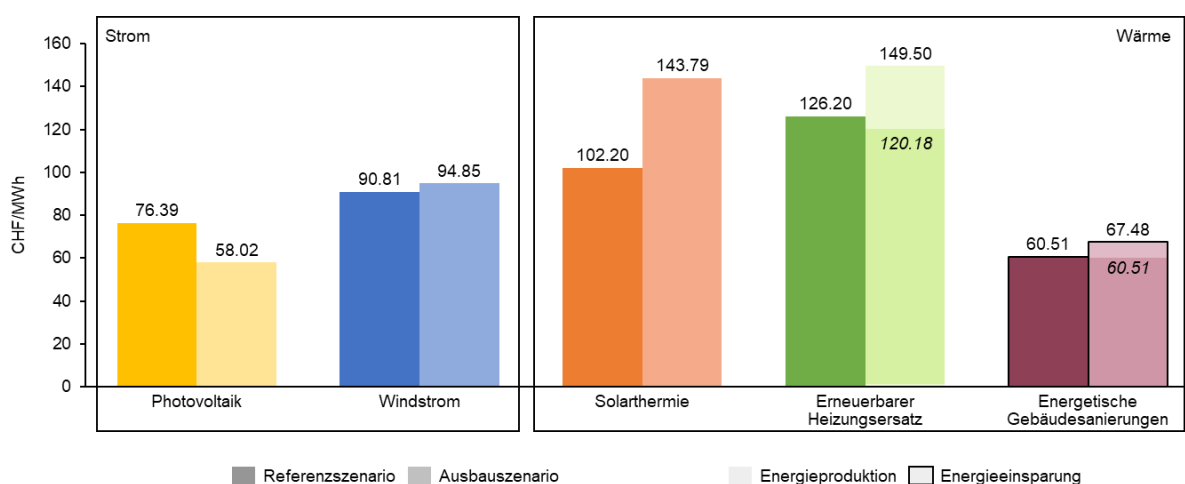


Abbildung 12. Volkswirtschaftliche Kosten der verschiedenen Massnahmen im Jahr 2035 im Referenzszenario (dunkle Balken) und im Ausbauszenario (helle Balken) pro produzierter Einheit Energie (einfarbige Balken) oder pro eingesparter Einheit Energie (umrahmte Balken). Photovoltaik und Windstrom produzieren Strom, während der erneuerbare Heizungsersatz, die Solarthermie und die energetischen Gebäudesanierungen Wärme produzieren beziehungsweise einsparen.

Die Resultate zur Wirtschaftlichkeit sind unterschiedlich je nach Massnahme. Bei manchen Massnahmen ist das Referenzszenario volkswirtschaftlich kostengünstiger, während es bei anderen das Ausbauszenario ist. Beim erneuerbaren Heizungsersatz und den energetischen Gebäudesanierungen spielt zusätzlich eine Rolle, ob andere Massnahmen bereits umgesetzt wurden. In der Folge werden die Resultate zu den volkswirtschaftlichen Kosten der einzelnen Massnahmen individuell diskutiert. Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass es bei den hier präsentierten Zahlen um Berechnungen der direkten volkswirtschaftlichen Kosten von mehr oder weniger isolierten Massnahmen handelt. Die Kosten für einzelne Endkunden können aus den Resultaten nicht abgeleitet werden. Auch werden nur die direkten volkswirtschaftlichen Kosten verglichen. Indirekte Kosten oder Einsparungen beispielsweise durch erhöhte Schäden wegen des Klimawandels oder aus zusätzlichen Steuereinnahmen durch die inländische Wertschöpfung wurden nicht berücksichtigt.

Die erneuerbare Stromproduktion zeigt bei den volkswirtschaftlichen Kosten ein gemischtes Bild in den beiden Szenarien. Während der Photovoltaik-Ausbau im Ausbauszenario mit 58.02 Franken pro Megawattstunde kostengünstiger ist als im Referenzszenario mit 76.93 Franken pro Megawattstunde, ist es umgekehrt beim Windstrom-Ausbau, wo das Ausbauszenario Kosten von 94.85 Franken pro Megawattstunde und im Referenzszenario Kosten von 90.81 Franken pro Megawattstunde generieren. Der Grund für die Unterschiede liegt in den unterschiedlichen Stromgestehungskosten der beiden Technologien (siehe Abbildung A. 2 und Abbildung A. 5). Die Photovoltaik hat tiefere Gestehungskosten, welche daneben auch noch schneller sinken. Einerseits sind die Kosten pro produzierte Megawattstunde Photovoltaikstrom im Ausbauszenario billiger als im Referenzszenario, da der Ausbau im Ausbauszenario vor allem gegen 2035 schneller erfolgt und so zusätzlich von den sinkenden Stromgestehungskosten profitiert werden kann. Andererseits bedingt der langsamere PV-Ausbau im Referenzszenario, dass bei gleich hohem Strombedarf Strom aus herkömmlichen Quellen bezogen werden muss. Der Stromproduktionspreis von 89.5 Franken pro Megawattstunde, wie ihn die Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis, für den Schweizer Strommix im Jahr 2035 annehmen (BFE, 2021a), liegt über den PV-Stromgestehungskosten, weshalb das Referenzszenario zusätzlich volkswirtschaftliche Mehrkosten im Vergleich zum Ausbauszenario generiert. Der Windstrom hingegen hat höhere Gestehungskosten als die Photovoltaik, welche auch langsamer sinken. Im Ausbauszenario werden im Vergleich zum Referenzszenario vor allem am Anfang der untersuchten Zeitperiode die Windkapazitäten schneller ausgebaut. Aus diesem Grund sind die Gestehungskosten für eine Megawattstunde Windstrom 2035 im Ausbauszenario bereits höher als im Referenzszenario. Einen zusätzlichen Unterschied macht, dass im Referenzszenario die Stromproduktion aus Wind mit herkömmlichen Quellen komplettiert werden muss, um auf die gleiche Stromproduktion wie im Ausbauszenario zu kommen. Da der angenommene Stromproduktionspreis von 89.5 Franken pro Megawattstunde unter den Stromgestehungskosten von Windstrom liegt, sinken so die volkswirtschaftlichen Kosten des Windausbaus im Referenzszenario zusätzlich im Vergleich zum Ausbauszenario.

Bei der Solarthermie kostet eine Megawattstunde Wärme im Referenzszenario 102.2 Franken und im Ausbauszenario 143.79 Franken. Da diese Technologie bereits sehr ausgereift ist, wurden konstante Gestehungskosten angenommen. Im Ausbauszenario kann also nicht von sinkenden Kosten profitiert werden. Der Unterschied zwischen den Szenarien entsteht durch die unterschiedlichen Kosten für die Warmwasserproduktion. Im Referenzszenario wird angenommen, dass die Unterproduktion von 1.25 Terawattstunden im Jahr 2035 im Vergleich zum Ausbauszenario durch zusätzliche Heizleistung abgedeckt werden muss. Die Kosten dafür werden aus den Durchschnittskosten für eine Megawattstunde Wärme aus dem aus dem erneuerbaren Heizungersatz entstehenden Heiztechnologiemix im Jahr 2035 berechnet. Da diese tiefer sind als die Kosten für eine Megawattstunde Wärme aus Solarthermie sind die Kosten im Referenzszenario tiefer als im Ausbauszenario. Generell sind diese Kosten pro Megawattstunde aber in beiden Szenarien höher als für eine Megawattstunde PV-Strom, was auf den ersten Blick überraschen mag. Der Grund dafür liegt darin, dass in den vorliegenden Berechnungen ein Durchschnittswert für die Investitionskosten von PV-Anlagen angenommen wurde, welcher auch grosse Anlagen von mehreren hundert Kilowatt beinhaltet. Im Fall der Solarthermie wurde angenommen, dass die Anlagen nur für Warmwasser in Ein- oder Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden, weshalb diese grundsätzlich klein und die angenommenen durchschnittlichen Investitionskosten dementsprechend hoch sind. Generell kann davon ausgegangen werden, dass durch grössere solarthermische Anlagen die Durchschnittspreise in Zukunft zusätzlich sinken können.

Die volkswirtschaftlichen Kosten des erneuerbaren Heizungersatzes belaufen sich auf 126.20 Franken pro Megawattstunde im Referenzszenario und auf 149.50 Franken pro Megawattstunde im Ausbauszenario. Diese Kosten beinhalten sowohl die Investitions- als auch die Betriebs- und Unterhaltskosten

der verschiedenen Heiztechnologien. Obwohl die Vollkosten für Wärmepumpen tiefer sind als für Holzpellets-, Öl- und Gasheizungen erzielt das Referenzszenario in der vorliegenden Rechnung tiefere volkswirtschaftliche Kosten als das Ausbauszenario. Der Grund liegt darin, dass die Umsetzung der energetischen Gebäudesanierungen als Voraussetzung angenommen wird. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass doppelt so viele Gebäude energetisch saniert werden als im Referenzszenario, was den durchschnittlichen Raumwärmebedarf im Jahr 2035 von 22.76 Megawattstunden pro Gebäude und Jahr im Referenzszenario auf 17.05 Megawattstunden im Ausbauszenario senkt. Da die Investitionskosten für die Heiztechnologien in beiden Szenarien als konstant angenommen werden, resultieren schliesslich höhere Kosten pro Megawattstunde nachgefragter Wärme im Ausbauszenario im Vergleich zum Referenzszenario. Dies ändert sich, wenn in beiden Szenarien der gleiche Raumwärmebedarf angenommen wird. Bei einem Raumwärmebedarf von 22.76 Megawattstunden pro Gebäude und Jahr sinken die volkswirtschaftlichen Kosten im Ausbauszenario auf 120.18 Franken pro Megawattstunde (siehe Abbildung 12, in kursiv). Das Ausbauszenario wird so also volkswirtschaftlicher interessanter im Vergleich zum Referenzszenario.

Die energetischen Gebäudesanierungen kosten schliesslich 60.51 Franken pro eingesparter Megawattstunde Raumwärme im Referenzszenario und 67.48 Franken im Ausbauszenario. In die Kostenrechnung wurden nicht nur die Ausgaben pro Megawattstunde für die Gebäudesanierung einbezogen, sondern auch die Einsparungen, die durch eine tiefere Nachfrage nach Raumwärme erzielt werden. Diese Kosteneinsparungen sind im Referenzszenario höher als im Ausbauszenario, da durch die Umsetzung der Massnahmen des erneuerbaren Heizungsersatzes die durchschnittlichen Betriebskosten des Heiztechnologiemixes im Referenzszenario höher sind als im Ausbauszenario. Im Ausbauszenario werden immer mehr fossile Heizsysteme in Altbauten vor allem mit Wärmepumpen ersetzt, welche tiefere Betriebskosten als die anderen Heiztechnologien aufweisen. Der Unterschied zwischen den Szenarien verschwindet, wenn in beiden Fällen der gleiche Heiztechnologiemix angenommen wird. In Abbildung 12 ist für das Ausbauszenario zusätzlich in kursiv angegeben, dass sich die volkswirtschaftlichen Kosten auf 60.51 Franken pro eingesparter Megawattstunde Raumwärme belaufen, wenn der Heiztechnologiemix des Referenzszenarios angenommen wird. Es ist an dieser Stelle wichtig zu beachten, dass im Gegensatz zu den anderen Massnahmen bei den volkswirtschaftlichen Berechnungen für die energetischen Gebäudesanierungen nicht miteinbezogen wurde, dass im Referenzszenario weniger Gebäude saniert werden als im Ausbauszenario. Im Ausbauszenario werden nämlich total 14.92 Terawattstunden jährlich eingespart, während es im Referenzszenario nur 7.46 Terawattstunden pro Jahr sind.

4.2 Resultate zur Energieeffizienz im Strombereich

Abbildung 13 stellt die volkswirtschaftlichen Kosten dar, die im Jahr 2035 pro eingesparte Megawattstunde Strom in den verschiedenen untersuchten Bereichen im Ausbauszenario im Vergleich zum Referenzszenario anfallen. Die Resultate zeigen, dass in den Bereichen der Beleuchtung und der industriellen Antriebe Stromeffizienz Kosteneinsparungen bringen, während in den Bereichen Prozesswärme und Antriebe in den Haushalten zusätzliche Kosten pro eingesparte Megawattstunde Strom anfallen. Nachfolgend werden die Resultate individuell diskutiert.

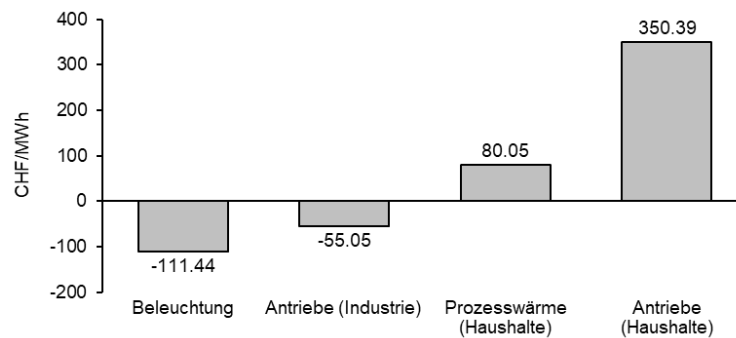


Abbildung 13. Volkswirtschaftliche Kosten pro eingesparte Megawattstunde Strom in den Bereichen Beleuchtung, industrielle Antriebe, Haushalts-Prozesswärme und Haushalts-Antriebe.

Bei der Beleuchtung wird angenommen, dass beim Lampenersatz im Referenzszenario je zur Hälfte LED und Kompaktleuchtstofflampen eingesetzt werden, während im Ausbauszenario nur LED zum Zug kommen. LED sind zwar teurer in der Anschaffung, haben aber eine längere Lebensdauer als Kompaktleuchtstofflampen. Ausserdem verbrauchen LED wesentlich weniger Strom und haben tiefere Betriebskosten. Aus diesen Gründen werden im Ausbauszenario einerseits jährlich 0.73 Terawattstunden Strom eingespart, wobei 65 Prozent des Stromverbrauchs für die Beleuchtung und deshalb auch der Einsparung auf die Haushalte entfällt, rund 28 Prozent auf Dienstleistungsgebäude und 7 Prozent auf Industriegebäude. Andererseits können im Ausbauszenario zusätzlich Kosten von 111.44 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom eingespart werden.

Bei den industriellen Antrieben wird angenommen, dass im Referenzszenario 90 Prozent der verkauften Motoren mit Stromantrieb der Effizienzklasse IE3 und 10 Prozent der Effizienzklasse IE4 angehören. Dies bedeutet eine kleine Effizienzsteigerung im Vergleich zu heute, wo auch noch weniger effiziente Motoren verkauft werden. Im Ausbauszenario wird dagegen angenommen, dass 90 Prozent der verkauften Motoren mit Stromantrieb der Effizienzklasse IE4 angehören und die restlichen 10 Prozent der Effizienzklasse IE3. In diesem Fall können Stromeinsparungen von jährlich 0.94 Terawattstunden erreicht werden. Effizientere Motoren sind zwar teurer in der Anschaffung, jedoch zeigen die Resultate, dass sie im Betrieb günstiger sind und deshalb pro eingesparter Megawattstunde Strom zusätzlich auch 55.05 Franken eingespart werden können.

Im Bereich der Haushalts-Prozesswärme wurde der Ersatz von Kochherden durch effiziente Technologien untersucht. Dabei wurde angenommen, dass im Referenzszenario rund zwei Drittel der Kochherde am Lebensende durch Glaskeramikerde und ein Drittel durch Induktionsherde ersetzt werden. Im Ausbauszenario wurde dagegen angenommen, dass bei 90 Prozent ein Induktionsherd und bei 10 Prozent ein Glaskeramikerde eingesetzt wird. Induktionsherde sind wesentlich teurer in der Anschaffung als Glaskeramikerde, sind jedoch billiger im Betrieb, da sie weniger Strom verbrauchen. Im Ausbauszenario können so jährlich 0.12 Terawattstunden Strom im Vergleich zum Referenzszenario eingespart werden. Jedoch verursacht das Ausbauszenario gegenüber dem Referenzszenario volkswirtschaftliche Kosten von 74.65 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom im Jahr 2035, da die tieferen Betriebskosten die höheren Anschaffungskosten nicht wettmachen können. Diese Kosten sind aber immer noch tiefer als der Preis des Schweizer Strommixes, welcher im Jahr 2035 bei 89.5 Franken pro Megawattstunde liegt. Das heisst, in diesem Fall ist eine eingesparte Megawattstunde Strom immer noch günstiger als zusätzlich eine zu produzieren. Das Gleiche gilt übrigens für die Bereiche Beleuchtung und industrielle Antriebe, wo zusätzlich zu den Stromeinsparungen auch Kosteneinsparungen erzielt werden können.

Im Bereich der Haushalts-Antriebe wurde der Einsatz von effizienten Technologien beim Ersatz von Haushaltsgrossgeräten, wie Kühlschränke, Waschmaschinen und Geschirrspüler untersucht. Dabei

wurde der Einsatz der heute beliebtesten Geräte im Referenzszenario mit den heute effizientesten Geräten im Ausbauszenario verglichen. Durch den Einsatz der effizienteren Geräte können im Ausbauszenario jährlich 0.54 Terawattstunden Strom eingespart werden im Vergleich zum Referenzszenario. Jedoch sind die Kosten dafür mit 350.39 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom relativ hoch. Der Grund liegt darin, dass die heute beliebtesten Geräte bereits sehr effizient, aber wesentlich günstiger als die effizientesten verfügbaren Geräte sind. Letztere können durch ihre tieferen Betriebskosten die höheren Anschaffungskosten nicht wettmachen. Eine detaillierte Aufschlüsselung der volkswirtschaftlichen Kosten und des Stromsparerpotentials der einzelnen Gerätetypen in Abbildung 14 zeigt, dass die Waschmaschinen mit 189.65 Franken einerseits die tiefsten Kosten pro eingesparter Megawattstunde haben und andererseits mit rund zwei Dritteln das grösste Stromsparerpotential aufweisen. Die Kühlschränke folgen an zweiter Stelle mit Kosten von 224.31 Franken pro eingesparter Megawattstunde Strom und mit einem Anteil von 20 Prozent am Stromsparerpotential dieses Bereiches. Die drei weiteren untersuchten Geräte, das heisst Tiefkühler, Geschirrspüler und Wäschetrockner, haben entweder sehr hohe Kosten oder nur ein sehr kleines Stromsparerpotential oder beides.

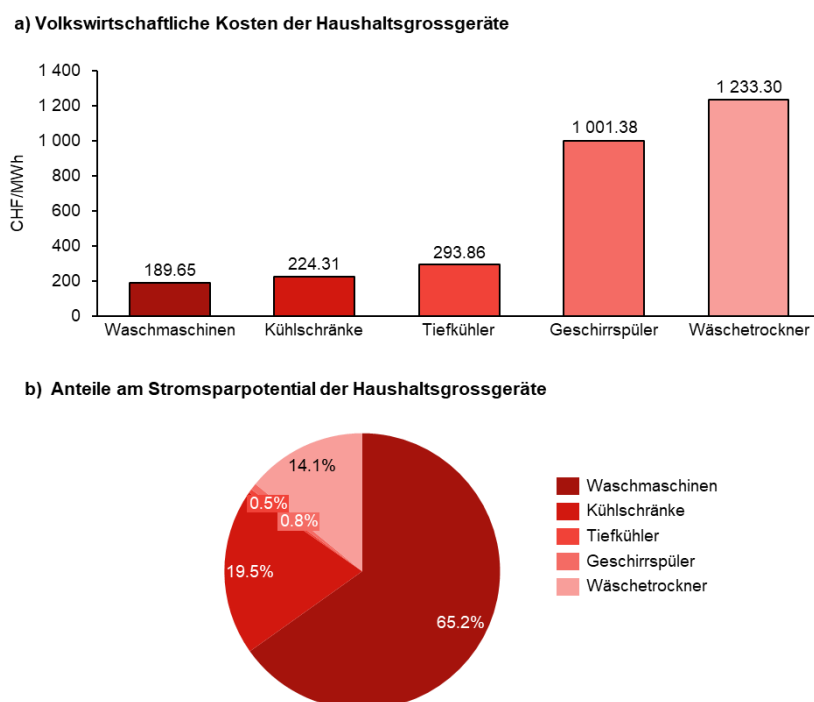


Abbildung 14. a) Volkswirtschaftliche Kosten der untersuchten Haushaltsgrossgeräten und b) deren Anteil am berechneten Stromsparerpotential dieses Bereiches.

5 Sensitivitätsanalyse

Es wurde eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die Robustheit der Resultate zu überprüfen. Dabei wurden verschiedene Eingangsgrössen variiert und die daraus folgende Veränderung der Resultate dokumentiert. Die Sensitivitätsanalyse hat ergeben, dass die Entwicklung des Erneuerbaren-Energien- und Energieeffizienz-Ausbaus einen linearen Einfluss auf die inländische Wertschöpfung und die geschaffenen Arbeitsplätze hat. Das heisst, eine Erhöhung des Ausbauziels bis 2035 steigert die inländische Wertschöpfung und die Arbeitsplätze proportional um den gleichen Faktor. Dies ist nicht überraschend in Anbetracht der direkten Abhängigkeit der inländischen Wertschöpfung und der Arbeitsplätze vom Ausbauziel. Da es sich bei den Ausbauzielen um mögliche zukünftige Entwicklungen geht, die natürlich nicht exakt vorhergesehen werden können, sollten die in dieser Studie präsentierten Zahlen als Grössenordnung interpretiert werden und nicht als absolute Zahl.

Der Einfluss der verschiedenen Eingangsgrössen auf die spezifischen Resultate der verschiedenen Technologien wurde auch analysiert. Diese Sensitivitäten sind grafisch im Anhang bei den jeweiligen Technologien dargestellt. Es werden jeweils die fünf Eingangsgrössen mit dem grössten Einfluss auf die Resultate präsentiert.

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die inländische Wertschöpfung sind der spezifische Ertrag der verschiedenen Technologien, die Investitionskosten und der Importanteil des Materials. Der spezifische Ertrag definiert, wie viel Strom oder Wärme die Technologien pro installierter Leistung produzieren, und hängt einerseits von der Effizienz der Technologien und von der verfügbaren Ressource ab. Beim Windstrom spricht man von jährlichen Volllaststunden, bei Wärmepumpen von der Jahresarbeitszahl und bei Holzpellettheizungen vom Jahresnutzungsgrad. Der spezifische Ertrag hat einen negativen, das heisst entgegengesetzten Einfluss auf die inländische Wertschöpfung, denn je grösser er ist, desto weniger Wertschöpfung wird geschaffen. Der Grund liegt bei der PV, beim Windstrom und bei der Solarthermie im festgelegten Ausbauziel, da bei erhöhter Effizienz der Technologien und Verfügbarkeit von Sonneneinstrahlung und Wind weniger (grosse) Anlagen gebaut werden müssen, um das Ausbauziel zu erreichen. So wird weniger Wertschöpfung geschaffen. Bei den Heiztechnologien verkleinert die erhöhte Effizienz die Nachfrage nach Strom und Holzpellets und so die inländische Wertschöpfung. Die Investitionskosten haben einen positiven Einfluss auf die inländische Wertschöpfung. Je höher die Investitionskosten, desto höher ist also auch die geschaffene Wertschöpfung. Dies macht Sinn, da bei höheren Investitionskosten auch der Anteil der Investitionskosten, der im Inland verbleibt, steigt. Der Importanteil des Materials hat schliesslich wieder einen negativen Einfluss auf die inländische Wertschöpfung. Mit steigendem Importanteil wird weniger Material in der Schweiz hergestellt und mehr finanzielle Mittel fliessen ins Ausland ab. So sinkt die inländische Wertschöpfung.

Der mit Abstand wichtigste Einflussfaktor auf die inländischen Arbeitsplätze sind die Jahresbruttolöhne. Daneben sind auch der spezifische Ertrag, die Investitionskosten und der Importanteil des Materials wichtig. Die Abhängigkeit der Anzahl inländischer Arbeitsplätze auf diese Eingangsgrössen entsteht durch deren Einfluss auf die inländische Wertschöpfung, welche als Berechnungsgrundlage für die Arbeitsplätze dient. Die Jahresbruttolöhne haben bei allen Technologien den gleichen, entgegengesetzten Effekt auf die Anzahl geschaffener Arbeitsplätze. Denn mit zunehmenden Jahresbruttolöhnen sinkt die Anzahl Arbeitsplätze. Auch dies liegt an der Berechnungsmethode, da die Löhne direkt proportional zu den berechneten Kosten pro Vollzeitäquivalent sind, durch welche die inländische Wertschöpfung geteilt wird (siehe Abschnitt 2.3). Die Datenqualität der Jahresbruttolöhne ist grundsätzlich hoch einzustufen, da es sich um die durchschnittlichen Löhne in den verschiedenen Branchen erhoben vom Bundesamt für Statistik handelt.

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit sind wieder der spezifische Ertrag und die Investitionskosten. Auch hier hat der spezifische Ertrag einen negativen Effekt. Mit steigendem spezifischem Ertrag, das heisst mit steigender Effizienz oder Ressourcenverfügbarkeit sinken die volkswirtschaftlichen Kosten, da für gleich viel produzierte Energie weniger Anlagen gebaut werden müssen oder weniger Betriebskosten anfallen. Bei den Investitionskosten verhält es sich gegensätzlich. Mit steigenden Investitionskosten steigen auch die volkswirtschaftlichen Kosten. Zwei weitere Eingangsgrössen, welche die Wirtschaftlichkeit beeinflussen, sind die Energiepreise und die Lebensdauer der Technologien. Der Effekt der Energiepreise ist unterschiedlich je nach Technologie. Bei PV, Windstrom und Solarthermie bedeuten steigende Strompreise, dass im Referenzszenario die volkswirtschaftlichen Kosten steigen. Das Ausbauszenario wird insofern attraktiver. Dies ist auch der Fall beim erneuerbaren Heizungsersatz, da die fossilen Heizsysteme im Referenzszenario so proportional teurer werden und die volkswirtschaftlichen Kosten des Referenzszenarios steigen lassen. Bei den energetischen Gebäudesanierungen und dem erneuerbaren Heizungsersatz bedeuten steigende Energiepreise, dass die volkswirtschaftlichen Kosten der Sanierungen sinken, da mehr Heizkosten eingespart werden können.

Bei den Analysen zur Energieeffizienz im Strombereich wurde schliesslich die Sensitivität der Resultate auf Veränderungen in den Szenarien geprüft. Diese haben sich als klein herausgestellt, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen wird. Die Detailresultate sind in Abbildung A. 13 dargestellt.

6 Fazit

In der vorliegenden Studie wurde das inländische Wertschöpfungs- und Arbeitsplatzpotential, sowie die Wirtschaftlichkeit des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz zwischen 2021 und 2035 in zwei Szenarien untersucht. Das Referenzszenario orientierte sich stark am Szenario ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ (BFE, 2020a), während im Ausbauszenario ein forcierter Ausbau angenommen wurde. Die untersuchten Massnahmen und Technologien beinhalten die Photovoltaik, den Windstrom, die Solarthermie, energetische Gebäudesanierungen, der erneuerbare Heizungsersatz und die Energieeffizienz im Strombereich.

Die Resultate zeigen, dass der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der Schweiz nicht nur inländische Wertschöpfung, sondern auch Arbeitsplätze schafft. Das Referenzszenario generiert bis im Jahr 2035 77.1 Milliarden Franken und total 101.6 Milliarden Franken Wertschöpfung und rund 52'000 Arbeitsplätze. Im Ausbauszenario erhöhen sich diese Zahlen auf 144.9 Milliarden Franken Wertschöpfung bis 2035 und total 187.1 Milliarden Franken und rund 87'000 Arbeitsplätze. Im Vergleich zum Bruttoinlandprodukt der Schweiz 2019 von 726.9 Milliarden Franken entsprechen die hier berechnete Wertschöpfung 0.7 Prozent pro Jahr im Referenzszenario und 1.3 Prozent pro Jahr im Ausbauszenario (BFS, 2020a). Die Arbeitsplätze im Ausbauszenario entstehen in den meisten Fällen zusätzlich zu existierenden Arbeitsplätzen und ersetzen diese nicht. So braucht es für mehr energetische Gebäudesanierungen und mehr PV-, Windstrom- und Solarthermie-Anlagen zusätzliches Personal, welches die Planung, Montage und den Betrieb und Unterhalt übernimmt sowie die Dämmmaterialien, PV-Module und Solarkollektoren teilweise herstellt. Nur beim erneuerbaren Heizungsersatz werden existierende Arbeitsplätze, vor allem in der Gas- und Ölbranche, ersetzt. Ausserdem generiert dieser Bereich netto nur wenige Arbeitsplätze, da etwa gleich viele Arbeitsplätze im Bereich der fossilen Energien wegfallen wie durch die erneuerbaren Heizsysteme entstehen. Zusätzliche Arbeitsplätze werden jedoch vor allem im Bereich der Erdsonden für Wärmepumpen, aber auch der Holzpellet-Produktion geschaffen.

Der forcierte Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz schafft zwar inländische Wertschöpfung und Arbeitsplätze, verursacht aber in den meisten Fällen auch höhere volkswirtschaftliche Kosten. So ist im Ausbauszenario nur der Photovoltaik-Ausbau und, je nach Annahme, der erneuerbare Heizungsersatz günstiger im Vergleich zum Referenzszenario. Der verstärkte Ausbau der Wind- und Solarthermie-Kapazitäten bedeuten höhere volkswirtschaftliche Kosten, während bei den energetischen Gebäudesanierungen im Ausbauszenario gleich hohe oder höhere Kosten anfallen. Zusätzliche Anstrengungen bei der Energieeffizienz im Strombereich sind vor allem bei der Beleuchtung und bei den industriellen Antrieben sinnvoll, da dort direkte volkswirtschaftliche Einsparungen erreicht werden können. Aber auch bei den Kochherden ist eine eingesparte Megawattstunde Strom günstiger als eine neu produzierte. Es erscheint jedoch wichtig zu betonen, dass die Kostenunterschiede zwischen den Szenarien mehrheitlich klein sind und der zusätzliche Nutzen, den das Ausbauszenario nicht nur in Bezug auf die Wertschöpfung und die Arbeitsplätze bringt, diese volkswirtschaftlichen Mehrkosten übersteigen.

Die Untersuchungen in der vorliegenden Studie fokussieren nur auf die direkten Auswirkungen des Ausbaus der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz auf die inländische Wertschöpfung und die Arbeitsplätze. Zusätzlich wurden auch nur die direkten volkswirtschaftlichen Kosten berechnet. Ein Ausbau analog des Ausbauszenarios bringt aber auch indirekten gesellschaftlichen Nutzen monetärer und nicht-monetärer Art. Einerseits generieren Investitionen im Inland Steuereinnahmen, welche wiederum der ganzen Gesellschaft zugutekommen. Auch stärkt die inländische Nachfrage die internationale Wettbewerbsfähigkeit der hiesigen Firmen und deren Innovationsfähigkeit und kann die Exporte

steigern. Schliesslich können auch zahlreiche Zulieferfirmen indirekt profitieren und zusätzliche Arbeitsplätze schaffen, welche hier nicht berücksichtigt sind. Andererseits hilft der verstärkte Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz, die inländischen Treibhausgasemissionen zu senken und die Schweizer Klimaziele zu erreichen. Durch den Ersatz fossiler Heizsysteme durch erneuerbare Heiztechnologien und die Senkung des Raumwärme- und Warmwasserbedarfs durch energetische Sanierungen und den Solarthermie-Ausbau werden weniger fossile Energieträger verbrannt und Treibhausgasemissionen direkt eingespart. Die Erhöhung der inländischen erneuerbaren Stromproduktion und die Effizienz im Strombereich reduzieren einerseits den Import von möglicherweise durch Kohlekraftwerke produzierten ausländischem Strom. Andererseits stellen sie Strom für die Dekarbonisierung weiterer Sektoren, wie der Mobilität, zur Verfügung. Gleichzeitig werden durch die hier analysierten Massnahmen weitere Herausforderungen der Energiewende angegangen. Energetische Gebäudesanierungen beispielsweise reduzieren die Raumwärme- und somit auch die Stromnachfrage mehrheitlich im Winter, wenn die erneuerbare Stromproduktion aus Laufwasserkraft und Photovoltaik tiefer ist. So senken sie den Bedarf an zusätzlichen Stromproduktionskapazitäten und saisonaler Speicherung. Dasselbe gilt für Windstromanlagen, deren Produktion im Winter doppelt so hoch ist als im Sommer. Auch der Ausbau des Stromnetzes kann dank reduzierter Stromnachfrage und dem zusätzlichen Ausbau dezentraler Stromproduktionsanlagen gesenkt werden. Schliesslich senken die inländische erneuerbare Strom- und Wärmeproduktion und die erhöhte Energieeffizienz zusätzlich die Abhängigkeit von Energieimporten in Form von Strom, Uran, Erdöl und Erdgas und tragen so zur Versorgungssicherheit bei.

Der Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz in der Schweiz ist wichtig, damit die Schweiz ihre Klimaziele erreichen kann. Die vorliegende Studie zeigt, dass bereits ein moderater Ausbau, wie in den Energieperspektiven 2050+ des Bundes vorgesehen, grosse inländische Wertschöpfung und eine bedeutende Anzahl zusätzlicher Arbeitsplätze schafft. Die Beschleunigung dieses Ausbaus, welche nötig ist, um die Treibhausgasemissionen möglichst schnell zu senken, hat nochmals ein erhebliches Potential zur Schaffung inländischer Wertschöpfung und Arbeitsplätze. Volkswirtschaftlich ist der beschleunigte Ausbau auch nur teilweise teurer als ein moderater Ausbau. Ohne die richtigen politischen Rahmenbedingungen werden jedoch keine zusätzlichen Anstrengungen im Ausbau der erneuerbaren Energien und der Energieeffizienz passieren. Nun liegt es an den politischen Entscheidungsträgern, die Weichen so zu stellen, dass nicht nur das Klima, sondern auch die Schweizer Wirtschaft von der Energiewende profitieren kann.

7 Literaturverzeichnis

- BFE (2020a) *Energieperspektiven 2050+: Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE (2020b) *Energiestrategie 2050: Monitoring-Bericht 2020 Kurzfassung*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE (2020c) *Markterhebung Sonnenenergie 2019*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE (2020d) *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2019*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE (2020e) *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien, Ausgabe 2019 - Datentabellen*. Bundesamt für Energie.
- BFE (2021a) *Energieperspektiven 2050+: Ergebnissynthese 2020-2050 ZERO Basis*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE (2021b) *Energieperspektiven 2050+: Umwandlungssynthese 2020-2050 ZERO Basis, KKW50*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- BFS (2020a) *Bruttoinlandprodukt nach Einkommensarten und Bruttonationaleinkommen 1995-2019*. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- BFS (2020b) 'Monatlicher Bruttolohn (Zentralwert) nach Wirtschaftsabteilungen, beruflicher Stellung und Geschlecht'. Bundesamt für Statistik (BFS).
- BFS (2020c) *Statistik der Bevölkerung und der Haushalte (STATPOP) 2019*. Neuchâtel: Bundesamt für Statistik (BFS).
- Brack.ch (2021) *Glaskeramik-Kochfeld NKN645BA2C umlaufend, Brack.ch*. Verfügbar auf: https://www.brack.ch/bosch-glaskeramik-kochfeld-nkn645ba2c-umlaufend-701050?utm_source=preisvergleich&utm_medium=csse&utm_campaign=!cc-csse!e-preisvergleich!&utm_content=701050 (Abgerufen am: 28. April 2021).
- Budgetlight (2021a) *Noxion Lucent Fadenlampe LED Lustre Silber Spiegel P45 E14 220-240V 4.5W 400LM CRI80 2700K ND (40W eqv)*, *budgetlight.ch*. Verfügbar auf: <https://www.budgetlight.ch/de/noxion-lucent-fadenlampe-led-lustre-silber-spiegel-p45-e14-220-240v-4-5w-400lm-cri80-2700k-nd-40w-eqv-8719157015189> (Abgerufen am: 28. April 2021).
- Budgetlight (2021b) *Philips Tornado T2 Spiral 12W 827 E14 | 741 Lumen*, *budgetlight.ch*. Verfügbar auf: <https://www.budgetlight.ch/de/philips-tornado-t2-spiral-12w-827-e14-741-lumen-8718291117247> (Abgerufen am: 28. April 2021).
- Bundesrat (2021) *Langfristige Klimastrategie der Schweiz*. Bern: Der Bundesrat.
- Dallmus, A. (2019) *Sind Induktionsherde wirklich sparsamer?*, *Radio Bayern 1*. Verfügbar auf: <https://www.br.de/radio/bayern1/induktion-vs-ceran-100.html> (Abgerufen am: 28. April 2021).
- EICom (2020) *Tätigkeitsbericht der EICom 2019*. Bern: Eidgenössische Elektrizitätskommission (EICom).
- Fraunhofer ISE (2018) *Stromgestehungskosten Erneuerbare Energien*. Freiburg i. Br.: Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme.
- Goers, S. et al. (2020) *Wirtschaftswachstum und Beschäftigung durch Investitionen in Erneuerbare Energien*. Linz: Energieinstitut der Johannes-Kepler-Universität Linz.
- Griffin, M., Ramsson, T. and Gibson, G. (2012) *Cooking Appliances*. Technology Brief R06. IEA-ETSAP.
- Gross and Bush (2021) *Auswahlkriterien LED-Lampen und LED-Spots*, *topten.ch*.
- de Haan, P., Kissling, I. and Wolfensberger, M. (2012) *Effizienz und Elektrifizierung Haushalte: Schlussbericht zuhanden VSE*. Zollikon: Ernst Basler + Partner AG.
- Havelka, A. and Neubauer-Letsch, B. (2017) *Branchenpanel Fenster und Fassade 2017*. Biel: Berner Fachhochschule BFH, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur; Schweizerischer Fachverband Fenster- und Fassadenbranche FFF; Schweizerische Zentrale Fenster und Fassaden SZFF.

- Heidari, M. *et al.* (2018) 'Analysis of the energy efficiency potential of household lighting in Switzerland using a stock model', *Energy and Buildings*, 158, pp. 536–548.
- Hennies, L. and Stamminger, R. (2016) 'An empirical survey on the obsolescence of appliances in German households', *Resources, conservation and recycling*, 112, pp. 73–82.
- IRENA (2012) *Wind Power*. Volume 1: Power Sector-Issue 5/5. Bonn: International Renewable Energy Agency (IRENA). Verfügbar auf: https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2012/RE_Technologies_Cost_Analysis-WIND_POWER.pdf (Abgerufen am: 2. Juni 2021).
- Jakob, M. *et al.* (2020) *Erneuerbare- und CO₂-freie Wärmeversorgung Schweiz*. Bern: AEE Suisse, Wärme Initiative Schweiz.
- Lekov, A., Franco, V. H. and Meyers, S. (2014) 'Evaluation of energy efficiency standards for residential clothes dryers in the USA', *Energy Efficiency*, 7, pp. 133–149.
- Lutz, J. D. *et al.* (2011) *Using National Survey Data to Estimate Lifetimes of Residential Appliances*. Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Michel, A., Attali, S. and Bush, E. (2016) *Energy efficiency of White Goods in Europe: monitoring the market with sales data*. ADEME.
- Nettoshop (2021) *AEG KFA58SIO Kochfeld*, [nettoshop.ch](https://www.nettoshop.ch/Haushalt-Grossger%C3%A4te/Backen-Kochen-und-Steamen-Grillen/Glaskeramik-und-Kochstellen/Glaskeramik-Induktion-fl%C3%A4chenb%C3%BCndig/AEG-KFA58SIO-Kochfeld/p/IP087748?utm_source=connects&utm_medium=affiliate&utm_campaign=connects&lea_source=202103011151261992612289X117593C1412900347T). Verfügbar auf: https://www.nettoshop.ch/Haushalt-Grossger%C3%A4te/Backen-Kochen-und-Steamen-Grillen/Glaskeramik-und-Kochstellen/Glaskeramik-Induktion-fl%C3%A4chenb%C3%BCndig/AEG-KFA58SIO-Kochfeld/p/IP087748?utm_source=connects&utm_medium=affiliate&utm_campaign=connects&lea_source=202103011151261992612289X117593C1412900347T (Abgerufen am: 28. April 2021).
- Prognos *et al.* (2021a) *Energieperspektiven 2050+: Detailergebnisse 2020-2050 - Private Haushalte, alle Szenarien*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- Prognos *et al.* (2021b) *Energieperspektiven 2050+ Szenarienergebnisse*. Bern: Bundesamt für Energie (BFE).
- Rochat, Berger-Wey and Bush (2021) *Ratgeber Waschmaschinen*, [topten.ch](https://www.topten.ch/private/adviser/ratgeber-waschmaschinen#:~:text=Rund%203%2C5%20Millionen%20Waschmaschinen,rund%2040%20Millionen%20Kubikmeter%20Wasser.). Verfügbar auf: <https://www.topten.ch/private/adviser/ratgeber-waschmaschinen#:~:text=Rund%203%2C5%20Millionen%20Waschmaschinen,rund%2040%20Millionen%20Kubikmeter%20Wasser.> (Abgerufen am: 28. April 2021).
- Rohrer, J. (2020) *Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz*. ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.
- Siegwart, M. *et al.* (2020) *Technische und Suffizienz-Massnahmen zur Reduktion der schweizerischen Treibhausgasemissionen: der Vermeidungskostenansatz*. Publikationen Life Sciences und Facility Management. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.
- Sigrist, D. *et al.* (2016) *Arbeitsplätze für die Regionen Graubündens: Studie zur wirtschaftlichen Bedeutung energetischer Gebäudesanierungen im Kanton Graubünden*. Chur: Amt für Energie und Verkehr und Amt für Wirtschaft und Tourismus Graubünden; INFRAS; BAKBASEL.
- Sperr, N. and Rohrer, J. (2016) *Beschäftigungseffekte des geordneten Atomausstiegs in der Schweiz*. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.
- Sperr, N. and Rohrer, J. (2017a) *Wertschöpfung von energetischen Gebäudesanierungen: Erstellung eines Wertschöpfungsrechners für Gebäudesanierungen*. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, p. 45.
- Sperr, N. and Rohrer, J. (2017b) *Wertschöpfung von PV-Anlagen in der Schweiz*. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.
- Sperr, N. and Rohrer, J. (2017c) *Wertschöpfung von Solarthermie-Anlagen*. Wädenswil: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften.

SRF Kassensturz (2011) *Lebensdauertabelle, Lebensdauertabelle Wohnung*. Verfügbar auf: <https://www.srf.ch/static/srf/news/kassensturz/buch/LebensdauertabelleWohnung.pdf> (Abgerufen am: 28. April 2021).

Suisse éole (2021) 'Gute Gründe für Windenergie'. Verfügbar auf: <https://www.suisse-eole.ch/de/windenergie/gute-grunde/>.

Swissolar (2021) 'Swissolar PV-Kostenrechner'. Swissolar. Verfügbar auf: <https://www.swissolar.ch/fuer-bauherren/planungshilfsmittel/kostenrechner-fuer-pv-anlagen/>.

Tecchio, P., Ardente, F. and Mathieux, F. (2019) 'Understanding lifetimes and failure modes of defective washing machines and dishwashers', *Journal of Cleaner Production*, 215, pp. 1112–1122.

VSE (2020) *Windenergie*. Aarau: Verband Schweizerische Elektrizitätsunternehmen.

Weckend, S., Wade, A. and Heath, G. A. (2016) *End-of-life management: Solar Photovoltaic Panels*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA), International Energy Agency - Photovoltaic Power Systems Programme (IEA-PVPS). Verfügbar auf: </publications/2016/Jun/End-of-life-management-Solar-Photovoltaic-Panels> (Abgerufen am: 10. Mai 2021).

Werle, R. and Hangartner, V. (2020) *Topmotors Market Report Schweiz 2020*. Bundesamt für Energie BFE.

WWF Schweiz (2016) 'Vergleich der Jahreskosten und Umweltauswirkungen von Heizungssystemen'.

A. Anhang

A. 1. Allgemeine Daten und Annahmen

Tabelle A. 1. Allgemeine Daten und Annahmen.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Basisjahr	2021		
Berechnungszeitraum	2021-2035		
Zinssatz	0.50%		
Diskontsatz	0.50%		
Mehrwertsteuer	7.7%		
Energiebezugsfläche 2020	782'071'805 [m2]	(BFE, 2021a)	
Energiebezugsfläche 2035	873'510'286 [m2]	(BFE, 2021a)	
Gebäudebestand 2020	2'608'584	(Siegwart <i>et al.</i> , 2020)	Annahme: Entwicklung analog EBF mit dem Wert für 2017 von Siegwart <i>et al.</i> (2020)
Anzahl Haushalte 2019	3'804'777	(BFS, 2020c)	Die Entwicklung der Anzahl Haushalte bis 2035 wird analog der Entwicklung der Bevölkerung bis 2035 nach BFE (2020) berechnet.

A. 2. Photovoltaik

Die Photovoltaik-Kapazität wird bis 2035 gemäss festgelegter Kurve ausgebaut (siehe Abbildung A. 1). Die Ausbaukurve im Referenzszenario entspricht den Modellrechnungen aus den Energieperspektiven 2050+, Szenario ZERO Basis, wo die PV-Stromproduktion von 2.52 Terawattstunden im Jahr 2020 auf 14.4 Terawattstunden im Jahr 2035 und 33.6 Terawattstunden im Jahr 2050 gesteigert wird. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass die PV-Stromproduktion schneller zunimmt, im Jahr 2035 schon 30 Terawattstunden erreicht und bis 2050 auf 50 Terawattstunden ausgebaut wird. Es wird mit dieser erhöhten Ausbaurrate gerechnet, da sie nötig sein wird, um bis 2035 netto null Treibhausgasemissionen zu erreichen. Berechnungen zeigen ausserdem, dass ein PV-Ausbau auf 44 Terawattstunden nötig ist, um die Sektoren Verkehr und Gebäude zu dekarbonisieren sowie die Stromproduktion aus den noch betriebenen Kernkraftwerken zu ersetzen (Rohrer, 2020). Die zusätzlichen 6 Terawattstunden im Jahr 2050 im Ausbauszenario decken das Bevölkerungswachstum und eventuelle Verzögerungen im Ausbau anderer erneuerbarer Energien oder der Speicherkapazitäten ab.

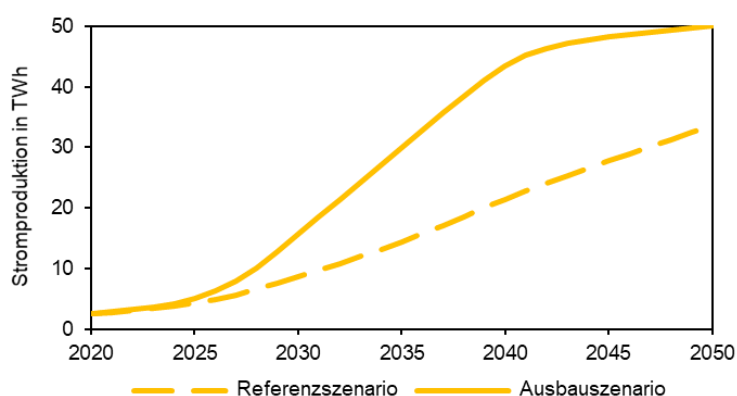


Abbildung A. 1. Ausbaukurven für die Photovoltaik im Ausbauszenario (durchgezogene Linie) und Referenzszenario (gestrichelte Linie) bis 2050.

Tabelle A. 2. Daten und Annahmen für Photovoltaik.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentare und Annahmen
Stromproduktion 2019	2.18 [TWh]	(BFE, 2020e)	
Stromproduktion 2020	2.52 [TWh]	(BFE, 2021a)	
Stromproduktion 2035 – Referenzszenario	14.4 [TWh]	(BFE, 2021a)	Die Entwicklung des PV-Ausbaus entspricht den Annahmen des Szenarios ZERO Basis.
Stromproduktion 2035 - Ausbauszenario	30.0 [TWh]		Vordefinierte Ausbaukurve, siehe Abbildung A. 1
Lebensdauer	30 [a]	(Weckend, Wade and Heath, 2016)	
Spezifischer Ertrag	960 [kWh/kWp]	(BFE, 2020e)	Effektiver mittlerer Ertrag von netzgekoppelten Anlagen
Durchschnittliche Investitionskosten im Jahr 2021	1'789 [CHF/kWp]	(Rohrer, 2020)	
Jährliche Reduktion der Investitionskosten	3% p.a.	(Rohrer, 2020)	
Aufteilung der Investitionskosten		(Sperr and Rohrer, 2016)	Der Anteil des Materials setzt sich aus 45% Module, 10% Montagesystem, 10% Wechselrichter, 5% zusätzliches Material zusammen.
– Material	70%		
– Planung	5%		
– Montage	25%		
Importanteil Photovoltaikmodule	88%	(BFE, 2020c)	
Importanteil Planung und Montage	0%		
Durchschnittliche Unterhaltskosten	0.03 [CHF/kWh]	(Swissolar, 2021)	

Jährliche Reduktion der Unterhaltskosten	3% p.a.	(Rohrer, 2020)	Annahme: Die Reduktion der Unterhaltskosten gilt nur für neugebaute Anlagen. Existierende Anlagen haben die Unterhaltskosten, die im Baujahr relevant waren.
Aufteilung der Unterhaltskosten		(Sperr and Rohrer, 2017b)	<i>Berechnete Werte.</i> Die Werte setzen sich aus 35% für Kontrollgänge, 30% für das Zählerwesen (wovon 33% Material) und 35% für den Wechselrichterersatz (wovon 67% Material) zusammen.
– Material	33%		Annahme: Die Ausführung der Unterhaltsarbeiten wird durch Schweizer Firmen gemacht, während die Herstellung des Materials grundsätzlich im Ausland geschieht.
– Ausführende Schritte	67%		
Jahresbruttolohn Planung	87'480 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 71.
Jahresbruttolohn Montage	74'616 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 41-43.
Jahresbruttolohn Unterhalt	98'388 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 35.
Jahresbruttolohn PV-Modulherstellung	81'948 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 27.
Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ	1.5	(Rohrer, 2020)	

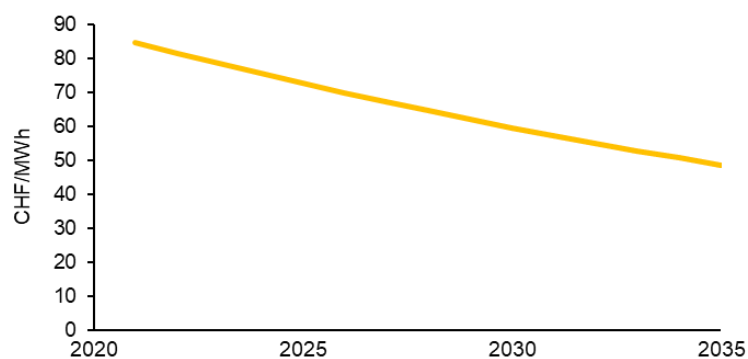
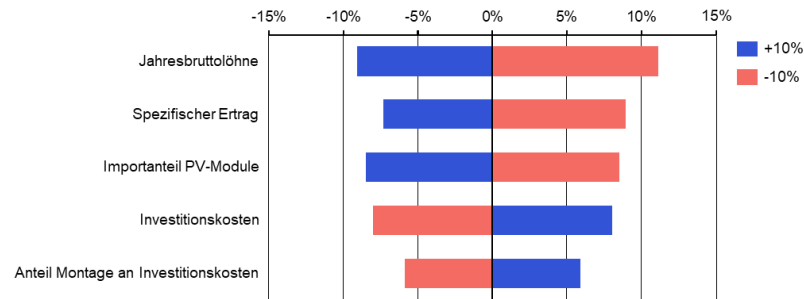
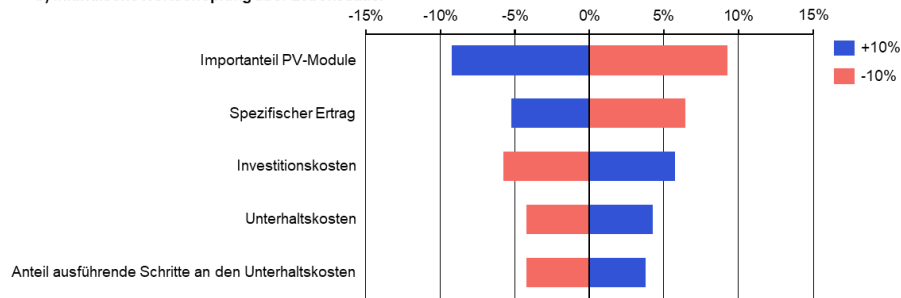


Abbildung A. 2. Stromgestehungskosten von PV berechnet anhand der Investitions- und Unterhaltskosten sowie dem spezifischen Ertrag.

a) Arbeitsplätze im Jahr 2035



b) Inländische Wertschöpfung über Lebensdauer



c) Volkswirtschaftliche Kosten

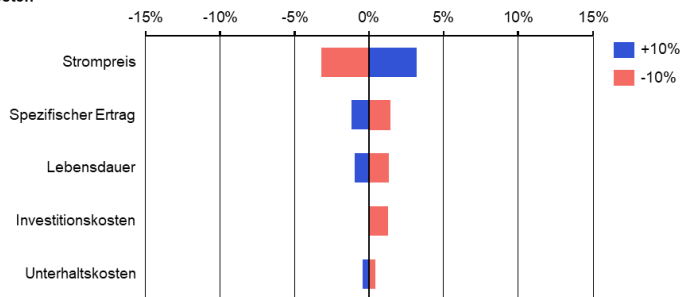


Abbildung A. 3. Sensitivitäten der PV-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der PV-Module und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.

A. 3. Windenergie

Die Windstrom-Kapazität wird bis 2035 gemäss festgelegter Kurve ausgebaut (siehe Abbildung A. 4). Die Ausbaukurve im Referenzszenario entspricht den Modellrechnungen aus den Energieperspektiven 2050+, Szenario ZERO Basis, wo die Windstromproduktion von 0.17 Terawattstunden im Jahr 2020 auf 1.2 Terawattstunden im Jahr 2035 gesteigert wird. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass die Windstromproduktion bis 4.2 Terawattstunden im Jahr 2035 und analog dem Referenzszenario bis 4.32 Terawattstunden im Jahr 2050 ansteigt. Die erhöhte Ausbaurrate ist nötig, um bis 2035 netto null Treibhausgasemissionen zu erreichen. Jedoch ist das Windstrompotential in der Schweiz begrenzt, weshalb im Ausbauszenario das gleiche Ausbauziel wie im Referenzszenario angenommen wird.

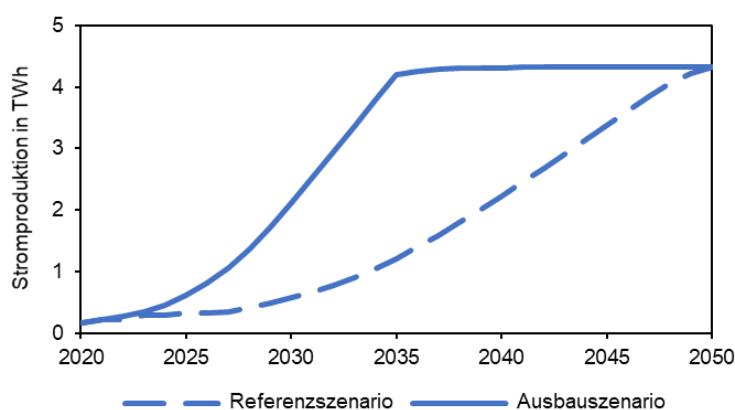


Abbildung A. 4. Ausbaukurven für die Windenergie im Ausbauszenario (durchgezogene Linie) und Referenzszenario (gestrichelte Linie).

Tabelle A. 3. Daten und Annahmen für Windstrom.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Stromproduktion 2019	0.146 [TWh]	(BFE, 2020e)	
Stromproduktion 2020	0.17 [TWh]	(BFE, 2021a)	
Stromproduktion 2035 – Referenzszenario	1.2 [TWh]	(BFE, 2021a)	Die Entwicklung des Windstrom-Ausbau entspricht den Annahmen des Szenarios ZERO Basis.
Stromproduktion 2035 – Ausbauszenario	4.2 [TWh]		Vordefinierte Ausbaukurve, siehe Abbildung A. 4
Lebensdauer	25 [a]	(Suisse éole, 2021)	
Jährliche Volllaststunden 2019	2400 [h/a]	(Suisse éole, 2021)	Annahme: konstant bis 2035
Investitionskosten 2020	4'400 [CHF/kWnenn]	(Fraunhofer ISE, 2018)	Annahme: Das obere Limit der Investitionskosten war nach Fraunhofer ISE 2018 in Deutschland 2000 EUR/kW. Da die Schweizer KEV je nach Standort zwei- bis viermal höher ist als der Zuschlag, der in Deutschland bei Auktionen für Windkraft an Land erreicht wird, werden zweimal höhere Investitionskosten für die Schweiz angenommen.
Reduktion der Investitionskosten	1% p.a.	(VSE, 2020)	Berechneter Wert
Aufteilung der Investitionskosten		(Goers <i>et al.</i> , 2020)	Annahme: Werte für Österreich von Goers <i>et al.</i> 2020 gelten auch für die Schweiz.
– Material	75%		
– Planung	10%		
– Montage	15%		
Unterhaltskosten	2%	(VSE, 2020)	Anteilig an Investitionskosten
Aufteilung der Unterhaltskosten			Annahme: Analog zu PV.
– Material	33%		

– Ausführung	67%		
Importanteil		(IRENA, 2012; Goers et al., 2020)	Annahme: Werte für Österreich von Goers et al. 2020 gelten auch für die Schweiz. Die Annahme wird dadurch begründet, dass auch die österreichische Windindustrie mehrheitlich aus Zulieferfirmen besteht und dass der Wert für die Planung von Suisse Eole bestätigt wurde (persönliche Kommunikation vom 25.05.2021). Diese Werte gelten für die Investitions- und Unterhaltskosten.
– Material	80%		
– Planung	10%		
– Montage	15%		
Jahresbruttolohn Planung	87 480 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 71.
Jahresbruttolohn Montage	74 616 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 41-43.
Jahresbruttolohn Unterhalt	98 388 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 35.
Jahresbruttolohn Materialherstellung	81 948 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 27.
Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ	1.5	(Rohrer, 2020)	

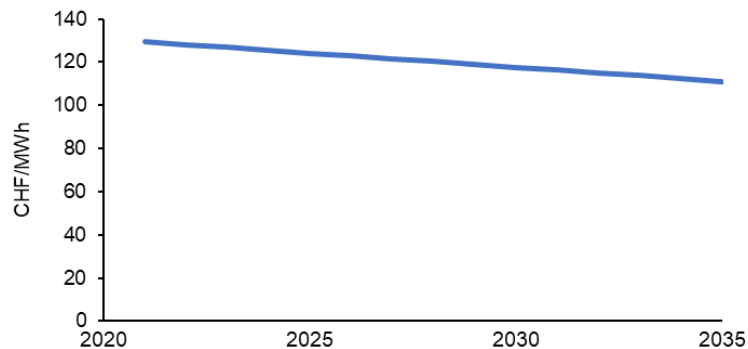
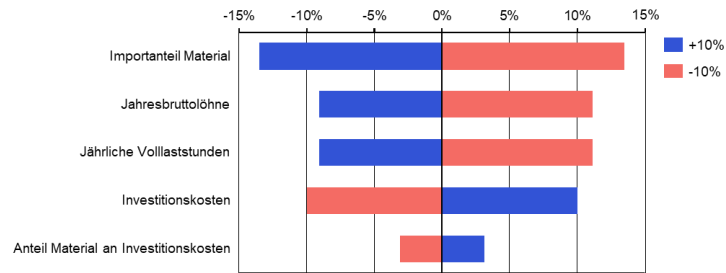
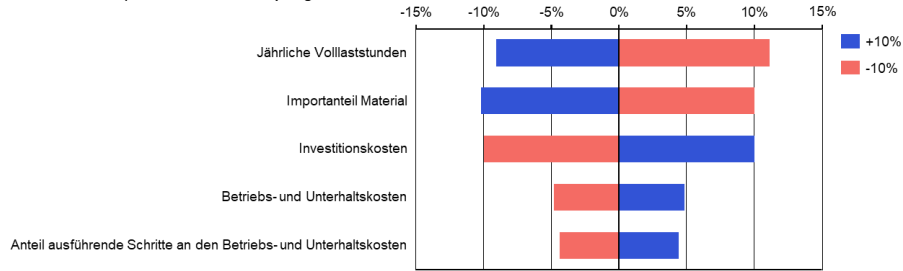


Abbildung A. 5. Stromgestehungskosten von Wind berechnet anhand der Investitions- und Unterhaltskosten sowie dem spezifischen Ertrag.

a) Arbeitsplätze im Jahr 2035



b) Inländische Wertschöpfung über Lebensdauer



c) Volkswirtschaftliche Kosten

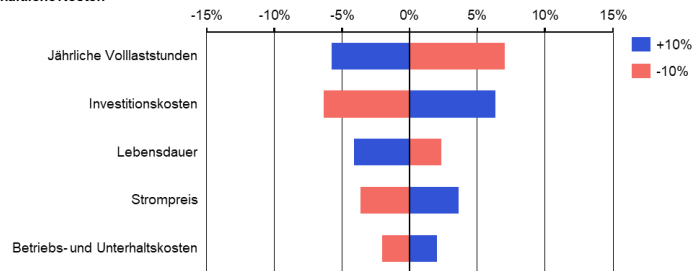


Abbildung A. 6. Sensitivitäten der Windstrom-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Wind-Anlagen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.

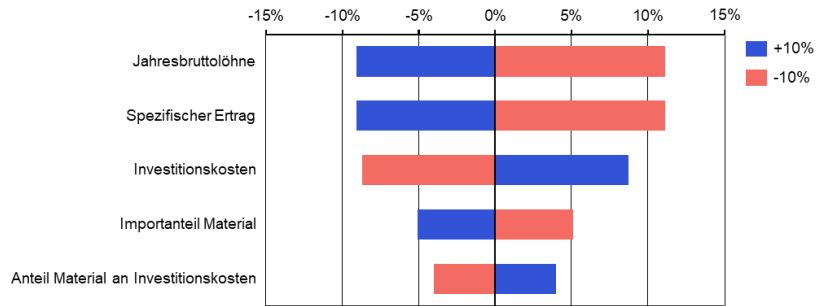
A. 4. Solarthermie

Die Solarthermie-Kapazität für Warmwasser wird bis 2035 von 0.73 Terawattstunden im Jahr 2019 exponentiell auf 1.25 Terawattstunden pro Jahr im Referenzszenario gesteigert. Dieser Wert wird von Jakob et al. (2020) hergeleitet, die in ihrem Referenzszenario eine Endenergienachfrage nach Solarwärme von rund 2.5 Terawattstunden im Jahr 2035 modellieren. Hier wird nun angenommen, dass die Hälfte dieser Wärmeproduktion für Warmwasser eingesetzt wird. Für das Ausbauszenario wird angenommen, dass der Ausbau der solarthermischen Warmwasserproduktion doppelt so schnell geschieht und bis im Jahr 2035 exponentiell auf 2.5 Terawattstunden pro Jahr steigt. Da hier nur die Warmwasserproduktion berechnet wird, ist diese Massnahme unabhängig von den Massnahmen «Erneuerbarer Heizungsersatz» und «Energetische Gebäudesanierungen».

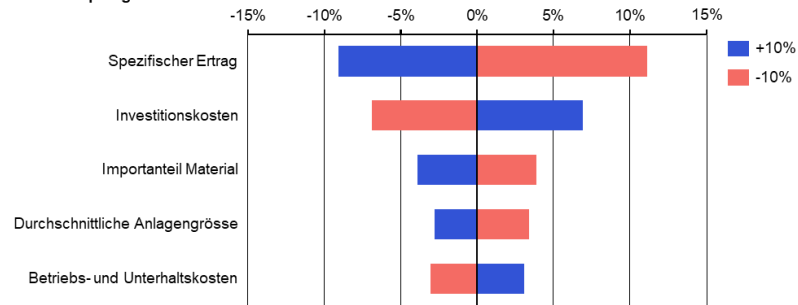
Tabelle A. 4. Daten und Annahmen für Solarthermie.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentare und Annahmen
Solarthermische Produktion 2019	0.73 [TWh]	(BFE, 2020e)	
Solarthermische Produktion 2035 - Referenzszenario	1.25 [TWh]	(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Jakob et al. (2020) sagen 5 TWh Solarthermie für Raumwärme und Warmwasser bis 2050 voraus. Hier wird angenommen, dass bis 2035 die Hälfte des Potentials für Warmwasser gebraucht wird. Exponentieller Zuwachs
Solarthermische Produktion 2035 - Ausbauszenario	2.5 [TWh]		Doppelter Ausbau im Vergleich zum Referenzszenario Exponentieller Zuwachs
Lebensdauer	30 [a]		
Grösse durchschnittliche Anlage für Warmwasser	6 [m ²]	Energieheld.ch	
Spezifischer Ertrag	485.5 [kWh/m ² a]	(BFE, 2020e)	Gewichteter Durchschnitt aus den verschiedenen Kollektortypen und deren installierter Fläche
Durchschnittliche Investitionskosten	1'800 [CHF/m ²]	Energieheld.ch	
Aufteilung der Investitionskosten		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	
– Material	64%		
– Planung	13%		
– Montage	23%		
Importanteil Kollektoren	56%	(BFE, 2020e)	Gewichteter Durchschnitt aus den verschiedenen Kollektortypen und deren installierter Fläche
Durchschnittliche Unterhaltskosten	100 [CHF/a]	Energieheld.ch	
Jahresbruttolohn Planung	87'480 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 71.
Jahresbruttolohn Montage	74'616 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 41-43.
Jahresbruttolohn Unterhalt	78'588 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 33.
Jahresbruttolohn -Kollektorherstellung	73'423 [CHF/a]	(BFS, 2020b) Anteile der Branchen aus (Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 23 (48%) und NOGA 25 (52%).
Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ	1.5	(Rohrer, 2020)	

a) Arbeitsplätze im Jahr 2035



b) Inländische Wertschöpfung über Lebensdauer



c) Volkswirtschaftliche Kosten

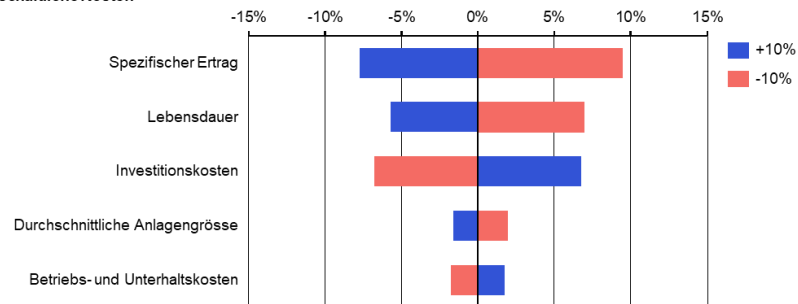


Abbildung A. 7. Sensitivitäten der Solarthermie-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Solarthermie-Anlagen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.

A. 5. Energetische Gebäudesanierungen

Die Sanierungsrate von energetischen Gebäudesanierungen beläuft sich auf 1% im Referenz- und 2% im Ausbauszenario. Das Referenzszenario entspricht somit dem «Weiter wie bisher»-Szenario der Energieperspektiven 2050+ und nicht dem Szenario ZERO Basis. Dies wurde so gewählt, da es wenige Gründe zur Annahme gibt, dass die Sanierungsrate im politischen und wirtschaftlichen Umfeld bis 2035 ohne grosse Anstrengungen substantiell erhöht werden könnte.

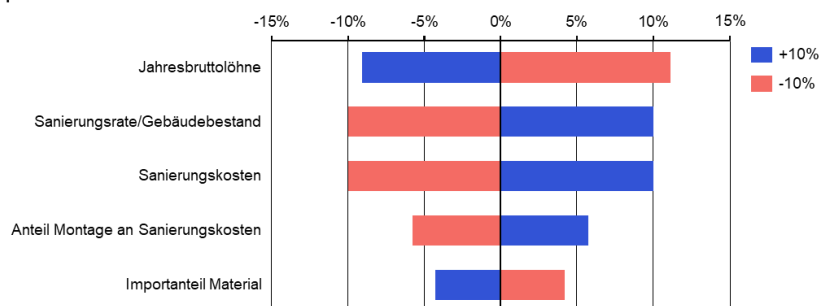
Es werden nur Gesamtsanierungen angenommen, was bedeutet, dass bei einer energetischen Gebäudesanierung alle Bauteile gedämmt und im Fall der Fenster ersetzt werden. Der Heizwärmebedarf sinkt nach einer Sanierung von durchschnittlich 85.6 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr auf 22.5 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr (BFE, 2021a). Für die Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die Heizkosten aus den Anteilen der verschiedenen Heizsystemen am Bestand aus der Massnahme «erneuerbarer Heizungsersatz» berechnet (siehe Abbildung A. 10 und Tabelle A. 7).

Tabelle A. 5. Daten und Annahmen für energetische Gebäudesanierungen.

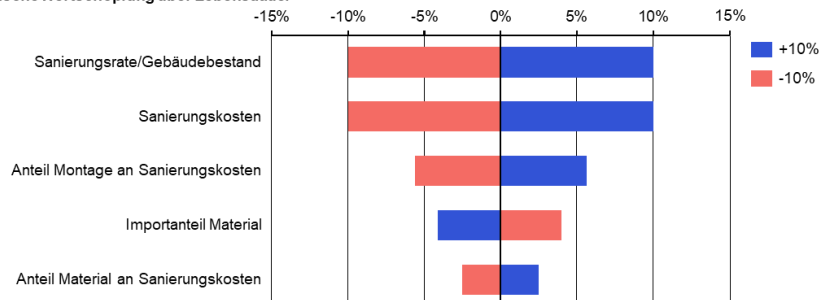
Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Durchschnittlicher Heizwärmebedarf 2020	85.6 [kWh/m ²]	(BFE, 2021a)	Berechnet aus Endenergieverbrauch Raumwärme 2020 (241 PJ) und EBF 2020
Grenzwert für den jährlichen Heizwärmebedarf bei Sanierung	22.5 [kWh/m ²]	Kantonale Energieverordnung (KE nV) 741.111 des Kantons Bern, Anhang 3	Gewichteter Durchschnitt aus 53% EFH und 47% MFH. Es wird angenommen, dass Gebäude nach einer energetischen Sanierung im Durchschnitt diesen Heizwärmebedarf aufweisen. Dies ist relevant für die Berechnung der volkswirtschaftlichen Kosten.
Sanierungsrate – Referenzszenario	1%		Der gewichtete Durchschnitt der Sanierungsrate in den Energieperspektiven 2050+ für alle Szenarien über die Jahre 2021 bis 2035 für 53% EFH und 47% MFH beträgt 0.98% (Prognos <i>et al.</i> , 2021a).
Sanierungsrate – Ausbauszenario	2 Mal Sanierungsrate im Referenzszenario		
Lebensdauer	50 [a]		
Durchschnittliche Investitionskosten pro saniertem Gebäude	117'500 [CHF]		Berechnet anhand Kosten pro Bauteil und Quadratmeter aus Sigrist <i>et al.</i> (2016) und Quadratmeter pro Bauteil aus Siegart <i>et al.</i> (2020)
Aufteilung der Investitionskosten		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Fenster machen 9% des Materials aus.
– Planung	13%		
– Ausführung	40%		
– Material	47%		
Importanteil			
– Fenster	33%	<i>Fenster:</i> Persönliche Kommunikation mit Egokiefer 14.04.2021 und (Havelka and Neubauer-Letsch, 2017)	
– Dämmmaterial	35%	<i>Dämmmaterial:</i> Persönliche Kommunikation mit Flumroc (19.05.2021) und Swisspor (12.04.2021)	

Jahresbruttolohn Planung	87'480 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 71.
Jahresbruttolohn Montage	74'616 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 41-43.
Jahresbruttolohn Materialherstellung	72'699 [CHF/a]	(BFS, 2020b) Anteile der Branchen aus (Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 22 (44,7%), NOGA 23 (44,7%) und NOGA 25 (10,6%). Der Bruttolohn in der Fensterproduktion ist nicht separat ausgewiesen, da er sich im gleichen Rahmen bewegt, wie der hier berechnete Jahresbruttolohn.
Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ	1.5	(Rohrer, 2020)	

a) Arbeitsplätze im Jahr 2035



b) Inländische Wertschöpfung über Lebensdauer



c) Volkswirtschaftliche Kosten

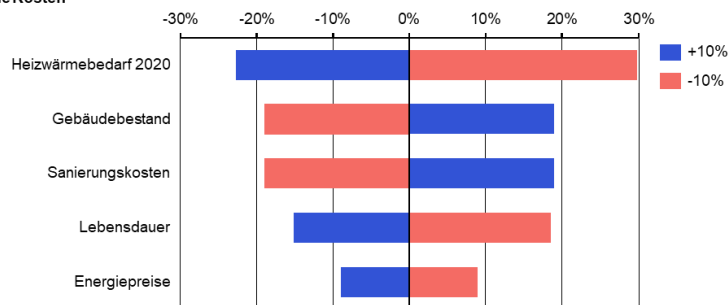


Abbildung A. 8. Sensitivitäten der Gebäudesanierungs-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Sanierungen und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.

A. 6. Erneuerbarer Heizungsersatz

Beim erneuerbaren Heizungsersatz werden Öl- und Gasheizungen im Ausbauszenario exklusiv durch erneuerbare Heizsysteme ersetzt, während im Referenzszenario auch wieder fossile Technologien zum Zug kommen können. Das Referenzszenario orientiert sich am Referenzszenario von Jakob et al. (2020), da die Energieperspektiven 2050+ die Anteile der verschiedenen Technologien beim Heizungsersatz nicht spezifizieren. Für die beiden Szenarien wurden aber die Anteile der Ölheizungen am Bestand berechnet unter der Annahme, dass keine Ölheizungen in Neubauten eingesetzt werden, und mit den Anteilen in den Energieperspektiven 2050+ verglichen. Die Kurve für das Referenzszenario und die Energieperspektiven 2050+, ZERO Basis sind vergleichbar.

Im Referenzszenario werden im Jahr 2020 beim fossilen Heizungsersatz immer noch 41% Öl- und 25% Gasheizungen eingebaut (siehe Tabelle A. 6). Diese Werte sinken bis 2035 auf 6% und 15%. Der Anteil an Wärmepumpen und Holzheizungen, welche beim fossilen Heizungsersatz gewählt werden, liegen 2020 bei 20% und 10% und verändern sich bis 2035 auf 72% und 4%. Fernwärme wird beim fossilen Heizungsersatz 2020 zu 4% und 2035 zu 3% gewählt, während neue elektrische Widerstandsheizungen nicht mehr eingesetzt werden.

Im Ausbauszenario wird angenommen, dass die absolute Anzahl Fernwärmeanschlüsse gleich bleibt wie im Referenzszenario. Die verbleibenden zu ersetzenden fossilen Heizsysteme werden zu 90% mit Wärmepumpen und zu 10% mit Holzpellettheizungen ersetzt. Abbildung A. 10 zeigt, wie sich die Anteile der verschiedenen Heizsysteme am Bestand verändert.

Tabelle A. 6. Daten und Annahmen für den erneuerbaren Heizungsersatz.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Endenergieverbrauch Raumwärme 2020	66.9 [TWh/a]		
Endenergieverbrauch Raumwärme 2035 – Referenzszenario	59.5 [TWh/a]		Berechnet in «energetische Gebäudesanierungen»
Endenergieverbrauch Raumwärme 2035 – Ausbauszenario	44.6 [TWh/a]		Berechnet in «energetische Gebäudesanierungen»
Heizungsersatzrate	4%	(WWF Schweiz, 2016)	Berechnet nach Lebensdauer von 25 Jahren
Anteil Heizsystem an Bestand 2020		(Prognos <i>et al.</i> , 2021a),	
– Ölheizung	32.9%		
– Gasheizung	27.0%		
– Wärmepumpe	19.7%		
– Holzheizung	9.0%		
– Fernwärme	5.7%		
– El. Widerstandsheizung	5.6%		
Anteil bei Ersatz 2020 – Referenzszenario	30%	(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	
– Ölheizung	25%		
– Gasheizung	28%		
– Wärmepumpe	8%		
– Holzheizung	9%		
– Fernwärme	0%		
– El. Widerstandsheizung			
Anteil bei Ersatz 2035 – Referenzszenario		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Annahme: lineare Entwicklung ab 2020
– Ölheizung	1%		
– Gasheizung	10%		
– Wärmepumpe	72%		
– Holzheizung	2%		
– Fernwärme	15%		

Anteil bei Ersatz 2020 – Ausbau-szenario			Annahme: Entwicklung für Fernwärme analog Referenzszenario, die anderen Heizsysteme werden zu 90% mit Wärmepumpen und zu 10% mit Holzpelletheizungen ersetzt.
– Wärmepumpe	81.5%		
– Holzheizung	9.1%		
– Fernwärme	9.0%		
Anteil bei Ersatz 2035 – Ausbau-szenario			Annahme: lineare Entwicklung ab 2020 Annahme: Entwicklung für Fernwärme analog Referenzszenario, die anderen Heizsysteme werden zu 90% mit Wärmepumpen und zu 10% mit Holzpelletheizungen ersetzt.
– Wärmepumpe	76.5%		
– Holzheizung	8.5%		
– Fernwärme	15.0%		
Lebensdauer	25 [a]	(WWF Schweiz, 2016)	
Anteile Wärmepumpen 2020		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Annahme: lineare Entwicklung
– Luft-Wasser WP	90% (2020), 77% (2035)		
– Sole WP	10% (2020), 23% (2035)		
Jahresarbeitszahl Wärmepumpe 2020	3.5 (2020), 5.7 (2035)	(Siegwart <i>et al.</i> , 2020)	Gewichtete Durchschnitte aus den Anteilen der verschiedenen Wärmepumpentypen Annahme: lineare Entwicklung
Investitionskosten von Wärmepumpen	50'900 [CHF] (2019), 53'370 [CHF] (2035)	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichtete Durchschnitte aus den Anteilen der verschiedenen Wärmepumpentypen sowie 57% EFH und 42% MFH Annahme: lineare Entwicklung
Aufteilung der Investitionskosten von Wärmepumpen		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	
– Planung	13%		
– Ausführung	40%		
– Material	41%		
– Bewilligung (öff. Verwaltung)	6%		
Importanteil Wärmepumpen	85%	Persönliche Kommunikation mit Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz vom 25.03.2021	
Unterhaltskosten von Wärmepumpen	250 [CHF/a] (2019), 230 [CHF/a] (2035)	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichtete Durchschnitte aus den Anteilen der verschiedenen Wärmepumpentypen sowie 57% EFH und 42% MFH Annahme: lineare Entwicklung
Jahresnutzungsgrad Holzpelletheizung	90%	Erneuerbarheizen.ch	
Strombedarf Holzpelletheizung	0.015 [kWhel/kWhth]	(WWF Schweiz, 2016)	
Investitionskosten von Holzpelletheizungen	48 000 [CHF]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Aufteilung der Investitionskosten von Holzpelletheizungen		(Jakob <i>et al.</i> , 2020)	
– Planung	13%		
– Ausführung	39%		
– Material	47%		
Importanteil Holzpelletheizungen	100%	Persönliche Kommunikation mit propellets vom 23.03.2021	
Unterhaltskosten von Holzpelletheizungen	800 [CHF/a]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Aufteilung der Unterhaltskosten von Holzpelletheizungen		(WWF Schweiz, 2016)	
– Service und Reparatur	75%		
– Kaminfeger	25%		
Jahresnutzungsgrad Ölheizung	90%	Erneuerbarheizen.ch	
Strombedarf Ölheizung	0.013 [kWhel/kWhth]	(WWF Schweiz, 2016)	

Investitionskosten von Ölheizungen	44 000 [CHF]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Unterhaltskosten von Ölheizungen	980 [CHF/a]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Jahresnutzungsgrad Gasheizung	92%	Erneuerbarheizen.ch	
Strombedarf Gasheizung	0,01 [kWhel/kWhth]	(WWF Schweiz, 2016)	
Investitionskosten von Gasheizungen	38 000 [CHF]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Unterhaltskosten von Gasheizungen	460 [CHF/a]	(WWF Schweiz, 2016)	Gewichteter Durchschnitt aus 57% EFH und 42% MFH
Jahresbruttolohn Planung	87'480 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 71.
Jahresbruttolohn Montage	74'616 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 41-43.
Jahresbruttolohn Materialherstellung	78'893 [CHF/a]	(BFS, 2020b) Anteile der Branchen aus (Jakob <i>et al.</i> , 2020)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 24 (2%), NOGA 25 (43%), NOGA 26 (9%), NOGA 28 (44%) und NOGA 33 (3%). Anteile entsprechen dem Durchschnitt aus den Anteilen für Öl-, Gas-, Holzheizungen und Wärmepumpen nach (Jakob <i>et al.</i> , 2020).
Jahresbruttolohn Unterhalt	78'588 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 33.
Jahresbruttolohn Kaminfeger	60'732 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 81.
Jahresbruttolohn öffentliche Verwaltung	99'096 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 84.
Jahresbruttolohn Stromversorgung	98'388 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 35.
Jahresbruttolohn Holzindustrie	72'540 [CHF/a]	(BFS, 2020b)	Jahresbruttolohn berechnet anhand dem Monatsbruttolohn für NOGA 16.
Faktor zur Berücksichtigung weiterer Kosten pro VZÄ	1.5	(Rohrer, 2020)	

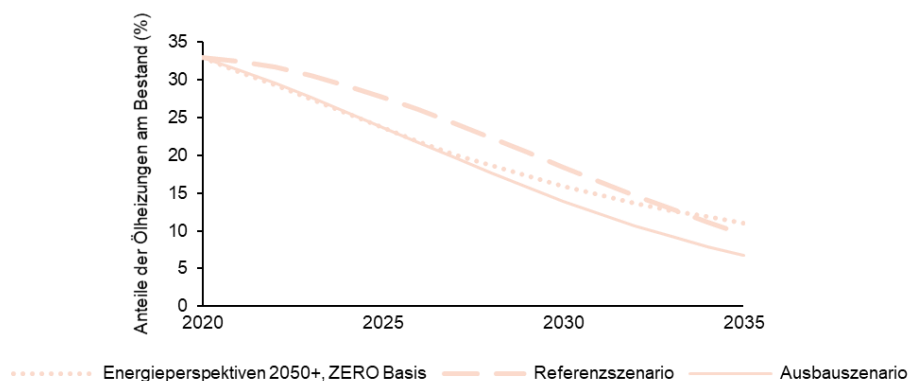


Abbildung A. 9. Anteile der Ölheizungen am Gebäudebestand (inklusive Neubauten) im Ausbauszenario (durchgezogene Linie), Referenzszenario (gestrichelte Linie) und in den Energieperspektiven 2050, ZERO Basis (gepunktete Kurve) (Prognos *et al.*, 2021b).

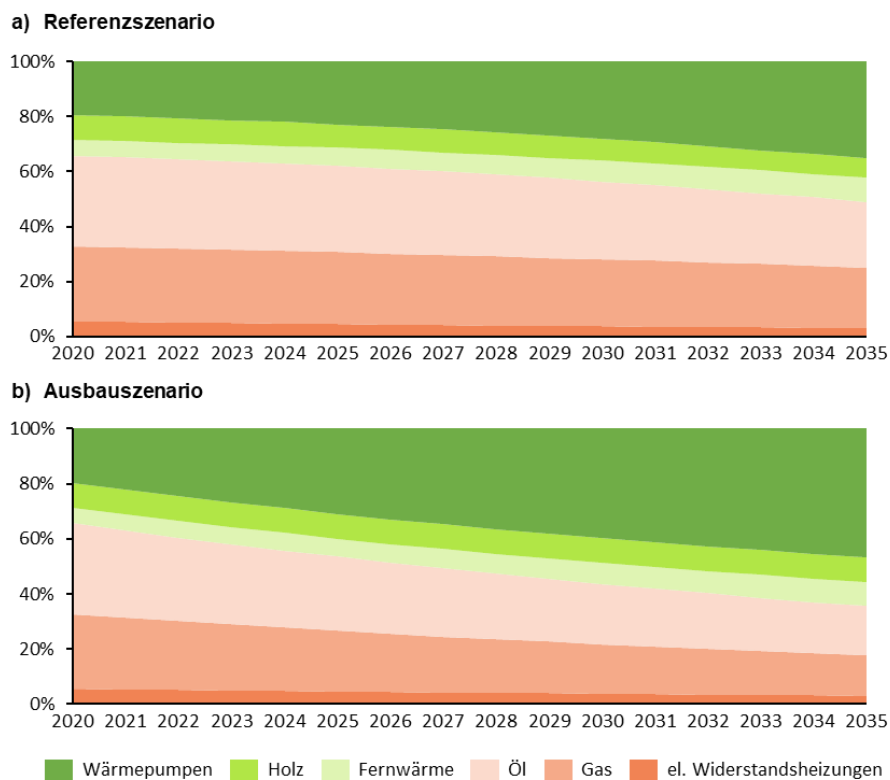


Abbildung A. 10. Anteile der verschiedenen Heizsysteme am Bestand a) im Referenzszenario und b) im Ausbauszenario ohne Neubauten ab 2020.

Tabelle A. 7. Energiepreise zur Berechnung der Heizkosten.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Strompreis 2019	115 [CHF/MWh]	(ECom, 2020)	Enthält Stromgestehungspreis von 79 CHF/MWh, 23 CHF/MWh Förderabgabe für erneuerbare Energien, 13 CHF/MWh Abgaben ans Gemeinwesen. Netzkosten werden vernachlässigt.
Strompreis – Anteil Steuern und Abgaben	30%	(ECom, 2020)	36 CHF/MWh von 115 CHF/MWh
Erdgaspreis 2019	102 [CHF/MWh]	(BFE, 2020d)	Gaspreis schwankt analog dem internationalen Gaspreis nach (BFE, 2021a)
Erdgaspreis – Anteil Steuern und Abgaben	23%		Mehrwertsteuer. und 1.741 Rp./kWh CO ₂ -Abgabe
Heizölpreis 2019	90.5 [CHF/MWh]	(BFE, 2020d)	Heizölpreis schwankt analog dem internationalen Rohölpreis nach (BFE, 2021a)
Heizölpreis – Anteil Steuern und Abgaben	25%		Mehrwertsteuer. und 25.44 Rp./l CO ₂ Abgabe und 0.3 Rp./l Mineralölsteuer
Holzpelletpreis 2019	75 [CHF/MWh]	Pelletpreis.ch	Annahme: gekoppelt an den internationalen Rohölpreis
Holzpelletpreis – Importanteil	20%	Persönliche Kommunikation mit propellets 23.03.2021	
Holzpelletpreis – Anteil Steuern und Abgaben	7.7%		Mehrwertsteuer

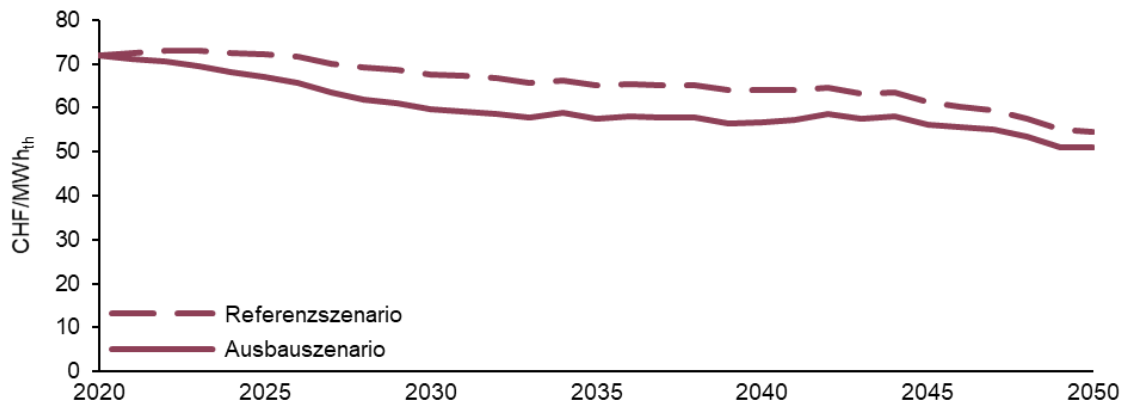


Abbildung A. 11. Berechnete Entwicklung der Heizkosten von Altbauten anhand der Anteile der Heizsysteme am Bestand in Abbildung A. 10 und den Energiepreisen in Tabelle A. 7.

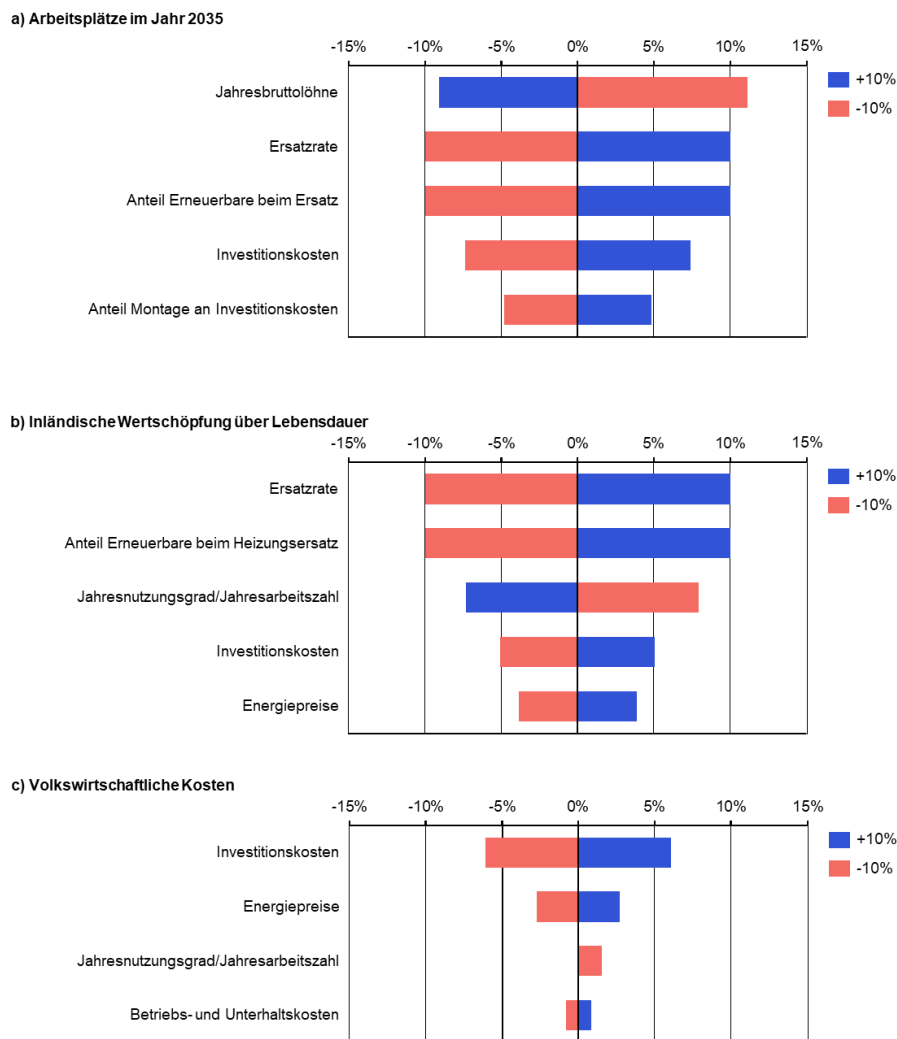


Abbildung A. 12. Sensitivitäten der Heizungsersatz-Resultate a) für die Arbeitsplätze im Jahr 2035, b) für die inländische Wertschöpfung über die Lebensdauer der Heizsysteme und c) für die volkswirtschaftlichen Kosten. Die Grafiken zeigen auf, wie die Resultate auf die Variation der fünf wichtigsten Parameter von plus 10 Prozent (in blau) und minus 10 Prozent (in rot) reagieren. Es werden jeweils die Durchschnittsvariation der Resultate für das Referenz- und Ausbauszenario gezeigt.

A. 7. Energieeffizienz im Strombereich

Die Analyse der Energieeffizienz im Strombereich beinhaltet die wirtschaftliche Analyse von Effizienzmassnahmen bei stromverbrauchenden Geräten mehrheitlich im Bereich Haushalt aber auch in der Industrie. Die Geräte sind in vier Gruppen eingeteilt nach den vier Kategorien «Prozesswärme im Haushalt», «Beleuchtung», «Antriebe im Haushalt» und «industrielle Antriebe», wie sie in Publikationen wie der Gesamtenergiestatistik oder den Energieperspektiven 2050+ benutzt werden (BFE, 2020d, 2020a).

Zur Kategorie «Prozesswärme im Haushalt» gehören Kochherde und Backofen, wobei sich die vorliegenden Berechnungen auf Kochherde konzentrieren. Im Referenzszenario wird angenommen, dass beim Ersatz von Kochherden 33.3 Prozent durch Induktionsherde und 66.7 Prozent durch Glaskeramikherde ersetzt werden. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass bei Ersatz alle Kochherde mit Induktionsherden ersetzt werden. In beiden Szenarien werden Effizienzgewinne bis 2035 angenommen.

Zur Kategorie «Beleuchtung» gehören alle Leuchtmittel in privaten Haushalten, sowie Dienstleistungs- und Industriegebäuden. Im Referenzszenario wird angenommen, dass beim Ersatz die Leuchtmittel zur Hälfte durch Leuchtdioden (LED) und zur Hälfte durch Kompaktleuchtstofflampen (*Compact fluorescent lamp*, CFL) ersetzt werden. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass bei Ersatz ausschliesslich LED zum Zug kommen. In beiden Szenarien werden Effizienzgewinne bis 2035 angenommen.

Zur Kategorie «Antriebe und Prozesse in Haushalten» gehören alle Haushaltsgrossgeräte wie Kühlschränke, Tiefkühler, Waschmaschinen, Tumbler und Geschirrspüler. Im Referenzszenario wird angenommen, dass die Haushaltsgeräte beim Ersatz durch die heute beliebtesten Geräte ersetzt werden. Zur Ermittlung der Beliebtheit der Geräte wurden Kundenbewertungen im Internet benutzt. Im Ausbauszenario wird angenommen, dass die Haushaltsgeräte beim Ersatz durch die heute effizientesten Geräte ersetzt werden. In beiden Szenarien werden Effizienzgewinne bis 2035 angenommen. Kleine Haushaltsgeräte werden aufgrund der schlechten Datenlage und deren teilweise kleinem Anteil am Stromverbrauch und den Kosten nicht berücksichtigt. Ausserdem werden Informations- und Kommunikationstechnologien sowie Unterhaltungsmedien, wie PCs und Handys, nicht berücksichtigt, da die Preis- und Effizienzentwicklungen sowie deren Durchdringung unklar sind.

Tabelle A. 8. Daten und Annahmen für Energieeffizienz im Strombereich.

Grösse	Wert	Quelle	Kommentar
Lebensdauer Kochherde	15 [a]	(SRF Kassensturz, 2011)	
Anzahl Kochherde pro Haushalt	1		
Jährliche Stromnachfrage Kochherde 2021		(Dallmus, 2019; BFS, 2020c)	Die Stromnachfrage von Glaskeramikherden wird anhand der durchschnittlichen Haushaltsgrösse von 2.21 Personen (BFS, 2020c) und der jährlichen Stromnachfrage für Kochherde von 200 kWh für einen 2-Personenhaushalt und 600 kWh für einen 4-Personenhaushalt berechnet (Dallmus, 2019).
Induktionsherd	194 [kWh]		Die jährliche Stromnachfrage entspricht alleinstehenden Vierer-Kochfeldern. Es wird angenommen, dass Backofen-Herd-Kombinationen jährlich zwar mehr Strom verbrauchen, aber dass der Unterschied im Stromverbrauch zwischen Kombinationen mit Induktion und Glaskeramik gleichbleibt.
Glaskeramikherd	242 [kWh]		
Jährliche Effizienzzunahme Kochherde	0.4%	(Griffin, Ramsson and Gibson, 2012)	

Stückpreis Induktionsherd	495 [CHF]	(Nettoshop, 2021)	Abzüglich Mehrwertsteuer. Die Preise sind für alleinstehende Vierer-Kochfelder. Es wird angenommen, dass Backofen-Herd-Kombinationen zwar teurer sind, aber dass der Preisunterschied zwischen Kombinationen mit Induktion und Glaskeramik gleichbleibt.
Glaskeramikherd	380 [CHF]	(Brack.ch, 2021)	
Anzahl Leuchtmittel pro Haushalt	23	(Heidari <i>et al.</i> , 2018)	Die Anzahl Leuchtmittel in Dienstleistungs- und Industriegebäuden wird anteilmässig anhand der Energiebezugsflächen von Haushalten, Dienstleistungs- und Industriegebäuden von BFE (2020a) umgerechnet.
Anteile Leuchtmittel 2017		(Heidari <i>et al.</i> , 2018)	
– Glühbirnen	27%		
– Halogen	30%		
– CFL	29%		
– LED	14%		
Lebensdauer Beleuchtung		(Heidari <i>et al.</i> , 2018)	
– Glühbirne	1.5 [a]		
– Halogen	2 [a]		
– CFL	8 [a]		
– LED	17 [a]		
Jährliche Stromnachfrage Beleuchtung 2017		(Heidari <i>et al.</i> , 2018; Gross and Bush, 2021)	Berechnet aus 1'000 Stunden Brenndauer pro Jahr (Gross and Bush, 2021) und durchschnittlicher Leistung (Heidari <i>et al.</i> , 2018).
– CFL	15 [kWh]		
– LED	8.5 [kWh]		
Effizienzzunahme 2021 bis 2035 Beleuchtung		(Heidari <i>et al.</i> , 2018)	Exponentielle Effizienzzunahme.
– CFL	Keine		
– LED	5.2%		
Stückpreis			Abzüglich Mehrwertsteuer. Preis für 700-800 Lumen.
– CFL	3.49 [CHF]	(Budgetlight, 2021b)	
– LED	4.52 [CHF]	(Budgetlight, 2021a)	
Lebensdauer weitere Geräte			
– Kühlschrank	18 [a]	(Lutz <i>et al.</i> , 2011)	
– Tiefkühler	21 [a]	(Hennies and Stamminger, 2016)	
– Waschmaschine	10 [a]	(Lekov, Franco and Meyers, 2014)	
– Tumbler	16 [a]	(Tecchio, Ardente and Mathieux, 2019)	
– Geschirrspüler	10 [a]		
Anzahl weitere Geräte		(de Haan, Kissling and Wolfensberger, 2012)	Für Waschmaschinen wurde der Wert berechnet anhand der Anzahl Waschmaschinen in der Schweiz von 3.5 Millionen (Rochat, Berger-Wey and Bush, 2021) und der Anzahl Haushalte, da (de Haan, Kissling and Wolfensberger, 2012) den Zugang zu einer Waschküche mitzählen.
– Kühlschrank	1.16		
– Tiefkühler	0.93		
– Waschmaschine	0.62		
– Tumbler	0.79		
– Geschirrspüler			
Effizienzzunahme 2021 bis 2035 weitere Geräte	33.75%	(Michel, Attali and Bush, 2016)	

Tabelle A. 9. Preis- und Stromverbrauchsdaten für die Geräte der Kategorie «Antriebe und Prozesse in Haushalten». Die Preisdaten sind exklusiv der Mehrwertsteuer. Für die beliebtesten Geräte wurden die Bestseller von frankenspalter.ch und netto-shop.ch gewählt und deren jährlichen Stromverbrauch mit den Angaben von Prognos et al. (2021a) abgeglichen. Die effizientesten Geräte wurden anhand von topten.ch definiert.

Gerät	Typ	Preis	Jährlicher Stromverbrauch
Kühlschrank	Beliebtestes Gerät	1019.3 [CHF]	174 [kWh]
	Effizientestes Gerät	1130.9 [CHF]	151 [kWh]
Tiefkühler (Gefrierschränke und -truhen)	Beliebtestes Gerät	585.5 [CHF]	151 [kWh]
	Effizientestes Gerät	690.6 [CHF]	136 [kWh]
Waschmaschine	Beliebtestes Gerät	636.0 [CHF]	152 [kWh]
	Effizientestes Gerät	783.4 [CHF]	91 [kWh]
Tumbler	Beliebtestes Gerät	728.2 [CHF]	176 [kWh]
	Effizientestes Gerät	1475.9 [CHF]	138 [kWh]
Geschirrspüler	Beliebtestes Gerät	912.8 [CHF]	234 [kWh]
	Effizientestes Gerät	1106.7 [CHF]	214 [kWh]

Tabelle A. 10. Technische und Kostendaten für industrielle Antriebe. Alle Daten stammen direkt von Werle und Hangartner (2020) oder wurden anhand ihrer Daten berechnet.

Grösse	Wert
Jährliche Betriebsstunden	4500 [h]
Lastfaktor	0.7
Anzahl ersetzter Motoren 2019	
– <0.75 kW	
– 0.75-375 kW	102'623
– > 375 kW	82'527
	252
Nutzungsdauer	
– <0.75 kW	10 [a]
– 0.75-375 kW	15 [a]
– > 375 kW	20 [a]
Durchschnittliche Motorenleistung	
– <0.75 kW	0.38 [kW]
– 0.75-375 kW	11.77 [kW]
– > 375 kW	611.11 [kW]
Preis	
– IE2	175 [CHF/kW]
– IE3	202 [CHF/kW]
– IE4	232 [CHF/kW]
Anteile der Effizienzklassen an ersetzten Motoren 2019	
– IE1	1%
– IE2	53%
– IE3	43%
– IE4	3%
Durchschnittlicher Wirkungsgrad IE3-Motoren	
– <0.75 kW	73.7%
– 0.75-375 kW	89.3%
– > 375 kW	96.0%
Durchschnittlicher Wirkungsgrad IE4-Motoren	
– <0.75 kW	77.8%
– 0.75-375 kW	91.2%
– > 375 kW	96.7%

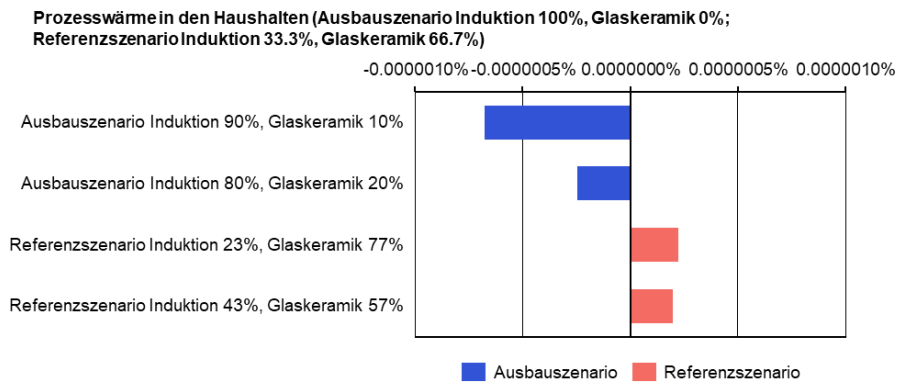
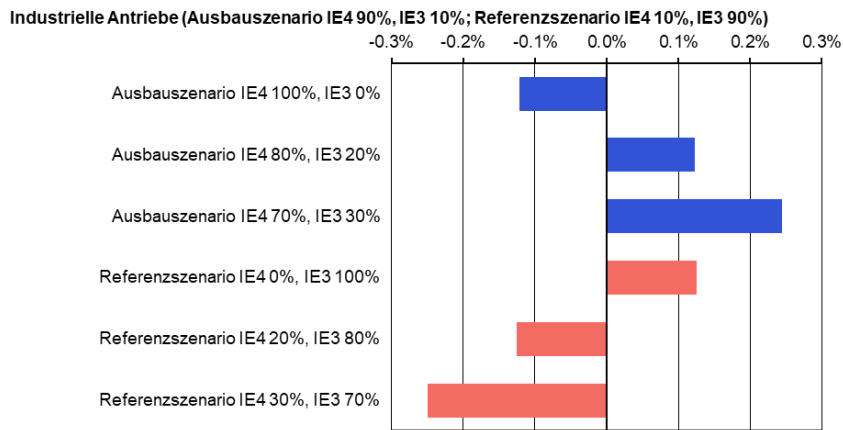
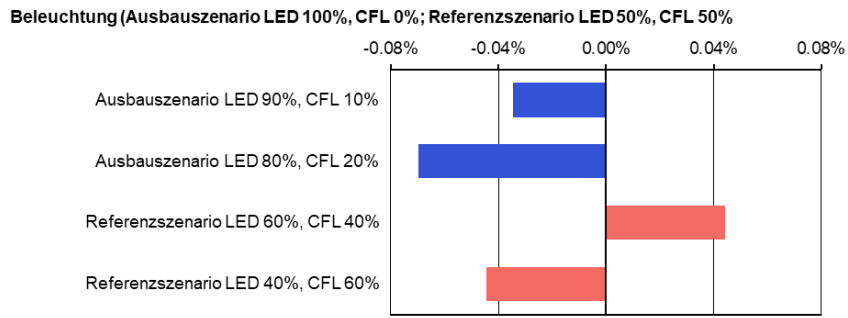


Abbildung A. 13. Sensitivitäten der volkswirtschaftlichen Kosten auf Veränderungen im Ausbauszenario (in blau) und im Referenzszenario (in rot) im Bereich a) der Beleuchtung, b) der industriellen Antriebe und c) der Prozesswärme in den Haushalten.