

Stromgesetz: Einfluss auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz



Foto: Colourbox.de/Hannu Viitanen

<https://doi.org/10.21256/zhaw-2523>

April 2024

Impressum

Diese Studie wurde im Auftrag der Schweizerischen Energie-Stiftung SES erstellt.

Datum: 26.04.2024

Kontakt: Jürg Rohrer, juerg.rohrer@zhaw.ch

Autoren: Jürg Rohrer, Natalie Stalder, Muriel Siegwart

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

Zusammenfassung

Das Stromgesetz hat zum Ziel, die Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energiequellen bis 2035 auf 35 TWh und bis 2050 auf 45 TWh zu erhöhen, um die Abhängigkeit von Stromimporten zu verringern. Zusätzlich wird eine Einsparung des Stromverbrauchs von 2 TWh gefordert.

Diese Studie untersucht, wie das Stromgesetz durch die Förderung der Stromproduktion aus erneuerbaren Quellen wie Sonne, Wind und Biomasse dazu beitragen kann, bis 2050 netto null Treibhausgasemissionen zu erreichen. Dazu werden die Auswirkungen des Stromgesetzes auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2035 unter zwei verschiedenen Annahmen analysiert:

- a) Die Dekarbonisierung wirkt als Treiber für den Ausbau der fossilen Stromproduktion
- b) Der Ausbau der Stromproduktion wirkt als Treiber für die Dekarbonisierung

Die Analyse zeigt, dass ohne das Stromgesetz die Umstellung auf strombasierte Technologien wie Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge zu einer ungedeckten Stromnachfrage führen würde, die entweder durch (unsichere) Importe oder den Bau von fossilen Kraftwerken in der Schweiz gedeckt werden müsste. Dies würde die Treibhausgasemissionen erhöhen.

Unter der Annahme a, dass die Dekarbonisierung unabhängig von der verfügbaren Strommenge voranschreitet, könnten mit der Umsetzung des Stromgesetzes in den ersten zehn Jahren insgesamt etwa 75 Millionen Tonnen Treibhausgasemissionen im Inland eingespart werden, weil auf die Stromproduktion mit Gaskraftwerken verzichtet werden kann. Bei Einbezug der Emissionen bei der Förderung und dem Transport von Erdgas oder LNG-Gas können sich die vermiedenen Emissionen je nach Herkunft des Erdgases verdoppeln.

Unter der alternativen Annahme b, dass die Dekarbonisierung des Verkehrs- und des Gebäudesektors nur in dem Masse erfolgt, wie genügend erneuerbarer Strom aus inländischer Produktion zur Verfügung steht, könnten bei Annahme des Stromgesetzes bis 2035 kumulierte Emissionseinsparungen von etwa 100 Millionen Tonnen CO₂eq erzielt werden.

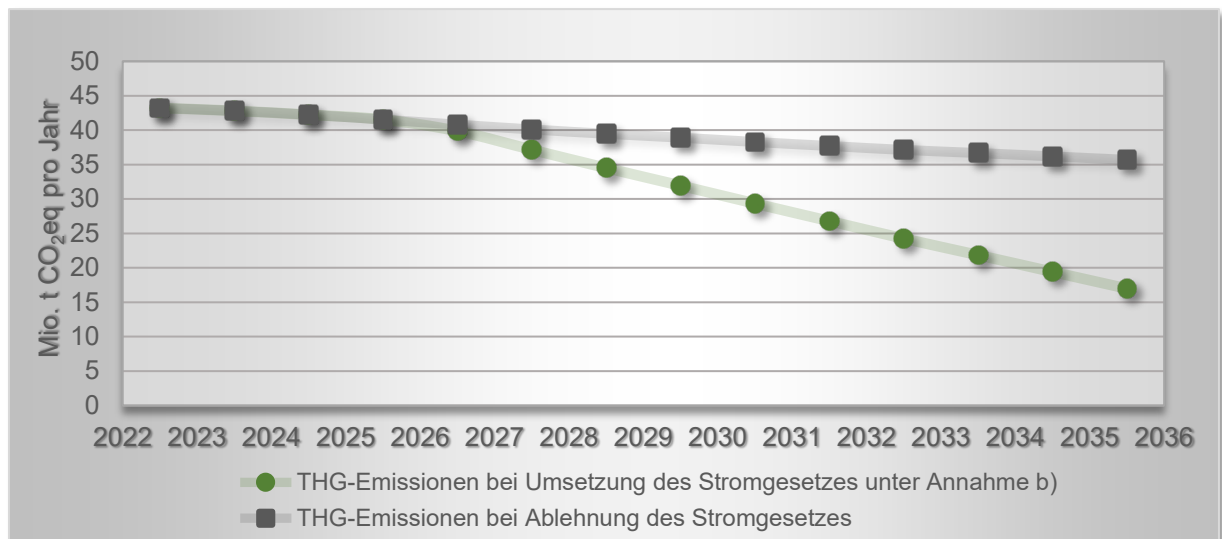


Abbildung 1: Die Treibhausgasemissionen der Schweiz nehmen bei einer Ablehnung des Stromgesetzes gegenüber heute nur leicht ab (graue Linie). Mit der Umsetzung des Stromgesetzes (grün) und der damit verbundenen Dekarbonisierung des Verkehrs und des Gebäudesektors (Annahme b) können die Treibhausgasemissionen im Inland bis 2035 um etwa 50% reduziert werden.

Abbildung 1 zeigt die erwartete Entwicklung der Treibhausgasemissionen der Schweiz bei Umsetzung (grün) und bei Ablehnung des Stromgesetzes (grau) unter der Annahme b. Bei Umsetzung des Stromgesetzes könnten die jährlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2035 gegenüber einem «Weiter wie bisher» Szenario auf etwa die Hälfte reduziert werden.

Falls das Parlament nach einer allfälligen Ablehnung des Stromgesetzes ein «Ersatz-Stromgesetz» verabschiedet, kann dieses voraussichtlich erst mit einer Verzögerung von mindestens drei Jahren, d.h. frühestens 2028 in Kraft treten. Sollte auch dagegen das Referendum ergriffen werden, würden sich weitere Verzögerungen ergeben. Ein solches Ersatzgesetz könnte – primär aufgrund der Verzögerung – bis 2035 nur noch 10 bis maximal 40 % der Wirkung des Stromgesetzes erzielen.

Hier zeigt sich das grosse Dilemma der Schweiz sehr deutlich: Je später mit einer wirksamen Reduktion der Treibhausgasemissionen begonnen wird, desto drastischere Massnahmen sind nötig, die dann aber im Parlament und bei allfälligen Volksabstimmungen nur schwer Mehrheiten finden. Mit anderen Worten: Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes droht der Schweiz im Klimaschutz die Zeit davon zu laufen.

Résumé

La loi sur l'électricité a pour objectif d'augmenter la production d'électricité à partir de nouvelles sources d'énergie renouvelables pour atteindre 35 TWh d'ici 2035 et 45 TWh d'ici 2050, afin de réduire la dépendance vis-à-vis des importations d'électricité. En outre, elle inclut l'objectif de réduire la consommation d'électricité de 2 TWh.

Cette étude examine comment la loi sur l'électricité peut contribuer à atteindre des émissions nettes de gaz à effet de serre nulles d'ici 2050 en encourageant la production d'électricité à partir de sources renouvelables telles que le soleil, le vent et la biomasse. Pour ce faire, elle analyse les effets de la loi sur l'électricité sur les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse jusqu'en 2035 en posant deux hypothèses différentes :

- a) La décarbonisation stimule le développement de la production d'électricité fossile.
- b) Le développement de la production d'électricité promeut la décarbonisation

L'analyse montre que, sans la loi sur l'électricité, le passage à des technologies électriques telles que les pompes à chaleur et les véhicules électriques entraînerait une hausse de la demande en électricité, qui devrait être couverte soit par des importations (incertaines), soit par la construction de centrales à énergie fossile en Suisse. Cela augmenterait les émissions de gaz à effet de serre.

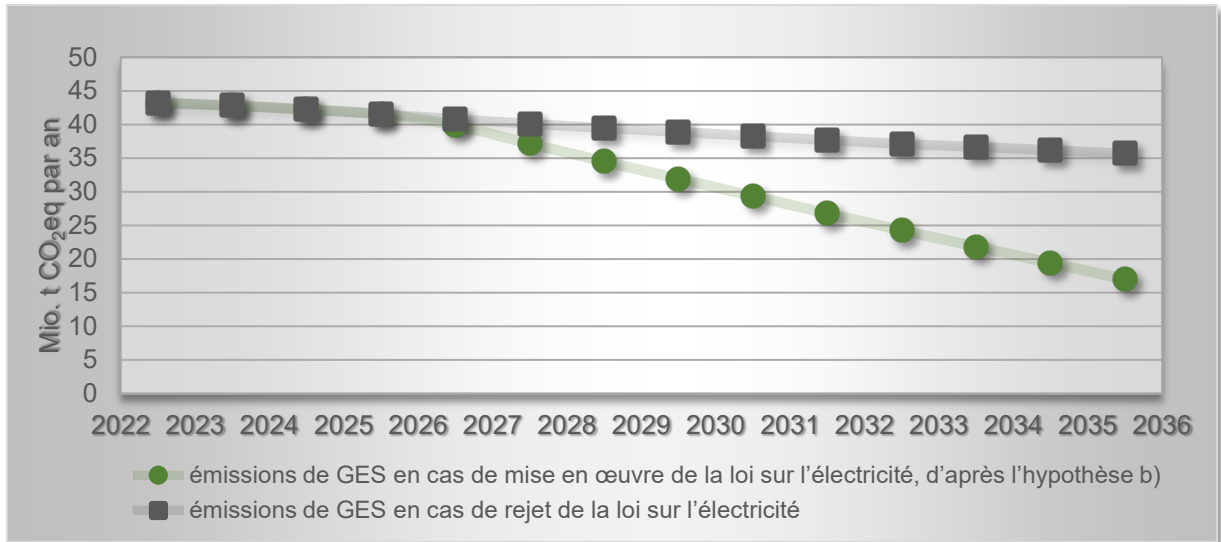
Si l'on suit l'hypothèse a), et que la décarbonisation progresse indépendamment de la quantité d'électricité disponible, la mise en œuvre de la loi sur l'électricité permettrait d'économiser au total environ 75 millions de tonnes d'émissions de gaz à effet de serre dans le pays au cours des dix premières années, car il serait alors possible de renoncer à la production d'électricité via des centrales à gaz. Si l'on inclut les émissions liées à l'extraction et au transport du gaz naturel ou du gaz naturel liquéfié, les émissions évitées peuvent doubler selon l'origine de ce gaz.

Dans l'hypothèse alternative b), où la décarbonisation des secteurs du transport et du bâtiment ne se fait que dans la mesure où il y a suffisamment d'électricité renouvelable produite dans le pays, des économies d'émissions cumulées d'environ 100 millions de tonnes de CO₂eq pourraient être réalisées d'ici 2035 en cas de oui à la loi sur l'électricité.

Le graphique 1 montre l'évolution attendue des émissions de gaz à effet de serre de la Suisse en cas de mise en œuvre (vert) et en cas de rejet de la loi sur l'électricité (gris) dans l'hypothèse b. En cas de mise en œuvre de la loi sur l'électricité, les émissions annuelles de gaz à effet de serre de la Suisse pourraient être réduites de moitié environ d'ici 2035 par rapport à un scénario de "poursuite de la politique actuelle".

Si, après un éventuel rejet de la loi sur l'électricité, le Parlement devait adopter une loi sur l'électricité "bis", celle-ci ne pourrait vraisemblablement entrer en vigueur qu'avec un retard d'au moins trois ans, c'est-à-dire au plus tôt en 2028. Si un référendum était également lancé contre cette loi, il en résulterait un retard supplémentaire. En raison du retard, une telle loi de remplacement ne pourrait plus produire que maximum 10 à 40 % de l'effet de la loi sur l'électricité d'ici 2035.

On voit ici très clairement le grand dilemme de la Suisse : plus on commence tard à réduire efficacement les émissions de gaz à effet de serre, plus il sera nécessaire de mettre en œuvre des mesures drastiques, alors même qu'il sera alors plus difficile de forger des majorités au Parlement et lors d'éventuelles votations populaires. En d'autres termes, si la loi sur l'électricité devait être rejetée, la Suisse pourrait manquer de temps en matière de protection du climat.



Graphique 1: En cas de rejet de la loi sur l'électricité, les émissions de gaz à effet de serre de la Suisse ne diminuent que légèrement par rapport à aujourd'hui (ligne grise). La mise en œuvre de la loi sur l'électricité (en vert) et la décarbonisation des transports et du secteur du bâtiment qui en découle (hypothèse b) permettent de réduire d'environ 50% les émissions de gaz à effet de serre dans le pays d'ici 2035.

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Résumé.....	5
Inhaltsverzeichnis.....	7
1 Einleitung	8
2 Methodik.....	9
2.1 Prognose der Entwicklung der Stromproduktion in der Schweiz.....	9
2.2 Annahme a: Stromproduktion wird durch Dekarbonisierung getrieben	10
2.3 Annahme b: Die Stromproduktion treibt die Dekarbonisierung	11
3 Resultate	13
3.1 Stromproduktion wird durch Dekarbonisierung getrieben (Annahme a).....	13
3.2 Die Stromproduktion treibt die Dekarbonisierung (Annahme b).....	15
3.3 Vergleich der eingesparten Emissionen der beiden Annahmen.....	17
4 Analyse und Diskussion.....	18
5 Referenzen.....	21

1 Einleitung

Im Rahmen des Pariser Abkommens verpflichteten sich die Unterzeichnerstaaten, die globale Temperaturerhöhung auf deutlich unter 2°C über dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen, mit dem Bestreben, sie auf 1.5°C zu begrenzen. Die Schweiz ratifizierte das Pariser Klimaabkommen am 6. Oktober 2017.

Das Klima- und Innovationsgesetz (KIG), welches am 18. Juni 2023 mit einer Zustimmung von 59% vom Schweizer Volk angenommen wurde, verpflichtet die Schweiz zur Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bis 2050. Da Dreiviertel der Schweizer Treibhausgasemissionen energiebedingt sind (BAFU, 2024a, 2024e), erfordert dieses Ziel primär eine Umstellung des Energiesystems in der Schweiz, d.h. den Ersatz der fossilen Energieträger durch erneuerbare Energien und eine Reduktion des Energiebedarfs durch Suffizienz und Effizienz. Das Klima- und Innovationsgesetz fördert erneuerbare Energien durch finanzielle Unterstützung für den Ersatz von Öl-, Gas- und Elektroheizungen durch klimaschonende Heizungen mit zwei Milliarden Franken und bietet Fördermittel von 1.2 Milliarden Franken für Betriebe, die innovative, klimaschonende Technologien einsetzen (Schweizer Parlament, 2022).

Dieser Umstieg auf klimaschonende Technologien in der Industrie und im Gebäudesektor wird zusammen mit der Elektrifizierung im Bereich Mobilität zu einer Erhöhung des Strombedarfes in der Schweiz führen. Gleichzeitig werden die Schweizer AKW in den nächsten Jahren altersbedingt vom Netz gehen. Beide Effekte zusammen führen zu einem zusätzlichen Netto-Strombedarf der Schweiz in der Grössenordnung von 40 bis 50 TWh pro Jahr (VSE & Empa, 2022). Dieser Mehrbedarf kann grundsätzlich durch eine Kombination von Suffizienz- und Effizienzmassnahmen, Mehrproduktion aus erneuerbaren Quellen und allenfalls zusätzlichen Importen abgedeckt werden.

Aufbauend auf dieser Erkenntnis hat das Schweizer Parlament im Herbst 2023 das Bundesgesetz für eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien beschlossen, den sogenannten Mantelerlass bzw. das Stromgesetz (Schweizer Parlament, 2023). Ziel des Stromgesetzes ist es, u.a. die Produktion von Strom aus erneuerbaren Quellen wie Sonne, Wind und Biomasse von derzeit¹ 6 TWh pro Jahr bis 2035 auf 35 TWh pro Jahr und bis 2050 auf 45 TWh pro Jahr zu erhöhen, um die Abhängigkeit von Stromimporten zu verringern und das Risiko von Engpässen zu minimieren. Die Vorlage beinhaltet daher auch entsprechende Fördermassnahmen sowie neue Regelungen für die Produktion, den Transport, die Speicherung und den Verbrauch von Strom und führt eine obligatorische Wasserkraftreserve ein, um Stromengpässe oder Mangellagen vor allem im Winter und Frühling vorzubeugen. Da gegen die Vorlage das Referendum ergriffen wurde, findet am 9. Juni 2024 eine eidg. Volksabstimmung statt.

Das Stromgesetz soll somit dafür sorgen, dass die für die Dekarbonisierung des Energiesystems benötigte Stromproduktion mehrheitlich in der Schweiz aufgebaut und betrieben wird.

Ziel dieser Studie ist es, die Auswirkungen einer Ablehnung des Gesetzes auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2035 abzuschätzen.

¹ Stand 2022 (Quelle: BFE, 2023b)

2 Methodik

Die zukünftige Entwicklung der Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems, sowohl mit als auch ohne das Stromgesetz, ist gegenwärtig nicht eindeutig vorhersehbar. Daher erfolgt die Untersuchung der Auswirkungen des Stromgesetzes auf die inländischen Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) der Schweiz unter zwei deutlich divergierenden Annahmen. Diese Annahmen wurden gezielt ausgewählt, um die Bandbreite möglicher Entwicklungen abzubilden (siehe Diskussion in Kapitel 4). Die Auswahl dieser Annahmen stützt sich auf die Ergebnisse früherer Studien von Rohrer (2021) und Siegwart et al. (2020). Nachfolgend werden diese Annahmen beschrieben:

- a) Die Dekarbonisierung treibt die fossile Stromproduktion in der Schweiz oder macht Stromimporte notwendig: Bei dieser Annahme gehen wir davon aus, dass die rechtzeitige Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems auch ohne das Stromgesetz stattfinden würde. Dies bedeutet, dass die fossilen Heizungen, Fahrzeuge und industriellen Prozesse auch ohne die Massnahmen im Stromgesetz hauptsächlich auf strombasierte Technologien (Wärmepumpen, Elektrofahrzeuge, usw.) umgestellt würden. Der steigende Strombedarf würde bei der Umsetzung des Stromgesetzes durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und Effizienzmassnahmen gedeckt. Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes müsste der steigende Strombedarf – falls dies möglich ist – durch Stromimporte oder anderenfalls durch den kurzfristigen Bau von fossilen Kraftwerken (vermutlich Gaskraftwerke) gedeckt werden. Sonst drohen Stromengpässe.
- b) Die Stromproduktion treibt die Dekarbonisierung: Bei dieser Annahme gehen wir davon aus, dass die Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems durch die Verfügbarkeit von Strom vorangetrieben wird, d.h. es wird erst dann auf strombasierte Technologien umgestellt, wenn die Versorgung mit Strom für diese Technologien aus dem Inland sichergestellt ist. Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes würde somit die Dekarbonisierung nur sehr zögerlich stattfinden und die Ziele des Klima- und Innovationsgesetzes (KIG), insbesondere Netto-Null Treibhausgasemissionen bis 2050, könnten nicht erreicht werden.

Beide Annahmen sind jeweils extrem und werden sicher nicht zu 100% eintreffen, dennoch eignen sie sich, um die Effekte des Stromgesetzes auf die THG-Emissionen der Schweiz in den kommenden 10 Jahren grob abschätzen zu können.

Bei beiden Annahmen gehen wir davon aus, dass der Ausbau der Stromversorgung und der Strombedarf ohne Stromgesetz dem aktualisierten Szenario «Weiter wie bisher» (WWB) der Energieperspektiven 2050+ folgen würde (BFE, 2021), siehe unten.

2.1 Prognose der Entwicklung der Stromproduktion in der Schweiz

Als Ausgangslage für die Berechnungen wurden die Gesamtstromproduktion nach dem Szenario «Weiter wie bisher» (WWB) und nach dem Szenario «Zero A» (Strom) der Energieperspektiven 2050+ verwendet (BFE, 2021, 2022b, 2022c). Das Szenario WWB stellt den Fall dar, in dem der Ausbau der erneuerbaren Energien ohne Stromgesetz nur in begrenztem Umfang erfolgt (Annahme b oben). Das Szenario Zero A wird hier als Grundlage genommen, um einen Ausbau der erneuerbaren Energien nach Annahme des Stromgesetzes darzustellen.

Die Stromproduktion der Szenarien WWB und Zero A der Energieperspektiven 2050+ wurde an die effektiven Stromproduktionswerte der Jahre 2020 bis 2022 (BFE, 2023a) angepasst und bis 2035 entsprechend skaliert. Das Szenario Zero A wurde zudem so angepasst, dass bis 2035 ein Zubau der Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien auf 35 TWh

erreicht wird und die Stromproduktion durch Wasserkraft bis 2035 auf 37.9 TWh ausgebaut ist. Diese beiden Werte entsprechen dem verbindlichen Ziel des Stromgesetzes. Die resultierende Stromerzeugung für beide Szenarien ist in Abbildung 2 dargestellt.

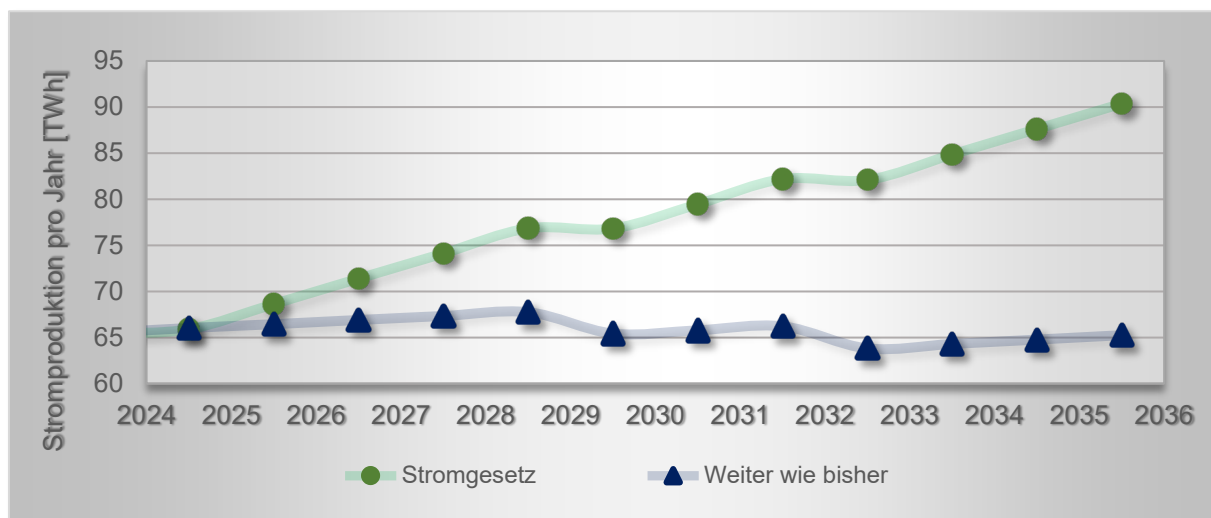


Abbildung 2: Stromproduktion für die Jahre 2024 bis 2035 bei Annahme bzw. Ablehnung des Stromgesetzes. Für den Fall der Annahme des Stromgesetzes wurde das Stromproduktionsszenario Zero A der Energieperspektiven 2050+ so angepasst, dass im Jahr 2035 eine Stromproduktion von 35 TWh aus neuen erneuerbaren Energien erreicht wird. Die Einbrüche der Stromproduktion in den Jahren 2029 und 2032 entstehen durch die Stilllegung von Atomkraftwerken, welche in den Szenarien der Energieperspektiven 2050+ nach einer Laufzeit von 60 Jahren abgeschaltet werden.

2.2 Annahme a: Stromproduktion wird durch Dekarbonisierung getrieben

Geht man davon aus, dass die Dekarbonisierung in den einzelnen Sektoren unabhängig von der verfügbaren Strommenge voranschreitet, entsteht durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen, Elektromobilität usw. ein zusätzlicher Strombedarf. Dieser zusätzliche Strombedarf wird mit der auf den Ist-Wert im Jahr 2022 angepassten Stromerzeugung im Szenario Zero A der Energieperspektiven 2050+ abgeschätzt (grüne Linie in Abbildung 2). Bei Annahme des Stromgesetzes gehen wir davon aus, dass der Ausbau der Stromproduktion (grüne Linie in Abbildung 2) den tatsächlichen Strombedarf deckt.

Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes würde der Ausbau der Stromproduktion gemäss dem Szenario WWB der Energieperspektiven 2050+ erfolgen (blaue Linie in Abbildung 2). Wird das Stromgesetz abgelehnt, entsteht somit eine «Lücke» (vgl. Abbildung 2), die durch andere Stromquellen, z.B. Importe oder neue Gaskraftwerke in der Schweiz, gedeckt werden muss. Um die Klimawirkung dieser drei Optionen vergleichen zu können, wurden die jährlichen Emissionen in CO₂-Äquivalenten (CO₂eq) berechnet.

Berechnung der Treibhausgasemissionen mit und ohne Stromgesetz

Zur Berechnung der Emissionen wurden für Annahme a) nur die direkten Emissionen in der Schweiz berücksichtigt. Der importierte Strom verursacht Emissionen im Ausland, welche nicht der Schweizer Treibhausgasbilanz angerechnet werden. Zur Veranschaulichung werden diese Werte in Abbildung 3 trotzdem gezeigt. Für den EU-Strommix wurde ein Wert von 251 g CO₂eq/kWh für das Jahr 2022 angenommen (BAFU, 2024b; IEA, o. J.). Unter der Annahme, dass dieser Wert linear abnimmt und die EU ihr Emissionsreduktionsziel für den Stromsektor erreicht, wurde für den Importstrom im Jahr 2035 ein Emissionsfaktor von 35 g CO₂eq/kWh berechnet, siehe Abbildung 3 (European Environment Agency, 2023a, 2023b). Dieses Emissionsreduktionsziel der EU ist ambitioniert. Um der Unsicherheit über die Erreichung

dieses Ziels Rechnung zu tragen, wird zusätzlich der Extremfall dargestellt, in dem der EU-Emissionsfaktor bis 2035 konstant bei 251 g CO₂eq/kWh bleibt.

Für die zusätzliche Stromversorgung über Gaskraftwerke in der Schweiz wurde ein Emissionsfaktor von 492 g CO₂eq/kWh angenommen (Krebs & Frischknecht, 2018). Dies beinhaltet nur die CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Erdgas, nicht aber die Emissionen aus der Erdgasförderung, Leckagen und dem Transport.

Für die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien betragen die direkten Emissionen jeweils 0 g CO₂eq/kWh (Krebs & Frischknecht, 2018).

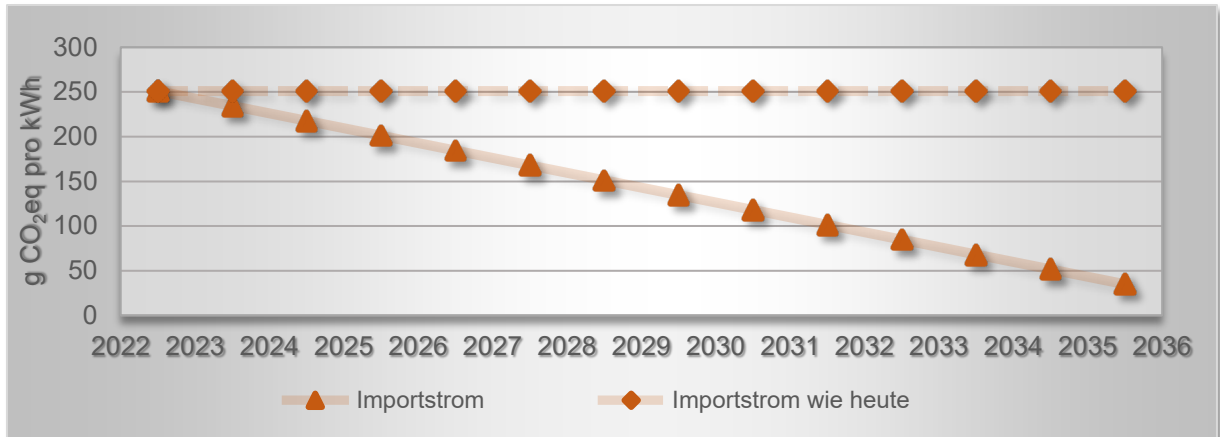


Abbildung 3: Angenommene Entwicklung der direkten Emissionen aus der Stromerzeugung in der EU. Es werden zwei Extremfälle dargestellt: einer für den Fall, dass die EU ihre Klimaziele bis 2035 erreicht, und einer für den Fall, dass der Emissionsfaktor konstant bleibt.

2.3 Annahme b: Die Stromproduktion treibt die Dekarbonisierung

Bei dieser Annahme wird davon ausgegangen, dass die Dekarbonisierung nur in dem Masse erfolgt, wie ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien im Inland zur Verfügung steht.

Bei Annahme des Stromgesetzes entwickelt sich die Stromproduktion in der Schweiz gemäss der an die Ist-Werte der Jahre 2020 bis 2022 angepassten Stromproduktion im Szenario Zero A der Energieperspektiven 2050+ (grüne Linie in Abbildung 2). Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes verläuft die Stromproduktion in der Schweiz entlang der blauen Linie in Abbildung 2 (aktualisiertes Szenario «Weiter wie bisher» der Energieperspektiven 2050+). Die Differenz zwischen der Stromproduktion mit und ohne Umsetzung des Stromgesetzes wird für die Dekarbonisierung des Verkehrs und Gebäudesektors verwendet. Vereinfachend wird angenommen, dass der zusätzlich verfügbare Strom bei Annahme des Stromgesetzes je zur Hälfte für Elektromobilität und für den Ersatz fossiler Heizungen durch Wärmepumpen verwendet wird. Die Auswirkungen dieser Verteilungsannahme werden in einer Sensitivitätsanalyse untersucht und diskutiert (siehe Abbildung 6).

Berechnung der Treibhausgasemissionen mit und ohne Stromgesetz

Für die Berechnung der möglichen jährlichen Emissionseinsparungen bei Annahme des Stromgesetzes wurde der Ersatz von fossilen Heizungen durch Wärmepumpen und der Ersatz von Benzin- und Dieselfahrzeugen durch Elektrofahrzeuge analysiert. Bei Ablehnung des Stromgesetzes wird die Dekarbonisierung entsprechend dem aktualisierten WWB-Szenario der Energieperspektiven 2050+ angenommen. Zur Ermittlung der Emissionen auf Schweizer Boden wurden nur die direkten bei der Verbrennung der fossilen Brennstoffe entstehenden Emissionen verglichen. Für fossile Heizungen wurde der Emissionsfaktor von Ölheizungen mit 265 g CO₂eq/kWh Wärme verwendet (BAFU, 2024b). Für die Effizienz der Wärmepumpen

wurde ein COP bzw. eine Jahresarbeitszahl JAZ von 3.5 angenommen (Bundesverband Wärmepumpe e.V., o. J.; Prinzing et al., 2019). Der Emissionsfaktor für Benzin- und Dieselfahrzeuge wurde entsprechend der aktuellen Verteilung von 70 % Benzin- und 30 % Dieselfahrzeugen berechnet (BFS, 2024). Der mittlere Emissionsfaktor beträgt 18 kg CO₂eq/100 km. Dieser ergibt sich aus dem durchschnittlichen Kraftstoffverbrauch von Benzin- und Dieselfahrzeugen, welche pro 100 km 7.7 resp. 7 Liter beträgt und den THG-Emissionen von 2.6 kg CO₂eq resp. 2.3 kg CO₂eq pro Liter (BAFU, 2024b; Bundesministerium für Digitales und Verkehr, 2024). Bei den Elektroautos wurde ein Stromverbrauch von 20 kWh/100 km angenommen (Energie Schweiz, o. J.; Weiss et al., 2020). Für den zusätzlichen Stromverbrauch wird ein Emissionsfaktor von 0 g CO₂eq/kWh angenommen, da bei einer Umsetzung des Stromgesetzes der Zubau mit neuen erneuerbaren Energien (vorwiegend Photovoltaik) erfolgen würde. Das Stromgesetz schreibt bis 2035 zudem eine Stromeinsparung von 2 TWh als verbindliches Ziel vor (Schweizer Parlament, 2023). Dieser Effizienzgewinn wird linear ansteigend von 2025 bis 2035 angenommen und in dieser Betrachtung ebenfalls für die Dekarbonisierung des Energiesystems verwendet.

Die berechneten Emissionseinsparungen werden mit den direkten THG-Emissionen der Schweiz von 2025 bis 2035 verglichen. Dafür wurden die THG-Emissionswerte des Szenarios WWB verwendet, welches angepasst wurde an die gemessenen Werte aus den Jahren 2020 bis 2022 (BAFU, 2023; BFE, 2022a).

3 Resultate

In den folgenden Unterkapiteln werden die Auswirkungen der im Stromgesetz vorgesehenen Massnahmen auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2035 dargestellt.

3.1 Stromproduktion wird durch Dekarbonisierung getrieben (Annahme a)

Zur Erinnerung: Diese Annahme geht davon aus, dass die Dekarbonisierung des Energiesystems unabhängig von der verfügbaren Menge an erneuerbarem Strom voranschreitet und der Verkehrs- und Gebäudesektor mit oder ohne Stromgesetz elektrifiziert werden. Der Ausbau der Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Energien wird aber ohne Stromgesetz wesentlich langsamer erfolgen als mit Stromgesetz. Durch den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen, Elektromobilität usw. entsteht bei dieser Annahme ein zusätzlicher Strombedarf, welcher «irgendwie» gedeckt werden muss. Mit der Umsetzung des Stromgesetzes wird dieser Strombedarf primär mit Photovoltaik und Windkraft im Inland erzeugt, bei Ablehnung des Stromgesetzes würde der zusätzliche Strombedarf durch zusätzliche fossile Kraftwerke im Inland oder Stromimporte aus der EU gedeckt.

Bei einer Umsetzung des Stromgesetzes steigen die jährlichen Gesamtemissionen der Stromproduktion in der Schweiz bis 2035 nur leicht an, während bei einer Ablehnung des Stromgesetzes der Einsatz von Gaskraftwerken zu einem starken Anstieg der Emissionen führt, siehe Abbildung 4.

Kann der fehlende Strom aus dem Ausland importiert werden, führt dies im Vergleich zum Ausbau von Solar- und Windenergie in der Schweiz zu Emissionen im Ausland, siehe Abbildung 4 und Abbildung 5. Die niedrigen Emissionswerte für den Stromimport gelten nur unter der Voraussetzung, dass die Dekarbonisierung des Energiesektors in der EU wie geplant voranschreitet und zudem genügend Strom für den Export erzeugt wird. Weder das eine noch das andere erscheint mindestens im Moment allzu wahrscheinlich (Guzowska & Kryk, 2021; Musiał et al., 2021; Siddi, 2021; Włodarczyk et al., 2021). Diese Unsicherheit des Emissionsfaktors ist in Abbildung 5 dargestellt durch die hellorange Fläche.

Bei Umsetzung des Stromgesetzes würde somit unter der Annahme a) in den ersten 10 Jahren in der Schweiz insgesamt 74 Mio. t. CO₂eq weniger emittiert, siehe Abbildung 5. Diese Menge entspricht fast dem Doppelten der aktuellen jährlichen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Inland. Bei Einbeziehung von vorgelagerten Emissionen, die durch Fracking, Leckagen und den Transport von verflüssigtem Erdgas (LNG) entstehen, könnten sich die Gesamtemissionen je nach Herkunft des Gases verdoppeln (Baumann & Schuller, 2021; Münter & Liebich, 2023). Unter Berücksichtigung dieser indirekten und direkten Emissionen kann somit bei Annahme a) und Umsetzung des Stromgesetzes eine Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Grössenordnung von 150 Mio. t CO₂eq erwartet werden.

Stromgesetz: Einfluss auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz

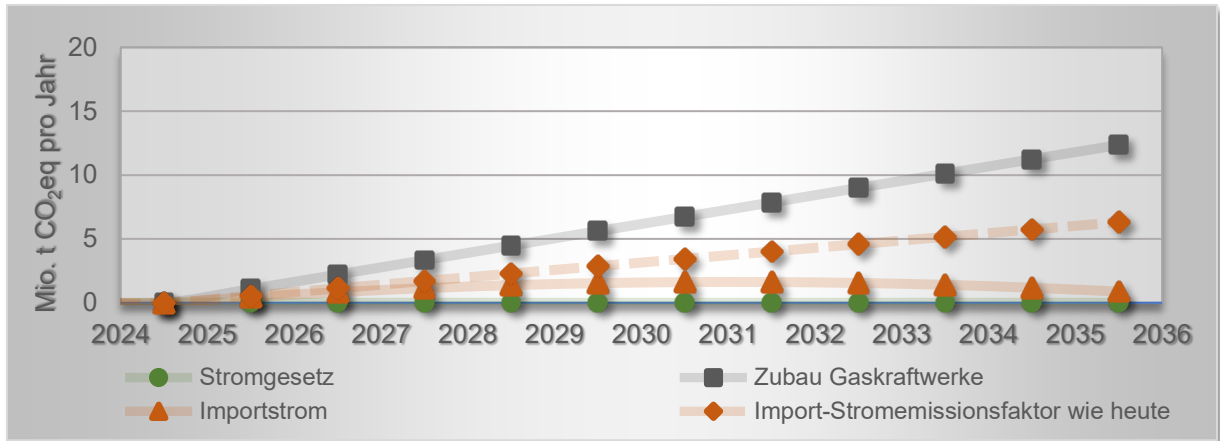


Abbildung 4: Jährliche direkte Emissionen im In- und Ausland verschiedener Szenarien für die Stromproduktion, um den zusätzlichen Strombedarf bei Annahme a) bis 2035 zu decken: Bei Umsetzung des Stromgesetzes würde dies durch einen Ausbau der neuen erneuerbaren Energien (grün) erfolgen, ansonsten müsste der Strombedarf entweder durch Importe (orange) oder durch die Verstromung fossiler Energieträger (Gas) in der Schweiz (grau) gedeckt werden.

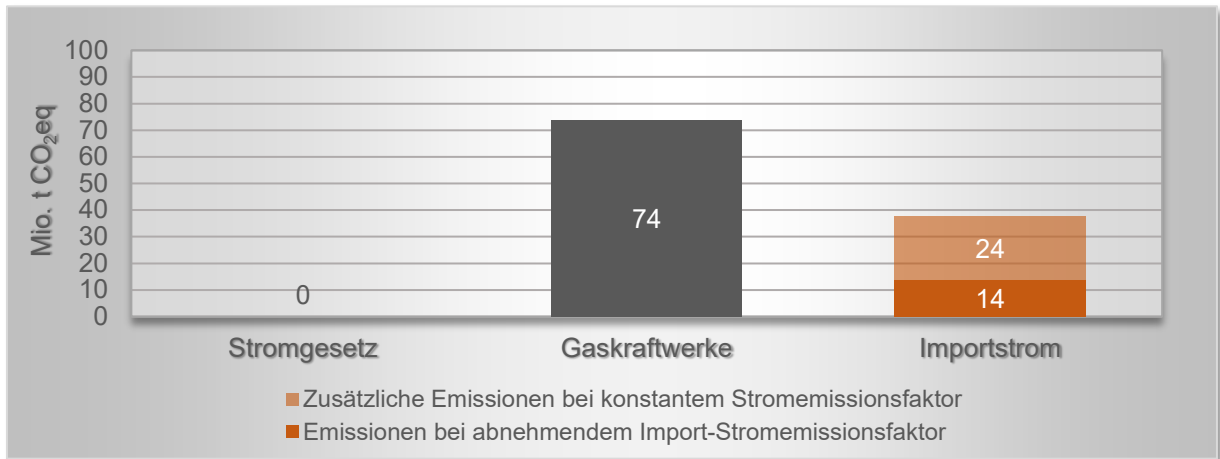


Abbildung 5: Über die Jahre 2025 bis 2035 kumulierte direkte Treibhausgasemissionen im In- und Ausland der Varianten «Stromgesetz», «Zubau Schweizer Gaskraftwerke» (grau) und «Stromimport» (orange) unter der Annahme a). Die Variante «Stromimport» mit über die Zeit abnehmendem Emissionsfaktor setzt voraus, dass die EU ihre ambitionierten Klimaziele erreicht und zusätzlich bis 2035 über 25 TWh grösstenteils erneuerbaren Strom für den Export in die Schweiz produziert. Letzteres erscheint aus heutiger Sicht nicht realistisch (Stählin, 2024; VSE & Empa, 2022).

3.2 Die Stromproduktion treibt die Dekarbonisierung (Annahme b)

Zur Erinnerung: Diese Annahme geht davon aus, dass die Dekarbonisierung nur in dem Masse erfolgt, wie ausreichend Strom aus erneuerbaren Energien im Inland zur Verfügung steht. Mit der Umsetzung des Stromgesetzes wird die Stromproduktion deutlich stärker ausgebaut als ohne Stromgesetz, siehe Abbildung 2. Daher wird auch die Dekarbonisierung unter dieser Annahme mit der Umsetzung des Stromgesetzes deutlich schneller voranschreiten als bei einer Ablehnung.

Dabei wird davon ausgegangen, dass durch den zusätzlichen Strom jeweils zur Hälfte fossile Heizungen durch Wärmepumpen und fossil betriebene Autos durch Elektrofahrzeuge ersetzt werden. Zudem sind Effizienzsteigerungen von 2 TWh eingerechnet (siehe Abbildung 6).

Würden statt Wärmepumpen und Elektrofahrzeuge weiterhin fossile Heizungen sowie Benzin- und Dieselfahrzeuge betrieben, beliefen sich die bis ins Jahr 2035 kumulierten Emissionen auf knapp 159 Mio. t CO₂eq. Das WWB-Szenario berücksichtigt bereits eine Emissionsreduktion durch den Einsatz von Wärmepumpen und Elektrofahrzeugen von kumuliert 60 Mio. t CO₂eq bis 2035 (vgl. graue Linie in Abbildung 7). Daraus folgt, dass durch eine Umsetzung des Stromgesetzes bis 2035 unter Annahme b) zusätzliche kumulierte Emissionseinsparungen von 99 Mio. t CO₂eq möglich sind, siehe Abbildung 7 und Abbildung 8.

Durch den zusätzlichen Strom aus erneuerbaren Quellen bei der Umsetzung des Stromgesetzes und der damit verbundenen Dekarbonisierung können im Jahr 2035 etwa 19 Mio. t CO₂eq im Vergleich zu WWB eingespart werden, siehe Abbildung 6. Das entspricht einer Reduktion von 50% der Treibhausgasemissionen der Schweiz im Vergleich zum Szenario WWB im Jahr 2035, siehe Abbildung 7.

Die Aufteilung auf Wärmepumpen oder Elektrofahrzeuge hat nur einen geringen Einfluss auf das Resultat. Abbildung 6 zeigt die Emissionseinsparungen bei einer Verwendung des Stroms nur für die Elektromobilität bzw. nur für Wärmepumpen. Der oben angesprochene Fall mit einer Aufteilung auf je 50% liegt zwischen der blauen und roten Linie in Abbildung 6.

Für die komplette Elektrifizierung und somit Dekarbonisierung des Verkehrs- und des Gebäudesektors bis zum Jahr 2035 sind nach Berechnungen mit dem Dekarbonisierungsrechner der ZHAW jährlich zusätzlich knapp 30 TWh Strom notwendig (ZHAW, o. J.). Die THG-Emissionen dieser zwei Sektoren betragen in den Jahren 2020 bis 2022 zwischen 24 und 27 Mio. t CO₂eq (BAFU, 2024d, 2024c; ZHAW, o. J.). Die vorliegende Studie kommt zu ähnlichen Ergebnissen: Mit der Annahme des Stromgesetzes könnte im Jahr 2035 durch die zusätzliche Stromproduktion aus erneuerbaren Energien von 25 TWh dank der kompletten Elektrifizierung der beiden Sektoren die THG-Emissionen gegenüber WWB im Jahr 2035 um 19 Mio. t CO₂eq und gegenüber dem Jahr 2022 um 27 Mio. t CO₂eq reduziert werden.

Stromgesetz: Einfluss auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz

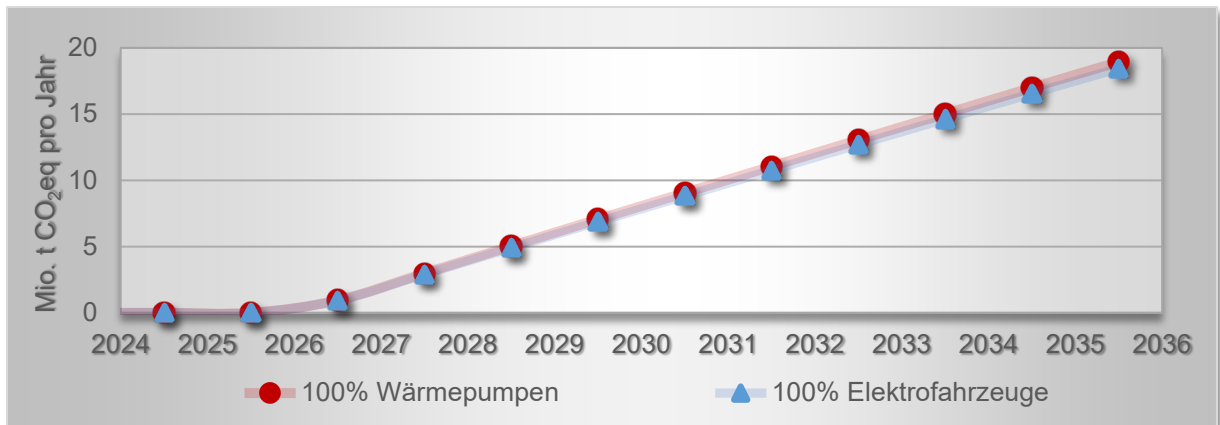


Abbildung 6: Jährliche Emissionseinsparungen im Vergleich zu WWB in Mio. t CO₂eq, wenn durch den Strom, welcher bei Umsetzung des Stromgesetzes unter Annahme b zusätzlich verfügbar ist, dekarbonisiert wird. Die Emissionseinsparungen variieren kaum falls eher der Verkehrssektor mittels Elektromobilität (blau) oder die Gebäude mittels Wärmepumpen (rot) dekarbonisiert werden.

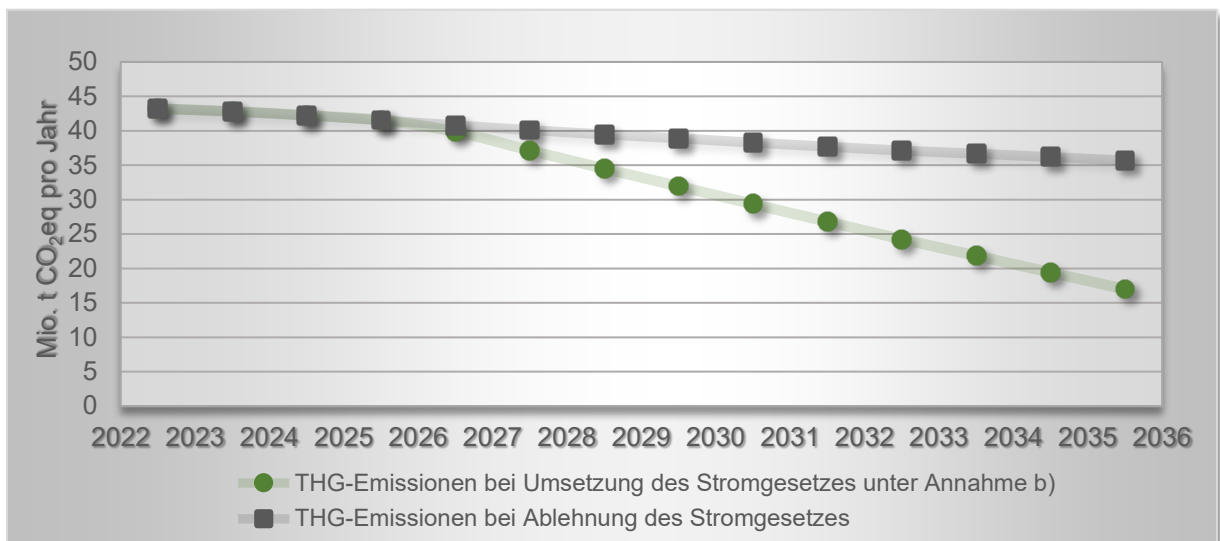


Abbildung 7: Die Treibhausgasemissionen der Schweiz nehmen bei Ablehnung des Stromgesetzes nur leicht ab (graue Linie). Mit der Umsetzung des Stromgesetzes (grüne Linie) und der damit verbundenen Dekarbonisierung des Verkehrs- und des Gebäudesektors können die Treibhausgasemissionen im Inland bis 2035 um ca. 50% reduziert werden.

3.3 Vergleich der eingesparten Emissionen der beiden Annahmen

Bei einer Umsetzung des Stromgesetzes ergeben sich gegenüber einer Ablehnung des Stromgesetzes wesentlich niedrigere THG-Emissionen. Der Grund liegt bei Annahme a) im fehlenden Strom aus erneuerbaren Energien, welcher vermutlich mit Gaskraftwerken erzeugt werden müsste und bei Annahme b) bei der wesentlich langsamer stattfindenden Dekarbonisierung des Gebäude- und Verkehrssektors, sodass fossile Heizungen und fossile Fahrzeuge länger betrieben werden.

Die Differenz zwischen Umsetzung und Nicht-Umsetzung des Stromgesetzes beträgt unter Annahme a) 74 Mio. t CO₂eq (etwa das Doppelte bei Berücksichtigung der vorgelagerten Emissionen im Ausland) und bei Annahme b) 99 Mio. t CO₂eq ohne vorgelagerte Emissionen im Ausland (siehe Abbildung 8). Zusammenfassend kann deshalb gefolgert werden, dass die Annahme des Stromgesetzes eine Reduktion der Schweizer Treibhausgasemission in der Grössenordnung von 75 bis 100 Mio. t CO₂eq bis 2035 bedeuten würde. Dies entspricht etwa dem Doppelten der aktuellen Treibhausgasemissionen der Schweiz im Inland pro Jahr.

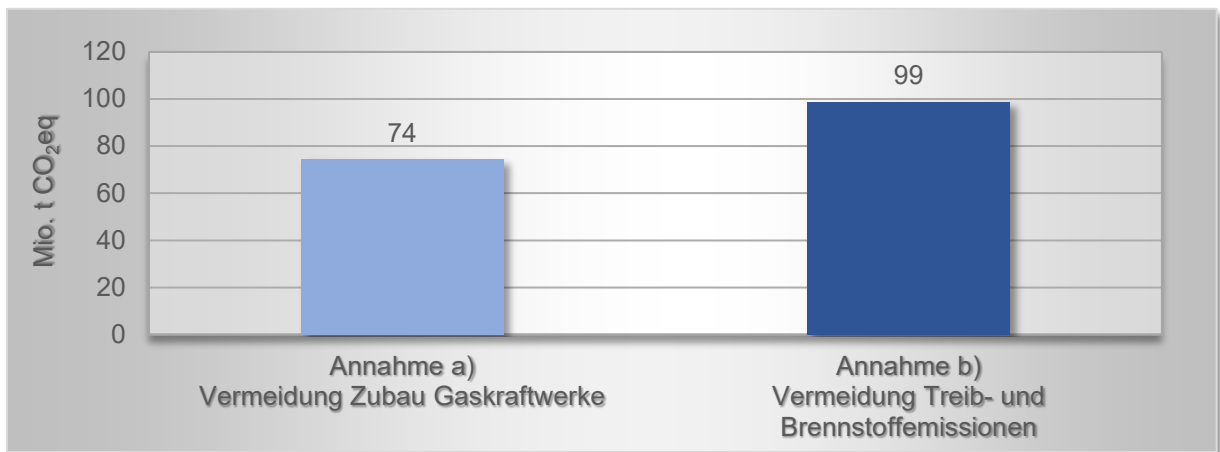


Abbildung 8: Potenzielle Emissionseinsparungen in der Schweiz bei den Annahmen a) resp. b) bei einer Umsetzung des Stromgesetzes im Zeitraum 2025 bis 2035 gegenüber einer Ablehnung des Stromgesetzes. Durch die Bereitstellung des für die Dekarbonisierung benötigten Stroms aus erneuerbaren Energien statt aus fossilen Quellen (z.B. Gaskraftwerke) können unter der Annahme a) 74 Mio. t CO₂eq Emissionen in der Schweiz eingespart werden. Unter der Annahme, dass mit dem Stromgesetz die Dekarbonisierung im Vergleich zum Szenario «Weiter wie bisher» deutlich schneller voranschreitet (Annahme b), können insgesamt 99 Mio. t CO₂eq vermieden werden.

4 Analyse und Diskussion

Unter der Annahme a), dass die Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems mit einer weitgehenden Elektrifizierung der Bereiche Gebäude, Mobilität und Industrie auch bei einer Ablehnung des Stromgesetzes stattfinden würde, entsteht mit hoher Wahrscheinlichkeit eine nicht gedeckte Stromnachfrage. Der Grund für die ungedeckte Stromnachfrage ist das Fehlen von verbindlichen Zielen und Massnahmen für den Ausbau der Stromproduktion ohne Stromgesetz.

Importmöglichkeiten erscheinen aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich, da auch die Nachbarländer Schwierigkeiten haben, ihre Energiesysteme rechtzeitig zu dekarbonisieren. Es erscheint deshalb naheliegend, dass zumindest in den ersten Jahren ein grosser Teil der ungedeckten Stromnachfrage durch neu zu bauende fossile Kraftwerke in der Schweiz gedeckt würde. Unter dieser Annahme würde die Schweiz bei einer Ablehnung des Stromgesetzes bis 2035 insgesamt im Inland rund 74 Millionen Tonnen Treibhausgase mehr verursachen als bei einer Annahme des Stromgesetzes. Je nach Herkunft des Gases sind die Gesamtemissionen etwa doppelt so hoch.

Die Annahme a), dass die Schweiz ihre energieintensiven Sektoren aufgrund der Zielsetzung «weltweit Netto-Null bis 2050» dekarbonisieren würde, steht im Widerspruch zu den tatsächlichen Entwicklungen der letzten Jahre. Denn diese Zielsetzung ist bereits seit Langem bekannt. Daher erscheint Annahme a) aus dieser Perspektive als eher unrealistisch.

Unter der Annahme b), dass die Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems nur in dem Masse erfolgt, wie genügend Strom aus inländischer Produktion zur Verfügung steht, würde die Dekarbonisierung in Zukunft etwa gleich langsam erfolgen wie in der Vergangenheit. Grund dafür ist auch bei dieser Annahme das Fehlen von verbindlichen Zielen und Massnahmen zum Ausbau der Stromproduktion ohne Stromgesetz. Die Umstellung auf Wärmepumpen, Elektromobilität usw. würde kaum schneller voranschreiten als heute. Unter dieser Annahme würde die Schweiz bei einer Ablehnung des Stromgesetzes bis 2035 insgesamt rund 99 Millionen Tonnen mehr Treibhausgase verursachen als bei einer Annahme des Stromgesetzes.

Die Folgen einer Annahme des Stromgesetzes sind einfacher abzuschätzen als die Folgen einer Ablehnung, da den Autoren kein «Plan B» oder ein neuer Ansatz für alternative Gesetzesänderungen zum raschen Ausbau der Stromproduktion aus neuen erneuerbaren Quellen bekannt ist. Die Entwicklung der erneuerbaren Stromproduktion bei einer Ablehnung des Stromgesetzes ist deshalb schwer zu prognostizieren. In dieser Studie wurde das Szenario «Weiter Wie Bisher» (WWB) der Energieperspektiven 2050+ (BFE, 2021) als wahrscheinlichste Variante angenommen und mit den Ist-Werten der Jahre 2021 bis 2023 korrigiert. Der Axpo-Power Switcher (Axpo Holding AG, 2024) zeigt bei der Einstellung «Weiter wie bisher» im Jahre 2035 vergleichbare Werte wie das WWB-Szenario der Energieperspektiven 2050+ (Stromproduktion 49.5 TWh und Importe 21.5 TWh im Jahr 2025).

Falls das Parlament nach einer allfälligen Ablehnung des Stromgesetzes ein «Ersatz-Stromgesetz» verabschiedet, kann dieses voraussichtlich erst mit einer Verzögerung von mindestens drei Jahren, d.h. frühestens 2028 in Kraft treten. Sollte auch dagegen das Referendum ergriffen werden, würden sich weitere Verzögerungen ergeben. Bei dieser Einschätzung beziehen wir uns auf das am 13. Juni 2021 vom Volk abgelehnte CO₂-Gesetz, welches sich im April 2024 immer noch in der parlamentarischen Beratung befindet. Eine Verschiebung der Umsetzung des Stromgesetzes um drei Jahre würde den Effekt auf die kumulierten Treibhausgasemissionen bis 2035 um 60% reduzieren.

Aufgrund des Verlaufs der parlamentarischen Beratungen zum CO₂-Gesetz kann zudem davon ausgegangen werden, dass ein allfälliges Ersatz-Stromgesetz deutlich weniger ambi-

tionierte Ziele und Massnahmen beinhalten würde. In Abbildung 9 ist deshalb die verzögerte Wirkung eines Ersatz-Stromgesetzes dargestellt. Neben der Verzögerung von drei Jahren wurden die Ausbauziele für Erneuerbare Energien für 2035 im aktuellen Gesetz beim Ersatzgesetz auf 2045 verschoben und die Effizienzziele für Stromversorger gestrichen. Dadurch reduzieren sich die von 2025 bis 2035 eingesparten Treibhausgasemission von ca. 99 Mio. t CO₂eq bei einer Umsetzung des aktuell zur Diskussion stehenden Stromgesetzes auf 11 Mio. t CO₂eq, also um rund 90 %.

Die Schweiz hat sich verpflichtet, bis 2050 netto null Treibhausgasemissionen zu erreichen und bis 2030 ihre Treibhausgasemissionen gegenüber 1990 zu halbieren (BAFU, 2020; IEA, 2023; UNFCCC, 2022). Die Treibhausgasemissionen der Schweiz sollen demnach bis 2030 auf unter 27.5 Mio. t CO₂eq sinken (BAFU, 2024a). Wie aus Abbildung 9 ersichtlich ist, wäre dieses Ziel in der Schweiz mit der Umsetzung des Stromgesetzes erreichbar, ohne Stromgesetz oder mit einem Ersatz-Stromgesetz jedoch nicht. Bei einer Ablehnung würden sich die Treibhausgasemissionen der Schweiz im Jahr 2035 im Bereich von 32 bis 36 Mio. t CO₂eq bewegen. Der tiefere Wert gilt dabei bei einem allfälligen Ersatzgesetz.

Entscheidend für die Klimaerwärmung ist jedoch nicht irgendein Jahr, in dem netto null Treibhausgasemissionen erreicht wird, sondern entscheidend für die Erwärmung ist die Gesamtmenge der bis dahin emittierten Treibhausgase (IPCC, 2022; Rohrer, 2022). Deshalb ist der Vergleich der kumulierten Treibhausgasemissionen bis 2035 im Falle eine Ablehnung bzw. Annahme des Stromgesetzes von grosser Bedeutung. Robiou du Pont & Nicholls (2023) berechnen das ab 1. Januar 2022 verbleibende Treibhausgasbudget für die Schweiz bei einer 67%-igen Wahrscheinlichkeit, dass das 1.5-Grad-Ziel eingehalten werden kann, auf 381 Mio. t CO₂eq. Werden davon die effektiven THG-Emissionen von 2022 von 41.6 Mio. t CO₂eq und angenommene THG-Emissionen von 42.8 bzw. 42.2 Mio. t CO₂eq für die Jahre 2023 und 2024 abgezogen, so verbleibt für die Schweiz ab 1.1.2025 ein Restbudget von 254.4 Mio. t CO₂eq. Bei Ablehnung des Stromgesetzes und einem «Weiter-wie-bisher» wäre dieses Budget somit innerhalb von 6½ Jahren, d.h. bis Mitte 2031 aufgebraucht. Bei Annahme des Stromgesetzes würden demgegenüber etwa 100 Mio. t CO₂eq bis 2035 eingespart, sodass das Treibhausgasbudget immerhin bis Anfang 2034 reichen würde. Sollte ein weniger effektives Ersatzstromgesetz mit einer Verzögerung von drei Jahren in Kraft treten, würde das THG-Budget knapp bis Ende 2031 reichen.

Die obigen Überlegungen zu den Treibhausgas-Budgets unterstreichen, dass eine rechtzeitige und wirksame Dekarbonisierung des Energiesystems nicht allein durch den Ausbau der Stromerzeugung erreicht werden kann (Annahme b). Dies ist zwar eine notwendige Voraussetzung, doch die Dringlichkeit des Klimaschutzes, insbesondere im Rahmen der Pariser Klimaziele, erfordert zusätzliche Massnahmen. Das Stromgesetz spielt hierbei eine kritische Rolle, indem es nicht nur den Ausbau erneuerbarer Energien beschleunigt, sondern auch massgeblich zur Reduktion der kumulierten Treibhausgasemissionen beiträgt

Bei beiden Vergleichen zeigt sich das grosse Dilemma der Schweiz sehr deutlich: Je später mit einer wirksamen Reduktion der Treibhausgasemissionen begonnen wird, desto drastischere Massnahmen sind nötig, die dann aber im Parlament und bei allfälligen Volksabstimmungen nur schwer Mehrheiten finden. Mit anderen Worten: Bei einer Ablehnung des Stromgesetzes droht der Schweiz im Klimaschutz die Zeit davon zu laufen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass eine Ablehnung des Stromgesetzes mit Sicherheit zu deutlich höheren Treibhausgasemissionen der Schweiz bis 2035 führen würde als eine Annahme. Falls im Falle einer Ablehnung nicht sehr schnell ein alternativer Gesetzesvorschlag mit sehr hoher Klimawirkung verabschiedet wird, liegt die Differenz in der Grössenordnung von 100 Mio. t Treibhausgase. Dies entspricht etwa 40 % des Treibhausgasbudgets,

Stromgesetz: Einfluss auf die Treibhausgasemissionen der Schweiz

das der Schweiz ab 2025 noch zur Verfügung steht, um ihren Beitrag zum Erreichen des 1.5-Grad-Ziels zu leisten.

Je länger der Umbau des Schweizer Energiesystems (Energiewende) hinausgezögert wird, desto negativer sind die Folgen für die Klimaerwärmung.

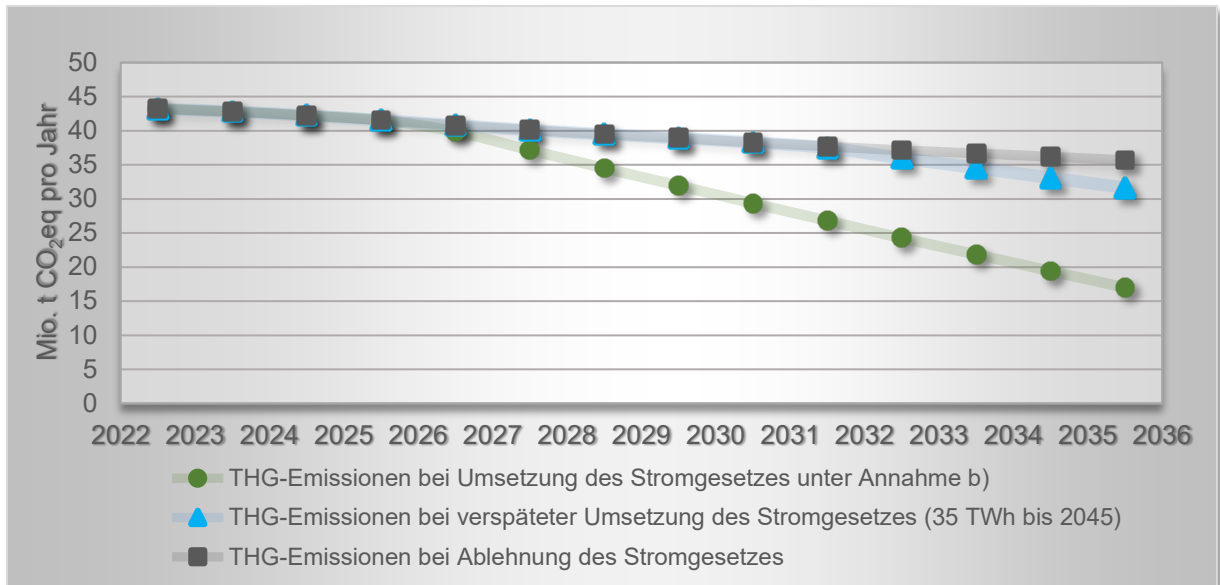


Abbildung 9: Vergleich der Treibhausgasemissionen in der Schweiz bei Umsetzung (grüne Linie) bzw. Ablehnung des Stromgesetzes (graue Linie). Beim Ersatz-Stromgesetz wurde eine Verzögerung von 3 Jahren für den Beginn der Umsetzung und eine Verschiebung der Ausbauziele für Strom aus neuen erneuerbaren Energien um 10 Jahre angenommen (blaue Linie).

5 Referenzen

- Axpo Holding AG. (2024). *Axpo Power Switcher* [Software]. <https://powerswitcher.axpo.com/>
- BAFU. (2020). *Eingaben der Schweiz im Rahmen der internationalen Klimaverhandlungen (UNFCCC): 2020*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klimawandel-stoppen-und-folgen-meistern/klima--internationales/ingaben-der-schweiz-im-rahmen-der-internationalen-klimaverhandl/ingaben-der-schweiz-im-rahmen-der-internationalen-klimaverhandlungen-unfccc-2020.html>
- BAFU. (2023). *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990-2021*.
- BAFU. (2024a). *Kenngrossen zur Entwicklung der Treibhausgasemissionen in der Schweiz 1990–2022*. https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/kenngrossen_thg_emissionen_schweiz.pdf.download.pdf/Kenngrossen_2024_DE.pdf
- BAFU. (2024b). *CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz*.
- BAFU. (2024c, April). *Treibhausgasemissionen der Gebäude*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/treibhausgasinventar/treibhausgasemissionen-der-gebäude.html>
- BAFU. (2024d, April). *Treibhausgasemissionen des Verkehrs*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/treibhausgasinventar/treibhausgasemissionen-des-verkehrs.html>
- BAFU. (2024e, April). *Treibhausgasinventar der Schweiz*. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/thema-klima/klima--daten--indikatoren-und-karten/daten--treibhausgasemissionen-der-schweiz/treibhausgasinventar.html>
- Baumann, M. Dr., & Schuller, O. Dr. (2021). *Emissionsfaktoren der Stromerzeugung—Betrachtung der Vorkettenemissionen von Erdgas und Steinkohle*.
- BFE. (2021). *Energieperspektiven 2050+ Technischer Bericht* [Technischer Bericht]. Bundesamt für Energie (BFE).
- BFE. (2022a). *Energieperspektiven 2050+. Daten zu den Grafiken des technischen Berichts*. (Abbildung 110) [dataset]. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
- BFE. (2023a). *Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2022*. Bundesamt für Energie. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/gesamtenergiestatistik.html>
- BFE. (2023b). *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien—Ausgabe 2022*. Bundesamt für Energie. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken/teilstatistiken.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMTE1MDk=.html>
- BFE, B. für E. (2022b). *Energieperspektiven 2050+ Szenarienergebnisse WWB*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmxvYWQvMTA0NDA=.html>
- BFE, B. für E. (2022c). *Energieperspektiven 2050+ Szenarienergebnisse ZERO A*. <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050->

plus.exturl.html/aHR0cHM6Ly9wdWJkYi5iZmUuYWRTaW4uY2gvZGUvcHVibGljYX/Rpb24vZG93bmVvYWQvMTA0MzU=.html

- BFS. (2024, Januar 30). *Bestand der Personenwagen nach Treibstoffart—1990-2023*. Bundesamt für Statistik. <https://www.bfs.admin.ch/asset/de/30305440>
- Bundesministerium für Digitales und Verkehr. (2024). *Verkehr in Zahlen 2023/2024*. 309.
- Bundesverband Wärmepumpe e.V. (o. J.). *Europäisches Gütesiegel für Wärmepumpen*. Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V. Abgerufen 4. April 2024, von <https://www.waermepumpe.de/normen-technik/europaeisches-guetesiegel/>
- Energie Schweiz. (o. J.). *Elektroautos sind höchst energieeffizient*. EnergieSchweiz. Abgerufen 8. April 2024, von <https://www.energieschweiz.ch/energieeffizienz/>
- European Environment Agency. (2023a, Oktober 24). *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation in Europe*. <https://www.eea.europa.eu/en/analysis/indicators/greenhouse-gas-emission-intensity-of-1>
- European Environment Agency. (2023b, Oktober 25). *Greenhouse gas emission intensity of electricity generation [Data Visualization]*. https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-14/#tab-chart_7
- Guzowska, M. K., & Kryk, B. (2021). Efficiency of Implementing Climate/Energy Targets of the Europe 2020 Strategy and the Structural Diversity between Old and New Member States. *Energies*, 14(24), Article 24. <https://doi.org/10.3390/en14248428>
- IEA. (o. J.). *Europe—Sources of electricity generation*. IEA. Abgerufen 22. April 2024, von <https://www.iea.org/regions/europe/energy-mix>
- IEA. (2023, September 11). *Switzerland 2023—Energy Policy Review*. IEA. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/b6451900-e6ef-45a8-922d-117520e09a82/Switzerland2023.pdf>
- IPCC. (2022). *Climate Change 2022 Mitigation of Climate Change Working Group III Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Krebs, L., & Frischknecht, R. (2018). *Umweltbilanz Strommixe Schweiz 2018*. <https://www.bafu.admin.ch/dam/bafu/de/dokumente/klima/fachinfo-daten/Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2018-v2.01.pdf.download.pdf/Umweltbilanz-Strommix-Schweiz-2018-v2.01.pdf>
- Münter, D., & Liebich, A. (2023, Mai). *Analyse der Treibhausgasintensitäten von LNG-Importen nach Deutschland*. https://www.ifeu.de/fileadmin/uploads/Publikationen/Ressourcen/WPKS-Studie-CO2Bilanz_Analyse_der_Treibhausgasintensit%C3%A4ten_LNG.pdf
- Musiał, W., Ziolo, M., Luty, L., & Musiał, K. (2021). Energy Policy of European Union Member States in the Context of Renewable Energy Sources Development. *Energies*, 14(10), Article 10. <https://doi.org/10.3390/en14102864>
- Prinzing, M., Berthold, M., Bertsch, S., & BFE. (2019). *Ausblick auf mögliche Entwicklungen von Wärmepumpen-Anlagen bis 2050*. <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/9999>
- Robiou du Pont, Y., & Nicholls, Z. (2023). *Calculation of an emissions budget for Switzerland based on Bretschger's (2012) methodology*. https://en.klimaseniorinnen.ch/wp-content/uploads/2023/04/230427_53600_20_Annex_Doc_2_Robiou_du_Pont_Nicholls_Expert_Report.pdf
- Rohrer, J. (2021). *Klimaerhitzung: Welchen Beitrag können Eigenverantwortung bzw. politische Massnahmen leisten?* <https://doi.org/10.21256/zhaw-2419>

- Rohrer, J. (2022). *Das Schweizer Klimaziel unter der Lupe: Genügt Netto-Null bis 2050?* <https://doi.org/10.21256/zhaw-2434>
- Schweizer Parlament. (2022, September 30). *Bundesgesetz über die Ziele im Klimaschutz, die Innovation und die Stärkung der Energiesicherheit (KIG)*. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2022/2403/de>
- Schweizer Parlament. (2023, Oktober). *Bundesgesetz über eine sichere Stromversorgung mit erneuerbaren Energien*. <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2023/2301/de>
- Siddi, M. (2021). Coping With Turbulence: EU Negotiations on the 2030 and 2050 Climate Targets. *Politics and Governance*, 9(3), 327–336. <https://doi.org/10.17645/pag.v9i3.4267>
- Siewart, M., Hälg, L., Sauter, D., & Rohrer, J. (2020). *Technische und Suffizienz-Massnahmen zur Reduktion der schweizerischen Treibhausgasemissionen: Der Vermeidungskostenansatz*. <https://doi.org/10.21256/zhaw-2653>
- Stählin, K. (2024, April 8). Verkauf von Atomstrom – Frankreich fordert Schweizer Geld für neue AKW – ist das ein Bluff? *Tages-Anzeiger*. <https://www.tagesanzeiger.ch/atomstrom-frankreich-will-schweizer-geld-fuer-akw-ein-bluff-954906223787>
- UNFCCC. (2022). *Switzerland's information necessary for clarity, transparency and understanding in accordance with decision 1/CP.21 of its updated and enhanced nationally determined contribution (NDC) under the Paris Agreement (2021 – 2030)*. https://unfccc.int/sites/default/files/NDC/2022-06/Swiss%20NDC%202021-2030%20incl%20ICTU_December%202021.pdf
- VSE, & Empa. (2022). *Energiezukunft 2050—Energieversorgung der Schweiz bis 2050*.
- Weiss, M., Cloos, K. C., & Helmers, E. (2020). Energy efficiency trade-offs in small to large electric vehicles. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 46. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00307-8>
- Włodarczyk, B., Firoiu, D., Ionescu, G. H., Ghiocel, F., Szturo, M., & Markowski, L. (2021). Assessing the Sustainable Development and Renewable Energy Sources Relationship in EU Countries. *Energies*, 14(8), Article 8. <https://doi.org/10.3390/en14082323>
- ZHAW. (o. J.). *Dekarbonisierungsrechner*. Abgerufen 24. April 2024, von www.dekarechner.ch