



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Abteilung Energiewirtschaft

Oktober 2022
Technischer Bericht

Energieperspektiven 2050+

Volkswirtschaftliche Auswirkungen

Analyse mit einem Mehrländer- Gleichgewichtsmodell – Annahmen, Szenarien, Ergebnisse

Im Auftrag des Bundesamtes für Energie

Datum: 20. Oktober 2022

Ort: Bern

Auftraggeberin:

Bundesamt für Energie BFE CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Auftragnehmer/in:

Ecoplan AG

Autoren/-innen:

André Müller

unter Mitarbeit von:

Prof. Dr. Christoph Böhringer, Uni Oldenburg

Florian Landis, ETH Zürich

Begleitgruppe:

Anne-Kathrin Faust, BFE (Leitung)

David Baumann, BFE

Giulia Lechthaler, BFE

Joséphine Leuba, ARE

Mathias Spicher, SECO

Roger Ramer, BAFU

Martina Zahno, BAFU

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

Bundesamt für Energie BFE

Pulverstrasse 13, CH-3063 Ittigen; Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch

Inhaltsübersicht

	Inhaltsverzeichnis	3
	Abkürzungsverzeichnis	5
	Glossar	7
	Kurzfassung.....	9
1	Einleitung	15
2	Mehrländermodell EPER	26
3	Szenario WWB und KLIMA.....	33
4	KLIMA MIX Szenarien	46
5	Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Netto-Null-Politik	50
6	Volkswirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher stilisierter Schweizer Instrumentenpakete	87
7	Volkswirtschaftliche Auswirkungen «schützender» ausländischer Klimapolitik	96
8	Einflussfaktoren und Sensitivitätsanalyse	101
9	Zusammenfassende Schlussfolgerungen.....	130
	Anhang A: The EPER Model- Technical documentation	133
	Anhang B: Datengrundlagen und Modellparametrisierung.....	141
	Anhang C: KLIMA MIX Szenarien – die Instrumentierung im Detail	179
	Anhang D: Sekundäreffekte / Externe Kosten	183
	Anhang E: Desaggregation der Haushalte.....	195
	Anhang F: Detailresultate.....	203
	Literaturverzeichnis	207

Inhaltsverzeichnis

	Inhaltsverzeichnis	3
	Abkürzungsverzeichnis	5
	Glossar	7
	Kurzfassung.....	9
1	Einleitung	15
1.1	Ausgangslage und Umfeld	15
1.2	In den Energieperspektiven 2050+ eingesetzte Modelle	15
1.3	Fragestellung.....	16
2	Mehrländermodell EPER	26
3	Szenario WWB und KLIMA.....	33
3.1	Annahmen für die Schweiz	33
3.2	Globale Annahmen	35
3.2.1	THG-Zielsetzung – Annahmen und Begründung für das Szenario KLIMA	35
3.2.2	Quellen für die Vorgaben der Entwicklung im Szenario WWB und KLIMA	37
3.2.3	THG-Pfade in den Szenarien WWB und KLIMA.....	38
3.2.4	THG-Zielsetzung – Emissionsminderung im Szenario KLIMA i.Vgl. zu WWB	45
4	KLIMA MIX Szenarien	46
5	Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Netto-Null-Politik	50
5.1	Volkswirtschaftliche Auswirkungen ohne Sekundäreffekte.....	50
5.2	Volkswirtschaftliche Auswirkungen mit Sekundäreffekten	68
5.2.1	Sekundäreffekte der Treibhausgasreduzierung auf die Schweiz	68
5.2.2	Volkswirtschaftliche Auswirkungen auf die Schweiz mit Berücksichtigung der Sekundäreffekte	72
5.3	Soziale Verteilungseffekte.....	76
5.4	Struktureffekte	81
6	Volkswirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher stilisierter Schweizer Instrumentenpakete	87
7	Volkswirtschaftliche Auswirkungen «schützender» ausländischer Klimapolitik	96
8	Einflussfaktoren und Sensitivitätsanalyse	101
8.1	Die Auswirkungen unterschiedlicher Stromvarianten und Laufzeit KKW 60 Jahre	101

8.1.1	Auswirkungen unterschiedlicher Stromvarianten.....	101
8.1.2	Auswirkung einer längeren Laufzeit der KKW	106
8.2	Auswirkungen veränderter NET-Potenziale und -Kosten	110
8.2.1	Auswirkung höherer und tieferer NET-Potenziale.....	111
8.2.2	Auswirkungen höherer und tieferer NET-Kosten	113
8.3	Auswirkungen veränderter Synfuels-Potenziale und -Kosten.....	115
8.3.1	Auswirkungen höherer und tieferer Synfuel-Potenziale.....	115
8.3.2	Auswirkungen höherer und tieferer Synfuel-Kosten	118
8.4	Auswirkungen höheres Bevölkerungs- und BIP-Wachstum in der Schweiz.....	120
8.5	Sensitivitätsanalyse Modell-Parameter	125
9	Zusammenfassende Schlussfolgerungen	130
	Anhang A: The EPER Model- Technical documentation	133
	Anhang B: Datengrundlagen und Modellparametrisierung.....	141
	Anhang C: KLIMA MIX Szenarien – die Instrumentierung im Detail	179
	Anhang D: Sekundäreffekte / Externe Kosten	183
	Anhang E: Desaggregation der Haushalte.....	195
	Anhang F: Detailresultate.....	203
	Literaturverzeichnis	207

Abkürzungsverzeichnis

AEEI	Autonomous Energy Efficiency Improvements
ARA	Abwasserreinigungsanlage
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BECCS	Bio-Energy with Carbon Capture and Storage
BEV	Battery Electric Vehicle
BFE	Bundesamt für Energie
BIP	Bruttoinlandsprodukt
CCS	Carbon Capture and Storage (Kohlenstoffabscheidung und -speicherung im Untergrund)
CES	Constant Elasticity of Substitution
CH	Schweiz
CH ₄	Methan (Treibhausgas)
CHF	Schweizer Franken
ChInRuME	China, Indien, Russland und Mittlerer Osten (Region im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
CO ₂	Kohlendioxid (Treibhausgas)
CO ₂ eq	Kohlendioxid-Äquivalente
CON	Bauwirtschaft (Sektor im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
DACCS	Direct Air Capture with Carbon Storage
DL	Dienstleistungen
EE	Erneuerbare Energien
EPER	EnergiePER spektiven: Name für das verwendete Gleichgewichtsmodell
ETS	Emissions Trading Systems (in der Regel gebraucht für das Emissionshandelssystem der EU, inklusive Schweiz)
EU	Europäische Union (inkl. Grossbritannien)
FCEV	Fuel Cell Electric Vehicle
F-Gase	fluorierte Treibhausgase (ein Sammelbegriff für teilfluorierte Kohlenwasserstoffe (HFKW), perfluorierte Kohlenwasserstoff (FKW), Schwefelhexafluorid (SF ₆) und Stickstofftrifluorid (NF ₃))
FW	Fernwärme
Gt	Gigatonnen (eine Milliarde Tonnen)
GTAP	Global Trade Analysis Project (globales Forschungsnetzwerk für quantitative Analysen internationaler Politiken)
H ₂	Wasserstoff
HABE	Haushaltbudgetbefragung des Schweizer Bundesamts für Statistik
HEV	Hybrid Electric Vehicle
HEV	Hicks' Equivalent Variation (Masss für die Wohlfahrt)
HH	Haushalte
IEA	International Energy Agency
IOT	Input-Output-Tabelle
IPCC	The Intergovernmental Panel on Climate Change
KKW	Kernkraftwerk
KLIMA	Szenario «Netto-Null-Treibhausgasemissionen» bzw. treibhausgasneutrale Schweiz bis ins Jahr 2050 mit entsprechenden Klimapolitik auch im Ausland)

KW	Kraftwerk
LAW	Landwirtschaft (Sektor im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
LKW	Lastkraftwagen
LULUCF	Land Use, Land-Use Change and Forestry
Mt	Megatonnen (eine Million Tonnen)
MWST	Mehrwertsteuer
N ₂ O	Lachgas (Treibhausgas)
NET	Negative Emissionstechnologien
NETS	Sektoren, welche nicht im ETS sind
NZE	Szenario «Net Zero Emissions by 2050» der IEA
OBA	Output Based Allocation
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
PHA	Pharma (Sektor im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
PtH ₂	Power to Hydrogen (Umwandlung von Strom zu Wasserstoff)
PtL	Power to Liquid (Umwandlung von Strom zu flüssigem Kraftstoff)
PtX	Power to X (Umwandlung von Strom in eine speicherbare Energieform)
PW	Personenwagen
RCP	Representative Concentration Pathways für den 5. Assessment Report des IPCC
Rest_OECD	OECD-Länder ohne EU und Schweiz (Region im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
ROI	Rest Industrie (Sektor im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
ROW	Rest of the World (Region im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
SDS	Szenario «Sustainable Development» der IEA im Rahmen des WEO 2020
SER	Dienstleistungen (Sektor im verwendeten Gleichgewichtsmodell)
STEPS	Szenario «Stated Policies» der IEA im Rahmen des WEO 2020
StL	Sun to Liquid (Umwandlung von Sonnenenergie zu flüssigem Kraftstoff)
THG	Treibhausgase
ToT	Terms of Trade (Verhältnis zwischen Export- und Importpreisen)
USD	US Dollar
WEO	World Energy Outlook der IEA
WP	Wärmepumpe
WWB	Szenario «Weiter wie bisher»

Glossar

Fit-for-55	Fit-for-55 ist ein Reformpaket von neuen Richtlinien und -Verordnungen der Europäischen Kommission zur EU-Klimapolitik. Das Fit-for-55-Paket wurde am 14. Juli 2021 von der Kommission veröffentlicht. Mit diesem soll das im European Green Deal verankerte Ziel, den Ausstoss von Treibhausgasen in der EU bis 2030 um mindestens 55 Prozent zu reduzieren und Europa bis 2050 treibhausgasneutral zu machen, erreicht werden.
Biofuels	Biofuels, oder Biokraftstoffe, sind Kraftstoffe, die aus biogenen Ressourcen (Pflanzen oder kohlenstoffhaltige Abfallprodukte) hergestellt werden.
Externe Kosten	Sowohl beim Verbrauch von Energie als auch bei der Produktion von Elektrizität und Wärme fallen Kosten an, die nicht von den Verbrauchern bzw. den Produzenten getragen werden, sondern von der Allgemeinheit, z.B. in Form von Erkrankungen aufgrund der Luftverschmutzung. Werden Kosten nicht von den Verursachern getragen (Verbraucher oder Produzenten), sondern von Dritten, spricht man von externen Kosten.
Grenzvermeidungskosten	Die Grenzvermeidungskosten drücken aus, wie viel die Vermeidung oder Reduktion einer zusätzlichen Tonne CO ₂ eq kostet. Sie unterscheiden sich je nach Masnahme und Weltregion erheblich.
PtL/PtH ₂ (Herstellungsverfahren für Synfuels)	<p>Unter PtL (Power to Liquid) bzw. PtH₂ versteht man die Umwandlung von Elektrizität in flüssigen Kraftstoff, der sehr ähnliche Eigenschaften hat wie Benzin oder Diesel, bzw. Wasserstoff. Die Elektrizität kommt dabei erneuerbaren Quellen, wie bspw. aus Fotovoltaikanlagen, Wind- oder Wasserkraftwerken.</p> <p>Das für die Herstellung des flüssigen Treibstoffs notwendige CO₂ kann aus den Abgasen von grossen Emittenten abgeschieden werden (CCU Carbon Capture and Use), womit aber die CO₂-Emissionen nur teilweise reduziert werden. Erst wenn das CO₂ biogen erzeugt oder aus der Atmosphäre gewonnen wird, gilt der Treibstoff als treibhausgasneutral. Beim sogenannten «Direct Air Capture Power to Liquid (PtL)» wird CO₂ mittels grosser Filteranlagen direkt aus der Luft gewonnen. Parallel dazu wird aus Wasser durch ein mit erneuerbarer Energie betriebenes Elektrolyseverfahren Wasserstoff hergestellt. Ein Teil des Wasserstoffs wird verwendet, um das CO₂ in CO umzuwandeln. In dieser Prozesskette entsteht sogenanntes Syngas (CO und H₂), woraus der Kraftstoff erzeugt werden kann. Die Gesamtbilanz des gewonnenen Kraftstoffs bezüglich CO₂-Reduktion ist abhängig davon, wie energie- und ressourcenaufwändig die verwendete Infrastruktur ist und zu welchen Teilen die Prozessenergie (Wärme- und elektrische Energie) aus erneuerbaren Energiequellen stammt.¹</p>
Rekursiv dynamisches Mehrländer-Gleichgewichtsmodell	Das in dieser Studie verwendete Gleichgewichtsmodell wurde im Hinblick auf die langfristigen Auswirkungen internationaler Klima- und Energiepolitiken entwickelt. Dabei werden insbesondere die Beziehungen und Rückkoppelungen zwischen verschiedenen Sektoren einer Ökonomie berücksichtigt. Die Dynamik des Modells ist rekursiv-dynamisch, d.h. die regionalen Ökonomien entwickeln sich in einer Abfolge statischer Gleichgewichte, die durch Kapitalakkumulation und Arbeitskräfteeinsatz miteinander in Verbindung stehen: Für jeden Zeitpunkt wird ein Gleichgewicht mit einem Kapitaleinsatz, welches die Investitionen aus früheren Zeitpunkten berücksichtigt, und Arbeitskräfteeinsatz, welcher das Ergebnis steigender Arbeitsproduktivität und sich ändernder Erwerbsbevölkerung ist, gefunden. So können Sequenzen mit frei wählbarem Zeithorizont modelliert werden.
Sekundäreffekte	Mit einer ambitionierten Klimapolitik werden nicht nur Treibhausgase, sondern auch andere Umweltbelastungen vermindert, was schlussendlich bspw. zu einer saubereren Luft oder weniger Strassenlärm führt. Dies hat positive Effekte auf die Gesundheit. Diese per Saldo meist positiven Effekte werden in diesem Bericht als Sekundäreffekte einer ambitionierten Klimapolitik bezeichnet.

¹ Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020b).

Standards/ Vorschriften	Der Begriff «Standard» wird hier als Oberbegriff für regulatorische Massnahmen (Vorschriften, Grenzwerte usw.) verwendet. Im Gleichgewichtsmodell werden die Standards so implementiert, dass sich die in den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ ausgewiesenen Technologieanteile der Basisvariante des Szenarios ZERO exakt ergeben (Portfoliostandard-Ansatz).
StL (Herstellungsverfahren für Synfuels)	«Sun to Liquid (StL)»: CO ₂ und Wasserdampf werden direkt der Umgebungsluft entzogen und mit Hilfe von thermochemischen Reaktoren, welche durch konzentrierte Solarstrahlung (via Sonnenspiegel) beheizt werden, zu Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H ₂) umgewandelt. Auch hier wird aus dem entstandenen Synthesegas Kerosin erzeugt. Die Gesamtbilanz bezüglich CO ₂ -Reduktion und Ressourcenschonung kann als sehr gut bezeichnet werden, da Kohlen- und Wasserstoff, die Grundbausteine des Treibstoffs, aus der Luft und die Prozesswärme direkt von der Sonne stammen. ²
Synfuels	In diesem Bericht verwenden wir den Begriff «Synfuels» - sofern nicht anders spezifiziert - für einen treibhausgasneutralen, aus erneuerbaren Energien hergestellten flüssigen Kraftstoff. Dieser kann mittels PtL/PtH ₂ - oder StL-Verfahren hergestellt werden.

² Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020).

Kurzfassung

Einleitung

Ecoplan hat mit dem vorliegenden Bericht im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ die volkswirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener Szenarien zur Umsetzung des Netto-Null-Ziels im Vergleich zum Szenario «Weiter wie bisher» (WWB) gerechnet. Die Analysen zeigen, welche volkswirtschaftlichen Unterschiede in der Schweiz bestehen zwischen einer WWB-Entwicklung und einer Welt, in der Netto-Null-Emissionen bis 2050 für die Schweiz erreicht werden, mit entsprechenden globalen Anstrengungen des Auslands zur Erreichung der Ziele gemäss Pariser Abkommen.

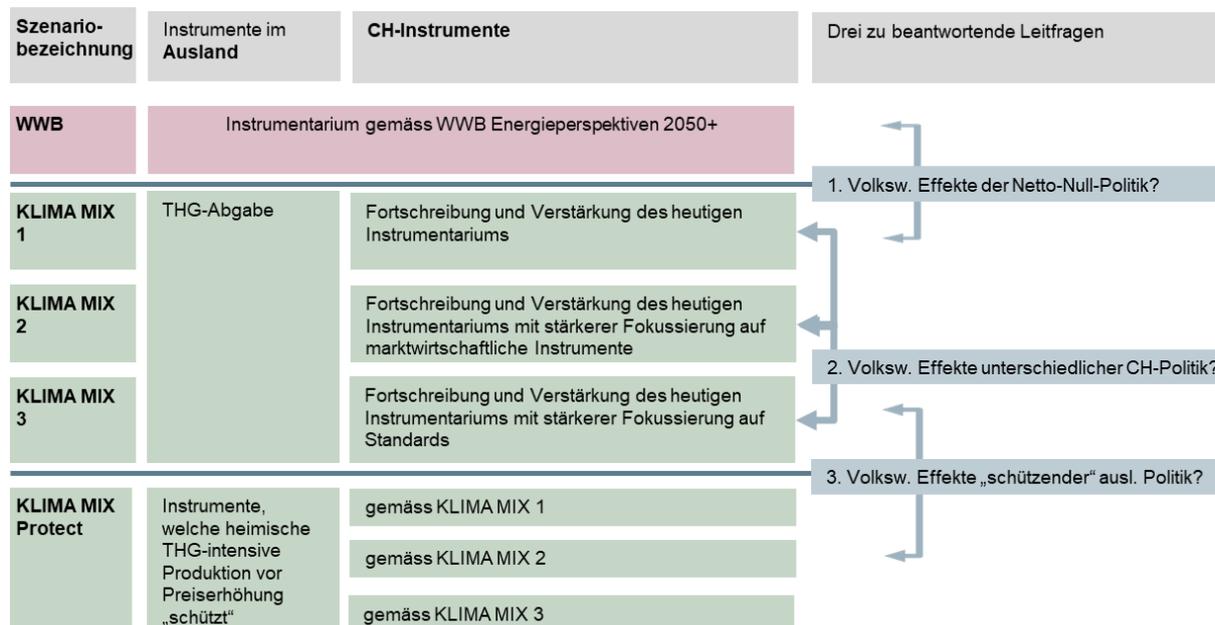
Der erweiterte Umbau des Energiesystems ist unerlässlich, um die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null zu reduzieren und somit in Kooperation mit der weltweiten Staatengemeinschaft den Temperaturanstieg gemäss den Zielen des Übereinkommens von Paris auf unter 1.5 Grad Celsius zu beschränken. Die Umsetzung des Netto-Null Ziels und der damit einhergehende Umbau des Energiesystems sind mit volkswirtschaftlichen Auswirkungen verbunden: Es sind Veränderungen bei der Wirtschaftsstruktur sowie der Art und Weise, wie Güter produziert und konsumiert werden, zu erwarten. Mit den vorliegenden Berechnungen werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen verschiedener Massnahmenpakete zur Erreichung des Netto-Null-Ziels analysiert und quantifiziert. Nicht berücksichtigt bei den hier vorliegenden Analysen sind die Kosten des «Nichts tun», also die Schäden durch eine weitere, deutlich über 1.5 Grad Celsius hinausgehenden Klimaerwärmung.

Fragestellungen der Studie

Mit einem Mehrländer-Gleichgewichtsmodell, das sich bei der Schweizer Energiewirtschaft eng an die Szenarien der EP 2050+ hält, werden folgende Fragen untersucht:

1. Welche volkswirtschaftlichen Auswirkungen zeigen ausgewählte stilisierte und theoretische Massnahmenpakete, um bis 2050 Netto-Null-Emissionen für die Schweiz zu erreichen mit entsprechenden Anstrengungen des Auslands im Rahmen des Klimaübereinkommens von Paris?
2. Wie unterscheiden sich die volkswirtschaftlichen Auswirkungen mit unterschiedlichen stilisierten Massnahmenpaketen?
3. Welche volkswirtschaftlichen Effekte ergeben sich aus einer die eigene Industrie «schützenden» ausländischen Klimapolitik?

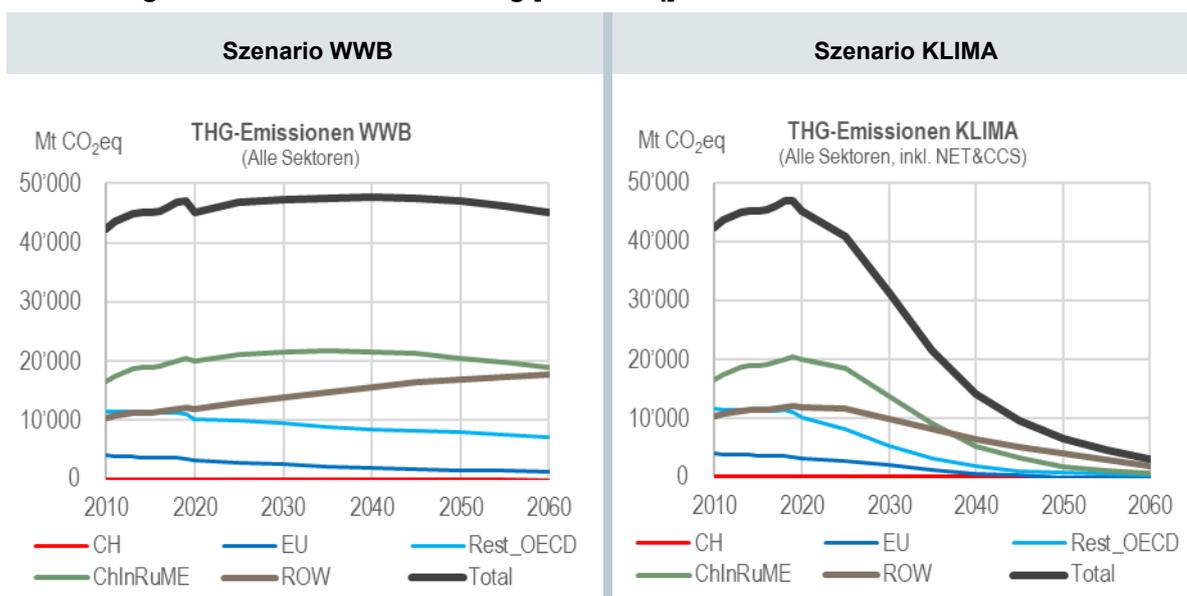
Abbildung 1: Szenario-Logik und zu beantwortende Leitfragen



Um diese Fragestellungen der Studie zu beantworten, werden verschiedene Szenarien analysiert und verglichen. Das Hauptszenario KLIMA MIX 1 illustriert eine stilisierte Fortschreibung und Verstärkung der bestehenden energie- und klimapolitischen Instrumente für die Schweiz, während KLIMA MIX 2 stärker auf marktwirtschaftliche Instrumente und KLIMA MIX 3 stärker auf Standards (Vorschriften) setzt. Die KLIMA MIX Protect Szenarien bilden eine schützende Politik des Auslands ab. Die Analyse hat keinen prognostischen Anspruch, sondern sie rechnet mit möglichen Zukunftsszenarien. Es geht somit um den Vergleich der volkswirtschaftlichen Auswirkungen eines Szenarios WWB («Weiter wie bisher») mit einem Szenario KLIMA («Netto-Null-Treibhausgasemissionen bzw. treibhausgasneutrale Schweiz bis ins Jahr 2050 mit entsprechenden Klimapolitiken auch im Ausland»).

Im Szenario WWB werden in der Schweiz alle bis Ende 2018 in Kraft gesetzten Massnahmen und Instrumente der Energie- und Klimapolitik weitergeführt. Auf internationaler Ebene sind alle spezifischen Politikmassnahmen im Energiesektor berücksichtigt, die bis 2020 in Gesetzen erlassen oder von Regierungen weltweit angekündigt waren. Im Szenario WWB werden die Klimaziele nicht erreicht, siehe Abbildung 2. Es ist deshalb mit dem Übereinkommen von Paris nicht kompatibel. **WWB ist also keine gleichwertige Alternative zu den KLIMA-Szenarien**, sondern dient lediglich als Vergleich, welcher erlaubt, die volkswirtschaftlichen Kosten der Schweiz beim Umbau ihres Energiesystems und der Umsetzung des Netto-Null Ziels abzuschätzen. Der Nutzen der «gebremsten» Klimaerwärmung wird hier nicht berücksichtigt – ebenso wenig wie die Kernkrafttrisiken.

Tatsächlich werden Auswirkungen immer im Vergleich zum Szenario WWB (Referenzentwicklung) angegeben. Negative Wohlfahrts- oder BIP Effekte bedeuten somit nicht, dass die Wohlfahrt oder das BIP absolut betrachtet sinken, sondern lediglich, dass sie sich unter der Referenzentwicklung befinden.

Abbildung 2: Totale THG-Entwicklung [Mt CO₂eq]

Die wichtigsten Erkenntnisse im Überblick

Die vorliegende Studie untersucht, mit welchen volkswirtschaftlichen Auswirkungen die Schweiz zu rechnen hat, wenn sie koordiniert mit den übrigen Ländern ihr Netto-Null-Ziel erreichen will. Sie fokussiert somit auf die volkswirtschaftlichen Effekte verschiedener KLIMA-Szenarien, ohne den eigentlichen Primärnutzen – die Verminderungen der Schäden aus der Klimaerwärmung – zu quantifizieren. Die wichtigsten Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

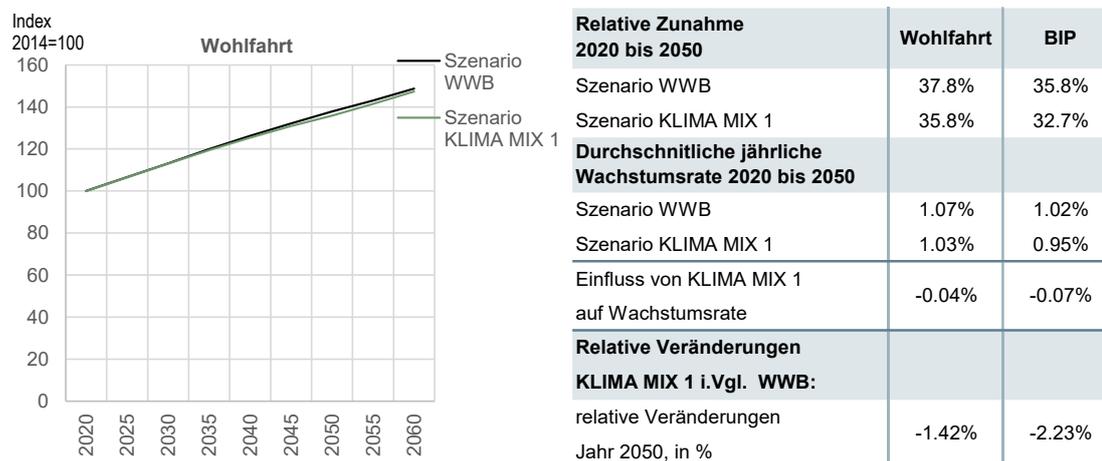
Auswirkungen auf Wohlfahrt und BIP der Schweiz im Szenario KLIMA MIX 1

Zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null ist ein weltweiter Umbau des gesamten Energiesystems bis zum Jahr 2050 notwendig. Die Auswirkungen auf Wohlfahrt und Bruttoinlandsprodukt (BIP) für die Schweiz sind zwar modellmässig deutlich feststellbar, halten sich aber für die Schweizer Volkswirtschaft als Ganzes in Grenzen: Die bis 2050 mit rund 1% jährlich weiter ansteigenden Wohlfahrt und BIP wachsen im Szenario KLIMA MIX 1 in der Schweiz um 0.04% bzw. 0.07% weniger.

Rund die Hälfte der für die Schweiz berechneten Wohlfahrtseffekte lassen sich auf die Massnahmen im Ausland zurückführen: Die Verminderung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null verändert nicht nur die Nachfrage nach fossiler Energie, sondern auch die Nachfrage nach anderen Gütern. Insgesamt verschlechtert sich deshalb für den Schweizer Aussenhandel das Verhältnis von Export- und Importpreisen. Die andere Hälfte der Wohlfahrtseffekte ist auf die Massnahmen im Inland zurückzuführen: Da die Bereitstellung der Energiedienstleistungen in der Schweiz unter Einhaltung des Netto-Null-Ziels teurer ist, als wenn weiterhin Öl und Gas verfeuert wird, entstehen volkswirtschaftliche Zusatzkosten mit entsprechend moderat negativen Effekten auf die Wohlfahrt. Erneuerbare Energien werden im Vergleich zu den fossilen

Energien jedoch immer konkurrenzfähiger und auch die heute noch hohen Kosten für CCS (Carbon Capture and Storage) sowie NET (Negativemissionstechnologien) werden künftig immer günstiger, so dass sich die volkswirtschaftlichen Auswirkungen in Grenzen halten.

Abbildung 3: Auswirkungen auf Schweizer Wohlfahrt und Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Szenario KLIMA MIX 1



Erhöhung der Investitionsquote zulasten des Konsums

Der Umbau des Energiesystems führt zu einem spürbaren Anstieg des Investitionsanteils zu Lasten des privaten Konsums am BIP. Die Schweizer Wirtschaft wird aufgrund des Umbaus der Energiesystems anteilmässig mehr für den Schweizer Markt produzieren, d.h. die Nettoexporte gehen zurück. Von den klimapolitischen Massnahmen sind die **Löhne** stärker negativ betroffen als die Kapitalrenditen. Der Grund dafür liegt darin, dass der Faktor Arbeit weniger flexibel reagiert als der relativ mobile Faktor Kapital. Die Zusatzkosten des Umbaus des Energiesystems werden zu einem grösseren Teil auf den mobileren Faktor Arbeit, also auf die Löhne, überwältigt.

Massnahmen zur Senkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null verbessern Luftqualität und führen zu weniger Strassenlärm

Die Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bringt der Schweiz eine bessere Luftqualität und weniger Strassenlärm. Diese Sekundäreffekte können die in dieser Studie berechneten Wohlfahrtseffekte zu etwa 10 Prozent kompensieren.

Soziale Verteilungseffekte einer Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null

Die Massnahmen zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bringen auch **soziale Verteilungseffekte mit sich**: Im Szenario KLIMA MIX 1 liegen die Wohlfahrtseffekte

für die erwerbstätigen Haushalte zwischen -1.2% und -1.7%. Bei den Rentnerhaushalten sind die Auswirkungen etwas geringer. Die KLIMA MIX Szenarien der Studie beinhalten keine Massnahmen zur Entlastung gewisser Bevölkerungsgruppen oder zur Abschwächung möglicher unerwünschter Verteilungswirkungen. Die Ergebnisse machen aber deutlich, dass diesen Effekten bei der Ausgestaltung der künftigen Klima- und Energiepolitik Beachtung geschenkt werden muss.

Struktureffekte einer Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null

Die Massnahmen zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null haben auch **Struktureffekte** zur Folge. Für die treibhausgasintensiven Sektoren – Landwirtschaft, ETS-Sektoren, Rest Industrie – nehmen die Produktionskosten zu, was zu einem Rückgang der heimischen Nachfrage führt. Als Folge davon sinkt auch das Produktionsniveau in diesen Sektoren. Die Nachfrage im Bau-Sektor und dem Energiesektor wird aufgrund der Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems zunehmen. In diesen beiden Sektoren steigt denn auch das Produktionsniveau.

Marktwirtschaftliche Instrumente wären effizienter als Standards (Vorschriften)

Die Wahl des Instrumentenmix zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null hat einen Einfluss auf die Effizienz der Zielerreichung und die Wohlfahrt, die volkswirtschaftlichen Auswirkungen in den verschiedenen Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 unterscheiden sich jedoch nur wenig. Der effizienz- und wohlfahrtsmässig beste Instrumentenmix basiert vornehmlich auf im Zeitverlauf ansteigenden CO₂-Abgaben auf Brenn- und Treibstoffen (Szenario KLIMA MIX 2). Die Vorteile einer solchen marktwirtschaftlichen Instrumentierung liegen im Weg zur Dekarbonisierung. In den entscheidenden Jahren, insbesondere 2045 und 2050, erfolgt die Dekarbonisierung effizienter – also zu geringeren volkswirtschaftlichen Kosten – mit CO₂-Abgaben als mit Standards (Vorschriften). So sind denn auch die Wohlfahrtseffekte im KLIMA MIX 2 geringer als in den beiden anderen Szenarien KLIMA MIX 1 und 3.

«Schützende» ausländische Klimapolitik gefährdet Schweizer Wohlfahrt nicht, hat aber deutliche Struktureffekte

Eine die energieintensiven und handelssexponierten Sektoren «schützende» Klimapolitik des Auslands verschlechtert die Wohlfahrt in der Schweiz nicht etwa, sondern verbessert sie sogar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schweiz (i) einen relativ kleinen Anteil an energieintensiven und handelssexponierten Unternehmen aufweist und (ii) die Schweiz viele energieintensive Vorleistungen nicht selber produziert, sondern importiert. Allerdings führt eine solche «schützende» Klimapolitik des Auslands zu Einbussen bei den energieintensiven und handelssexponierten Sektoren in der Schweiz.

Negativemissionstechnologien (NET) haben grossen Einfluss

Die globalen Potenziale für NET haben einen grossen Einfluss auf die Wohlfahrtseffekte einer Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null. Je grösser das verfügbare NET-Potenzial, desto niedriger die Wohlfahrtsverluste. Die Resultate der Studie unterstreichen die Notwendigkeit, geeignete Rahmenbedingungen für die Bereitstellung von NET zu schaffen.

Höheres Bevölkerungs- und BIP-Wachstum sind keine zusätzlichen Hindernisse für die Erreichung des Netto-Null-Ziels

Mit höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum steigen die Kosten für die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Dies bedeutet aber nicht, dass die Bevölkerung bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum durch die Dekarbonisierung stärker belastet wird: Absolut gesehen steigen zwar die Pro-Kopf-Kosten, aber es muss bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum relativ weniger vom zusätzlichen Wohlfahrtszuwachs für die Dekarbonisierung aufgewendet werden.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Umfeld

Aktualisierung der Energieperspektiven und das Netto-Null-Ziel des Bundesrats

Gegenüber den Energieperspektiven 2050 aus dem Jahr 2012 haben sich wichtige gesamtwirtschaftliche Rahmendaten wie beispielsweise Bevölkerung oder Bruttoinlandprodukt verändert und es liegen aktualisierte Annahmen zu deren zukünftigen Entwicklungen vor. Weiter hat der Bundesrat am 28. August 2019 entschieden, dass die Schweiz ab 2050 netto keine Treibhausgasemissionen mehr ausstossen soll (Netto-Null-Ziel). Mit diesem Entscheid will der Bundesrat das Pariser Klimaabkommen umsetzen, also den Schweizer Beitrag zur Begrenzung der Klimaerwärmung auf maximal +1.5 Grad gegenüber der vorindustriellen Zeit leisten. Mit diesem Entscheid wurden die bisherigen Ziele einer Senkung der Treibhausgasemissionen um 70 bis 85 Prozent gegenüber 1990 bis ins Jahr 2050 deutlich verschärft. Für die neuen **Energieperspektiven 2050+**, welche in den Jahren 2019 bis 2021 erarbeitet wurden, ist das Netto-Null-Ziel massgeblich.

1.2 In den Energieperspektiven 2050+ eingesetzte Modelle

Bottom-up-Modelle zur partialanalytischen Analyse der Technologiewelten

Im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ werden wie schon in den letzten Energieperspektiven verschiedene Modelle eingesetzt, die aufzeigen mit welchen Technologien eine treibhausgasneutrale Schweiz bis ins Jahr 2050 erreicht werden kann. Diese Technologiemodelle sind sogenannte Bottom-up-Modelle (bup-Modelle), welche partialanalytisch die verschiedenen energie- und klimarelevanten Bereiche detailliert analysieren in Bezug auf die Durchdringung mit energie- und CO₂-effizienten Technologien bei Haushalten, Dienstleistungen, Industrie sowie im Verkehrs-, Wärmeerzeugungs- und Stromproduktionsbereich (vgl. Abbildung 1-1). Diese Bottom-up-Modelle liefern Erkenntnisse zur Energienachfrage und zur Wärme- und Stromproduktion sowie zu den entsprechenden Technologiekosten.³

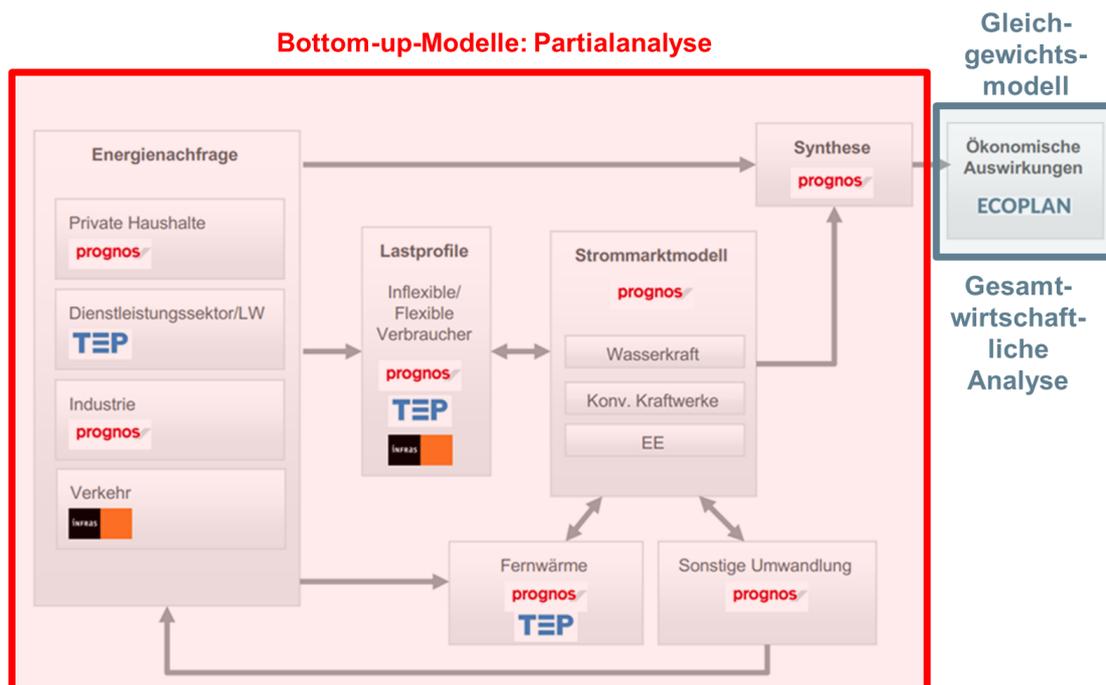
Gleichgewichtsmodelle zur gesamtwirtschaftlichen Analyse

Im Rahmen der hier vorliegenden Studie werden die von den Bottom-up-Modellen gelieferten Informationen zur Entwicklung der Treibhausgase, zur Energienachfrage, zur Stromproduktion und den Technologiekosten (Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten) übernommen und die gesamtwirtschaftlichen Effekte mit Hilfe eines Gleichgewichtsmodells analysiert. In der gesamtwirtschaftlichen Analyse wird kostenmässig neben den von den Bottom-up-Modellen gelieferten Technologiekosten bspw. berücksichtigt, dass in einer treibhausgasneutralen Schweiz statt Öl und Gas bspw. Wärmepumpen importiert oder Solarkollektoren durch heimische Ar-

³ Vgl. Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infras AG (2021).

beitskräfte installiert werden. In diesem Sinne ergänzt die vorliegende Studie die von den Bottom-up-Modellen gelieferten Technologiekosten durch gesamtwirtschaftliche Rückkoppelungen, die sich auf dem Weg zur Erreichung des Netto-Null-Ziels ergeben. Die Analyse mit dem Gleichgewichtsmodell ist somit keine «parallele» Analyse zu den Bottom-up-Modellen, sondern sie baut gänzlich auf den Resultaten der Bottom-up-Modelle auf und ergänzt die Analyse der Bottom-up-Modelle mit den gesamtwirtschaftlichen Auswirkungen bzw. Rückkoppelungen.

Abbildung 1-1: Bottom-up-Modell und Gleichgewichtsmodelle



1.3 Fragestellung

Fragestellung

Ecoplan hat in den Jahren 2019 und 2020 ein detailliertes volkswirtschaftliches Modell erarbeitet, welches die Resultate der im Rahmen der Energieperspektiven 2050+ entwickelten Energiesystemmodelle in Bezug auf den Energieträgermix und die CO₂-Emissionen für die Schweiz replizieren und die volkswirtschaftlichen Effekte des Energiesystemumbaus berechnen kann. Dieses eng auf die Schweizer Energieperspektiven 2050+ ausgerichtete Modell soll eingesetzt werden, um die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Massnahmen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels abzuschätzen. Die Analyse soll eingebettet werden in eine (stark vereinfachte) Modellierung der globalen Anstrengungen zur Erreichung der Ziele gemäss Pariser Abkommen. Der Fokus der Analysen liegt auf der Schweiz, die Modellierung des Auslands dient der Berücksichtigung von Rückkoppelungseffekten auf die Schweizer Volkswirtschaft.

Mit einem Mehrländer-Gleichgewichtsmodell, das sich bei der Schweizer Energiewirtschaft eng an die Szenarien der Energieperspektiven 2050+ hält, sollen folgende Fragen geklärt werden:

- Welche volkswirtschaftlichen Auswirkungen⁴ zeigen stilisierte und theoretische Massnahmenpakete, um **bis 2050 Netto-Null-Emissionen** für die Schweiz zu erreichen mit entsprechenden Anstrengungen des Auslands im Rahmen des Klimaübereinkommens von Paris? Die Resultate sollen im Kontext stilisierter Klimapolitikinstrumente diskutiert werden.
- Wie unterscheiden sich die volkswirtschaftlichen Auswirkungen **mit unterschiedlichen stilisierten Massnahmenpaketen**?
Es sollen die Unterschiede von stilisierten Netto-Null-Massnahmenpakete diskutiert werden.
- Welche volkswirtschaftlichen Effekte ergeben sich aus einer die **eigene Industrie «schützenden» ausländischen Klimapolitik**?
Die Resultate sollen im Kontext der internationalen Klimapolitik diskutiert werden und stilisiert dargelegt werden, welche Rückwirkungen die internationale Energie- und Klimapolitik auf die Schweiz hat.

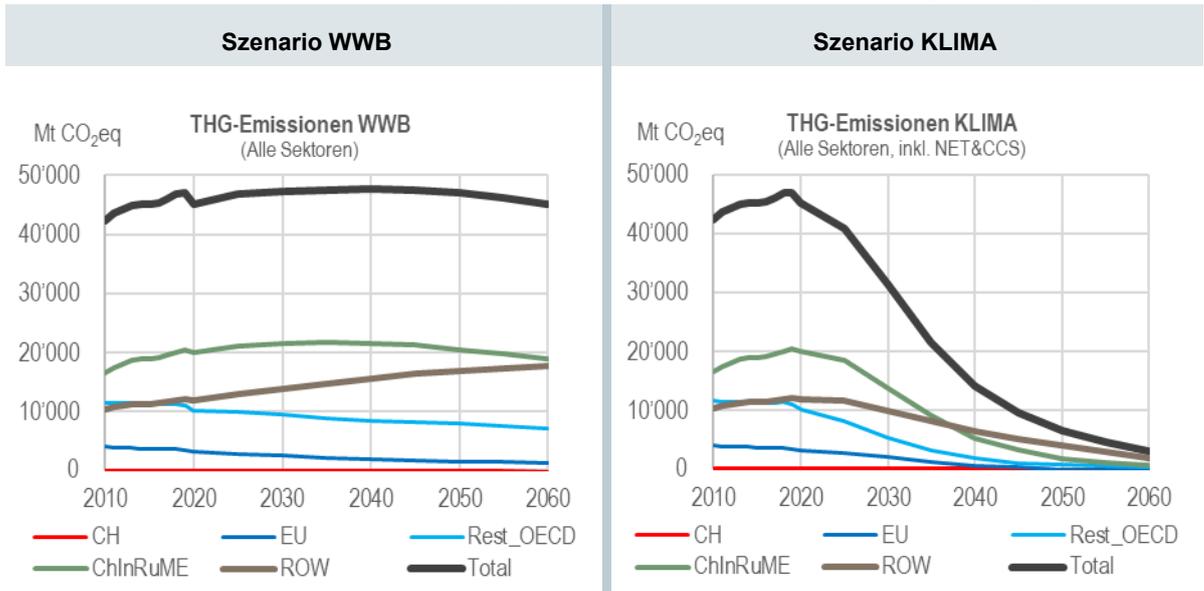
Relativer Vergleich zweier Szenarien

Die Analyse hat keinen prognostischen Anspruch, sondern es soll mit möglichen Zukunftsszenarien gerechnet werden. Der Fokus liegt dabei auf dem Umbau des Energiesystems auf dem Weg zu Netto-Null, verglichen mit einer Referenzentwicklung ohne diese Transformation. Es geht somit um den Vergleich der volkswirtschaftlichen Auswirkungen eines Szenarios **KLIMA** («Netto-Null-Treibhausgasemissionen bis ins Jahr 2050 mit entsprechenden Klimapolitiken auch im Ausland) mit einem Szenarios **WWB** («Weiter wie bisher»).

Im Szenario WWB werden in der Schweiz alle bis Ende 2018 in Kraft gesetzten Massnahmen und Instrumente der Energie- und Klimapolitik weitergeführt. Auf internationaler Ebene sind alle spezifischen Politikmassnahmen im Energiesektor berücksichtigt, die bis 2020 in Gesetzen erlassen oder von Regierungen weltweit angekündigt waren. Im Szenario WWB werden die Klimaziele nicht erreicht, siehe Abbildung 1-2. Es ist deshalb mit dem Übereinkommen von Paris nicht kompatibel. WWB ist also keine gleichwertige Alternative zu den KLIMA-Szenarien, sondern dient lediglich als Vergleich.

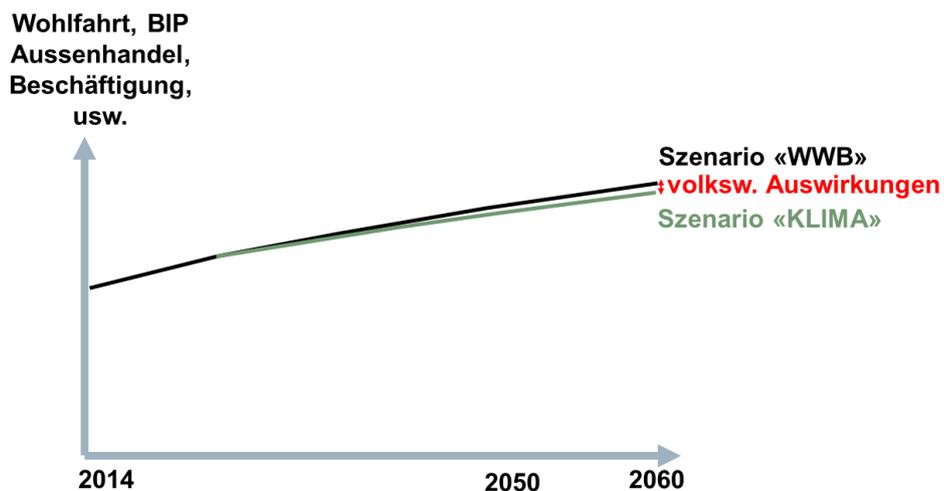
⁴ Auswirkungen auf BIP, Beschäftigung, Wohlfahrt, Aussenhandel, Umsatz und Wertschöpfung einzelner Sektoren.

Abbildung 1-2: **Totale THG-Entwicklung in den Szenarien WWB und KLIMA [Mt CO₂eq]**



Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Szenarios KLIMA werden als relative Abweichungen zum Szenario WWB ausgedrückt. Also bspw. kann im Szenario KLIMA die Wohlfahrt im Jahr 2060 um x% höher oder tiefer liegen als im Szenario WWB. Im Rahmen der vorliegenden Studie werden die Auswirkungen auf das Bruttoinlandsprodukt (BIP), die Wohlfahrt insgesamt und für einzelne Haushaltstypen, die Beschäftigung und den Aussenhandel analysiert. Weiter zeigen sich bei der Umsetzung des Netto-Null-Ziels im Szenario KLIMA auch Auswirkungen auf den Strukturwandel, weil bspw. weniger treibhausgasintensive Güter nachgefragt werden und auf andere, weniger treibhausgasintensive Güter ausgewichen wird.

Abbildung 1-3: **Volkswirtschaftliche Auswirkungen: Vergleich eines Szenario WWB («Weiter wie bisher») mit einem Szenario KLIMA («Netto-Null-Treibhausgasemissionen»)**



Nachträgliche Berechnung der Sekundäreffekte einer Netto-Null-Politik

Im Gleichgewichtsmodell werden die externen Effekte des Ausstosses von Treibhausgasen (bspw. Umweltkosten aufgrund der Luftverschmutzung durch Heizanlagen) nicht explizit erfasst. Im Szenario KLIMA wird aber von einer weitgehenden Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen in der Schweiz ausgegangen. Auch die prozessbedingten Treibhausgasemissionen sind zu vermindern (bspw. Treibhausgase in der Landwirtschaft, bei der Zementherstellung, Lösungsmittel usw.). Der Rückgang der Treibhausgasemissionen wird u.a. mit einer starken Minderung des fossilen Brenn- und Treibstoffverbrauchs erreicht, was unter anderem auch zu einer Verbesserung der Luftqualität führt. Dieser positive Nutzen einer besseren Luftqualität im Szenario KLIMA wird als sogenannter Sekundäreffekt - gemeinsam mit weiteren Sekundäreffekten wie der geringere Strassenlärm aufgrund leiserer Elektromotoren - in einer zu den zu den Gleichgewichtsergebnissen nachgelagerten Berechnung abgeschätzt.

Keine Berechnung des Primärnutzens und keine Kosten-Nutzen Analyse einer Netto-Null-Politik

Nicht Teil des Auftrags sind Betrachtungen des sogenannten Primärnutzen des Netto-Null-Ziels. Dieser Primärnutzen besteht in erster Linie aus den vermiedenen Kosten einer ungebremsten (oder nicht genügend gebremsten) Klimaerwärmung. Im nachfolgenden Exkurs wird der Stand des Wissens aufgrund der für die Schweiz verfügbaren bzw. relevanten Literatur in aller Kürze zusammengefasst. Bei der Diskussion der Sekundäreffekte (Kapitel 5.2) wird dann kurz auf den Primärnutzen eingegangen.

Innovationsanreize und First-Mover-Vorteile nicht eingerechnet

Empirisch gibt es Belege, dass energiepolitische Massnahmen Innovationsanreize auslösen können. Für eine generelle, gesamtwirtschaftliche Innovationswirkung im Sinne einer zusätzlichen Erhöhung des Wirtschaftswachstumspfades bei einer ambitionierten Klimapolitik gibt es hingegen kaum empirische Evidenz. Grundsätzlich darf aber davon ausgegangen werden, dass zumindest das Potenzial bzw. das Umfeld für Innovationen vergrössert bzw. verbessert wird. Verschiedene Berichte der OECD⁵ weisen darauf hin, dass bspw. mit Energieabgaben oder allgemeiner mit Umweltabgaben die Innovation für einen effizienteren Energieeinsatz oder eine geringere Umweltbelastung gefördert wird.

Ähnliches wie für die Innovationsanreize gilt auch für die First-Mover-Vorteile: Grundsätzlich hat die Schweiz – immer noch – eine relativ gute Ausgangslage für Energieeffizienztechnologien.

⁵ Vgl. bspw. OECD (2006) und OECD (2010).

gieexporte (hohe Welthandelsanteile und Patente im Bereich von Energieeffizienz-Technologien).⁶ Allerdings ist festzuhalten, dass durch die von der Klimapolitik veränderte relative inländische Preise lediglich ein einzelner Einflussfaktor für die technologische Leistungs- und Exportfähigkeit der Schweizer Energieeffizienz-Branchen darstellen.

In den nachfolgenden Berechnungen werden Innovationsanreize und First-Mover-Vorteile nicht berücksichtigt.

Fazit zu den berechneten und nicht berechneten Auswirkungen: Im Rahmen der vorliegenden Analyse werden nicht alle möglichen Auswirkungen einer ambitionierten Klimapolitik zur Erreichung des Netto-Null-Ziels quantifiziert. Insbesondere wird **keine Nutzen-Kosten-Analyse** erarbeitet, die darlegt, ob sich die Klimapolitik «lohnt». Für die globale Nutzen-Kosten-Abwägung sei an dieser Stelle auf die IPCC-Berichte hingewiesen. Folgende Auswirkungen einer ambitionierten Klimapolitik wurden im Rahmen der vorliegenden Analyse quantifiziert:

Volkswirtschaftliche Effekte (Nutzen und Kosten), unter Beachtung der internationalen Rückkoppelungen, die sich dadurch ergeben, dass alle Länder eine Klimapolitik Richtung Netto-Null umsetzen.

Sekundäreffekte des verminderten Verbrauchs von fossilen Brenn- und Treibstoffen, der veränderten Stromproduktion und der leiseren, strombetriebenen Fahrzeuge (bessere Luft, weniger Gesundheitsschäden, weniger Strassenlärm)

Nicht quantifiziert wurden folgende Auswirkungen einer ambitionierten Klimapolitik

Primärnutzen – das eigentlich Ziel einer ambitionierten Klimapolitik. Bei der vorliegenden Analyse bleiben also die Klimaexternalitäten unberücksichtigt – eine quantifizierte Nutzen-Kosten-Abwägung zur Klimapolitik wird somit nicht vorgelegt.

Dynamische Wachstumsimpulse und First-Mover-Vorteile werden ebenfalls nicht berücksichtigt. Es wird von einer technologischen Entwicklung ausgegangen, bei welcher die erneuerbaren Energien und die Effizienzmassnahmen über die Zeit immer günstiger werden. Diese technologische Entwicklung ist aber in den vorliegenden Berechnungen unabhängig von der Klimapolitik. «Modelltechnisch» wird also in den vorliegenden Berechnungen kein durch die Klimapolitik ausgelöster endogener, technischer Fortschritt berücksichtigt.

Die Risiken der Nutzung der Kernenergie zur Stromerzeugung werden in den vorliegenden Berechnung ebenfalls nicht berücksichtigt.

Auch die Kosten für die Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung des internationalen Luftfahrt und Schifffahrt sind in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt.

⁶ Vgl. dazu Econcept (2008) oder den Masterplan Cleantech des Eidg. Volkswirtschaftsdepartementes (2011) bzw. insbesondere die darin zitierten Studien Ostertag (2011) und Arvanitis, Ley, Wörter (2011). Diese und weitere Studien zu dieser Thematik sind zu finden unter www.cleantech.admin.ch.

Exkurs – Primärnutzen der Erreichung des Netto-Null Ziels

Die Schweiz hat 2015 das Übereinkommen von Paris unterzeichnet und es 2017 ratifiziert. Dieses verpflichtet erstmals alle Staaten zur Reduktion ihrer Treibhausgasemissionen. Die Begrenzung der globalen Erwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber der vorindustriellen Zeit, wobei ein maximaler Temperaturanstieg von 1.5°C angestrebt wird, sowie die Verbesserung der Anpassungsfähigkeit an ein verändertes Klima und die Ausrichtung der Finanzflüsse auf eine treibhausgasarme Entwicklung sind die übergeordneten Ziele des Abkommens.

Um einen Beitrag zur Erreichung dieser Ziele zu leisten, strebt der Bundesrat an, die Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 auf den Zielwert von Netto-Null⁷ zu verringern. Wie der Bundesrat in seiner langfristigen Klimastrategie ausführt⁸, ist «das Ziel der Reduktion der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bis 2050 die Vermeidung gefährlicher Störungen des Klimasystems und damit die Eindämmung der negativen Auswirkungen des Klimawandels. Zu diesen Auswirkungen gehören – neben der allgemeinen Zunahme der Durchschnittstemperatur – veränderte Niederschlagsmuster, die Zunahme von Extremereignissen (Unwetter, Stürme, Hitzeperioden), das Abschmelzen von Gletschern oder der Anstieg des Meeresspiegels. **Der (Primär-)Nutzen der Klimapolitik besteht somit in erster Linie darin, diese Auswirkungen und die damit verbundenen Folgekosten zu reduzieren.** Ein weiterer Vorteil ist die geringere Abhängigkeit von fossilen Energien, die die Schweiz vollständig aus dem Ausland importiert.»

Der folgende Abschnitt erläutert die Abgrenzung der Arbeiten zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen und bietet eine Einordnung der Analysen im Verhältnis zu Abwägungen zum Primärnutzen der Erreichung des Netto-Null Ziels. **Die Erläuterungen entstammen zum Teil direkt der langfristigen Klimastrategie der Schweiz.**⁹

Kosten und Nutzen des Umbaus des Energiesystems sowie der politischen Massnahmen, um das Netto-Null Ziel zu erreichen: Welche Analysen sind Teil der EP2050+?

Die Energieperspektiven 2050+ sind auf das Netto-Null-Ziel ausgerichtet. Sie entwickeln verschiedene Szenarien, die mögliche Umwandlungspfade des Energiesystems der Schweiz auf dem Weg zu Netto-Null beschreiben. Die mit diesem Bericht vorgelegten Arbeiten erweitern die energiesystemischen Modellierungen um **volkswirtschaftliche Analysen** und beleuchten **die Auswirkungen des Umbaus des Energiesystems auf dem Weg zu Netto-Null auf Wohlfahrt, BIP, Beschäftigung, Aussenhandel, Umsatz und Wertschöpfung einzelner Sektoren**. Die Berechnungen zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen liefern eine Grundlage für die Diskussion darüber, ob der Umbau des Energiesystems für die Schweizer Volkswirtschaft tragbar ist. Die Ermittlung des Primärnutzens der Klimapolitik – und damit einhergehend eine Kosten-Nutzen-Analyse der Erreichung des Netto-Null-Ziels – sind **explizit keine Vorhaben der Energieperspektiven 2050+**.

Neben dem Beitrag zur Verminderung der oben beschriebenen Auswirkungen des Klimawandels löst die Reduktion der Treibhausgasemissionen und insbesondere der Umbau des Energiesystems auch sogenannte Sekundäreffekte aus. Damit sind Effekte gemeint, die nicht dem eigentlichen Ziel des Umbaus des Energiesystems entsprechen und sich als Nebenprodukt der getroffenen Massnahmen ergeben. Beispiele sind die Reduktion des Ausstosses von Luftschadstoffen durch den Umstieg auf erneuerbare Ener-

⁷ Medienmitteilung des Bundesrates vom 28.8.2019, abrufbar unter: <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/mitteilungen.msg-id-76206.html>.

⁸ Langfristige Klimastrategie, Bundesrat 2021, abrufbar unter: [Langfristige Klimastrategie 2050 \(admin.ch\)](#).

⁹ Langfristige Klimastrategie, Bundesrat 2021, abrufbar unter: [Langfristige Klimastrategie 2050 \(admin.ch\)](#).

gieträger und die geringere Lärmbelastung durch den Verkehr aufgrund der Umstellung von Verbrennungs- auf Elektromotoren. Die Sekundäreffekte werden – wie vorgängig erwähnt – soweit möglich in den Analysen berücksichtigt. Zu beachten ist, dass im Rahmen dieser Arbeiten nur ein Teil der möglichen Sekundäreffekte betrachtet werden kann. Eine vollständige Abschätzung ist im Rahmen dieses Projektes aus diversen Gründen, u.a. aufgrund der Datenverfügbarkeit, nicht möglich. Einbezogen werden externe Kosten der Luftbelastung (Gesundheitskosten, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste) im Bereich Strom- und Wärmeerzeugung. Im Verkehr werden aufgrund der guten Datenlage neben der Luftbelastung noch die Lärmbelastung miteinbezogen.

Abbildung 1-4: Einordnung der Arbeiten zu den Energieperspektiven 2050+: Energiesystemmodelle (ES) und volkswirtschaftliche Auswirkungen (VWL)

Begriff	Definition	Teil Arbeiten EP2050+?
Direkte Kosten	(Mehr)Kosten (Investitionen, Betriebs- und Unterhaltskosten sowie Energiekosten) zur Verminderung der Treibhausgasemissionen. Beispiel: Investitionen zur energetischen Sanierung von Gebäuden.	Ja (ES, VWL)
Volkswirtschaftliche Auswirkungen	Auswirkungen von Politikmassnahmen zur Verminderung der Treibhausgasemissionen auf die Gesamtwirtschaft. Beispiel: Veränderung des Bruttoinlandprodukts und der Wohlfahrt. Entspricht den Vermeidungskosten für die Reduktion der Treibhausgase zur Erreichung der Ziele des Bundesrates.	Ja (VWL)
Primärnutzen	(Beabsichtigter) Nutzen der Verminderung der Treibhausgasemissionen Beispiel: Vermiedene Kosten einer ungebremsten Klimaerwärmung.	Nein. Siehe hierzu die Langfristige Klimastrategie des Bundesrates
Sekundäreffekte	«Nebeneffekte» einer Reduktion der Treibhausgasemissionen. Beispiel: vermiedene bzw. reduzierte Gesundheitskosten aufgrund der Reduktion des Ausstosses von Luftschadstoffen bei Verzicht auf fossile Energieträger	Teilweise (VWL)

Was ist der Primärnutzen der Umsetzung des Netto-Null Ziels und wie hoch ist er?

Der Bundesrat diskutiert den Primärnutzen in seiner langfristigen Klimastrategie¹⁰. Ziel der Klimapolitik ist die Reduktion der Emissionen von klimaschädlichen Treibhausgasen und damit die Beschränkung des Klimawandels und der damit verbundenen Auswirkungen. Dazu gehören wie bereits erwähnt die Zunahme der Temperaturen, veränderte Niederschlagsmuster, die Zunahme von Extremereignissen (Unwetter, Stürme, Hitzeperioden), das Abschmelzen von Gletschern oder der Anstieg des Meeresspiegels.

Folgeeffekte dieser Auswirkungen sind beispielsweise vermehrte Schäden an Infrastrukturen, höhere Gesundheitskosten oder eine tiefere landwirtschaftliche Produktivität. Die Auswirkungen des Klimawandels sind mit Kosten verbunden. Wie hoch diese Kosten sind, hängt von der künftigen Entwicklung der Treibhausgasemissionen und damit der Temperaturen ab. Wenn nur unzureichende oder im Extremfall

¹⁰ Langfristige Klimastrategie, Bundesrat 2021, abrufbar unter: [Langfristige Klimastrategie 2050 \(admin.ch\)](#).

gar keine Massnahmen gegen den Klimawandel ergriffen werden, nehmen die Auswirkungen und die damit verbundenen Kosten im Zeitverlauf immer stärker zu.

Der Nutzen einer ambitionierten Klimapolitik besteht in erster Linie darin, dass die Kosten einer ungebremsten Klimaerwärmung vermieden oder zumindest vermindert werden. Diese Kosten, oft auch als Kosten des «Nicht-Handelns» («costs of inaction») bezeichnet, geben also Aufschluss über das Ausmass des Nutzens einer umfassenden Senkung der Treibhausgasemissionen. Die Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute sicht- und spürbar. Die globale Mitteltemperatur ist seit Beginn der Industrialisierung um über 1 Grad Celsius angestiegen. Die Häufigkeit und Intensität von extremen Wetterereignissen nehmen zu. Ungebremst hat der Klimawandel negative Auswirkungen auf die Ökosysteme und unsere natürlichen Lebensgrundlagen. Und er verursacht auch hohe volkswirtschaftlichen Kosten. Diese Kosten des Nicht-Handelns wären potenziell gewaltig, wie verschiedene Studien zeigen.^{11 12 13}

Nicht berücksichtigt bei den hier vorliegenden Arbeiten sind eben diese Kosten des «Nicht-Handelns», respektive einer ungebremsten Klimaerwärmung. Der Bundesrat hält in seiner langfristigen Klimastrategie fest: «Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null notwendig, um die globale Erwärmung unter der kritischen Schwelle zu halten. Fehlendes oder nur ungenügendes Handeln hätte bereits bis 2050 sehr hohen Kosten zur Folge. Das gilt für die Schweiz, die vom Klimawandel überdurchschnittlich betroffen ist, in besonderem Ausmass. Schreitet die Klimaerwärmung weiter voran, so liegen die Kosten für die Schweiz 2050 bei maximal bis zu 4 % des jährlichen BIP¹⁴. Gelingt es hingegen, die weltweiten Emissionen umfassend zu senken und die globale Erwärmung auf maximal 1.5 Grad Celsius zu beschränken, so fallen 2050 noch Kosten von maximal 1.5 % des BIP an (Kahn et al., 2019). Gemäss diesen Schätzungen läge der Nutzen einer weltweiten Absenkung der Emissionen auf Netto Null für die Schweiz im Jahr 2050 bei 2.5 % des BIP. Dies entspricht grob geschätzt 20- 30 Milliarden Franken. Längerfristig nimmt dieser Nutzen stark zu, weil die Kosten einer ungebremsten Klimaerwärmung exponentiell wachsen.» Es muss betont werden, dass die Schätzung der Klimakosten mit einer hohen Unsicherheit behaftet ist. Die verfügbaren Studien betrachten zudem allesamt nur Teilbereiche. Die resultierenden Kosten sind stark von den hinterlegten Annahmen und Szenarien und den berücksichtigten Teilbereichen abhängig und können sich deshalb je nach Studie stark unterscheiden (Vöhringer et al., 2019; EPFL, 2017 Ecoplan, 2007).

Die verfügbaren Studien stützen sich auf unterschiedliche Annahmen, betrachten unterschiedliche Kosten- und Nutzenaspekte, verwenden unterschiedliche Messgrössen und beziehen sich auf unterschiedliche Zeithorizonte. Die Zahlen aus unterschiedlichen Studien lassen sich daher nicht direkt gegenüberstellen. **Auch können die oben genannten BIP Effekte nicht direkt mit den Ergebnissen aus der vorliegenden Arbeit verglichen werden.** Klar ist: Die Verringerung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null ist für eine Beschränkung der globalen Erwärmung auf maximal 1.5 Grad Celsius eine zwingende Voraussetzung. Wenn dieses Ziel nicht konsequent verfolgt wird, ist mit gravierenden, teilweise erst schwer abschätzbaren Auswirkungen zu rechnen.

¹¹ Stern (2006): Stern Review – The economics of climate change: Der britische Ökonom Nicholas Stern schätzt die jährlichen Kosten einer ungebremsten Klimaerwärmung über die nächsten beiden Jahrhunderte auf rund 5-20 Prozent der globalen Wirtschaftsleistung.

¹² OECD (2015): The Economic Consequences of Climate Change. Die OECD geht je nach Erwärmung (+1.5 oder +4.5°C) von Kosten von 1 bis 3.3 BIP-Prozenten (2060) bzw. 2 bis 10 BIP-Prozenten (2100) aus.

¹³ [AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC](#): Fünfter Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.

¹⁴ Kahn et al. (2019). Diese Auswirkungen sind stark von den hinterlegten Annahmen und Szenarien und den berücksichtigten Auswirkungen abhängig und können sich je nach Studie stark unterscheiden.

Warum ist die Berechnung des Primärnutzen der Umsetzung des Netto-Null Ziels nicht Teil der Energieperspektiven 2050+?

Der Primärnutzen der Umsetzung des Netto-Null-Ziels ist eine relevante und wichtige Grösse, um eine Kosten-Nutzen-Analyse eben dieser Umsetzung vorzunehmen. Warum ist seine Quantifizierung dann weder Teil der EP2050+, noch der langfristigen Klimastrategie?

Die Quantifizierung des Primärnutzens ist nicht Teil der Fragestellungen, die im Rahmen der EP2050+ behandelt werden. Die Energieperspektiven stellen das Klimaziel nicht in Frage, sondern fokussieren auf die Analyse möglicher Energiesystementwicklungen, um das Ziel zu erreichen. Auch die volkswirtschaftlichen Arbeiten konzentrieren sich auf die Auswirkungen unterschiedlicher Massnahmenpakete zur Erreichung des vordefinierten Ziels. Die Quantifizierung des Primärnutzens wäre wichtig, sollte eine Kosten-Nutzen-Analyse der Erreichung des Netto-Null Ziels im Vordergrund stehen.

Der Zeitraum bis 2050/2060 greift für eine Kosten-Nutzen-Analyse zu kurz. Die Kosten des Nicht-Handels sind kurz- bis mittelfristig relativ gering, steigen aber längerfristig stark an. Der Nutzen der Vermeidung dieser Kosten stellt sich also erst in der langen Frist ein. Die Massnahmen und Investitionen zum Umbau des Energiesystems fallen jedoch zu einem grossen Teil bereits in den nächsten Jahren und Jahrzehnten an. Die Treibhausgasemissionen müssen aufgrund ihrer langen Verweildauer in der Atmosphäre möglichst schnell und umfassend gesenkt werden, damit die globale Erwärmung tatsächlich auf möglichst unter 2°C beschränkt werden kann. Der Zeitraum bis 2050 reicht für eine umfassende Kosten-Nutzen-Beurteilung deshalb nicht aus. Oder anders ausgedrückt: Falls die Kosten den Nutzen im Jahr 2050 überwiegen, ist dies kein Argument gegen eine ambitionierte Klimapolitik, weil sich der Nutzen erst längerfristig zeigt. Die Bottom-up-Analysen aus den Energiesystemmodellen liefern der volkswirtschaftlichen Analyse wichtige Inputs, sind jedoch auf einen Zeitraum bis 2060 begrenzt. Zudem müsste eine Kosten-Nutzen-Analyse auch nicht über Märkte bewertbare Schäden berücksichtigen und die Sekundäreffekte vollständig einbeziehen. Beides ist hier nicht der Fall.

Die Höhe der Klimakosten hängt stark von den getroffenen Annahmen ab, wie z. B. der Diskontrate (Gewichtung zukünftiger Generationen), dem Equity Weighting (Berücksichtigung von Einkommensunterschieden zwischen Ländern), dem Zeithorizont usw., und ist somit mit grossen Unsicherheiten behaftet.

Der Versuch einer umfassenden Quantifizierung des Primärnutzens für die Schweiz würde den Einsatz deutlich komplexerer Modelle erfordern, die beispielsweise auch die Auswirkungen der Verminderung der Treibhausgasemissionen auf die Ökosysteme, die Biodiversität, die Gesundheit usw. abbilden. Solche sogenannten **«Integrated Assessment Modelle»** gibt es für die Schweiz noch nicht. Der Forschungsbedarf im Bereich der Kosten des Klimawandels und des Nutzens klimapolitischer Massnahmen ist nach wie vor gross. Umfassende Abschätzungen unter einheitlichen Annahmen fehlen, und viele relevante Auswirkungen wurden bislang noch nicht berücksichtigt.

Wegweisend für politisches Handeln im Falle der Bekämpfung des Klimawandels ist zudem die Nutzen-Kosten-Abwägung auf globaler Ebene – und nicht diejenige auf der Ebene einzelner Länder oder Regionen wie die Schweiz. Die Analysen dieser Studie berücksichtigen zwar das Ausland, aber mit dem Ziel, Rückkopplungseffekte auf die Schweiz abzubilden. Eine Analyse der weltweiten Kosten würde eine umfassendere Modellierung des Auslands erfordern, die nicht Teil der EP2050+ ist.

Aus wissenschaftlicher Sicht ist die Absenkung der Emissionen auf Netto-Null zwingend notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels im Einklang mit dem Übereinkommen von Paris zu begrenzen. Die Kosten eines ungebremsten Klimawandels wären um ein Vielfaches höher als die Kosten, die durch Massnahmen zur Erreichung der Ziele des Übereinkommens von Paris entstehen. Das hielt der IPCC bereits

in seinem fünften Sachstandsbericht ausdrücklich fest.¹⁵ Insofern erübrigt sich eine Kosten-Nutzen-Analyse des Netto-Null-Ziels an sich. Relevant ist, auf welchem Weg und mit welchen Massnahmen dieses Ziel angestrebt wird.

Die Absenkung der weltweiten CO₂-Emissionen auf Netto-Null bis Mitte des Jahrhunderts ist gemäss den wissenschaftlichen Grundlagen die einzige Möglichkeit, die globale Temperaturerhöhung auf maximal 1.5°C zu beschränken und das Übereinkommen von Paris einzuhalten. Die Schweiz ist diesen Zielen als Vertragspartei des Übereinkommens von Paris verpflichtet. Ihre Zielsetzung, die Treibhausgasemissionen bis 2050 auf Netto-Null absenken zu wollen, entspricht einem angemessenen Beitrag zu den Zielen des Übereinkommens. Sie deckt sich zudem mit den Zielen der Europäischen Union, dem mit Abstand wichtigsten Handelspartner der Schweiz.

Obwohl die Bestimmung des Primärnutzens sowie eine Kosten-Nutzen-Analyse der Umsetzung des Netto-Null Ziels keine Ziele der Studie sind, werden im Kapitel 5.2 die Ergebnisse qualitativ im Verhältnis zu möglichen Klimaschäden eingeordnet. Damit wird ein Beitrag zur Interpretation der vorliegenden Ergebnisse geliefert, indem aufgezeigt wird, dass in einer umfassenden Betrachtung nicht nur die Kosten, sondern auch der Nutzen der Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null beachtet werden müssen.

¹⁵ [AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014 — IPCC](#): Fünfter Sachstandsbericht des Intergovernmental Panel on Climate Change IPCC.

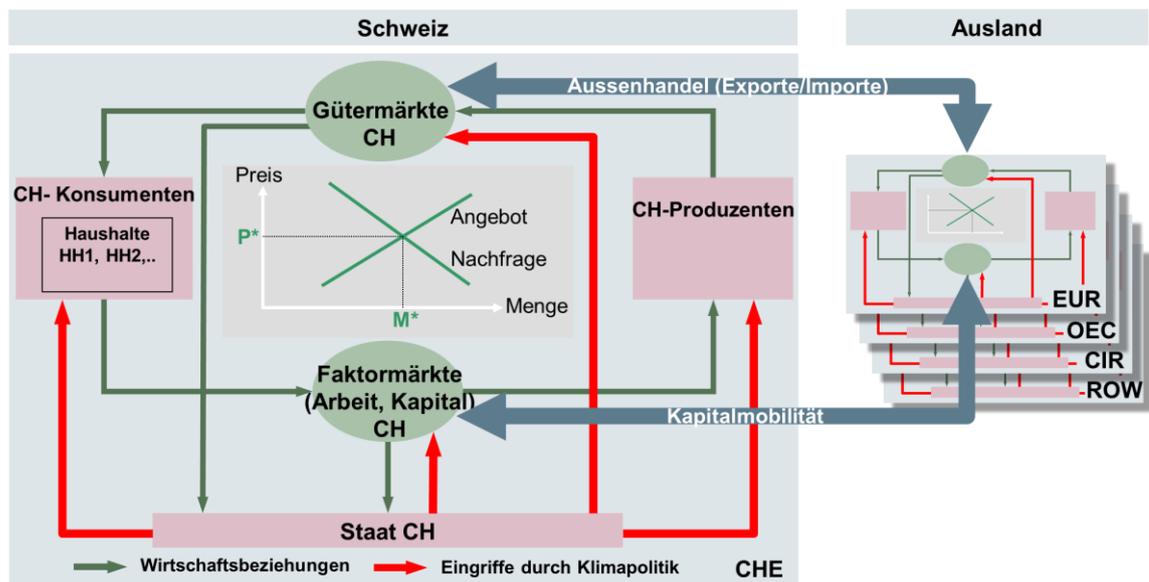
2 Mehrländermodell EPER

Die Grundstruktur von Gleichgewichtsmodellen

Für die vorliegende Analyse der volkswirtschaftlichen Auswirkungen wird ein Gleichgewichtsmodell eingesetzt. Gleichgewichtsmodelle basieren auf der Gleichgewichtstheorie, welche die mathematisch-analytische Fortführung der mikroökonomisch fundierten Wohlfahrtstheorie ist. Die Gleichgewichtstheorie kombiniert das Modell des Optimierungsverhaltens mit der Untersuchung von Gleichgewichtszuständen: Es geht darum, auf den Faktor- und Gütermärkten auf Grund von Nachfrage- und Angebotsfunktionen ein Gleichgewicht zu finden. Das Verhalten der Haushalte wird dabei mittels Nutzenfunktionen und dasjenige der Unternehmen mittels Produktionsfunktionen beschrieben. Die Preise spielen bei der Koordination von Angebots- und Nachfrageentscheidungen der Wirtschaftsakteure eine zentrale Rolle. Über die Preise sind alle Märkte miteinander verknüpft. Im Gleichgewicht bleiben die Preise nach ihrem Zustandekommen konstant.

Die nachfolgende Abbildung zeigt – stark abstrahiert – die Wirtschaftsakteure (Konsumenten, Produzenten, Ausland (verschiedene ausländische Regionen) sowie Staat/Sozialversicherungen) mit ihren über die Märkte koordinierten Wirtschaftsbeziehungen.

Abbildung 2-1: Die Akteure und die Wirtschaftsbeziehungen in einem Mehrländer-Gleichgewichtsmodell



Das Mehrländer-Gleichgewichtsmodelle EPER

Das Mehrländermodell hat gegenüber einem Einländer-Modell den Vorteil, dass ausländische Politiken explizit in die Analyse einbezogen werden können. Es wird davon ausgegangen, dass

das Ausland ebenfalls eine Politik verfolgt, mit welcher die Ziele des Pariser Abkommens erreicht werden können.

Weiter ist zu beachten, dass die modellmässige Erfassung des Szenarios KLIMA eine sehr starke Absenkung der THG Emissionen bedingt (vollständige Dekarbonisierung bis 2050 für die Schweiz). Die damit verbundene drastische Veränderung von Energieversorgungsstrukturen erfordert eine problemadäquate Darstellung von technologischen Optionen im allgemeinen Gleichgewichtsmodell. Hierfür wird das Gleichgewichtsmodell um Technologieoptionen im Stromproduktions-, Wärmeerzeugungs- und Transportbereich ergänzt. Weiter werden sog. Backstop-Technologien eingeführt, welche die Erreichung des Netto-Null-Ziels sicherstellen. Backstop-Technologien sind Technologien, welche die fossilen Energieträger und treibhausgasausstossenden Prozesse ersetzen oder kompensieren.¹⁶ Für die Parametrisierung des Modells wird auf die Daten der Bottom-up-Modelle (annuierte Investitions-, Betriebs- und Unterhaltskosten bei den Technologien) abgestellt.

Das für die vorliegende Analyse eingesetzte Mehrländermodell EPER kann wie folgt charakterisiert werden:

Rekursiv dynamisches Mehrländermodell mit mehreren Regionen

Das Modell ist ein rekursiv dynamisches Mehrländermodell, welches folgende Regionen¹⁷ unterscheidet, für welche detaillierte bilaterale Handelsströme erfasst sind:

- **CH:** Schweiz
- **EU:** EU + Grossbritannien
- **Rest_OECD** (Australien, Chile, Island, Israel, Japan, Kanada, Kolumbien, Korea, Liechtenstein, Mexiko, Neuseeland, Norwegen, Türkei, USA)¹⁸
- **ChInRuME:** China, Indien, Russland, Mittlerer Osten (Vereinigte Arabische Emirate, Saudi-Arabien, Katar, Libanon, Irak, Kuwait, Iran, Bahrain, Jordanien, Oman, Jemen, Syrien)
- **ROW:** Restliche Länder (Rest of the World).

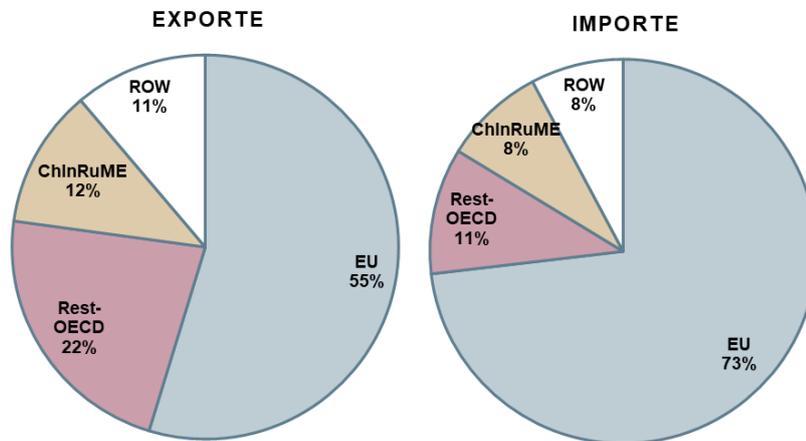
¹⁶ Backstop-Technologien sind im vorliegenden Kontext alle Technologien, mit welchen die Treibhausgase kostengünstiger zu eliminieren sind als bspw. durch noch höhere Investitionen in Effizienztechnologien oder einen noch stärkeren Einsatz erneuerbarer Energien. Backstop-Technologien können bspw. negative Emissionstechnologien (NET). NET sind bspw. die Energienutzung von Holz mit anschliessendem Einfangen der CO₂-Emissionen und Speicherung des CO₂ im Untergrund (BECCS – Bio-Energy with Carbon Capture and Storage) oder das Einfangen von CO₂ aus der Luft und Speicherung im Untergrund (DACCS – Direct Air Capture with Carbon Storage). Im vorliegenden Fall ist auch das Carbon Capture and Storage (CCS) bei der Abfallverbrennung oder bei der Zementindustrie subsummiert.

¹⁷ Die Einteilung der Regionen wurde wie folgt vorgegangen: Die EU als wichtigster Handelspartner und der Verknüpfung über das ETS wird als eigene Region geführt. Die restlichen, wirtschaftlich hochentwickelten Länder wurden zur Region Rest-OECD zusammengefasst. Bei der weiteren regionalen Aufteilung musste Rücksicht genommen werden auf die vorhandenen Daten zu den globalen THG-Szenarien 2050. Mit ChInRuME wurden diejenigen Länder zu einer Region zusammengefasst, mit welchen die Schweiz ebenfalls einen regen Handel betreibt. Die restlichen rund 150 Länder, mit denen die Schweiz einen anteilmässig geringeres Handelsvolumen aufweist, wurden zur Region ROW zusammengefasst.

¹⁸ Exkl. Neumitglied Costa Rica.

Die Abbildung 2-2 zeigt den Aussenhandel der Schweiz mit diesen Regionen.

Abbildung 2-2: Exporte und Importe der Schweiz in die bzw. aus den Regionen des Mehrländermodells (Jahr 2014)



Sektorale Wirtschaftsstruktur

Das Modell EPER basiert für die Schweiz auf der Energie-Input-Output-Tabelle 2014¹⁹: Die Daten wurden für das Jahr 2014 für insgesamt 77 Wirtschaftssektoren bereitgestellt und für die Modellsimulationen aggregiert (vgl. Abbildung 2-3).²⁰ Die Daten für die übrigen Regionen stammen aus GTAP²¹ Version 10 mit Referenzjahr 2014.

Bei den Wirtschaftssektoren wird zwischen ETS- und Nicht-ETS-Sektoren²² unterschieden. Bei den ETS-Sektoren wird der Absenkpfad gemäss dem EU-Kommissions-Vorschlag «Fit-for-55» vorgegeben und der der CO₂-Preis endogen berechnet. Für die Bereitstellung von Prozessenergie werden keine explizit vorgegebenen Technologien (wie bei den Heizungen, dem Verkehr und der Stromerzeugung) vorgegeben. Es werden in Gleichgewichtsmodellen übliche Produktionsfunktionen unterstellt (sog. Nestung mit CES – Constant Elasticity of Substitution). Da bei einer solchen Modell-Formulierung eine vollständige Dekarbonisierung nicht möglich ist²³, haben wir Backstop-Technologien eingeführt: Diese Backstop-Technologien sind bspw.

¹⁹ Rütter soceco, infras, Modelworks (2019), Energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014.

²⁰ Die Industrie- und vor allem die Dienstleistungssektoren wurden relativ stark aggregiert. Grundsätzlich ist das Modell so aufgesetzt, dass die Berechnungen auch mit einer grösseren Anzahl von Industrie- und Dienstleistungssektoren durchgeführt werden könnten. Allerdings würde dann die Abstimmung auf die Resultate der Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+ sehr aufwendig.

²¹ Global Trade Analysis Project (GTAP), <https://www.gtap.agecon.purdue.edu/>.

²² ETS-Sektoren sind Wirtschaftssektoren, welche in einem zwischen der Schweiz und der EU verknüpften Emissions-Handelssystem sind.

²³ Eine vollständige Dekarbonisierung ist nur unter ganz bestimmten Bedingungen bei einer CES-Nestung möglich, bspw. bei deutlich höherer Substituierbarkeit der Produktionsinputs im Vergleich zu den heute empirisch gemessenen Substitutionselastizitäten. Auch in diesem Falle hoher Substituierbarkeit ergäben sich unrealistisch hohe CO₂-Preise.

NET und CCS (vgl. Fussnote 16) und kommen dann zum Einsatz, wenn diese Backstop-Technologien günstiger sind als die weitere Reduktion von Treibhausgasen durch Effizienztechnologien, höheren Einsatz erneuerbarer Energie oder Drosselung der Produktion.

Abbildung 2-3: Wirtschaftssectoren im EPER-Modell für die Schweiz

Sektoren in den Daten 2014 (NOGA-No. Gemäss EIOT 2014)	Für die Modellierung verwendete Aggregation
Sektoren im EU ETS	
17, 18, 19, 20, 23, 24a	ETS-Sektoren (ETS)
Sektoren, welche nicht in einem Schweiz-EU-verknüpften ETS sind	
01, 02, 03	Landwirtschaft (LAW)
21	Pharma (PHA)
41-43	Bau (CON)
restliche Sektoren	Rest Industrie (ROI)
45-98 (exkl. Transportsektoren)	Dienstleistungen (SER)
13 Energieträger	7 Energieträger (vgl. Abbildung 2-4)
5 Intermediäre Energieangebotssektoren (Raffinerien*, Strom, Gas, Fernwärme**, Wärme aus KVA)	
1 Stromproduktionssektor mit 9 Stromproduktionstechnologien (vgl. Abbildung 2-5)	
1 Wärmeerzeugungssektor mit 6 Heizungstechnologien (vgl. Abbildung 2-5)	
1 Strassentransportsektor Personen mit 4 Motorentchnologien (vgl. Abbildung 2-5)	
1 Strassentransportsektor Güter mit 4 Motorentchnologien (vgl. Abbildung 2-5)	
1 Schienentransportsektor Personen	
1 Schienentransportsektor Güter	
1 Lufttransportsektor (***)	
1 Schifffahrtssektor (***)	

*) Die Raffinerien sind modellmässig als ETS-Sektoren erfasst.

**) Die Fernwärme ist modellmässig nicht im ETS, obwohl gewisse grössere Fernwärmeerzeuger im ETS sind. Das Modell kann nur ganze Sektoren dem ETS- oder dem Nicht-ETS-Bereich zuweisen.

***) Die Kosten der Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung der internationalen Luftfahrt und Schifffahrt werden in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt (vgl. Anhang B, Kapitel B3).

Detaillierte Abbildung der Energie- und Transportbereiche für die Schweiz

Der Energie- und Transportbereich wird im Mehrländer-Gleichgewichtsmodell EPER relativ detailliert erfasst:

- 7 Energieträger (vgl. Abbildung 2-4)
- 9 Stromproduktionstechnologien, 6 Heizungstechnologien und 8 Strassentransporttechnologien sind aufbereitet (vgl. Abbildung 2-5). Die Technologien zeichnen sich durch steigende Grenzkosten aus. Das heisst, es werden bspw. zuerst die günstigen Windanlagen gebaut und dann die teureren. Die Grenzkostenkurven werden so gut als möglich auf die Resultate der Energiesystemmodelle abgestimmt.

Auch im Schienenverkehr unterscheiden wir zwischen Personen- und Gütertransport, weitere Differenzierungen (bspw. Personennah- und Fernverkehr) werden aber nicht vorgenommen.

Energieeffizienzmassnahmen (bspw. Massnahmen an der Gebäudehülle) werden im Rahmen der Modell-Nestung berücksichtigt: So kann bspw. durch den Einsatz von Kapital der Energiebedarf vermindert werden (Substitution von Energie durch vermehrten Kapitaleinsatz – also bspw. Mehrausgaben für Investitionen in die Effizienzverbesserung der Gebäudehülle, um dafür Einsparungen bei den Energiekosten zu erzielen).

Abbildung 2-4: Energieträger im EPER Modell

Energieträger in den Daten 2014 ****)	Für die Modellierung verwendete Aggregation
Rohöl	
Petrolkoks	Rohöl u.a. (CRU), als Input in die Raffinerien
Andere mineralische Produkte	
Heizöl EL	
Heizöl S/MS	Heizöl u.a. (OIL)
Kohle	
Flugtreibstoffe*)	
Benzin	Treibstoffe für Fahrzeuge (FUE) **)
Diesel	
Erdgas	Erdgas (GAS)
Holz	Holz (WOO)
Biofuels***)	Biofuels (BIO)
Elektrizität	Elektrizität (ELE)

*) Flugtreibstoffe für den internationalen Flugverkehr werden in Bezug auf die Klimaziele in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt.

***) In den späteren Jahren werden zwei heute noch nicht eingesetzte synthetische Treibstoffe im Modell berücksichtigt.

****) Biodiesel, Bioethanol usw.

*****) Abfall und Biogas erscheinen nicht als eigene Energieträger, da sie in der Schweizer Input-Output-Tabelle einen Preis von Null haben. Die Abfall und Biogas nutzenden Technologien sind in der Input-Output-Tabelle enthalten und es wird sichergestellt, dass diese nicht über die von den Energiesystemmodellen berechneten Potenziale wachsen können.

Abbildung 2-5: Technologien im Energie- und Transportbereich im EPER Modell

Stromproduktionstechnologien*)	Heizungstechnologien	Transporttechnologien****)
KKW *)	Ölheizung	PW Fossil (Benzin/Diesel)
Speicherwasserkraftwerk *****)	Gasheizung	PW Hybrid
Laufwasserkraftwerk	Holzheizung	PW Gas
KVA *)	Elektroheizung	PW Elektrisch
Fossile Kraftwerke *)	Elektrische Wärmepumpe **)	LKW Fossil (Benzin/Diesel)
Biogas / Biomasse (Holz) / ARA*)	Fernwärme ***)	LKW Hybrid
Geothermie		LKW Gas
Photovoltaik		LKW Elektrisch
Wind		

*) Diese Technologien produzieren Strom und Wärme (WKK Wärme-Kraft-Kopplung), wobei der fossile Anteil der KVA unter den fossilen Kraftwerken subsumiert ist.

**) Die WP-Technologie umfasst Luft/Wasser- und Sole/Wasser-Wärmepumpen.

***) Fernwärme kann durch diverse Energiequellen gespeist werden (u.a. auch Umweltwärme aus Oberflächen-, Grundwasser, Geothermie usw.).

****) In den späteren Jahren werden zwei – heute noch nicht eingesetzte – synthetische Treibstoff (Wasserstoff und flüssiger synthetischer Treibstoff «Power to Liquid PtL») im Modell berücksichtigt. Modelltechnisch werden die synthetischen Treibstoffe als Substitut zu den fossilen Treibstoffen erfasst.

*****) Inkl. Pumpspeicherung.

Berücksichtigte Treibhausgase

Das Modell deckt alle im Treibhausgasinventar erfassten Treibhausgase ab, mit Ausnahme der Treibhausgase im internationalen Luft- und Schiffsverkehr. Die Treibhausgasemissionen der *Luft- und die Schifffahrt* wurden nur insoweit miteinbezogen, als die Potenziale, welche für die Erzeugung von erneuerbaren Treibstoffen für diese beiden Sektoren gebraucht werden, für die anderen Sektoren nicht zur Verfügung stehen (vgl. dazu die Ausführungen im Anhang B, Kapitel B3).²⁴

Unterteilung der Haushalte nach Einkommen

Das Modell EPER unterscheidet 15 verschiedene Haushaltstypen für die Schweiz²⁵: Die sozialen Verteilungswirkungen illustrieren wir anhand von verschiedenen Haushaltsgruppen, die nach sozioökonomischen Kriterien unterteilt werden. Auf Basis der Haushaltsbudgeterhebung²⁶ (HABE für die Jahre 2012 bis 2014)²⁷ wurde für insgesamt 15 Haushaltsgruppen –

²⁴ Für die in der Luft- und Schifffahrt eingesetzten erneuerbaren Treibstoffe wurden folgende Quellen verwendet:
Luftfahrt: ATAG (2020): WayPoint 2050, Szenario 1.
Schifffahrt: IEA (2021), Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector, Szenario NZE

²⁵ Für die restlichen Regionen gibt es jeweils nur einen repräsentativen Haushalt, d.h. für diese Regionen sind keine Analyse der sozialen Verteilungswirkungen möglich.

²⁶ Bundesamt für Statistik, Haushaltsbudgeterhebung, <https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/wirtschaftliche-soziale-situation-bevoelkerung/erhebungen/habe.html>.

²⁷ Die gepoolte Datenbasis 2012, 2013 und 2014 wurde gewählt, da sich der Benchmarkjahrdatenatz für die Modellierung auf das Jahr 2014 bezieht.

unterteilt in erwerbstätige Haushalte mit und ohne Kinder sowie Rentner – die Einkommens- und Ausgabenstruktur ausgewertet. Die 15 Haushaltsgruppen bezeichnen wir wie folgt:

- *NoKids1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte erwerbstätige Haushalte ohne Kinder. NoKids1 zählt dabei zu den 20% „ärmsten“ Haushalten und NoKids5 zu den 20% reichsten Haushalten.
- *Kids1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte erwerbstätige Haushalte mit Kindern.
- *Rentner1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte Rentnerhaushalte.

Zusätzlich wurde ein Haushaltstyp „Kapitalist“ eingeführt, der aus den nicht den Erwerbstätigen und Rentnerhaushalten zuweisbaren Kapitaleinkommen gebildet wurde.²⁸

Kapital- und Arbeitsmarkt

Das Modell EPER unterstellt, dass Kapital international eingeschränkt mobil ist. Weiter geht das Modell EPER von einem homogenen und geräumten Arbeitsmarkt aus (nur «freiwillige» Arbeitslosigkeit / Labor Leisure Choice). Weiter wird unterstellt, dass Arbeit international nicht mobil ist. Die politischen Massnahmen haben somit einen Effekt auf das Beschäftigungsvolumen, nicht aber auf die unfreiwillige Arbeitslosigkeit.

Abgleich auf die Energieperspektiven 2050+ für die Schweiz und die internationalen Rahmenbedingungen

Im Szenario WWB wird das Mehrländergleichgewicht für die Schweiz auf die in den Energieperspektiven 2050+ mit den Energiesystemmodellen berechneten Technologieportfolios, den Stromverbrauch²⁹ und die THG-Emissionen (für Energie, industrielle Prozesse, Landwirtschaft und Abfall exkl. internationalen Flugverkehr und LULUCF) restlichen Regionen auf die gesamten THG-Emissionen kalibriert.

Für die Berechnungen im Szenario KLIMA, welches für die Schweiz dem Szenario ZERO der Energieperspektiven 2050+ entspricht, werden die aus den Energiesystemmodellen berechneten Kostendaten als Information benutzt, um Angebotsfunktionen für die einzelnen Technologien herzuleiten.

²⁸ Das nicht zuweisbare Kapitaleinkommen beträgt ungefähr 55% des gesamten Kapitaleinkommens.

²⁹ Endverbrauch und im Szenario KLIMA inklusive zusätzlichem Verbrauch für Grosswärmepumpen.

3 Szenario WWB und KLIMA

3.1 Annahmen für die Schweiz

Die Modellvorgaben für die Schweiz stützen sich auf die beiden Szenarien WWB und ZERO-Basis der Energieperspektiven 2050+ (ausgeglichene Jahresbilanz, KKW-Laufzeit von 50 Jahren). Die nachfolgende Abbildung 3-1 zeigt, welche Vorgaben aus den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ im Gleichgewichtsmodell übernommen werden.³⁰

³⁰ Vgl. dazu Anhang B.

Abbildung 3-1: Exogene Vorgaben aus den Energiesystemmodellen für die Schweiz

Vorgaben aus den Energiesystemmodellen	Abgleich
Rahmenentwicklung *)	
BIP-Entwicklung Szenario WWB **)	vorgegebene Wachstumsrate gemäss EP2050+
Szenario WWB und KLIMA	
Nicht Energiebedingte THG-Emissionspfad (getrennt nach Landwirtschaft, Zementindustrie, Raffinerien, Abfall, restliche DL, restl. Industrie)	exogen vorgegebene autonome Dekarbonisierungsfaktoren (Anmerkung: Die Dekarbonisierungsfaktoren wurden iterativ bestimmt. Abweichungen von den vorgegebenen Emissionen im WWB von 3% werden toleriert)
Szenario WWB	
THG-Emissionspfad für das Szenario WWB ***)	Der THG-Emissionspfad im WWB wird durch die Technologieportfoliovorgaben fast erreicht -> der einkalibrierte THG-Emissionspfad liegt etwa 3% über dem vorgegebenen THG-Emissionspfad
Technologieportfolios für - Heizungen (Öl, Gas, Holz, Strom, WP, FW) - Leichte Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV) - Schwere Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV) - Stromproduktion (Wasser, KKW, fos. KW, HolzKW, Biogas/ARA, KVA, Wind, Solar+Geoth.)	Vorwärtskalibrierung: Anpassung der Produktivität der Technologien (Beispiel: Zeigen bspw. die Bottom-up-Modelle einen höheren Anteil an Wärmepumpen als gemäss Gleichgewichtsmodell – ohne weitere Anpassungen – berechnet, wird die Produktivität der Wärmepumpe erhöht) -> vorgegebenes Technologieportfolio wird exakt repliziert
Stromverbrauchspfad	techn. Fortschritt (AEEI Autonomous Energy Efficiency Improvementes) -> der Stromverbrauchspfad wird exakt repliziert
Szenario ZERO	
THG-Emissionspfad für das Szenario ZERO ***)	Die Instrumente der Klimapolitik gemäss den Politikszenerien (vgl. Kapitel 4) müssen den vorgegebenen THG-Emissionspfad genau treffen (d.h. es werden - je nach Politikszenerien - Technologieportfolios vorgegeben, welche dann durch entsprechende Standards oder Subventionen zu erreichen sind, und/oder es werden THG-Zielpfade vorgegeben, die durch eine endogen berechnete Abgabe erreicht werden)
Technologieportfolios für - Heizungen (Öl, Gas, Holz, Strom, WP, FW) - Leichte Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV) - Schwere Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV) - Stromproduktion (Wasser, KKW, fos. KW, HolzKW, Biogas/ARA, KVA, Wind, Solar+Geoth.)	Angebotskurve, -elastizitäten für die einzelnen Technologien Partialanalytisch Herleitung für jede einzelne Technologie, welche das Technologieportfolio und/oder die Differenzkosten zwischen WWB und ZERO ungefähr treffen. Partialanalytische Parameter der partialanalytischen Herleitung werden in Gleichgewichtsmodell übernommen. Technologieportfolio im Gleichgewichtsmodell ist nicht genau gleich wie in Energiesystemmodellen
Stromverbrauchspfad *****)	technologiespezifische Subvention Technologieportfolio wird für die drei Stromangebotsvarianten exakt getroffen. Mengenrestriktion auf den Stromverbrauch gemäss EP2050+
NET&CCS	Backstop-Technologien jeweils drei verschiedene Backstop-Technologien mit tiefem, mittlerem und hohem Preis und entsprechende Kapazitäten, wobei die Kapazitäten abhängig sind vom Produktionsniveau der Sektoren, bei denen CCS vorgesehen ist Wieviel von den Kapazitäten beansprucht wird, wird endogen berechnet.
Synfuels	Nur Importe: Kapazitäten und Preis für PtL und H2 getrennt, für den gesamten Zeitpfad Wieviel von den Kapazitäten beansprucht wird, wird endogen berechnet.
*) Die unterstellten internationalen Preise für Öl und Gas im Szenario WWB werden aus dem World Energy Outlook 2020 der IEA übernommen (Szenario STEPS). Die Preise im EU ETS für das Szenario WWB werden aus IEA (2020), World Energy Outlook 2020, Tabelle 2.3, entnommen. Die Vorgaben für die internationalen Energiepreise und die EU-ETS-Preise decken sich nicht genau mit denjenigen der Energieperspektiven 2050+. Im Szenario KLIMA werden die internationalen Energiepreise und die EU-ETS-Preise endogen bestimmt, also vom Modell berechnet.	
**) Der BIP-Entwicklung ist eine Bevölkerungsentwicklung unterstellt, die für Pro-Kopf-Berechnungen benutzt wird. Die Bevölkerungsentwicklung ist im Szenario WWB und KLIMA dieselbe, es wird unterstellt, dass die Klimapolitik keine Migration erzeugt.	
***) Für die Schweiz und die EU wird ein gekoppeltes Emissionshandelssystem unterstellt, bei dem die Caps exogen vorgegeben und die Preise endogen berechnet werden.	
*****) Stromverbrauch (Endenergie) inkl. Stromverbrauch der Umwandlungsprozesse, exkl. Stromverbrauch für Elektrolyse und Sonstiges (CCS usw.).	

3.2 Globale Annahmen

3.2.1 THG-Zielsetzung – Annahmen und Begründung für das Szenario KLIMA

a) Regional differenzierte THG-Zielsetzung im Szenario KLIMA

Für das Szenario KLIMA wurden folgende regionale Zielsetzungen unterstellt:

- Für die **Schweiz** und die **EU** wird von einem umfassenden Netto-Null-Emissionsziel bis 2050 ausgegangen (alle THG in allen berücksichtigten Sektoren). Dies beinhaltet den Einsatz von *Carbon Capture and Storage (CCS)* oder *negativen Emissionstechnologien (NET)* für Emissionen die nicht vermieden werden können.
- Für die **restlichen Regionen** (Rest_OECD, ChInRuME, ROW) wird in der Analyse ein Netto-Null-CO₂ Ziel bis 2050 für die energiebedingten Emissionen und Emissionen aus industriellen Prozessen unterstellt (inkl. CCS oder NET) und angenommen, dass das umfassende Netto-Null-Emissionsziel bis 2070 auch in diesen Regionen erreicht wird.

Diese Zielsetzung zeigt folgende Abbildung.

Abbildung 3-2: CO₂- bzw. THG-Zielsetzungen in den einzelnen Regionen

Region	Netto-Null für CO ₂ im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen	Netto-Null für alle Treibhausgase (Treibhausgas-Neutralität)	
	2050 /2070	2050	2070 *)
CH	✓	✓	✓
EU	✓	✓	✓
Rest_OECD	✓	✗	✓
ChInRuME	✓	✗	✓
ROW	✓	✗	✓

*) Die Berechnungen wurden nur bis zum Jahr 2060 durchgeführt. Die Zielsetzungen für die nichtenergetischen Treibhausgasemissionen für Rest_OECD, ChInRuME und ROW wurden für das Jahr 2060 linear interpoliert zwischen den beiden Zielsetzungen für das Jahr 2050 und 2070.

b) Begründung der THG-Zielsetzung für das Szenario KLIMA

Im Falle der **Schweiz** hat der Bundesrat im Jahr 2019 beschlossen, dass ab dem Jahr 2050 unter dem Strich keine Treibhausgasemissionen mehr ausgestossen werden sollen.³¹ Das Netto-Null-Ziel der Schweiz umfasst also alle Treibhausgasemissionen. Dies hat der Bundesrat

³¹ Siehe [Bundesrat will bis 2050 eine klimaneutrale Schweiz \(admin.ch\)](https://www.admin.ch/bundesrat/00000/0/2019010100000/00000/0/2019010100000.pdf).

auch in seiner langfristigen Klimastrategie (verabschiedet am 27.1.2021)³² sowie in seiner Botschaft zum direkten Gegenentwurf zur Gletscher-Initiative (verabschiedet am 11.8.2021)³³ bestätigt. Ausserdem entspricht dies dem Ziel, das in den EP2050+ verfolgt wird.

Die **EU** hat ebenfalls angekündigt, bis 2050 treibhausgasneutral sein zu wollen. Dieses Ziel liegt dem European Green Deal zugrunde, den die EU-Kommission im Dezember 2019 vorgestellt hat. Der Green Deal soll unter anderem sicherstellen, dass die EU bis 2050 netto keine Treibhausgasemissionen mehr verursacht.³⁴ Das Netto-Null-Ziel der EU deckt also ebenfalls alle Treibhausgase ab. Dasselbe gilt auch für Grossbritannien.³⁵

Die übrigen Regionen im Modell (**Rest-OECD, ChInRuME, ROW**) setzen sich aus einer Vielzahl von Ländern mit teilweise sehr unterschiedlichen Voraussetzungen zusammen. Einige Länder haben Ziele für 2050 festgelegt, viele jedoch noch nicht. Alle Vertragsparteien des Übereinkommens von Paris sind aber verpflichtet, ihre Emissionen im Einklang mit dessen Zielen zu vermindern. Das wichtigste Ziel des Übereinkommens von Paris ist die Beschränkung der globalen Erwärmung auf unter 2°C, wenn möglich auf 1.5°C gegenüber der vorindustriellen Periode. Dafür ist es gemäss dem Sonderbericht des IPCC zur globalen Erwärmung um 1.5°C notwendig, dass die weltweiten CO₂-Emissionen bis 2050 Netto-Null erreichen und die Emissionen der übrigen Treibhausgase deutlich sinken.³⁶ Für die Modellrechnungen wird deshalb unterstellt, dass in den Regionen Rest-OECD, ChInRuME und ROW «nur» die CO₂-Emissionen bis 2050 auf Netto-Null vermindert werden müssen. Die übrigen Treibhausgasemissionen gehen ebenfalls zurück, müssen aber nicht Netto-Null erreichen.³⁷

Für die Zeit nach 2050 bzw. bis 2060 sind noch nahezu keine Zielsetzungen bekannt. Insbesondere haben sich weder die Schweiz noch die EU bereits entsprechende Ziele gesetzt. Für die Schweiz und für die EU werden daher im Modell nach 2050 keine weiteren Zielverschärfungen – beispielsweise netto-negative Emissionsbilanzen - unterstellt. Die Treibhausgasemissionen bleiben also konstant bei Netto-Null. In den übrigen Regionen wird davon ausgegangen, dass diese bis 2070 Netto-Null erreichen. Die Treibhausgasemissionen gehen also weiter zurück, erreichen aber 2060 noch nicht Netto-Null. Dies ist wiederum konsistent mit dem Übereinkommen von Paris. Dieses hält in Artikel 4.1 fest, dass zur Erreichung der Ziele des Übereinkommens die weltweiten Treibhausgasemissionen in der zweiten Hälfte des Jahrhunderts bei Netto-Null ankommen müssen («...to achieve balance between anthropogenic emissions by sources and removals and by sinks of greenhouse gases in the second half of the century.»).

³² Siehe [Langfristige Klimastrategie 2050 \(admin.ch\)](#).

³³ Siehe [Bundesrat verabschiedet Botschaft für direkten Gegenentwurf zur Gletscher-Initiative \(admin.ch\)](#).

³⁴ Siehe z.B. hier: [A European Green Deal | European Commission \(europa.eu\)](#).

³⁵ Siehe z.B. hier: [Reaching Net Zero in the UK - Climate Change Committee \(theccc.org.uk\)](#).

³⁶ Siehe Special Report des IPCC (2018), [Global Warming of 1.5 °C — \(ipcc.ch\)](#).

³⁷ Im Gegensatz zur Schweiz und der EU werden demnach für die übrigen Regionen nicht deren tatsächlich festgelegten Ziele im Modell verwendet.

3.2.2 Quellen für die Vorgaben der Entwicklung im Szenario WWB und KLIMA

Bevölkerungs-, BIP-, Energiepreis- sowie THG-Entwicklung

Für die EU, Rest-OECD, ChInRuME und ROW werden die Bevölkerungs-, BIP-, Energiepreis-³⁸ und CO₂-Entwicklung gemäss folgenden Szenarien unterstellt:

CO₂-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen³⁹

- Globales WWB: WEO 2020, Stated Policies Scenario (STEPS), IEA (2020)

Dieses Szenario beinhaltet die Einschätzung der IEA zu allen politischen Ambitionen und Zielen, die bereits in Gesetzen erlassen oder von Regierungen weltweit angekündigt wurden.

- Globales KLIMA: Scenario Net-Zero by 2050 (NZE), IEA (2021)

Das «Net-Zero Emissions by 2050 Scenario (NZE)» (IEA, 2021) zeigt was es braucht, damit der globale Energiesektor bis 2050 Netto-Null CO₂-Emissionen erreicht. Dies ist zusammen mit entsprechenden Senkungen der THG Emissionen von ausserhalb des Energiesektors konsistent mit einer Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1.5 °C (mit fünfzigprozentiger Wahrscheinlichkeit).

Der Minderungspfad bis Netto-Null 2050 für energiebedingte und durch industrielle Prozesse verursachte CO₂-Emissionen wird grundsätzlich aus dem Szenario NZE übernommen. Für die **EU** wird für 2030 jedoch zusätzlich das Minderungsziel des «**Fit-for-55**»-Gesetzespakets⁴⁰ berücksichtigt und der Minderungspfad (vor 2050) entsprechend angepasst.

Die IEA Szenarien beschränken sich in Bezug auf die CO₂-Entwicklung auf die CO₂-Emissionen im Energiebereich und der industriellen Prozesse. Für die Entwicklung der Nicht-CO₂-Treibhausgas-Emissionen im Energiebereich und den industriellen Prozessen haben wir grobe Abschätzungen vorgenommen:

Nicht-CO₂-THG-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen (F-Gase, N₂O und CH₄)

- Globales WWB:

- Die Nicht-CO₂-Emissionen im *Energiebereich* sind hauptsächlich CH₄-Emissionen, die im Zusammenhang mit der Gewinnung und Transport fossiler Energien entstehen. Vereinfachend haben wir angenommen, dass diese sich gleich entwickeln wie die CO₂-Emissionen im Energiebereich.

³⁸ Die Entwicklung der internationalen Energiepreise für Öl und Erdgas ist nicht identisch mit der in den Energieperspektiven 2050+ unterstellten Energiepreisen. Diese „Inkonsistenz“ in den Annahmen hat aber keinen massgeblichen Einfluss auf die Modellresultate und darf vernachlässigt werden.

³⁹ Die Kosten der Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung des internationalen Luftverkehrs und der internationalen Schifffahrt werden in den vorliegenden Berechnungen nicht berücksichtigt (vgl. Anhang B, Kapitel B3).

⁴⁰ https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_de.

- Die Nicht-CO₂-Emissionen in den *industriellen Prozessen* sind hauptsächlich F-Gase und N₂O. Hier haben wir eine Reduktion zwischen 2019 bis 2050 um 50% unterstellt.⁴¹
- Globales KLIMA:
 - Für Nicht-CO₂-Emissionen im *Energiebereich* unterstellen wir wie schon im WWB, dass sich diese gleich entwickeln wie die CO₂-Emissionen im Energiebereich.
 - Für die Nicht-CO₂-Emissionen in den industriellen Prozessen haben wir eine Reduktion zwischen 2019 bis 2050 um 95% unterstellt.⁴²

Für die THG Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall wurden eigene Berechnungen, angelehnt an folgende Szenarien durchgeführt:

THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall

- Globales WWB: RCP 6.0 Pathway, Global Calculator⁴³

Dieses Szenario ist eine im Global Calculator vorgenommene Nachbildung des RCP 6.0 Szenarios gemäss IPCC Assessment Report No. 5⁴⁴, welches von den vier Szenarien das höhere der beiden mittleren Szenarien mit langfristiger Stabilisierung der THG-Emissionen ist.
- Globales KLIMA: RCP 2.6 Pathway, Global Calculator

Dieses Szenario ist eine im Global Calculator vorgenommene Nachbildung des RCP 2.6 Szenarios gemäss IPCC Assessment Report No. 5, welches das tiefste der vier Szenarien ist.

3.2.3 THG-Pfade in den Szenarien WWB und KLIMA

Nachfolgend gehen wir zuerst auf

- die CO₂-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen ein (Kapitel a)),
- gefolgt von den Nicht-CO₂-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen (Kapitel b)),
- danach zeigen wir in aller Kürze die THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall (Kapitel c))

a) CO₂-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen

Die Abbildung 3-3 zeigt die CO₂-Emissions-Entwicklung in den Sektoren Energie und industrielle Prozesse gemäss den Szenarien WWB und KLIMA:

⁴¹ Vgl. EU Commission (2018), A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. In Table 3, Seite 169 zeigt für die EU, welche beim Kohleausstieg ein forciertes Tempo einschlägt, eine Reduktion um rund 2/3.

⁴² Vgl. EU Commission (2018), A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. In Table 5, Seite 171 zeigt für die EU eine Reduktion von 95%.

⁴³ <http://www.globalcalculator.org/>.

⁴⁴ <https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/>.

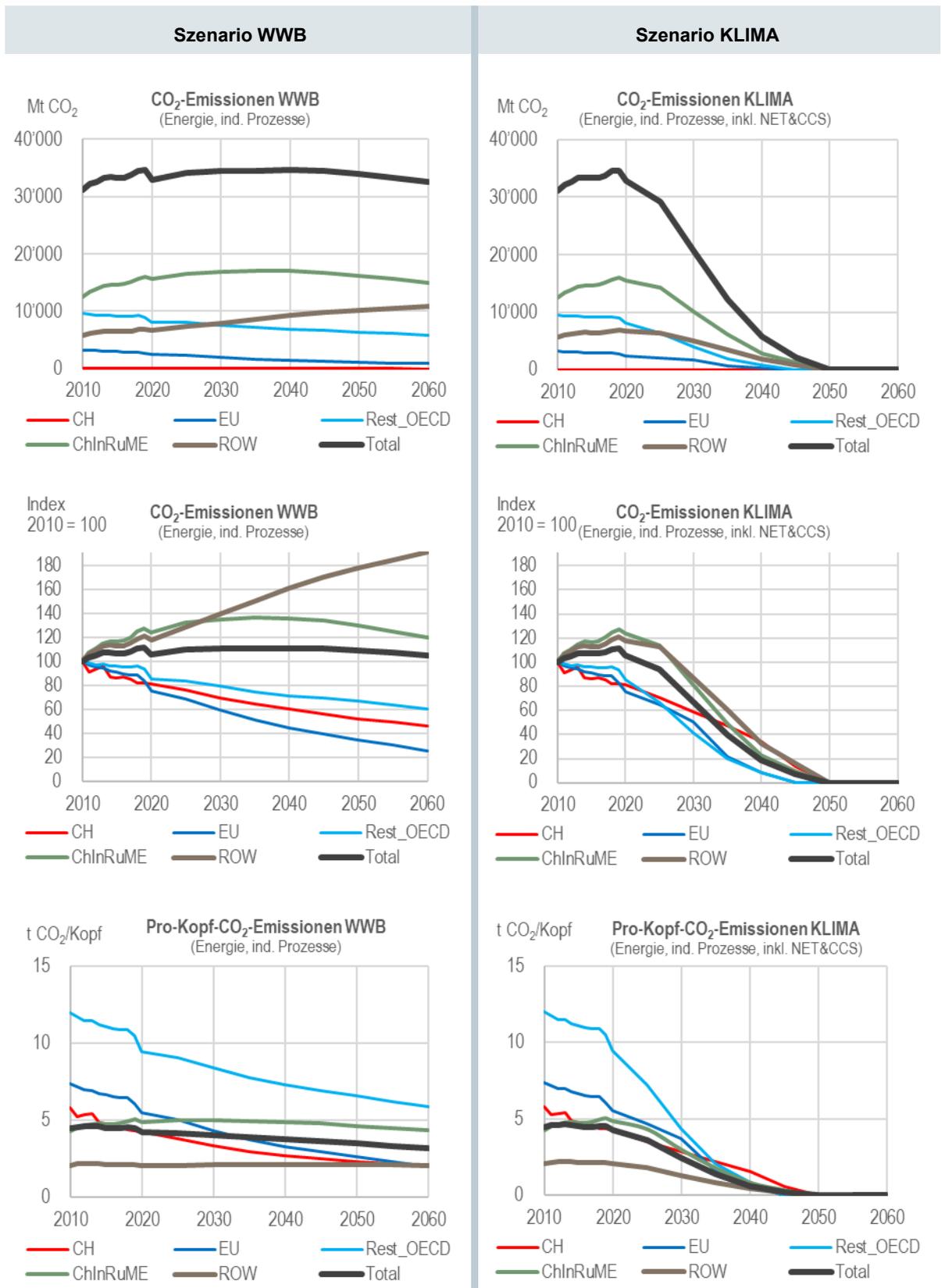
- Für das Szenario WWB konnten die nach Regionen differenzierten Resultate des Szenarios STEPS (Stated Policies Scenario) des WEO 2020 weitgehend übernommen werden.
- Für das Szenario KLIMA wurden nur aggregierte, globale Entwicklungen für das Szenario NZE (Net-Zero by 2050) zur Verfügung gestellt. Auf Basis der Entwicklung des Szenarios SDS (Sustainable Development Scenario) des WEO 2020 wurde das Szenario NZE auf die einzelnen Regionen aufgeteilt, wobei für die EU für das Jahr 2030 jedoch zusätzlich das Minderungsziel des «Fit-for-55»-Gesetzespakets vorgegeben wurde.⁴⁵

Vergleicht man die in den Energieperspektiven 2050+ abgeschätzten THG-Entwicklungen der Schweiz mit unseren hauptsächlichen Handelspartnerregionen (EU und Rest-OECD), so fallen folgende Punkte auf:

- Die Pro-Kopf-Emissionen liegen im Szenario WWB unter denjenigen der EU und Rest-OECD. Dies ist vor allem die Folge des CO₂-freien Stromproduktionssektors in der Schweiz und der wenig verbreiteten Schwerindustrie. Mit der von der EU bereits eingeleiteten Dekarbonisierung des Stromsektors werden sich künftig die Pro-Kopf-Emissionen der Schweiz und der EU angleichen.
- Im Szenario KLIMA ist auffällig, dass die Pro-Kopf-Emissionen der EU und Rest-OECD deutlich stärker sinken als diejenigen der Schweiz. Auch dies ist auf die Dekarbonisierung des Stromsektors zurückzuführen. Allerdings liegen die Pro-Kopf-Emissionen in der Schweiz in den Jahren 2035 bis 2045 höher als diejenigen der anderen Länder, was auf den späten Einsatz von Synfuels und NET zurückgeführt werden kann.

⁴⁵ Die globalen Werte stammen alle aus dem Szenario NZE, welche mit den regionalen Anteilen des Szenarios SDS auf die einzelnen Regionen verteilt wurden.

Abbildung 3-3: CO₂- Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen [Mt CO₂]



b) Nicht-CO₂-THG-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen

Die Abbildung 3-4 zeigt die Nicht-CO₂-THG-Emissions-Entwicklung in den Sektoren Energie und industrielle Prozesse gemäss den Szenarien WWB und KLIMA. Die Schweiz weist bei diesen THG-Emissionen die tiefsten Pro-Kopf-Emissionen aus. Im Szenario WWB ist in allen Regionen mit leicht sinkenden Emissionen zu rechnen. Im Szenario KLIMA werden diese Emissionen nahe Null sinken.

c) THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall

Die Abbildung 3-5 zeigt die THG-Emissions-Entwicklung in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall. Die Schweiz weist im Vergleich zu den anderen Regionen, mit Ausnahme von ChInRuME, tiefere Pro-Kopf-THG-Emissionen aus. Die Pro-Kopf-Emissionen sinken – relativ betrachtet – annahmegemäss in allen Regionen.

Wir gehen davon aus, dass die Schweiz und die EU eine vollständige Treibhausgas-Neutralität anstreben, also die THG-Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Abfall ab 2045 mit NET ausgleichen.

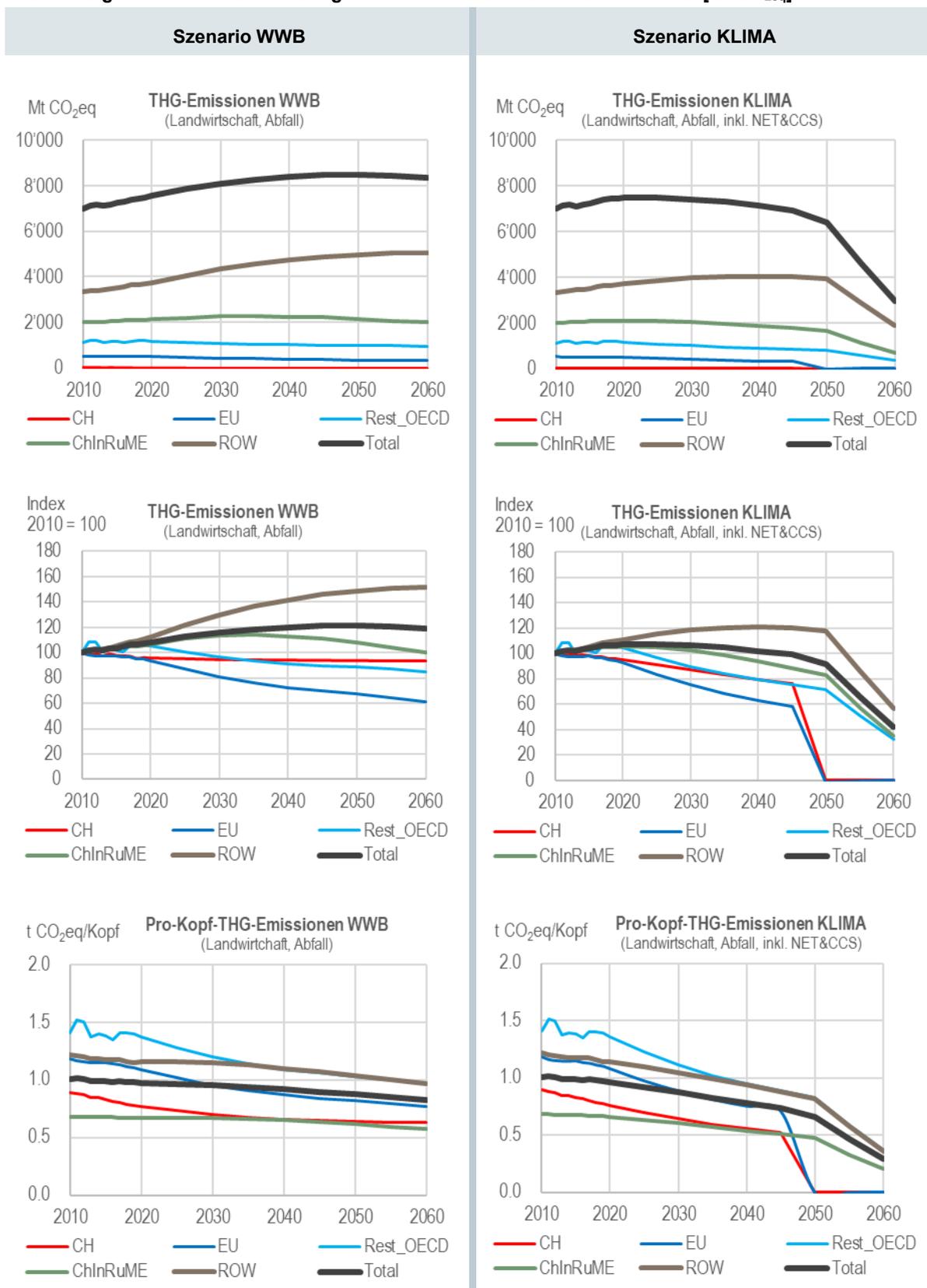
d) Totale THG-Emissionen und THG-Zielsetzung für das KLIMA-Szenario

Die Abbildung 3-6 zeigt die THG-Emissionen Entwicklung für alle Sektoren und alle Klimagase für die beiden Szenarien WWB und KLIMA.

Abbildung 3-4: Nicht-CO₂-THG-Emissionen im Energiebereich und bei den industriellen Prozessen [Mt CO_{2eq}]

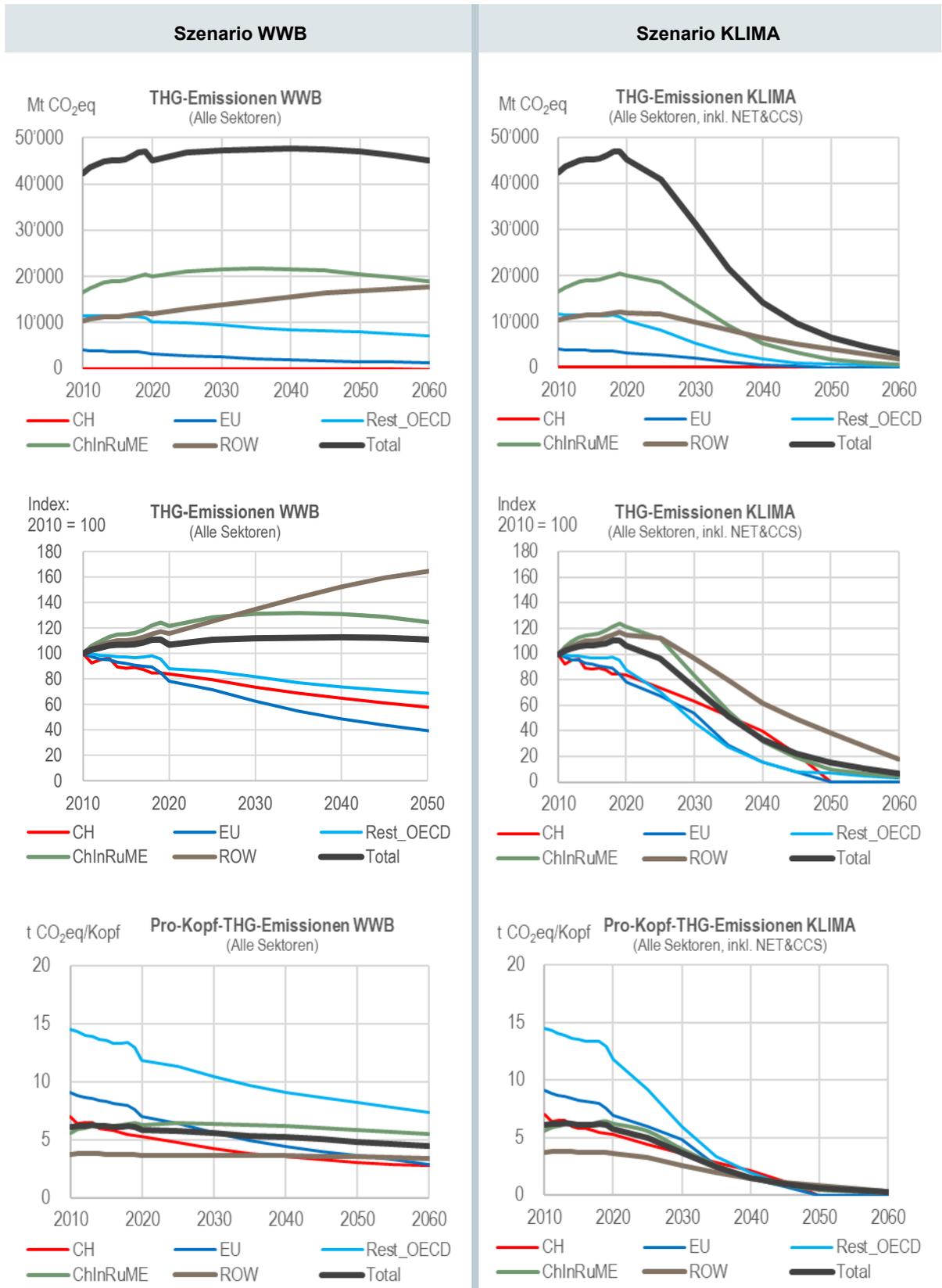


Abbildung 3-5: THG-Entwicklung der Sektoren Landwirtschaft und Abfall [Mt CO₂eq]



Anmerkung: Die Emissionen gehen einzig für die Schweiz und die EU auf Null, da nur für diese beiden Regionen eine gesamte Treibhausgas-Neutralität unterstellt wurde. Die schnelle Reduktion kommt durch ein schnelles Phase-in von Negativ-Emissions-Technologien (NET) zustande.

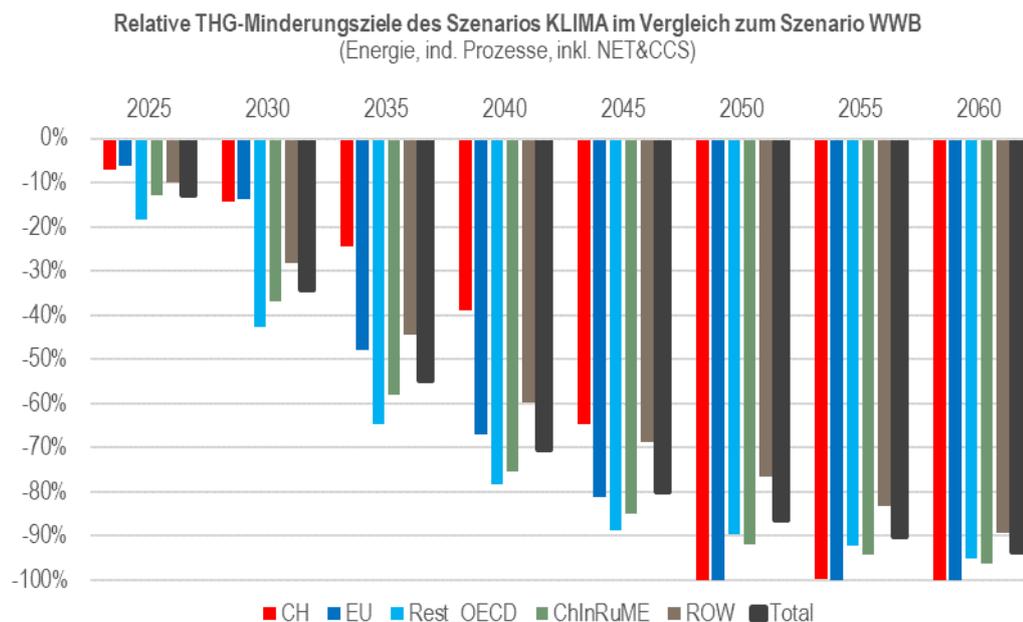
Abbildung 3-6: Totale THG-Entwicklung [Mt CO₂eq]



3.2.4 THG-Zielsetzung – Emissionsminderung im Szenario KLIMA i.Vgl. zu WWB

Wie bereits erwähnt, wird das Gleichgewichtsmodell für alle Regionen auf das Szenario WWB kalibriert. Die Zielvorgabe für das Szenario KLIMA ist also als relative Emissions-Minderung zum Szenario WWB festzulegen. Die nachfolgende Abbildung 3-7 zeigt die Herleitung der Zielvorgaben für die THG-Emissionsminderung für die verschiedenen Regionen.

Abbildung 3-7: Minderungsziele des Szenarios KLIMA im Vergleich zum Szenario WWB



Ziel KLIMA i.Vgl. WWB

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
CH	-7%	-14%	-24%	-39%	-65%	-100%	-100%	-100%
EU	-6%	-14%	-48%	-67%	-81%	-100%	-100%	-100%
Rest_OECD	-18%	-43%	-65%	-78%	-89%	-90%	-92%	-95%
ChInRuME	-13%	-37%	-58%	-76%	-85%	-92%	-94%	-96%
ROW	-10%	-28%	-45%	-60%	-69%	-77%	-83%	-89%
Total	-13%	-34%	-55%	-70%	-80%	-86%	-90%	-93%

Anmerkung: Für das EU ETS (stationäre Anlagen) gelten eigene Minderungsziele (vgl. dazu Abbildung B-21).

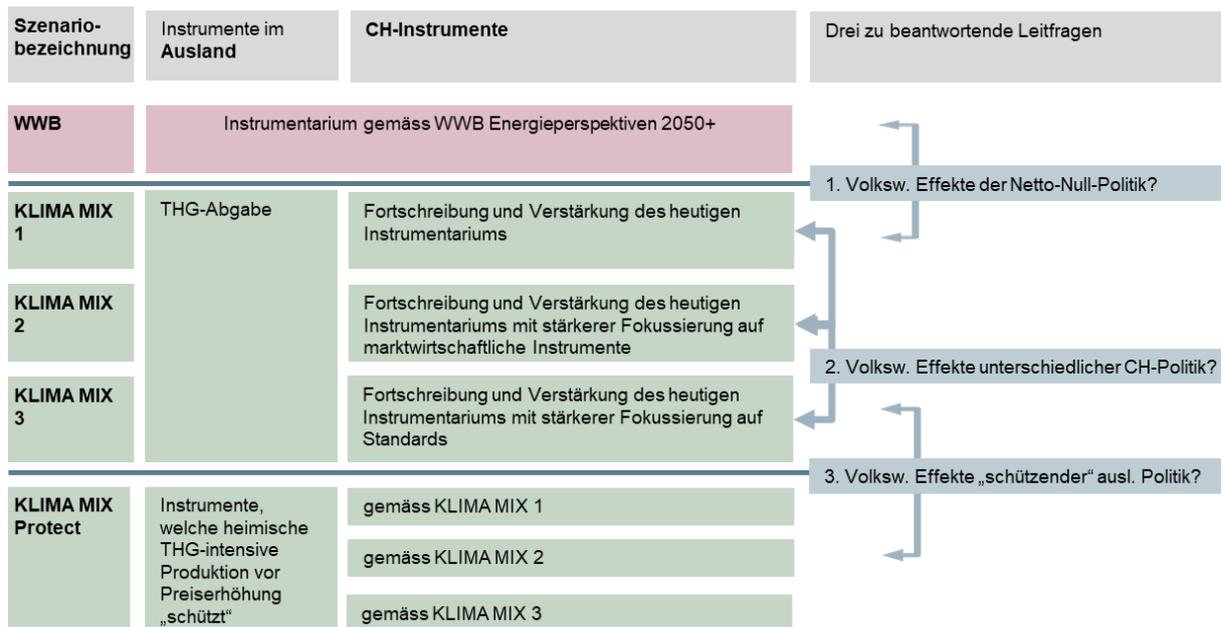
Die Schweiz mindert in Bezug auf die relativen Ziele der anderen Regionen in den Jahren 2035 bis 2045 weniger stark. Dies ist einerseits darauf zurückzuführen, dass der Schweizer Stromsektor bereits weitgehend fossilfrei ist, andererseits liegen die Pro-Kopf-Emissionen in den Jahren 2040 bis 2045 ganz leicht über demjenigen der anderen Regionen.

4 KLIMA MIX Szenarien

Die definierten Emissionsziele (Schweiz und Ausland), Stromverbrauchsziele und Ausbaupfade der erneuerbaren Energien (für die Schweiz) werden im Modell durch den Einsatz verschiedener klima- und energiepolitischer Massnahmen erreicht. Es ist wichtig zu betonen, dass es sich hierbei um den **Vergleich stilisierter und theoretischer Massnahmenpakete** handelt und nicht um eine detailgetreue Darstellung des zukünftigen Massnahmenmix. Eine detailgetreue Darstellung ist auch aus modelltechnischen Gründen nicht möglich. Die Massnahmenpakete setzen gezielte Schwerpunkte und sind bewusst einfach gehalten. Sie sind nicht als Vorschläge für die künftige Ausgestaltung der Klima- und Energiepolitik zu verstehen. Es sollen drei Ziele mit der vorgeschlagenen Szenario-Logik erreicht werden:

1. Mit den *KLIMA*-Szenarien werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen für die Schweiz (Wohlfahrts-, BIP-, Beschäftigungs-, Handels-, Struktur-, Verteilungseffekte) der Netto-Null-Politik im In- und Ausland im Vergleich zum Referenzszenario *Weiter-wie-Bisher* aufgezeigt.
2. Durch den Vergleich von unterschiedlichen, stilisierten Schweizer Instrumentenpaketen wird aufgezeigt, welchen Einfluss die Wahl des Instrumentenmix auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen hat.
3. Durch den Vergleich von unterschiedlichen Massnahmen im Ausland wird der Einfluss der ausländischen Politik auf die Schweizer Volkswirtschaft untersucht. Hier interessieren insbesondere die volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf die Schweiz, wenn das Ausland einen Instrumentenmix wählt, der ihre treibhausgasintensive Produktion schützt.

Abbildung 4-1: Szenario-Logik und zu beantwortende Leitfragen



Die nachfolgende Aufstellung enthält einen kurzen Beschrieb zu den im Modell zu erfassenden KLIMA MIX Szenarien. Eine detaillierte Auflistung der stilisierten Politikinstrumente, welche in

den jeweiligen Szenarien implementiert werden, findet sich im Anhang C. Neben dem **Szenario WWB** («Weiter wie bisher»), das auf dem Instrumentenmix aus dem Jahr 2018 aufbaut, werden folgende **KLIMA-Szenarien** im Modell abgebildet:

- **KLIMA MIX 1:** Dieses Szenario schreibt in **stilisierter Weise** die bestehenden energie- und klimapolitischen Instrumente für die Schweiz fort und verschärft sie zielkonform. Es werden Standards (Portfoliostandards, vgl. Glossar zu «Standards») im Verkehr und Subventionen im Gebäudebereich, und eine CO₂-Abgabe⁴⁶ auf Brennstoffe im Gebäude und Industriebereich (nicht ETS) eingesetzt. Das Politikinstrumentarium im Ausland besteht aus einer uniformen Treibhausgas-Abgabe sowie dem EU-ETS. Dieses Szenario erlaubt eine Abschätzung der volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Umsetzung des Netto-Null Emissionsziels mit Hilfe eines auf den existierenden (stilisierten) politischen Massnahmen beruhenden Instrumentenmix.
- **KLIMA MIX 2:** Dieses Szenario fokussiert im Vergleich zum Szenario KLIMA MIX 1 stärker auf marktwirtschaftlichen Instrumente. Zusätzlich zum Szenario «**KLIMA MIX 1**» wird in der Schweiz ab 2030 anstelle einer weiteren Verschärfung der Standards im Verkehr eine Abgabe auf Treibstoffe eingeführt. Die Einnahmen der Abgaben auf Brennstoffe und Treibstoffe werden zu zwei Dritteln an Wirtschaft und Bevölkerung rückverteilt (analog der CO₂-Abgabe auf Brennstoffe), und zu einem Drittel zweckgebunden zur Förderung eingesetzt. Das Politikinstrumentarium im Ausland bleibt unverändert (uniforme Treibhausgas-Abgabe und EU-ETS).
- **KLIMA MIX 3:** Dieses Szenario bildet einen Gegenpol zum Szenario **KLIMA MIX 2** und setzt stärker auf Standards (Portfoliostandards, vgl. Glossar zu «Standards») als auf CO₂-Abgaben. Zusätzlich zu einer moderaten CO₂-Abgabe auf Brennstoffe werden die Treibhausgas-Ziele über höhere Standards im Verkehrs-, Gebäude- und den Nicht-ETS-Sektoren erreicht. Das Politikinstrumentarium im Ausland bleibt unverändert (uniforme Treibhausgas-Abgabe und EU-ETS).
- **KLIMA MIX Protect:** In diesen Szenarien wird das ausländische Politikinstrumentarium geändert: Anstelle einer uniformen Treibhausgas-Abgabe wird in den energieintensiven und handelsexponierten Sektoren auf ein «Output Based Allocation System» gesetzt⁴⁷, welche die Produktion im Ausland nicht so stark verteuert wie eine uniforme Treibhausgas-Abgabe. So schützt das Ausland seine heimische Produktion in den energieintensiven und handels-

⁴⁶ Die in den KLIMA-MIX-Szenarien unterstellte CO₂-Abgabe enthält keine Ausnahmeregelungen (allein die energieintensiven, handelsorientierten Unternehmen, welche dem ETS unterstellt sind, erhalten einen Teil ihrer Emissionsrechte gratis). Die Abgabebefreiung mittels Zielvereinbarungen ist im Modell nicht abgebildet. Würde die Zielvereinbarung berücksichtigt, so wären die Wohlfahrtskosten der Dekarbonisierung in der Schweiz grösser als in den nachfolgenden Kapiteln ausgewiesen. Wie viel grösser die Wohlfahrtskosten der Dekarbonisierung bei einer Zielvereinbarung mit CO₂-Abgabebefreiung sind, hängt von der Ausgestaltung und der Durchsetzung bzw. Sanktionierung der Zielvorgaben ab.

⁴⁷ In einem «Output Based Allocation System» (OBA-System) werden energieintensiven und handelsexponierten Unternehmen basierend auf ihrer Produktionsmenge Emissionskredite zugewiesen. Die Anzahl dieser Kredite wird durch einen sektorspezifischen Standard bestimmt, der einen Benchmark für die Emissionen pro produzierter Einheit setzt. Den CO₂-Preis müssen die Firmen nur für Emissionen zahlen, die über diesem Standard liegen. Dieses OBA-System entspricht also einem Emissionshandelssystem, bei dem die THG-Zertifikate auf Basis des Outputs gratis zugeteilt werden.

exponierten Sektoren vor Preiserhöhungen. Diese Änderungen im ausländischen Politikinstrumentarium werden kombiniert mit den obigen drei MIX-Szenarien (MIX1, MIX2 und MIX3).

Alle KLIMA-Szenarien unterstehen derselben, global harmonisierten Klimazielsetzung (vgl. Abbildung 3-7) und in allen KLIMA-Szenarien wird der für die Schweiz in den Energiesystemmodellen im Szenario ausgeglichene Jahresbilanz KKW 50 Jahre errechnete Ausbau der erneuerbaren Stromerzeugungstechnologien mit Quoten repliziert.

Die nachfolgende Abbildung 4-2 gibt einen Überblick über die Instrumentierung der drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3. Die Details zur Instrumentierung dieser drei Szenarien sind der Abbildung C-45 und Abbildung C-46 zu entnehmen. Die Details zu Klima Mix Protect sind in der Abbildung C-47 zu finden.

Abbildung 4-2: Überblick über die drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3

Bereich	KLIMA MIX 1	KLIMA MIX 2	KLIMA MIX 3
Energieintensive Industrie	Emissionshandelssystem – verknüpft mit dem EU ETS ¹⁾ Möglichkeit zur Nutzung der CCS-Potenziale in der Zementindustrie, Chemie sowie Eisen&Stahl ⁵⁾		
Brennstoffe	CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe (bis max. 500 CHF/t CO ₂ im Jahr 2050) ²⁾ Einnahmenverwendung: Rückverteilung 2/3, Teilzweckbindung für Subventionen im Ge- bäudebereich 1/3	CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe (bis max. 500 CHF/t CO ₂ im Jahr 2050) ²⁾ Einnahmenverwendung: Rückverteilung 2/3, Teilzweckbindung für Subventionen im Ge- bäudebereich 1/3	Standards ³⁾ (die bestehende CO ₂ - Abgabe auf Brennstoffe wird auf 120 CHF/t fixiert mit Einnahmeverwen- dung wie in KLIMA MIX 1)
Treibstoffe	Emissions- Standards ³⁾	CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe Rückverteilung 2/3 Teil- zweckbindung für Sub- ventionen im Bereich nicht fossile Mobilität 1/3	Emissions- Standards ³⁾
Rest (v.a. Landwirtschaft, Abfall und industrielle Prozesse sowie von Standards oder CO ₂ -Abgabe nicht erfasste energetische Prozesse)	THG-Abgabe ⁴⁾ Möglichkeit zur Nutzung von CCS-Potenzialen in der KVA und Negativemis- sionstechnologien NET im In- und Ausland ⁵⁾		
Stromproduktion	gemäss Kraftwerkportfolio der Strategievarianten der Energiesystemmo- delle der Energieperspektiven 2050+ (mit Quoten umgesetzt) ⁶⁾		

¹⁾ Die Höhe des ETS-Preises wird im Mehrländermodell endogen bestimmt und zwar so, dass die CO₂-Minderungsziele gemäss Abbildung B-21 erreicht werden.

²⁾ Die exogen vorgegebene CO₂-Abgabe steigt bis 2050 bis auf 500 CHF/t CO₂. Die exogen vorgegebene Abgabehöhe wurde so gewählt, dass sich bis 2050 die erneuerbaren Heizungs- und Fahrzeugtechnologien (fast) vollständig durchsetzen.

³⁾ Die Standards wurden so gewählt, dass sich das in den Energieperspektiven für das Basisszenario berechneten Technologieanteile gemäss Abbildung B-7, Abbildung B-8 und Abbildung B-9 exakt ergeben (Portfoliostandards).

⁴⁾ Die THG-Abgabe (THG-Schattenpreis) zeigt die resultierenden Grenzvermeidungskosten der THG-Minderung im restlichen Bereich. Die THG Abgabe wird endogen bestimmt und zwar so, dass die THG-Minderungsziele im Szenario KLIMA gemäss Abbildung B-6 erreicht werden.

⁵⁾ Die zur Verfügung stehenden Potenziale an NET und CCS sind in der Abbildung B-15 zusammengefasst. Zusätzlich können die Synfuels (Wasserstoff und flüssige Synfuels) fossile Treibstoffe ersetzen. Das Synfuel-Potenzial ist in Abbildung B-16 zusammengefasst.

⁶⁾ Für die in diesem Kapitel vorgestellten Resultate wurde das in den Bottom-up-Energiesystemmodellen berechnete Stromproduktionsportfolio gemäss Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050» unterstellt, vgl. dazu die Abbildung B-12. Dazu werden Quoten für die einzelnen Stromproduktionstechnologien vorgegeben. Da die Quoten für die erneuerbaren Technologien höhere liegen als die rein marktlich produzierten Anteile, entstehen zur Erreichung des vorgegebenen Stromproduktionsportfolios zusätzliche Kosten. Die weiteren Stromproduktionsvarianten werden im Kapitel 8.1 untersucht.

5 Volkswirtschaftliche Auswirkungen der Netto-Null-Politik

Wichtige Vorbemerkung: In diesem Kapitel werden die Resultate der Modellsimulationen dargestellt. Das Kapitel 5.1 konzentriert sich alleine auf die **wirtschaftlichen Effekte** der weltweiten Treibhausgasminderung zur Erreichung einer maximalen Erderwärmung um 1.5°C mit Fokus auf die Konsequenzen für die Schweiz. Es wird also nicht gefragt, ob sich die Verminderung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null lohnt, sondern einseitig aufgezeigt, was diese Klimapolitik kostet. Auch die Auswirkungen des Klimawandels auf die wirtschaftliche Leistungsfähigkeit wird nicht berücksichtigt. Klar ist, dass mit dem Erreichen des 1.5°-Ziels global und in der Schweiz immense Schäden verhindert werden. Dieser **Primärnutzen** der globalen Treibhausgasminderung ist im hier eingesetzten Wirtschaftsmodell nicht abbildbar. Im Kapitel 5.2 werden aber die **Sekundäreffekte**, mit welchen die Schweiz bspw. aufgrund einer geringeren Belastung mit Luftschadstoffen, berechnet und im Rahmen eines Exkurses auch auf den Primärnutzen einer globalen ambitionierten Klimapolitik eingegangen. Welche sozialen Verteilungseffekte die Klimapolitik hat, zeigt das Kapitel 5.3. Das letzte Kapitel 5.4 fokussiert auf die Analyse der Struktureffekte und die räumlichen Auswirkungen in der Schweiz.

5.1 Volkswirtschaftliche Auswirkungen ohne Sekundäreffekte

In diesem Kapitel 5 werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer globalen Netto-Null-Politik anhand des Szenarios KLIMA MIX 1 aufgezeigt (vgl. dazu auch die Abbildung 4-2). Das Szenario dient als Hauptszenario der Studie. Der Fokus liegt dabei auf dem relativen Vergleich zwischen dem Szenario WWB («Weiter wie bisher») und dem Szenario KLIMA MIX 1.

Abbildung 5-1: Volkswirtschaftliche Effekte der Netto-Null-Politik: Szenario KLIMA MIX 1 im Vergleich mit dem Szenario WWB



Im Hauptszenario KLIMA MIX 1 werden die bestehenden energie- und klimapolitischen Instrumente **in stilisierter Weise** fortgeschrieben und zielkonform verschärft. Es werden Standards im Verkehr und Subventionen im Gebäudebereich, und eine CO₂-Abgabe auf Brennstoffe im Gebäude und Industriebereich (nicht ETS) eingesetzt. Das Politikinstrumentarium im Ausland besteht aus einer uniformen Treibhausgas-Abgabe sowie dem EU-ETS.

Wir konzentrieren uns nachfolgend auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer ambitionierten globalen Netto-Null-Klimapolitik auf die Schweiz. Wie eingangs erwähnt werden die Primärnutzen und die Sekundäreffekte in diesem Kapitel nicht thematisiert. Am Ende findet sich ein Exkurs, der die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer Netto-Null-Klimapolitik für die verschiedenen Ländergruppen aufzeigt. Dieser Exkurs illustriert, dass die anderen Länder ebenfalls mit negativen volkswirtschaftlichen Auswirkungen zu rechnen haben, welche sich über die Handelsbeziehungen negativ auf die Schweiz auswirken können (sog. Terms-of-Trade-Effekte).

ETS-Preise, CO₂-Abgabe und Grenzvermeidungskosten

Wie wird im Szenario KLIMA MIX 1 das Netto-Null-Ziel bis 2050 erreicht? Die Abbildung 5-2 zeigt, dass zur Erreichung von Netto-Null-Treibhausgasemissionen der ETS-Preis, welcher für die Schweiz und die EU derselbe ist, bis 2050 auf rund 430 Franken pro Tonne CO₂ ansteigen wird⁴⁸. Danach sinkt der ETS-Preis aufgrund der Kostendegression in den erneuerbaren und CCS-Technologien.

Die heimische CO₂-Abgabe auf Brennstoffe müsste bis 2050 in der Grössenordnung von 500 CHF/t CO₂ liegen, damit der Einsatz von fossilen Brennstoffen in Gewerbe, Dienstleistungen, in privaten Haushalten sowie der nicht dem ETS unterstellten Industrie Richtung Null tendiert. Gemäss unseren Modellberechnungen würde allein für die Gebäudeheizungen (Raumwärme und Warmwasser) ab 2030/35 eine CO₂-Abgabehöhe von 300 CHF/t CO₂ ausreichen, um langfristig die Gebäudeheizungen vollständig auf erneuerbar umzustellen.⁴⁹

Vergleichsweise hohe Vermeidungskosten entstehen in den übrigen Bereichen, also vor allem der Landwirtschaft und den industriellen Prozessen. Hier zeigt sich, dass die letzte zu vermeidende Tonne THG im Jahr 2050 auf 776 CHF/t CO₂eq zu stehen kommt.⁵⁰ Dabei ist allerdings zu beachten, dass die «Ausweich- bzw. Substitutionsmöglichkeiten» sowohl in der Landwirtschaft und den industriellen Prozessen im Modell sehr gering sind.

⁴⁸ Die vorliegende endogen Berechnung des ETS-Preises kommt also auf etwa dieselbe Grössenordnung, wie sie in Energiesystemmodellen mit 397 USD-2017/t CO₂ im Jahr 2050 exogen angenommen wurde. Allerdings dürfte der ETS-Preis insbesondere für die Jahre 2030 und 2035 unterschätzt worden sein, da aus Datengründen der ETS-Bereich in den vorliegenden Modellberechnungen breiter definiert ist als er tatsächlich ist: Im vorliegenden Fall wurden jeweils ganze Sektoren dem ETS-Bereich zugewiesen, obwohl nur die energieintensiven Unternehmen in den jeweiligen Sektoren im ETS sind.

⁴⁹ Eine Modellsimulation mit einer CO₂-Abgabe auf Brennstoffen von 300 CHF/t CO₂ zeigte, dass bis 2050 die Gebäudeheizungen vollständig dekarbonisiert wären.

⁵⁰ Die Kosten für die letzte zu vermeidende Tonne CO₂ entspricht der notwendigen Höhe einer THG-Abgabe.

**Abbildung 5-2: ETS-Preise, CO₂-Abgabe und Grenzvermeidungskosten der Treibhausgasmin-
derung im Szenario KLIMA MIX 1**

ETS-Preis, CO ₂ -Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO ₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	160	180	200	220	350	500	500	500
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	320	352	394	391	574	776	767	753

Wohlfahrtseffekte

Welche Auswirkungen hat nun das Szenario KLIMA MIX 1 auf die Wohlfahrt, also auf Konsum und Freizeit (vgl. nachfolgender Exkurs)? Die nachfolgende Abbildung 5-3 zeigt die Entwicklung der Wohlfahrt in der Schweiz und die Wohlfahrtseffekte des Szenarios KLIMA MIX 1. Primär ist einmal festzuhalten, dass die Wohlfahrt im Szenario WWB, also ohne ambitionierte Klimapolitik, und im Szenario KLIMA MIX 1 in der Schweiz noch weiter zunehmen: Zwischen 2020 bis 2050 nimmt die Wohlfahrt im Szenario WWB um 37.8% zu – im Szenario KLIMA MIX 1 nimmt die Wohlfahrt immer noch um 35.8% zu. Die ambitionierte Klimapolitik bremst das jährliche Wohlfahrtswachstum zwischen 2020 und 2050 von 1.07% auf 1.03%, also um -0.04%. Vergleichen wir das Niveau der Wohlfahrt im Jahr 2050 des Szenarios KLIMA MIX 1 mit dem Szenario WWB, so liegt die Wohlfahrt im Szenario KLIMA MIX 1 um 1.42% unterhalb derjenigen des Szenarios WWB.

Abbildung 5-3: Wohlfahrtseffekte - Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die Wohlfahrt

Relative Zunahme der Wohlfahrt	2020 bis 2050	2020 bis 2060
Szenario WWB	37.8%	48.7%
Szenario KLIMA MIX 1	35.8%	47.3%
Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate	2020 bis 2050	2020 bis 2060
Szenario WWB	1.07%	1.00%
Szenario KLIMA MIX 1	1.03%	0.98%
Einfluss von KLIMA MIX 1 auf Wachstumsrate	-0.04%	-0.02%
Relative Wohlfahrtseffekte KLIMA MIX 1 i.Vgl. WWB:	2050	2060
Wohlfahrtseffekte in %	-1.42%	-0.95%

Exkurs: Wie wird die Wohlfahrt gemessen?

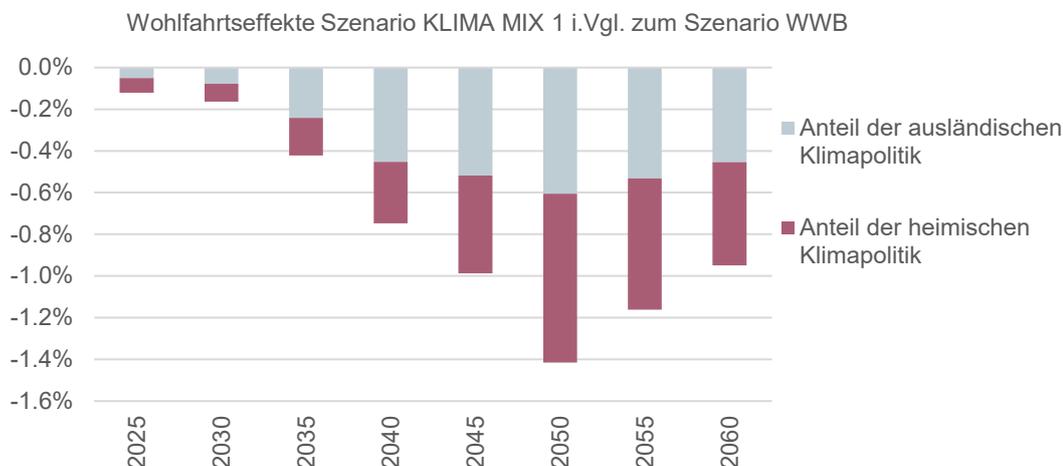
Wie gut es der Bevölkerung geht, wird ökonomisch häufig mit dem Pro-Kopf-BIP gemessen. Dieser Indikator stösst aber an Grenzen, wenn es gilt, die Wohlfahrt zu erfassen. So kann aus dem Pro-Kopf-BIP nicht direkt auf die Konsummöglichkeiten der Bevölkerung geschlossen werden, da die heimische Wertschöpfung nicht nur der heimischen Bevölkerung zugutekommt und die heimische Bevölkerung auch an der ausländischen Wertschöpfung partizipieren kann. Auch kann das Pro-Kopf-BIP bei einem erhöhten Arbeitseinsatz zwar steigen, aber wer mehr arbeitet kann weniger Freizeit konsumieren. Im hier verwendeten ökonomischen Wohlfahrtsbegriff fliessen die Konsummöglichkeiten und die Freizeit der heimischen Bevölkerung ein.⁵¹ Er ist also umfassender als das Pro-Kopf-BIP. Aber auch der hier verwendete ökonomische Wohlfahrtsbegriff hat seine Grenzen, indem er beispielsweise nichts aussagt über den Gesundheitszustand, die Umweltqualität oder die Zufriedenheit der Bevölkerung.

Die Abbildung 5-5 zeigt (in den untersten beiden Zeilen), dass die Wohlfahrtseffekte im Jahr 2050, im ersten Jahr in dem die Schweiz das Ziel von Netto-Null-Treibhausgasemissionen erreicht, mit -1.42% am höchsten sind. Danach werden die Wohlfahrtseffekte wieder kleiner. Dies ist vor allem auf die immer günstiger werdenden CCS- und Negativemissions-Technologien zurückzuführen.

Worauf lassen sich die Wohlfahrtseffekte einer ambitionierten globalen Klimapolitik zurückführen? Die nachfolgende Abbildung 5-4 zeigt, dass **rund die Hälfte der Wohlfahrtseffekte auf die ausländische Klimapolitik zurückzuführen** ist. Die Verminderung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null führt zwar aufgrund des Nachfragerückgangs für Erdöl und Gas zu sinkenden Erdöl- und Gaspreisen, für andere Güter wie bspw. Agrargüter oder den Transport steigen die Preise. In den exportorientierten Branchen, insbesondere Chemie, Pharma und der Rest-Industrie (welche bspw. den Maschinenbau beinhaltet) sinken die Exportpreise – wenn auch nur leicht. Wie sich die ausländische Klimapolitik auf die Schweizer Wirtschaft auswirkt, hängt von der Veränderung der Export- und Importpreise ab. Diese Veränderungen können mit den Terms-of-Trade erfasst werden. Die Terms of Trade (ToT) sind das Verhältnis zwischen den Exportpreisen eines Landes und seinen Importpreisen. Die Terms of Trade verschlechtern sich, wenn mehr Einheiten an Exporten erforderlich sind, um eine Einheit an Importen zu kaufen. Insgesamt **verschlechtern sich für die Schweiz durch die Massnahmen im Ausland zur Erreichung des globalen Netto-Null-Ziels die Terms of Trade**, was die erwähnten Wohlfahrtseffekte der ausländischen Klimapolitik erklärt.

⁵¹ Bei der Messung der Wohlfahrts- bzw. Effizienzeffekte benutzen wird die so genannte Hicks' äquivalente Variation (HEV). Die HEV gibt an, wie viel Einkommen, gemessen zu Preisen des Referenzszenarios WWB, den Haushalten gegeben resp. genommen werden müsste, damit sie gleich gut wie im Szenario KLIMA MIX 1 gestellt werden.

Abbildung 5-4: Einfluss der ausländischen und heimischen Klimapolitik auf die Wohlfahrt in der Schweiz⁵²



Die Wohlfahrtseffekte der heimischen Klimapolitik lassen sich im Kern darauf zurückführen, dass die Bereitstellung der Energiedienstleistungen unter Einhaltung des Netto-Null-Ziels teurer ist, als wenn weiterhin Öl und Gas verfeuert wird. Die Energiesystemmodelle aus den Energieperspektiven rechnen bspw. für das Jahr 2050 mit zusätzlichen Nettokosten von rund 9 Mrd. CHF, was rund 0.9 BIP% entspricht. Bei dieser Berechnung werden selbstverständlich nicht nur die zusätzlichen Ausgaben für bspw. die Wärmepumpen und deren Stromverbrauch, sondern auch die geringeren Ausgaben für die nicht mehr installierte Ölheizung und die Kosteneinsparungen beim Ölverbrauch mitberücksichtigt.

Zu erwähnen ist, dass in den vorliegenden Berechnungen ein technologischer Fortschritt berücksichtigt ist. Mit dem technologischen Fortschritt vergünstigen sich bspw. die Ersatztechnologien für die fossilen Energieträger.⁵³ Dieser technologische Fortschritt ist aber im Szenario WWB und KLIMA MIX 1 derselbe. Es wird also nicht angenommen, dass sich der technologische Fortschritt mit einer ambitionierten Klimapolitik noch weiter beschleunigt – modelltechnisch ist also der technische Fortschritt exogen vorgegeben⁵⁴ und nicht endogen bzw. abhängig von der Klimapolitik.

⁵² Der «Anteil der heimischen Klimapolitik» wurde mittels einer Modellsimulation berechnet, bei welcher sich die Terms of Trade – also die Import- und Exportpreise – zwischen dem Szenario WWB und dem Szenario KLIMA MIX 1 nicht ändern. Daraus können, unter der Annahme, dass der Schweizer Aussenhandel keinen massgeblichen Einfluss auf die Weltmarktpreise hat, die Wohlfahrtseffekte eines Schweizer Alleingangs in der Klimapolitik abgeschätzt werden.

⁵³ Im Gleichgewichtsmodell wurde dieser technologische Fortschritt auf die Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+ abgeglichen, indem die entsprechenden Modellparameter (Elastizitäten) so gewählt wurden, dass die Energiesystem-Differenzkosten zwischen WWB und dem Szenario KLIMA in einer ähnlichen Grössenordnung liegen.

⁵⁴ Der technologische Fortschritt wird im Rahmen der Modell-Vorwärtskalibrierung und mit sogenannten Dekarbonisierungsfaktoren berücksichtigt, vgl. Anhang B, Abbildung B-5.

Die von den Energiesystemmodellen berechneten Zusatzkosten werden im hier angewendeten volkswirtschaftlichen Modell überwältigt: Einen Teil dieser Zusatzkosten trägt das Ausland, weil die Schweiz bspw. weniger Öl importiert, ein Teil wird über die Produktpreise auf die Konsumenten überwältigt und ein Teil wird auf die Löhne überwältigt, indem die Löhne weniger stark ansteigen. Da die Kapitalnachfrage aufgrund einer – wenn auch eingeschränkten – internationalen Kapitalmobilität stärker auf preisliche Belastungen reagiert, Kapital also mobiler ist als Arbeit, werden die Zusatzkosten weniger stark auf den Faktor Kapital und vor allem auf die Löhne überwältigt: Bei den Löhnen ist ein Rückgang von -1.87% im Jahr 2050 im Vergleich zum WWB festzustellen, während die Kapitalrenditen weniger sinken bzw. ab 2050 sogar zunehmen (vgl. Abbildung 5-5). Insgesamt ist daher unter Berücksichtigung der volkswirtschaftlichen Rückkoppelungen mit einem Wohlfahrtsverlust zu rechnen.

Auswirkungen auf die wirtschaftliche Aktivität

Die nachfolgende Abbildung 5-5 zeigt die Auswirkungen auf die wirtschaftliche Aktivität, die Löhne und die Beschäftigung sowie die Kapitalrendite und den Kapitaleinsatz des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB.

Abbildung 5-5: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrößen und die Wohlfahrt

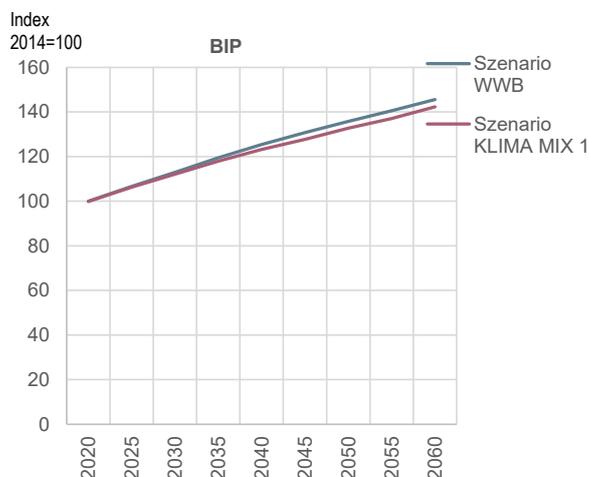
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wirtschaftliche Aktivität								
BIP-Niveau-Effekt	-0,38%	-0,75%	-1,30%	-1,75%	-2,34%	-2,23%	-2,44%	-2,24%
Privater Konsum	-0,48%	-0,76%	-1,40%	-1,93%	-2,51%	-2,48%	-2,40%	-2,08%
Investitionen	0,12%	-0,10%	-0,14%	0,04%	0,11%	0,77%	0,44%	0,42%
Exporte	-0,58%	-1,05%	-1,84%	-2,81%	-3,72%	-2,82%	-3,87%	-3,93%
Importe	-0,45%	-0,68%	-1,28%	-2,02%	-2,49%	-1,18%	-2,08%	-2,19%
Faktorpreise								
Löhne	-0,48%	-0,73%	-1,25%	-1,65%	-2,16%	-1,87%	-1,99%	-1,80%
Kapital (Total Inland)	0,13%	-0,24%	-0,29%	0,16%	0,31%	1,33%	0,95%	0,91%
Faktoreinsatz								
Beschäftigung	-0,22%	-0,39%	-0,53%	-0,48%	-0,61%	0,11%	-0,24%	-0,31%
Kapital (Total Inland)	-0,33%	-0,67%	-1,18%	-1,90%	-2,65%	-3,06%	-3,23%	-3,07%
Kapitalexporte	0,69%	0,77%	1,32%	2,72%	4,10%	5,90%	6,09%	6,00%
Kapitalimporte	-0,51%	-1,47%	-2,39%	-3,22%	-4,45%	-4,26%	-5,02%	-4,83%
Faktoreinkommen								
Arbeit	-0,70%	-1,12%	-1,78%	-2,12%	-2,76%	-1,77%	-2,23%	-2,10%
Heimisches Kapital + Exporte	0,16%	-0,22%	-0,33%	0,07%	0,27%	1,33%	1,09%	1,13%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)								
Wohlfahrt (HEV)	-0,12%	-0,16%	-0,42%	-0,75%	-0,99%	-1,42%	-1,16%	-0,95%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0,12%	-0,16%	-0,41%	-0,73%	-0,97%	-1,39%	-1,15%	-0,94%

Quelle: Berechnungen Ecoplan.

Auswirkungen auf das BIP

Das BIP wächst im Hauptszenario KLIMA MIX 1 zwischen 2020 und 2050 um insgesamt 32,7% weiter an. Zum Vergleich: Im Referenzszenario WWB wächst das BIP um 35,8%. Insgesamt nimmt das BIP entsprechend auch im Szenario KLIMA MIX 1 in den Jahren bis 2050 weiterhin um jährlich 0,95% zu (vgl. Abbildung 5-6). Im Szenario KLIMA MIX 1 wird damit die BIP-Wachstumsrate zwischen 2020 bis 2050 von jährlich 1,02 auf 0,95% und damit um -0,07% gebremst. Somit liegt das BIP im Szenario KLIMA MIX 1 im Jahr 2050 um rund -2,23% tiefer als Szenario WWB. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das BIP kein guter Indikator zur Beurteilung von klimapolitischen Massnahmen ist (vgl. nachfolgenden Exkurs).

Abbildung 5-6: BIP (Bruttoinlandsprodukt) - Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf das BIP



Relative Zunahme des BIPs	2020 bis 2050	2020 bis 2060
Szenario WWB	35.8%	45.6%
Szenario KLIMA MIX 1	32.7%	42.3%
Durchschnittliche jährliche Wachstumsrate	2020 bis 2050	2020 bis 2060
Szenario WWB	1.02%	0.94%
Szenario KLIMA MIX 1	0.95%	0.89%
Einfluss von KLIMA MIX 1 auf Wachstumsrate	-0.07%	-0.05%
Relative BIP-Effekte KLIMA MIX 1 i.Vgl. WWB:	2050	2060
BIP-Effekte in %	-2.23%	-2.24%

Exkurs – Das BIP misst die Wirtschaftsleistung

Das BIP als Mass für die Wirtschaftsleistung, Wohlfahrt als gesamtheitliches Mass zur Beurteilung der Klimapolitik

Mit dem BIP (Bruttoinlandsprodukt) wird die Wirtschaftsleistung, die heimische Wertschöpfung, gemessen. Im Wohlfahrtsmass erhalten neben dem Nutzen des Konsums und dem Nutzen der Freizeit (vgl. vorgängigen Exkurs) auch die Vermeidung der externen Kosten einen Wert (diese Sekundäreffekte werden im nächsten Kapitel 5.2 thematisiert).

BIP-Indexierung hat Einfluss auf die BIP-Resultate

Je nach Art der Deflationierung (oder neutraler «Indexierung») ergeben sich unterschiedliche Werte für die Veränderung des BIP. Eine unterschiedliche Wahl der BIP-Indexierung⁵⁵ kann nicht nur zu signifikanten Unterschieden beim Niveau, sondern sogar zu einer Änderung der Rangordnung der untersuchten Szenarien führen (vgl. dazu EcoPlan (2006), Exkurs auf Seite 67ff).

Es gibt keine «richtige» Indexierung, welche die Effizienz der untersuchten klimapolitischen Massnahmen mit Hilfe des realen BIP zum Ausdruck bringt. Daher wird für die Messung der Effizienz einer politischen Massnahme bei Analysen mit Gleichgewichtsmodellen die Wohlfahrt, gemessen mit der sogenannten äquivalenten Variationen (oder der Konsum als Approximation), verwendet.

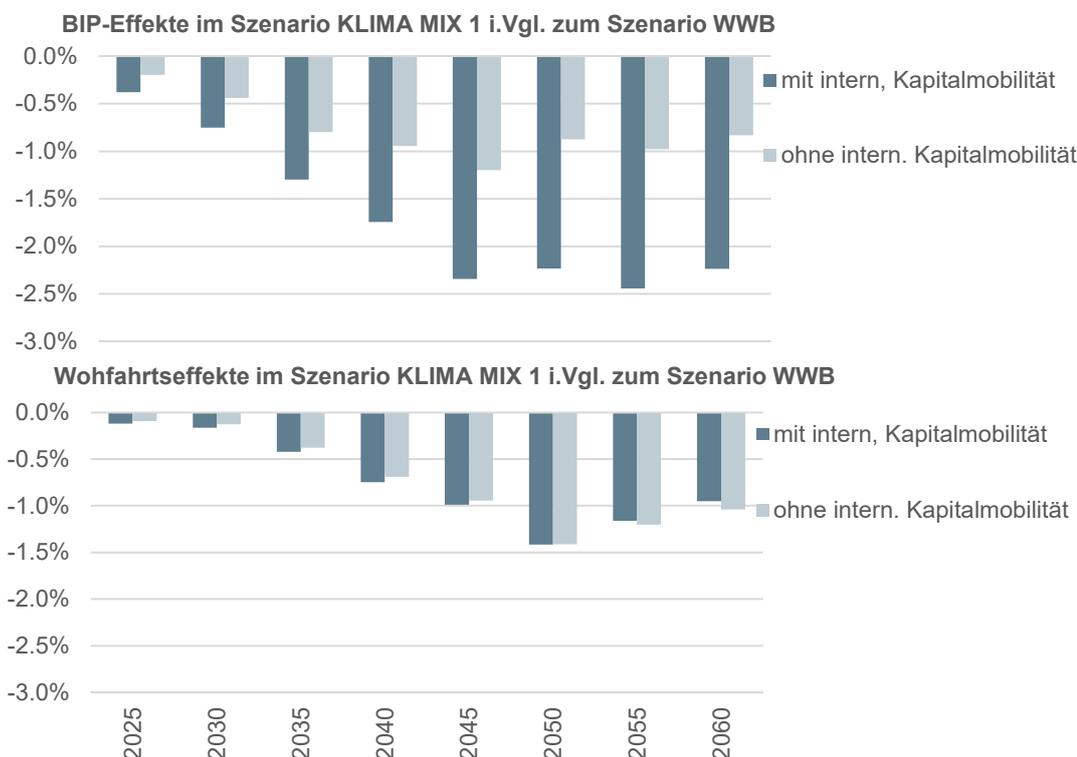
BIP berücksichtigt das im Ausland erarbeitete Kapitaleinkommen nicht

Weiter ist zu berücksichtigen, dass die Schweiz einen Teil ihres Einkommens im Ausland erwirtschaftet, also Erträge aus Investitionen im Ausland realisieren kann. Wird aufgrund klimapolitischer Massnahmen vermehrt im Ausland investiert, so kann dies – relativ betrachtet – das BIP negativ beeinflussen, die Wohlfahrt wäre aber aufgrund des im Ausland realisierten zusätzlichen Kapitaleinkommens weniger davon betroffen.

⁵⁵ Bei unserer BIP-Berechnung haben wir das BIP mit dem Konsumentenpreisindex deflationiert (Laspeyres). Weitere Möglichkeiten sind komponentenweise Deflationierung auf der Verwendungs- oder Entstehungsseite oder eine andere Art der Berechnung (bspw. Paasche oder Fisher anstelle von Laspeyres).

Der Rückgang beim BIP ist relativ grösser als bei der Wohlfahrt. Im obigen Exkurs wird darauf hingewiesen, dass die Wahl der Indexierung des BIP wesentlich beeinflusst und die Veränderung der Nettokapitalexporte bzw. das im Ausland erarbeitete Kapitaleinkommen ebenfalls einen indirekten Effekt auf das BIP hat: Wenn relativ mehr heimisches Kapital im Ausland statt in der Schweiz eingesetzt wird, wird das heimische BIP negativ betroffen. Die nachfolgende Abbildung 5-7 illustriert dies, indem die BIP- und Wohlfahrtseffekte mit und ohne internationale Kapitalmobilität⁵⁶ gegenübergestellt werden: Ob Kapital international mobil ist oder nicht, hat für die Auswirkungen der hier unterstellten klimapolitischen Massnahmen nur einen marginalen Einfluss auf die Wohlfahrt. Das BIP reagiert aber stark auf die Kapitalmobilität. Ohne Kapitalmobilität sind die negativen BIP-Effekte für die Schweiz deutlich geringer als mit Kapitalmobilität. Dies ist darauf zurückzuführen, dass mit internationaler Kapitalmobilität die Kapitalexporte im Vergleich zum Szenario WWB um bis 6% steigen und die Kapitalimporte um bis -5% sinken (vgl. Abbildung 5-5) – die Nettokapitalexporte nehmen also relativ zu; und es wird mit internationaler Kapitalmobilität somit anteilmässig weniger Kapital in der Schweiz eingesetzt, was das BIP negativ beeinflusst.⁵⁷

Abbildung 5-7: Einfluss der Kapitalmobilität auf das BIP und die Wohlfahrt

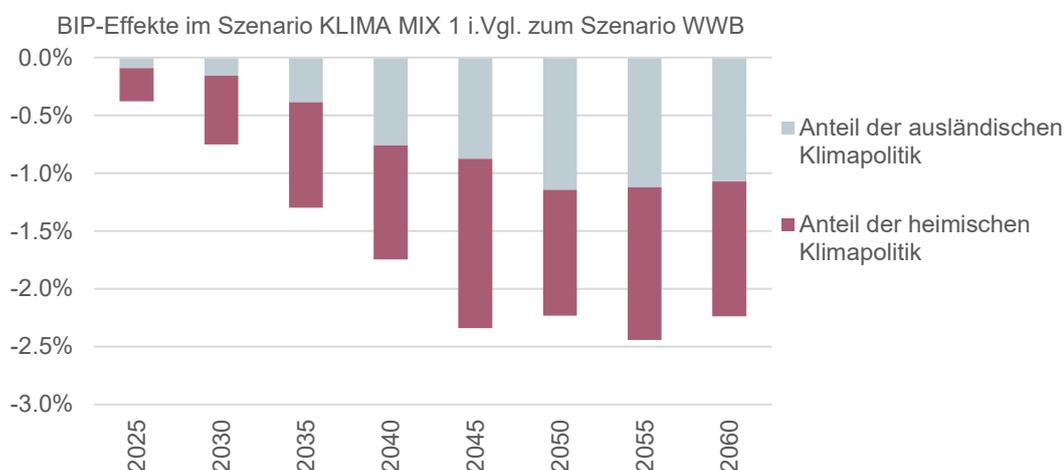


⁵⁶ Es wurde eine teilweise bzw. unvollständige internationale Kapitalmobilität unterstellt. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse wird im Kapitel 8.5 der Einfluss der Kapitalmobilität näher beleuchtet.

⁵⁷ Wichtig ist dabei zu erwähnen, dass in der Modellierung ein langfristiger Zahlungsbilanzausgleich unterstellt wird.

Wie schon bei der Wohlfahrt (vgl. Abbildung 5-4) lassen sich die BIP-Effekte in der Schweiz der ambitionierten globalen Klimapolitik auf die heimische und ausländische Klimapolitik zurückführen. Die nachfolgende Abbildung 5-8 zeigt, dass wie schon bei der Wohlfahrt auch beim BIP **rund die Hälfte der BIP-Effekte auf die ausländische Klimapolitik zurückzuführen** ist: Insgesamt **verschlechtern sich für die Schweiz durch die Massnahmen zur Erreichung des globalen Netto-Null-Ziels die Terms of Trade**, das Austauschverhältnis zwischen Ex- und Importen, was die negativen heimischen BIP-Effekte durch die ausländischen Klimapolitik erklärt.

Abbildung 5-8: Einfluss der ausländischen und heimischen Klimapolitik auf das BIP in der Schweiz⁵⁸



Fazit zu den Wohlfahrt- und BIP-Effekten einer ambitionierten globalen Klimapolitik für die Schweiz: Der weltweite Umbau des Energiesystems und der Einsatz von CCS und Negativemissionstechnologien führen zu zusätzlichen Kosten, was insgesamt moderat negative volkswirtschaftlichen Konsequenzen hat: BIP und Wohlfahrt wachsen im Hauptszenario KLIMA MIX 1 bis 2050 um rund 1% jährlich weiter. Die jährlichen KLIMA MIX 1 Wachstumsraten sind um 0.04% (Wohlfahrt) und 0.07% (BIP) tiefer als im Szenario WWB.

Für die Schweiz als kleine, offene Volkswirtschaft, die durch Importe und Exporte eng mit dem Ausland verflochten ist, spielt die Klimapolitik im Ausland eine wichtige Rolle. Rund die Hälfte der für die Schweiz berechneten Wohlfahrtseffekte lassen sich auf die Massnahmen im Ausland zurückführen. Die andere Hälfte der volkswirtschaftlichen Auswirkungen ist auf die Massnahmen im Inland zurückzuführen.

⁵⁸ Der «Anteil der heimischen Klimapolitik» wurde mittels einer Modellsimulation berechnet, bei welcher sich die Terms of Trade – also die Import- und Exportpreise – zwischen dem Szenario WWB und dem Szenario KLIMA MIX 1 nicht ändern. Daraus können, unter der Annahme, dass der Schweizer Aussenhandel keinen massgeblichen Einfluss auf die Weltmarktpreise hat, die Wohlfahrtseffekte eines Schweizer Alleingangs in der Klimapolitik abgeschätzt werden.

Damit die volkswirtschaftlichen Auswirkungen auch angesichts des gewaltigen Umbaus des gesamten Energieversorgungssystems relativ moderat bleiben, ist neben den zur Verfügung stehenden kostengünstigen Technologien im Raumwärme-, Transport- und Stromerzeugungsbereich auch der Einsatz von längerfristig relativ günstigen NET- (Negativ-Emissions-Technologien) und CCS (Carbon Capture and Storage) entscheidend.

Auswirkungen auf Investitionen

Die gesamten, volkswirtschaftlichen Investitionen gehen im Vergleich zum Szenario WWB trotz relativen BIP-Einbussen nur leicht zurück bzw. nehmen je nach betrachtetem Jahr sogar leicht zu (vgl. Abbildung 5-5). Der Investitionsanteil am BIP nimmt somit zu. Dies ist die Folge der hohen Investitionen in den Umbau des Energiesystems und in späteren Jahren in die Kohlenstoffabscheidungs- und -speicherungstechnologien.

Auswirkungen auf den Aussenhandel (Exporte und Importe)

Die Auswirkungen auf die Exporte und Importe sind stark geprägt durch die internationale Klimapolitik bzw. die Veränderungen in den Terms-of-Trade (vgl. dazu Kapitel 8.5). Unabhängig von den Veränderungen der Terms-of-Trade lassen sich aber folgende Auswirkungen feststellen: Die Exporte zeigen in der Tendenz einen grösseren Rückgang als die Importe und nehmen stärker ab als das BIP. Die heimische Nachfrage gewinnt also – relativ betrachtet – an Bedeutung. Dies liegt teilweise daran, dass der Umbau des Energiesystems anteilmässig mehr heimische Nachfrage erzeugt. Die Schweizer Wirtschaft produziert also aufgrund des Umbaus der Energiesystems anteilmässig mehr für den Schweizer Markt, da beispielsweise die importierten fossilen Energieträger zumindest teilweise durch heimische Wertschöpfung ersetzt werden.

Für den im Jahr 2050 geringeren Rückgang der Importe (-0.88%) im Vergleich zu den Jahren 2045 (-2.43%) und 2055 (-1.86%) sind die im Ausland zugekauften und der Schweiz angerechneten Negativemissionstechnologien – was volkswirtschaftlich einem «Import» entspricht – und die importierten Synfuels verantwortlich.⁵⁹

Auswirkungen auf den privaten Konsum

Mit dem privaten Konsum kann die Bevölkerung ihre individuellen materiellen Bedürfnisse befriedigen. Der private Konsum ist zusammen mit der Freizeit die bestimmende Grösse für die (ökonomische) Wohlfahrt.

⁵⁹ Der Einsatz von Negativemissionstechnologien und Synfuels erreichen gemäss den Modellsimulationen mit dem hier eingesetzten Gleichgewichtsmodell im Jahr 2050 den Peak und nehmen danach wieder ab.

Da der Investitionsanteil am BIP im Szenario KLIMA MIX1 i.Vgl. zum Szenario WWB steigt und der Nettoexportanteil sinkt, sinkt auch der private Konsum, sofern – wie hier unterstellt – der staatliche Konsum in beiden Szenarien gleich hoch ist.⁶⁰

Auswirkungen auf Faktoreinsatz und Faktorpreise

Die Zusatzkosten des Energiesystemumbaus werden – nach Berücksichtigung der möglichen Ersatz- und Ausweichmöglichkeiten – letztlich auf die Produktpreise, die Löhne und die Kapitalrenditen überwältigt. Da der Faktor Arbeit weniger flexibel reagieren kann als der relativ mobile Faktor Kapital, wird die Zusatzlast des Energiesystemumbaus stärker auf den Faktor Arbeit überwältigt: Die Löhne sinken denn auch stärker als die heimischen Kapitalrenditen, die in den späteren Jahren sogar – relativ betrachtet – zunehmen. Die Beschäftigung nimmt bis 2045 leicht ab. Im Jahr 2050 steigt dann aber die Beschäftigung im Szenario KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB sogar leicht.

Fazit zu Investitionen, Aussenhandel, Faktorpreise und -einsatz einer ambitionierten globalen Klimapolitik für die Schweiz: Der Umbau des Energiesystems führt zu einem spürbaren Anstieg des Investitionsanteils am BIP. Die Schweizer Wirtschaft wird aufgrund des Umbaus der Energiesystems anteilmässig mehr für den Schweizer Markt produzieren, d.h. die Nettoexporte gehen zurück. Der Import von Öl und Gas wird durch teurer heimische produzierte Energiedienstleistungen ersetzt. Von den ambitionierten klimapolitischen Massnahmen sind die Löhne stärker negativ betroffen als die Kapitalrenditen. Der Grund dafür liegt darin, dass der Faktor Arbeit weniger flexibel reagiert als der relativ mobile Faktor Kapital.

⁶⁰ Wir haben für den Staat die sog. «Equal-Yield-Restriktion» unterstellt, d.h. unabhängig von der verfolgten Klimapolitik der Staat dieselben Einnahmen generiert, um den staatlichen Konsum bzw. die staatlichen Leistungen zu erbringen.

Exkurs: Vergleich der Resultate mit den Energieperspektiven 2050 aus dem Jahre 2012

Die nachfolgende Abbildung vergleicht die Modellausprägungen, die unterstellte Referenzentwicklung (Szenario WWB), die Zielsetzungen in den Zielszenarien (ZERO und NEP) sowie die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des vorliegenden Berichts mit dem Ecoplan-Bericht aus dem Jahre 2012 zu den Energieperspektiven 2050 (Ecoplan (2012)).

Abbildung 5-9: Vergleich der aktuellen Resultate mit den Resultaten der Energiestrategie 2050

	Energie- strategie 2050+ (akt. Bericht)	Energie- strategie 2050 (Bericht 2012)	Anmerkungen zu den Unterschieden
Modellausprägung			
Gleichgewichtsmodell	Mehrländer- Modell	Einländer- Modell	Die Terms-of-Trade-Effekte aus der internationalen Klimapolitik sind im Bericht 2012 nicht enthalten
Modellierung der Energie- und Transporttechnologien	detailliert	aggregiert	Die Energie- und Transporttechnologien sind im aktuellen Bericht detailliert erfasst und auf die Energiesystemmodelle abgestimmt.
Berücksichtigte Treibhausgase	alle	energetische CO ₂ -Emissionen	Der Bericht 2012 hat sich nur auf die energetischen CO ₂ -Emissionen fokussiert
Szenario WWB («Weiter wie bisher»)			
[Mio. t CO ₂ eq]	WWB	WWB	Die Entwicklungen der energetischen CO ₂ -Emissionen sind ähnlich in den beiden Berichten. Anmerkung: Bericht 2012 zeigt witterungsbereinigte CO ₂ -Emissionen für Endenergie.
Energetisches CO ₂	2010: 42.9 2050: 21.6	39.7 20.8	
Restl. THG-Emissionen	2010: 11.9 2050: 10.1	-- --	
Total	2010: 54.8 2050: 31.7		
Szenario ZERO (Netto-Null-Ziel bis 2050) bzw. NEP (Neue Energiepolitik)			
[Mio. t CO ₂ eq]	ZERO (=KLIMA)	NEP	Im aktuellen Bericht wird das Netto-Null-Ziel 2050 über alle THG-Emissionen gesetzt und es stehen insgesamt 11.8 Mio. t CO ₂ eq als CCS und NET zur Verfügung. Im Bericht 2012 stehen keine CCS und NET zur Verfügung. Das Emissionsziel für das Szenario NEP («Neue Energiepolitik») von 7.7 Mio. t CO ₂ beschränkt sich auf die energetischen CO ₂ -Emissionen. Die Ziele von ZERO und NEP sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da bei ZERO mehr Treibhausgase berücksichtigt werden, aber im Gegenzug auch CCS&NET angerechnet werden.
Energetisches CO ₂	2050: 4.2	7.7	
Restl. THG	2050: 7.5	--	
CCS und NET	2050: 11.8	--	
Zielsetzung THG- (ZERO) bzw. CO ₂ -Min- derung (NEP) im Jahr 2050 gegenüber WWB ohne CCS&NET-An- rechnung	-63%	-63%	
Volkswirtschaftlichen Auswirkungen			
Grenzvermeidungskosten 2050 [CHF/t CO ₂]	776	1'140	Die tieferen Grenzvermeidungskosten im aktuellen Bericht sind auf die günstigen Technologien im Heizungersatz und bei den PWs und den LKWs und auf die relativ kostengünstigen CCS und NET zurückzuführen.
Wohlfahrtseffekt 2050 i.Vgl. zum Szenario WWB (exkl. Sekundäreffekte)	-1.42%	-0.92%	Die Wohlfahrtseffekte sind trotz tieferen Grenzvermeidungskosten aufgrund der Berücksichtigung der internationalen Rückkopplungen einer global ambitionierten Klimapolitik im aktuellen Bericht höher als im Bericht 2012
BIP-Effekt 2050 i.Vgl. zum Szenario WWB	-2.23%	-2.7%	Die beiden Berichte zeigen BIP-Effekte in einer ähnlichen Grössenordnung.

Exkurs: Volkswirtschaftliche Auswirkungen auf die Weltregionen

In den vorgängigen Ausführungen haben wir uns auf die Auswirkungen auf die Schweiz fokussiert und mehrmals darauf hingewiesen, dass die klimapolitischen Massnahmen im Ausland einen entscheidenden Einfluss auf die Schweiz haben. Wir haben denn auch die Resultate des Mehrländermodells vor allem dafür genutzt, um die Rückwirkungen einer globalen Netto-Null-Klimapolitik auf die Schweiz grob über veränderte Terms-of-Trade zu erfassen.

Nachfolgend wollen wir ergänzend zu der auf die Schweiz fokussierten Diskussion auf die Resultate einer ambitionierten globalen Klimapolitik eingehen und die Schweizer Auswirkungen mit den Auswirkungen auf die anderen Weltregionen vergleichen. Wie bereits im Kapitel 2 erwähnt, definieren wir die verschiedenen Weltregionen mit ihren unterschiedlichen Netto-Null-Zielen wie folgt:

Regionen in denen das Netto-Null-Ziel für alle Treibhausgasemissionen bis 2050 erreicht ist (vgl. Abbildung 3-2):

- **CH:** Schweiz
- **EU:** EU + Grossbritannien

Regionen mit einem Netto-Null-Ziel für die energetischen CO₂-Emissionen bis 2050 und einem umfassenden Netto-Null-Ziel für alle Treibhausgase bis 2070:

- **Rest_OECD** (Australien, Chile, Island, Israel, Japan, Kanada, Kolumbien, Korea, Liechtenstein, Mexiko, Neuseeland, Norwegen, Türkei, USA)
- **ChInRuME:** China, Indien, Russland, Mittlerer Osten (Vereinigte Arabische Emirate, Saudi Arabien, Katar, Libanon, Irak, Kuwait, Iran, Bahrain, Jordanien, Oman, Jemen, Syrien)
- **ROW:** Restliche Länder (Rest of the World).

Wir stellen nachfolgend die Resultate für die Schweiz, Szenario KLIMA MIX 1, den Resultaten der anderen Weltregionen gegenüber. Dabei ist zu erwähnen, dass sowohl die klimapolitischen Massnahmen als auch die Energiesysteme in den übrigen Weltregionen nicht in demselben Detail modellmässig erfasst werden konnte wie für die Schweiz. Für die übrigen Weltregionen wurde bspw. unterstellt, dass diese ihre klimapolitischen Ziele (vgl. Abbildung 3-7) mittels einer allgemeinen, uniformen THG-Abgabe erreichen. Auch wurden die Technologien im Ausland nur sehr grob modelliert. Daher sollte die Studie nicht dazu dienen, die volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Umsetzung des Netto-Null Ziels weltweit zu analysieren. Vielmehr sollen die nachfolgenden Erläuterungen helfen, die Resultate für die Schweiz einzuordnen und zu erklären. Primär- und Sekundärnutzen wurden für die Weltregionen nicht analysiert.

Niveaueffekte auf Wohlfahrt, BIP und Konsum

Eine global ambitionierte Klimapolitik trifft – relativ betrachtet – die Entwicklungs- und Schwellenländer (viele davon zusammengefasst in der Weltregion ROW) und die kohle-, erdgas- und erdölfördernden bzw. -exportierenden Länder (viele davon zusammengefasst in der Weltregion ChInRuME) am stärksten (vgl. die nachfolgende Abbildung 5-10). Dies ist die Folge davon,

dass in diesen beiden Weltregionen die anteilmässige Bedeutung der fossilen Energieträger Kohle, Erdgas und Erdöl deutlich grösser ist als in den industrialisierten Länder (CH, EU und Rest_OECD). Kommt hinzu, dass in den kohle-, erdgas- und erdölfördernden bzw. -exportierenden Länder, welche vor allem in der Weltregion ChInRuME zu finden sind, die Nachfrage nach Öl, Gas und Kohle zurückgeht und sie immer weniger Einnahmen aus der Kohle-, Erdgas- und Erdölproduktion erwirtschaften können.

Abbildung 5-10: Auswirkungen auf Wohlfahrt, BIP und Konsum einer globalen Netto-Null-Klimapolitik im Vergleich zum Szenario WWB⁶¹

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wohlfahrt								
CH	-0.12%	-0.16%	-0.42%	-0.75%	-0.99%	-1.42%	-1.16%	-0.95%
EU	-0.03%	-0.05%	-0.93%	-1.48%	-1.74%	-1.95%	-1.42%	-1.05%
Rest_OECD	-0.15%	-0.68%	-1.33%	-1.41%	-1.46%	-1.13%	-0.87%	-0.67%
ChInRuME	-0.44%	-1.63%	-3.77%	-5.27%	-5.66%	-6.06%	-5.69%	-5.24%
ROW	-0.19%	-0.82%	-1.90%	-2.92%	-3.31%	-3.77%	-3.96%	-3.98%
Global	-0.20%	-0.83%	-1.97%	-2.67%	-2.96%	-3.10%	-2.95%	-2.77%
BIP								
CH	-0.38%	-0.75%	-1.30%	-1.75%	-2.34%	-2.23%	-2.44%	-2.24%
EU	-0.09%	-0.20%	-1.61%	-2.28%	-2.57%	-2.61%	-1.91%	-1.44%
Rest_OECD	-0.35%	-1.30%	-2.21%	-2.31%	-2.20%	-1.65%	-1.22%	-0.93%
ChInRuME	-0.53%	-1.77%	-3.95%	-4.49%	-4.82%	-5.23%	-4.55%	-4.07%
ROW	-0.55%	-1.86%	-3.79%	-4.75%	-5.18%	-5.68%	-5.76%	-5.41%
Global	-0.38%	-1.34%	-2.89%	-3.41%	-3.65%	-3.75%	-3.37%	-3.05%
Konsum								
CH	-0.48%	-0.76%	-1.40%	-1.93%	-2.51%	-2.48%	-2.40%	-2.08%
EU	-0.08%	-0.14%	-1.54%	-2.30%	-2.65%	-2.84%	-2.07%	-1.55%
Rest_OECD	-0.38%	-1.47%	-2.57%	-2.67%	-2.59%	-1.95%	-1.45%	-1.10%
ChInRuME	-0.89%	-3.00%	-6.69%	-8.29%	-8.92%	-9.64%	-8.77%	-8.03%
ROW	-0.53%	-1.88%	-3.94%	-5.23%	-5.77%	-6.40%	-6.55%	-6.31%
Global	-0.45%	-1.64%	-3.56%	-4.40%	-4.75%	-4.90%	-4.51%	-4.17%

Im Vergleich unter den Industrieländern muss die Schweiz – relativ betrachtet – nicht mit höheren Wohlfahrtsverlusten rechnen, obwohl ihre Grenzvermeidungskosten am höchsten sind (vgl. Abbildung 5-11).⁶²

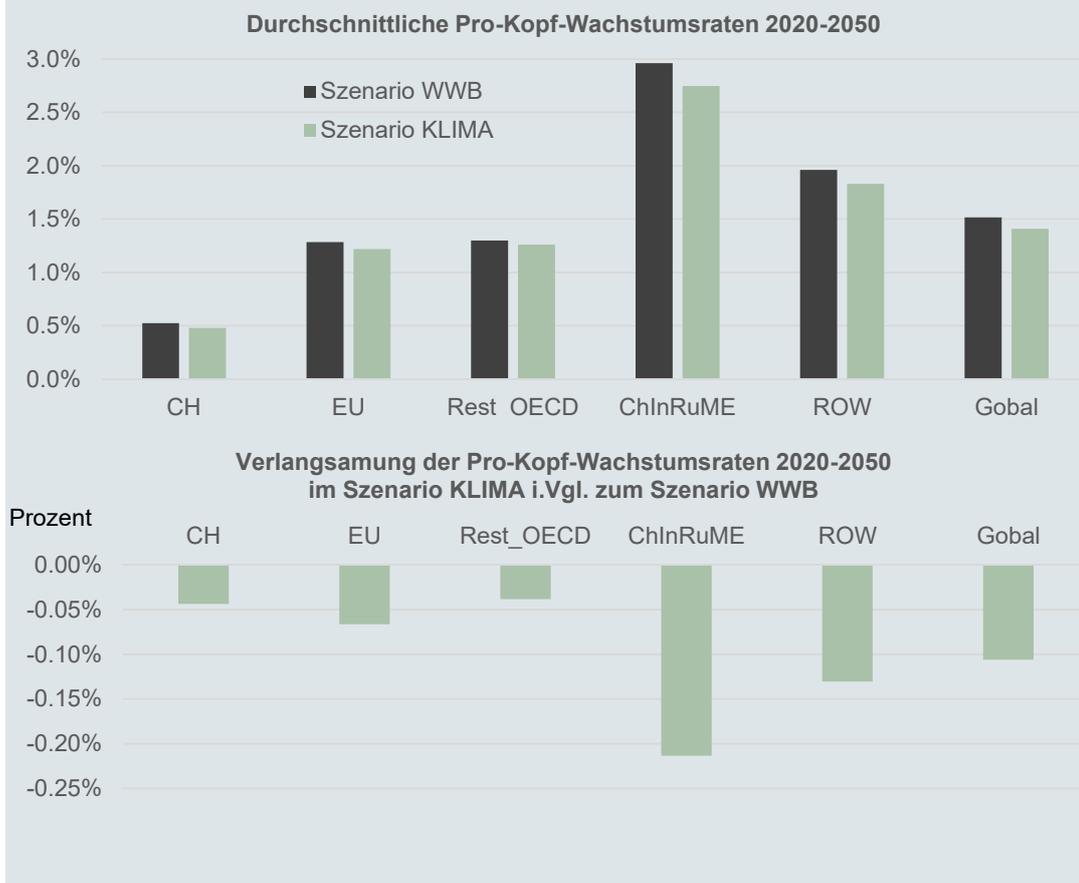
⁶¹ Für die Schweiz wird das Szenario KLIMA MIX 1 dargestellt.

⁶² Einzig im Jahr 2045 sind die Grenzvermeidungskosten der EU höher als diejenigen der Schweiz. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die EU einen ambitionierten Zielpfad verfolgt und vor allem in den Jahren zwischen 2030 und 2045 ihre Treibhausgase relativ stärker mindern will als die Schweiz (vgl. Abbildung 3-6).

Abbildung 5-11: Grenzvermeidungskosten der CO₂- bzw. THG-Minderung bei einer globalen Netto-Null-Klimapolitik

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Grenzvermeidungskosten der CO₂- bzw. THG-Minderung [CHF 2014 pro t CO₂eq]								
CH	320	352	394	391	574	776	767	753
EU	26	53	312	505	657	688	570	508
Rest_OECD	31	116	226	289	299	254	224	213
ChInRuME	13	43	114	131	170	230	224	237
ROW	15	47	104	132	161	199	224	224

Obwohl die kohle-, erdgas- und erdölfördernden bzw. -exportierenden Länder ChInRuME und die Entwicklungs- und Schwellenländer ROW relativ am stärksten von einer ambitionierten globalen Klimapolitik betroffen sind, wächst in diesen Ländern die Wohlfahrt pro Kopf auch bei einer ambitionierten Klimapolitik zwischen 2020 bis 2050 stärker als in den Industrieländern (vgl. Abbildung 5-12).

Abbildung 5-12: Auswirkungen auf der Pro-Kopf-Wachstumsrate von Wohlfahrt bei einer globalen Netto-Null-Klimapolitik im Vergleich zum Szenario WWB⁶³

⁶³ Für die Schweiz wird das Szenario KLIMA MIX 1 dargestellt.

Abschliessend wollen wir die Resultate der vorliegenden Studie mit der internationalen Literatur vergleichen. Der 6. Assessment Report des IPCC ist bezüglich der Detailresultate noch nicht zitierbar,⁶⁴ bestätigt aber den nachfolgend dargestellten Vergleich der vorliegenden Resultate mit dem 5. Assessment Report (AR5) aus dem Jahre 2014. Bereits zitierbar ist aber die Zusammenfassung zuhanden der Politik.⁶⁵ Die vorliegende Studie reiht sich in die vielen von IPCC analysierten Studien ein und kommt zu derselben Hauptkenntnis: **«Die Auswirkungen des Klimaschutzes auf das globale BIP sind gering im Vergleich zum projizierten globalen BIP-Wachstum»**.⁶⁶ Im Vergleich zu einem WWB-Szenario, bei denen von einer Fortsetzung der bis Ende 2020 umgesetzten Massnahmen ausgegangen wird, sinkt beispielsweise das geschätzte globale BIP im Jahr 2050 um 2.6% bis 4.2% bei Klima-Szenarien, die von koordinierten globalen Massnahmen ausgehen, um die Erwärmung auf 1.5°C zu begrenzen (>50 %). Die globale BIP-Wachstumsrate würde also um 0.09% bis 0.14% zurückgehen. In der vorliegenden Studie geht das globale BIP bis 2050 im Szenario KLIMA im Vergleich zum Szenario WWB um 3.75% zurück (vgl. Abbildung 5-10) und liegt damit in der von der IPCC angegebenen Bandbreite von 2.6% bis 4.2%, welche sie aus der Analyse einer Vielzahl von Studien gefunden hat.⁶⁷

Da der Detailbericht der Working Group III des 6. Assessment Reports des IPCC noch nicht zitierbar ist, greifen wir für einen detaillierteren Vergleich auf den 5. Assessment Report (AR5) aus dem Jahr 2014 zurück.⁶⁸ Die nachfolgende Abbildung 5-13 zeigt, dass die IPCC (2014) rund 50 Studien betrachteten und im Durchschnitt aller Studien mit einem Konsumverlust im Jahre 2050 von 3.4% gegenüber einer Referenzentwicklung rechnen. Die vorliegende Studie rechnet global mit einem Konsumverlust im Jahre 2050 im Vergleich zum Szenario WWB von 4.9%. Die Konsumeinbussen in der vorliegenden Studie liegen damit höher als der Durchschnitt aller in IPCC (2014) zusammengestellten Studien. Dies ist in erster Linie darauf zurückzuführen, dass die in IPCC (2014) zusammengestellten Studien von einem 2°-Temperaturziel ausgehen und damit deutlich weniger ambitioniert sind, also das 1.5°-Ziel der vorliegenden Studie.

⁶⁴ IPCC (2022), AR 6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III.

⁶⁵ IPCC (2022), AR 6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Summary for Policymakers.

⁶⁶ IPCC (2022), AR 6 Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Summary for Policymakers, C.12.2. IPCC analysiert dabei diverse Studien, welche sich – wie vorliegende Studie – vertieft mit den Auswirkungen des Klimaschutzes auseinandersetzen, die Kosten des Klimawandels aber nicht berücksichtigen.

⁶⁷ Zu erwähnen ist, dass das BIP kein guter Indikator für einen Studie

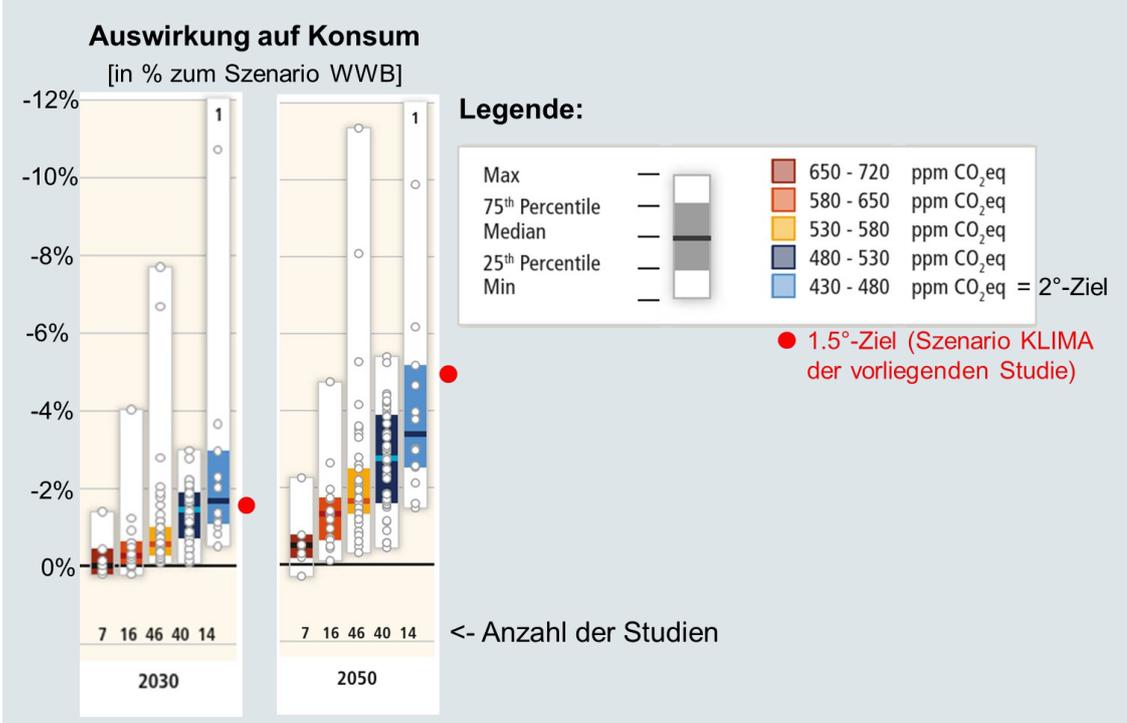
⁶⁸ IPCC (2014), AR 5 Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change, Working Group III.

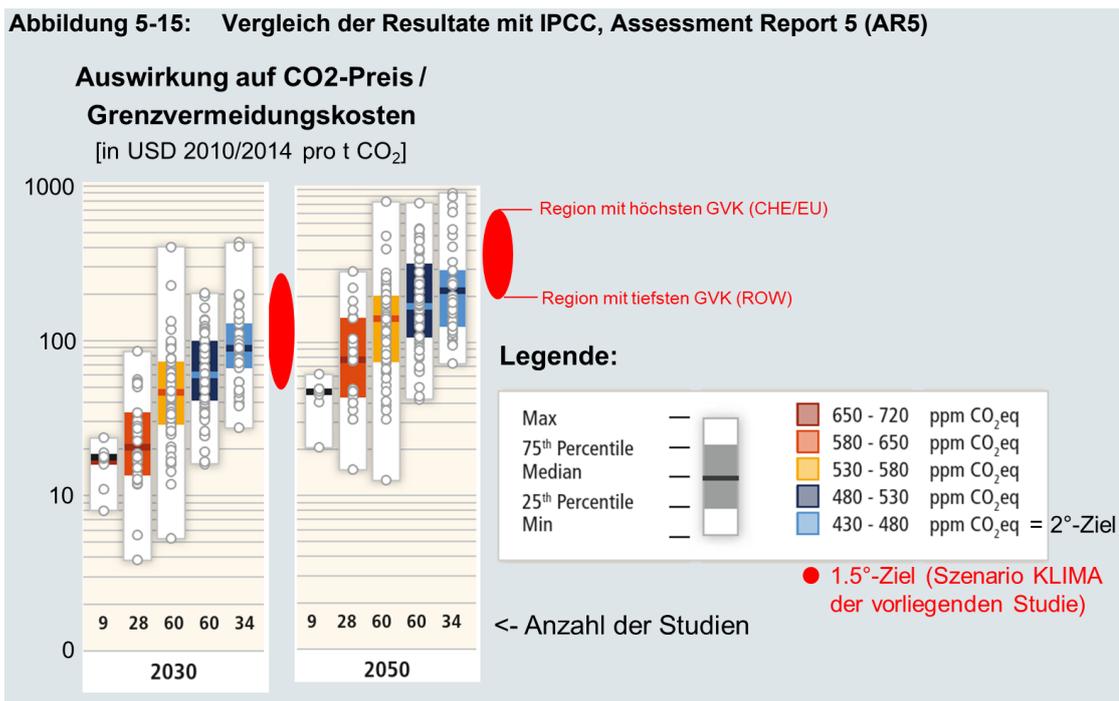
Abbildung 5-13: Vergleich der Resultate mit IPCC, Assessment Report 5 (AR5)

Quelle Szenario	relativer Konsumverlust Jahr 2050	Bemerkungen
IPCC, AR5, Working Group III, Table 5.2 Szenario Concentration 450, RCP 2.6, d.h. 2 Grad Ziel wird wahrscheinlich eingehalten, 1.5 Grad Ziel nicht	- 3.4%	Weniger ambitioniertes Szenario als das Szenario KLIMA bzw. KLIMA MIX1 in diesem Bericht
Vorliegender Bericht Klimaszenario für die Schweiz gemäss KLIMA MIX 1, mit vollständiger Dekarbonisierung des Energiebereichs bis 2050 für alle Länder und vollständige Dekarbonisierung in allen Bereichen bis 2070, 1.5 Grad Ziel wird wahrscheinlich erreicht.	- 4.9%	Relative Konsumverluste sehr stark abhängig von Indexierung (in der vorliegenden Studie wurde Konsumentenpreisindex verwendet). Ein besserer Indikator wäre die Wohlfahrt, bei welcher im Jahr 2050 mit globalen Einbussen von -3.1% zu rechnen ist.

Die nachfolgenden beiden Abbildung 5-14 und Abbildung 5-15 zeigen, dass die berechneten globalen Konsumverluste und die CO₂-Grenzvermeidungskosten aufgrund der Klimapolitik in der vorliegenden Studie Konsumverluste im Jahre 2030 in etwa dem Durchschnitt aller in IPCC (2014) zusammengefassten Studien entspricht. Erst längerfristig und mit der deutlich ambitionierteren Netto-Null-Klimapolitik zeigt die vorliegende Studie höhere Konsumverluste und CO₂-Grenzvermeidungskosten als der Durchschnitt der Studien in IPCC (2014). Insgesamt reiht sich die vorliegende Studie in die Bandbreite der Resultate anderer internationaler Studien ein.

Abbildung 5-14: Vergleich der Resultate mit IPCC, Assessment Report 5 (AR5)





5.2 Volkswirtschaftliche Auswirkungen mit Sekundäreffekten

Klimapolitik hat neben dem Primärziel der Minderung der Treibhausgase und damit der global schädlichen Auswirkungen des Klimawandels auch positive Effekte auf andere Umweltbereiche – wie Luft oder Lärm. Die Luftverschmutzung bzw. die Lärmbelastung und die damit verbundenen externen Kosten nehmen also aufgrund der Klimapolitik ab. In den vorgängigen Ausführungen wurden diese positiven sog. Sekundäreffekte der Klimapolitik noch nicht berücksichtigt. Nachfolgend wollen wir diese (meist) positiven Sekundäreffekte anhand des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB grob abschätzen.

5.2.1 Sekundäreffekte der Treibhausgasminderung auf die Schweiz

Die nachfolgend aufgeführten Sekundäreffekte einer ambitionierten Klimapolitik entsprechen der Reduktion der externen Kosten in den Bereichen **Stromproduktion, Wärmeerzeugung, industrielle Produktion, Strassenverkehr**, Schienen- und Luftverkehr. Dabei beschränken wir uns auf diejenigen externen Effekte, die in unserem Szenarienrahmen von der Klimapolitik stark betroffen sind: Es sind dies die **Luftbelastung** und die **Lärmkosten des Strassenverkehrs**. In den Bereichen Schienen- und Luftverkehr gibt es gemäss den Annahmen bzw. der Systemabgrenzung keine Unterschiede zwischen dem Szenario KLIMA MIX 1 und dem Szenario WWB. Der internationale Luftverkehr wird in den Energieperspektiven 2050+ nicht mit einbezogen. Der Nutzen der «gebremsten» Klimaerwärmung wird hier nicht berücksichtigt – ebenso wenig wie die Kernkraftrisiken. Im nachfolgenden Exkurs wird auf den Primärnutzen der Klimapolitik kurz eingegangen.

Im Anhang D werden die wichtigsten Annahmen, Abgrenzungen und Systemgrenzen zur Berechnung der spezifischen externen Kosten (Wertgerüst) zusammenfassend dargestellt. Dieser Anhang D fasst die in einem ausführlichen technischen Berichts von EcoPlan (2022)⁶⁹ hergeleiteten Kostensätze zusammen. Für das Mengengerüst zur Berechnung der Sekundäreffekte wurde auf folgende Resultate zurückgegriffen:

Energiebezogenes Mengengerüst: Die produzierte Strommenge, gefahrenen Strassenkilometer, verbrauchtes Öl und Gas – entsprechen dem in den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ berechneten Resultaten des Hauptszenarios.⁷⁰ Das Mengengerüst im Energiebereich entspricht somit nicht exakt den Resultaten aus dem Gleichgewichtsmodell, da diese Resultate für die Berechnung der Sekundäreffekte nicht im notwendigen Detaillierungsgrad vorliegen (bspw. Wärmeproduktion mittels Solarthermie, Unterscheidung zwischen Luft-Wasser- und Sole-Wasser-Wärmepumpen). Die Unterschiede im Energiebereich zwischen den Resultaten aus dem Gleichgewichtsmodell und den Energiesystemmodellen sind aber gering, da das Gleichgewichtsmodell im Energiebereich auf die Resultate des Energiesystemmodells abgestützt ist.

Nicht-energiebezogenes Mengengerüst: Die nicht-energiebezogenen Sekundäreffekte, bspw. diejenige in der Landwirtschaft, wurden auf Basis der Resultate des vorliegenden Gleichgewichtsmodells berechnet. Als Indikator für die Veränderung der externen Kosten wurde die Veränderung des Outputniveaus – ausgelöst durch die klimapolitischen Massnahmen – herangezogen.

Die nachfolgende Abbildung 5-16 zeigt die Sekundäreffekte, bzw. die vermiedenen externen Kosten, wenn die Schweiz mit einer ambitionierten Klimapolitik das Netto-Null-Ziel per 2050 erreicht. Es werden nur die Sekundäreffekte der Umsetzung des Netto-Null Ziels der Schweiz, getrennt für die in der Schweiz und dem Ausland anfallenden Sekundäreffekten ausgewiesen. Weiter wird für die Schweiz zwischen energiebezogene und nicht-energiebezogene Sekundäreffekten unterschieden. Der Sekundärnutzen der ausländischen Klimapolitik wird nicht einbezogen.

Energiebezogene Sekundäreffekte

Die totalen energiebezogenen Sekundärnutzen steigen bis 2035 auf etwa **150 Mio. CHF pro Jahr** und bleiben dann in etwa in dieser Grössenordnung. Diese jährlich rund 150 Mio. setzen sich wie folgt zusammen:

- *Stromerzeugung:* Die zusätzliche Stromerzeugung im Inland⁷¹ führt zu zusätzlicher Luftbelastung im In- und Ausland aufgrund der für den Bau der Stromproduktionsanlagen benötigten Vorleistungen. Dagegen wird das Ausland «entlastet», da die Schweiz im Szenario KLIMA MIX 1 mehr erneuerbaren Strom erzeugt und damit weniger Strom importiert als im Szenario WWB.

⁶⁹ EcoPlan (2022), Sekundäreffekte der Energieperspektiven 2050+ im Bereich externe Kosten.

⁷⁰ Prognos, infras, TEP, EcoPlan (2021), Energieperspektiven 2050+, Technischer Bericht, Gesamtdokumentation der Arbeiten.

⁷¹ Es wurde die Stromerzeugungsvariante „ausgeglichene Jahresbilanz“ des Hauptszenarios der Energieperspektiven 2050+ unterstellt.

- *Wärmeerzeugung*: Die Dekarbonisierung bei der Wärmeerzeugung verringert die Luftbelastung im In- und Ausland. Einerseits aufgrund der wegfallenden Luftbelastung durch die Öl- und Gasheizungen im Inland, andererseits durch die verminderten externen Kosten bei der Förderung und Transport der fossilen Energieträger im Ausland. Der Sekundärnutzen im Szenario KLIMA MIX 1 fällt in der Schweiz nicht höher aus, weil im Szenario WWB insbesondere die Ölheizungen schon sehr stark zurückgehen. Ein weiterer Grund ist, dass der in einer Übergangsperiode vermehrte Einsatz von Biogas für die Wärmeerzeugung im Szenario KLIMA MIX 1 zu einer zusätzlichen Luftbelastung führt.
- *Herstellung PtX*: Da die Herstellung von Wasserstoff (PtH₂) und erneuerbare flüssige Kraftstoffe (PtL) nur zu einem kleineren Teil im Inland erfolgt, fällt die produktionsbedingte zusätzliche Luftbelastung stärker im Ausland als im Inland an. Insgesamt bleibt aber die zusätzliche Luftbelastung relativ gering.
- *Strassenverkehr*: Der stärkere Umstieg auf alternative Antriebe - insbesondere auf Elektro- und Wasserstoff-Fahrzeuge - im Szenario KLIMA MIX 1 führt zu einer Minderung der Luftbelastung. Dieser Sekundärnutzen bleibt aber überschaubar, da ein bedeutender Anteil der Luftbelastung durch Reifenabrieb zustande kommt und bereits im Szenario WWB eine spürbare Durchdringung mit Elektro-Fahrzeugen erreicht wird. Da gemäss Annahmen der Energieperspektiven 2050+ die Verkehrsleistung im Szenario KLIMA MIX 1 und dem Szenario WWB gleich sind, fällt der Sekundärnutzen des Szenarios KLIMA MIX 1 relativ bescheiden aus.

Per Saldo sind die **energiebezogenen Sekundärnutzen** der Umsetzung des Netto-Null Ziels der Schweiz **relativ gering**.

Nicht-energiebezogene Sekundäreffekte

Die Sekundärnutzen sind insbesondere im nicht-energiebezogenen Bereich zu erwarten. Sie betragen bis zu 1'304 Mio. CHF im Jahr 2060 und sind auf folgende Effekte zurückzuführen:

- *Landwirtschaft und restliche Sektoren*: Bei den Sekundärnutzen im Bereich der nicht-energetischen Prozessen bei der Landwirtschaft und den restlichen Sektoren (Zement-, Bauindustrie usw.) handelt es sich um eine sehr grobe Einschätzung. Hauptverantwortlich für den Effekt ist der Rückgang der Produktion in der Landwirtschaft und den restlichen Sektoren aufgrund der klimapolitischen Massnahmen. Es wird unterstellt, dass mit dem Rückgang der Produktion auch die externen Kosten der Luftbelastung entsprechend zurückgehen. In Bezug auf diesen Rückgang der Luftbelastung wird allerdings entscheidend sein, wie sich die landwirtschaftliche Produktionsstruktur verändert. Es ist aber nicht unplausibel, dass die stark luftbelastende Nutztierhaltung im Szenario KLIMA MIX 1 geringer ausfällt und damit auch die Luftbelastung aus der Landwirtschaft.
- *Lärmkosten Strasse*: Elektromotoren sind insbesondere innerorts – bei tieferen Fahrzeuggeschwindigkeiten – deutlich leiser als Verbrennungsmotoren. Der Strassenlärm im besie-

delten Gebiet sinkt daher im Szenario KLIMA MIX 1 stärker als im Szenario WWB. Langfristig kann mit einem beachtlichen Sekundärnutzen von über 300 Mio. CHF/Jahr gerechnet werden.

Die nicht-energiebezogenen Sekundärnutzen sind etwa sieben Mal grösser als die energiebezogenen Sekundärnutzen, wobei die Einschätzung zur Grössenordnung der nicht-energiebezogenen Sekundäreffekten mit sehr grossen Unsicherheiten behaftet ist.

Abbildung 5-16: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die externen Kosten der Luftbelastung und Strassenlärm [Sekundäreffekte in Mio CHF 2014]

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Inland (Luftbelastung und Lärmkosten Strassen)								
Sekundäreffekte bei energiebezogenen Prozessen (Luftbelastung)								
Stromerzeugung	-2	-21	-62	-151	-214	-288	-295	-279
Wärmeerzeugung	63	134	183	244	306	327	359	378
Herstellung PtX	-0	0	0	0	0	-1	-1	-1
Strassenverkehr	4	13	31	53	74	88	94	96
Total energiebezogene Prozesse	65	127	152	147	165	125	158	195
Sekundäreffekte bei nicht-energiebezogenen Prozessen (Luftbelastung + Lärmkosten Strasse)								
Landwirtschaft	296	314	198	109	301	403	505	537
Restliche Sektoren	18	33	65	97	140	145	177	190
Lärmkosten Strasse	60	96	136	179	225	274	327	383
Total nicht-energiebezogene Prozesse	373	443	400	385	666	823	1'009	1'110
Total Inland	438	570	552	532	831	948	1'166	1'304
Ausland (Luftbelastung, alles energiebezogene Prozesse)								
Stromerzeugung Ausland	-2	-24	-95	-195	-275	-351	-334	-300
Sromimporte Ausland	17	38	85	146	197	268	292	306
Wärmeerzeugung Ausland	17	40	63	79	96	106	104	99
Herstellung PtX Ausland	-0	-1	-2	-4	-14	-33	-24	-19
Total Ausland	31	53	50	26	5	-10	37	86
Gesamttotal In- und Ausland	470	623	602	558	836	938	1'204	1'391

Lesehilfe: Positive Werte zeigen einen Sekundärnutzen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB. Das Szenario KLIMA MIX 1 bringt also neben der Einhaltung des Netto-Null-Ziels einen zusätzlichen Nutzen im Bereich der inländischen Luftbelastung und des Strassenlärms von 948 Mio. CHF für das Jahr 2050.

5.2.2 Volkswirtschaftliche Auswirkungen auf die Schweiz mit Berücksichtigung der Sekundäreffekte

In Kapitel 5.1 haben wir die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB diskutiert. In der nachfolgenden Abbildung 5-17 zeigen wir noch einmal die **Wohlfahrtseffekte⁷² ohne Sekundäreffekte**: Im Szenario KLIMA MIX 1 sind die Wohlfahrtseinbussen im Jahr 2050 am grössten. Die Wohlfahrtseffekte belaufen sich für das Jahr 2050 im Vergleich zum Szenario WWB auf -1.42%.

Im vorangehenden Kapitel 5.2.1 haben wir aufgezeigt, dass der **Sekundärnutzen** der Luftbelastung und beim Strassenlärm im Inland im Jahr 2050 knapp 1 Mrd. CHF im Jahre 2050 beträgt, was +0.1 Wohlfahrtsprozent entspricht.

Die positiven Sekundäreffekte können die negativen Wohlfahrtseffekte des Szenarios KLIMA MIX 1 nur teilweise kompensieren – mindern die Verluste aber um knapp 10%. Die **Wohlfahrtseffekte mit Sekundäreffekten** bei der Luftbelastung und beim Strassenlärm verringern sich von -1.42% auf -1.32% im Vergleich zum Szenario WWB im Jahre 2050. Diese resultierenden Wohlfahrtskosten unter Berücksichtigung der Sekundäreffekte sind aufzuwiegen mit dem eigentlichen Primärnutzen der Klimapolitik (siehe Exkurs), um ein umfassendes Bild zu erhalten.

Abbildung 5-17: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die Wohlfahrt – ohne und mit Berücksichtigung der Sekundäreffekte

Wohlfahrt mit/ohne Sekundäreffekte: Szenario KLIMA MIX 1 i.Vgl. zum Szenario WWB									
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Wohlfahrtseffekte OHNE Sekundäreffekte									
Wohlfahrt (HEV%)	-0.12%	-0.16%	-0.42%	-0.75%	-0.99%	-1.42%	-1.16%	-0.95%	
Wohlfahrtseffekte MIT Sekundäreffekten									
Wohlfahrt (HEV%)	-0.06%	-0.09%	-0.36%	-0.69%	-0.90%	-1.32%	-1.04%	-0.82%	

Exkurs: Der Primärnutzen einer ambitionierten globalen Klimapolitik

In der vorliegenden Studie stehen die volkswirtschaftlichen Auswirkungen einer ambitionierten Klimapolitik im Vordergrund. Der eigentliche Zweck und damit der Primärnutzen einer ambitionierten Klimapolitik besteht aber in erster Linie darin, die potenziell gewaltigen Auswirkungen und damit verbundenen Kosten einer ungebremsen Klimaerwärmung zu vermeiden oder zumindest zu vermindern. Der Primärnutzen der Klimapolitik liegt also in den vermiedenen Kosten des Nicht-Handelns («cost of inaction») und wird in der vorliegenden Studie nicht berechnet

⁷² HEV = Hicks' äquivalente Variation (vgl. Ausführungen zur Wohlfahrt im Kapitel 5.1.).

(siehe Exkurs zum «Primärnutzen der Erreichung des Netto-Null Ziels» am Schluss des Kapitels 1). Bei der Beurteilung von klimapolitischen Massnahmen mit hoher Eingriffstiefe und langem Zeithorizont, wie sie für die Erreichung des Netto-Null-Ziels notwendig sein werden, ist es dennoch wichtig, neben den Kosten auch den Nutzen der Klimapolitik zu betrachten. Die folgenden kurzen Ausführungen beziehen sich auf die langfristige Klimastrategie des Bundesrats⁷³, die Erläuterungen zum Primärnutzen im Exkurs am Ende des Kapitels 1 und der bestehenden Literatur zu den Auswirkungen des Klimawandels in der Schweiz und unserer Nachbarländer.

Gemäss Kahn et al. (2019) dürften die Kosten des Nichthandels, d.h. die Kosten einer ungebremsten Erwärmung, für die Schweiz bereits bis 2050 bis zu *maximal* 4 BIP-Prozente pro Jahr betragen (vgl. Abbildung 5-18).⁷⁴ Unsere Nachbarländer rechnen bei ungebremster Erwärmung mit Schäden des Klimawandels von maximal 2 BIP-Prozente.⁷⁵

Aufgrund der bereits bestehenden Anstrengungen vieler Länder zur Vermeidung von Treibhausgasemissionen wird die Klimaerwärmung allerdings nicht ungebremst sein. Mit welchen Schäden die Schweiz im Falle eines globalen «Weiter wie bisher» (WWB) rechnen müsste, ist nicht bekannt. Studien zeigen aber, dass die Schweiz bei einer Begrenzung der Erderwärmung auf maximal 1.5° Grad mit geringeren Schäden des Klimawandels von deutlich unter 1 BIP-Prozent rechnen darf.⁷⁶

Der **Primärnutzen** einer ambitionierten globalen Klimapolitik entspricht im vorliegenden Fall der **Differenz der zu erwartenden Schäden des Klimawandels bei gebremster Erwärmung (Szenario WWB) und den Schäden bei stark gebremster Erwärmung (Szenario KLIMA)**. Die Schwierigkeit bei der Abschätzung des Primärnutzens einer global ambitionierten Klimapolitik für die Schweiz liegt darin, dass diese Differenz der Schäden bei einer gebremsten und einer stark gebremsten Erwärmung mit vorliegenden Informationen nicht bezifferbar ist. Auch wenn man unterstellt, dass bei einer stark gebremsten Klimaerwärmung die Kosten für die Schweiz gering ausfallen, bleibt die Schwierigkeit der Einschätzung der Kosten für eine ge-

⁷³ Bundesrat (2021), Langfristige Klimastrategie der Schweiz. Bern.

⁷⁴ Kahn et al. (2019) haben mit Hilfe eines ökonometrischen Modells die Auswirkungen des Klimawandels für eine Vielzahl von Ländern untersucht. Für die Schweiz schätzen sie die Kosten für 2050 bei *ungebremster Klimaerwärmung* (abgebildet mit dem Szenario RCP8.5) auf 4.3 Prozent des BIP. Bei einer Erwärmung von rund 2°C liegen die Kosten mit 1.5 Prozent des BIP deutlich tiefer.

⁷⁵ Für **Österreich** schätzen Kahn et al. (2019) die Kosten im Jahr 2050 bei ungebremstem Klimawandel auf 2.4 Prozent des BIP (gemäss Szenario RCP8.5). Steininger et al. (2015) gehen für 2050 von Kosten zwischen 3.8 und 8.8 Mia. EUR aus, was etwa 0.6-1.4 Prozent des BIP entspricht.

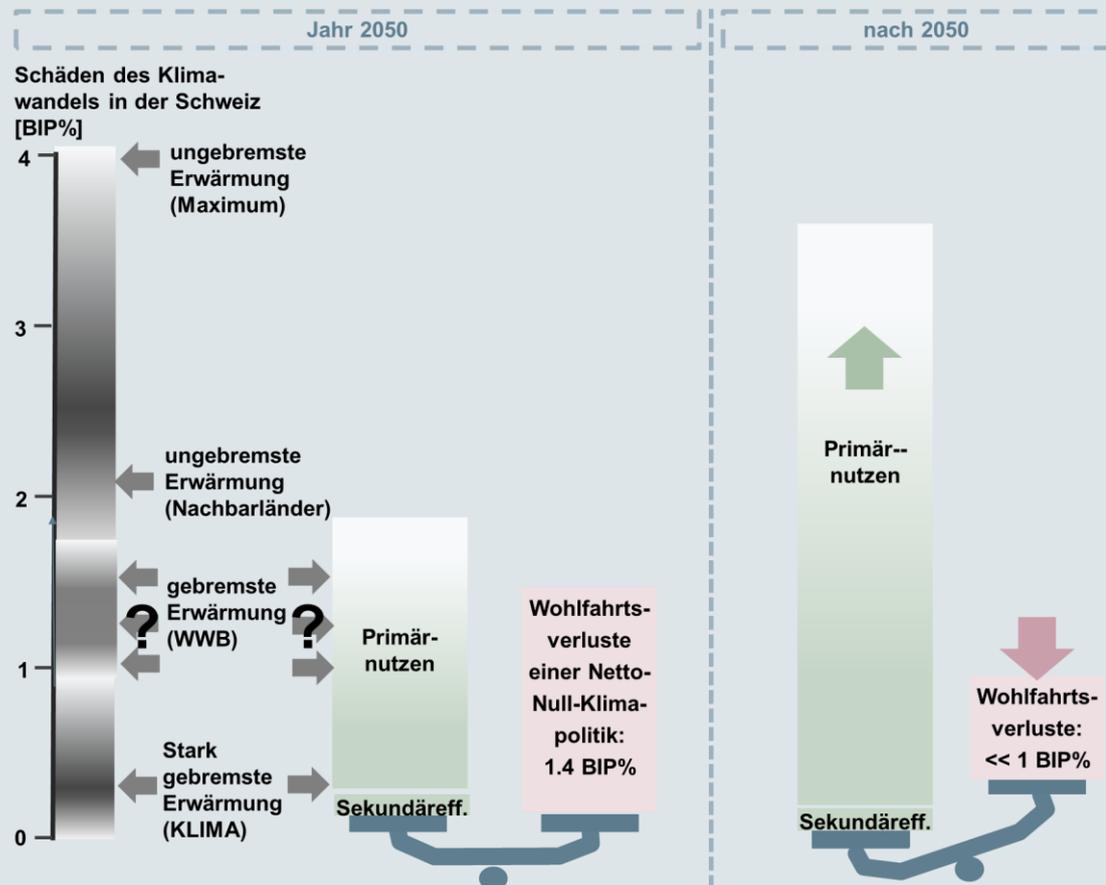
Für **Deutschland** rechnet Kemfert (2007) bei einer Erwärmung um 4.5°C bis Ende des Jahrhunderts mit Kosten von rund 800 Mia. EUR oder 0.5 Prozent des BIP im Jahr 2050. Ecologic und Infrac (2009) gehen bei einer etwas geringeren Erwärmung von Kosten von rund 0.35 Prozenten des BIP aus. Kahn et al. (2019) weisen für 2050 Kosten von maximal 0.3 BIP-Prozenten aus.

Für die **EU** schätzen Ciscar et al. (2018) Wohlfahrtsverluste bis Ende des Jahrhunderts unter dem Szenario RCP8.5 von 1.9 BIP-Prozente pro Jahr. Über die Handelsverflechtungen der EU und die Auswirkungen des Klimawandels in den übrigen Ländern könnte der Wohlfahrtsverlust auf bis zu 20 BIP-Prozente ansteigen.

⁷⁶ Gemäss Vöhringer et al. (2019) betragen die Kosten des Klimawandels für die Schweiz noch maximal 0.25 Prozent des BIP bzw. 0.8 Prozent der Wohlfahrt (oder rund 4.8 Mia. CHF), wenn die Zunahme der Erwärmung auf rund 1.5°C beschränkt (Szenario RCP3PD) werden kann.

bremste Klimaerwärmung (die Abbildung 5-18 illustriert dies mit den Fragezeigen zu den Auswirkungen einer gebremsten Klimaerwärmung auf die Schweiz). Es kann also im Moment in Bezug auf das Jahr 2050 keine gesicherten Aussagen darüber gemacht werden, ob dem Wohlfahrtseffekt einer global ambitionierten Klimapolitik von -1.4% (vgl. Abbildung 5-3) für die Schweiz ein ebenso hoher (oder sogar höherer) Primärnutzen in der Schweiz entgegensteht.

Abbildung 5-18: Nutzen-Kosten-Abwägung einer ambitionierten globalen Netto-Null-Klimapolitik für die Schweiz



Der Primärnutzen einer umfassenden Senkung der Treibhausgasemissionen wird sich erst nach 2050 in vollem Umfang zeigen: Die Klimaschäden nehmen mit der Erwärmung zu und werden gegen Ende dieses Jahrhunderts deutlich höhere sein als im Jahr 2050.⁷⁷ Gerade umgekehrt wird es sich mit den Kosten zur Vermeidung der Treibhausgasemissionen verhalten. Ist die Dekarbonisierung einmal erreicht, die Investitionen für die Energiesystemumstellung getätigt, nehmen die Kosten wieder ab (dies zeigt auch die vorliegende Studie, vgl. dazu die zurückgehenden Wohlfahrtsverluste ab dem Jahre 2050 in der Abbildung 5-3). Das Nutzen-Kosten-Verhältnis einer ambitionierten globalen Klimapolitik dürfte also bezogen auf die Schweiz längerfristig positiv sein. Wie diese Nutzen-Kosten-Rechnung für die Schweiz über den ganzen Zeithorizont von heute bis ins nächste Jahrhundert genau ausfällt, hängt zudem stark von der Diskontrate ab (d.h. von der heutigen Bewertung von in der Zukunft anfallenden

⁷⁷ Gemäss Ecoplan (2007) steigen die Kosten pro zusätzlichem Grad Erwärmung in der Schweiz – allein in den in der Studie berücksichtigten Teileffekte der Klimaerwärmung – um über 2 Mia. CHF pro Jahr.

Kosten und Nutzen).⁷⁸ Allerdings liegt eine solche Nutzen-Kosten-Rechnung über den ganzen Zeithorizont für die Schweiz nicht vor, es können entsprechend keine detaillierten Angaben über die Höhe dieser Rechnung gemacht werden

Anzumerken bleibt, dass diese auf die Schweiz zentrierte Nutzen-Kosten-Abwägung einer ambitionierten globalen Klimapolitik nicht der Beweggrund für das politische Handeln in der Schweiz sein darf. Wegweisend ist die Nutzen-Kosten-Abwägung auf globaler Ebene⁷⁹ – und nicht diejenige auf der Ebene einzelner Länder oder Regionen. Auch wenn die Schweiz keinen Nutzen aus einer ambitionierten globalen Klimapolitik ziehen könnte, muss sie als Verursacherin von Treibhausgasemissionen ihren Beitrag leisten.

Fazit zu den Sekundäreffekten: Die Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bringt der Schweiz eine bessere Luftqualität und weniger Strassenlärm. Diese Sekundäreffekte können die Wohlfahrtseffekte in dieser Studie zu etwa 10 Prozent kompensieren. Die Sekundäreffekte sind nicht höher, weil auch in der «Weiter-wie-bisher»-Entwicklung schon viel erreicht wird.

Wenn alle Länder gemeinsam Netto-Null erreichen, dürften aus einer globalen Sicht die Primärnutzen, also die Verhinderung von Schäden aufgrund des Klimawandels, die Kosten einer ambitionierten globalen Klimapolitik überwiegen. Auch für die Schweiz – als relativ exponiertes Land in Bezug auf den Klimawandel – dürften spätestens in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts die in der Schweiz entstehenden Nutzen einer ambitionierten globalen Klimapolitik die in der Schweiz entstehenden Kosten der Klimapolitik übertreffen. Wie diese Nutzen-Kosten-Rechnung für die Schweiz über den ganzen Zeithorizont von heute bis ins nächste Jahrhundert aussieht, wurde in der vorliegenden Studie jedoch nicht berechnet.

⁷⁸ Bei der heutigen Bewertung von künftig eintretenden Klimaschäden beeinflusst die Wahl der Diskontrate das Ergebnis massgeblich: Ein Klimaschaden von 100 Mio. CHF, der im Jahr 2100 eintritt, würde bei einer Diskontrate von 1% heute einen Wert von 46 Mio. CHF und bei 3% einen Wert von nur noch 10 Mio. CHF zugewiesen – also allein die Wahl einer Diskontrate von 3% anstelle von 1% lässt den künftigen Klimaschaden aus heutiger Sicht um fast 80% geringer erscheinen. Wissenschaftlich lässt sich die Höhe der sozialen Diskontrate bei gesamtwirtschaftlichen Bewertungen nicht begründen, denn mit der Wahl der sozialen Diskontrate sind implizit Werturteile verbunden. Um einen Wert für die soziale Diskontrate festzulegen, ist erstens eine Annahme über den Inhalt der künftigen Präferenzen der Gesellschaft (bis hin zu den Präferenzen künftiger Generationen) zu treffen, zweitens ist festzulegen, wie die Kosten und Nutzen in der Zukunft im Vergleich zu heute auftretenden Kosten und Nutzen zu gewichten sind (diese intergenerationale Verteilungsfrage wird mit der reinen Zeitpräferenzrate ausgedrückt) und drittens müssen Annahmen über die weiteren Bestimmungsgrössen für die soziale Diskontrate (Wachstumsrate des Konsums und Grenznutzenelastizität des Konsums) getroffen werden (vgl. dazu .Umweltbundesamt (2018), Seite 30ff).

⁷⁹ Für die globale Perspektive verweist der Bundesrat (2021) in seiner langfristigen Klimastrategie, Seite 58f, auf den Stern-Report, Stern (2015), und die OECD (2015).

5.3 Soziale Verteilungseffekte

Die Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die soziale Verteilungswirkung werden anhand von verschiedenen Haushaltsgruppen, die nach sozioökonomischen Kriterien unterteilt werden, aufgezeigt. Auf Basis der Haushaltsbudgeterhebung wurden für insgesamt 15 Haushaltsgruppen – unterteilt in erwerbstätige Haushalte mit und ohne Kinder sowie Rentner – die Einkommens- und Ausgabenstruktur ausgewertet. Die Auswertungen und die Charakterisierung der Haushalte sind im Anhang D dargelegt.

15 Haushaltsgruppen

Die 15 Haushaltsgruppen sind:

- *Kids1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte erwerbstätige Haushalte mit Kindern.
- *NoKids1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte erwerbstätige Haushalte ohne Kinder. NoKids1 zählt dabei zu den 20% „ärmsten“ Haushalten und NoKids5 zu den 20% reichsten Haushalten.
- *Rentner1 bis 5*: nach Quintilen des Lebensstandards unterteilte Rentnerhaushalte.

Wohlfahrtsveränderung ohne Sekundäreffekte und Primärnutzen

Die Wohlfahrtsveränderungen für die 15 Haushaltsgruppen sind für das Szenario KLIMA MIX 1 in Abbildung 5-19 dargestellt. Auch hier sind die Wohlfahrtsveränderungen der einzelnen Haushalte im Vergleich zum Referenzszenario WWB dargestellt. Bei den nachfolgend dargestellten Wohlfahrtsveränderungen sind die im Kapitel 5.2 diskutierten Sekundäreffekte und Primärnutzen nicht enthalten, da die Zuordnung der Sekundäreffekte und des Primärnutzens auf die einzelnen Haushalte nicht klar ist.

Im Szenario KLIMA MIX 1 verlieren die Haushalte maximal -1.72% (Kids 3 im Jahr 2050) bzw. gewinnen maximal +0.4% (Rentner 5 im Jahr 2060) Wohlfahrt im Vergleich zum Szenario WWB. Die Wohlfahrtseffekte sind für alle Haushalte 2050 am höchsten. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei den erwerbstätigen Haushalten die verschiedenen Einkommensklassen ähnlich stark betroffen sind. Generell fallen die Wohlfahrtsverluste für die erwerbstätigen Haushalte höher aus als für die Rentnerhaushalte. Weiter müssen die reichsten Haushalte mit tendenziell weniger starken Wohlfahrtseinbussen rechnen. Die ärmeren und mittelständischen Haushalte weisen in etwa dieselben Wohlfahrtseinbussen auf.

Abbildung 5-19: Soziale Verteilungseffekte: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die Wohlfahrt einzelner Haushalte – ohne Berücksichtigung der Sekundäreffekte und des Primärnutzens

		2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Erwerbstätige Haushalte mit Kinder									
Kids1	ärmste 20%	-0.19%	-0.24%	-0.56%	-0.94%	-1.27%	-1.66%	-1.46%	-1.26%
Kids2	20%-40%	-0.19%	-0.24%	-0.56%	-0.95%	-1.28%	-1.69%	-1.48%	-1.28%
Kids3	40%-60%	-0.20%	-0.24%	-0.55%	-0.95%	-1.28%	-1.72%	-1.50%	-1.29%
Kids4	60%-80%	-0.19%	-0.23%	-0.52%	-0.91%	-1.23%	-1.67%	-1.44%	-1.24%
Kids5	reichste 20%	-0.14%	-0.17%	-0.43%	-0.79%	-1.07%	-1.53%	-1.27%	-1.07%
Erwerbstätige Haushalte ohne Kinder									
NoKids1	ärmste 20%	-0.20%	-0.26%	-0.56%	-0.91%	-1.21%	-1.58%	-1.38%	-1.17%
NoKids2	20%-40%	-0.21%	-0.26%	-0.56%	-0.94%	-1.25%	-1.65%	-1.44%	-1.23%
NoKids3	40%-60%	-0.20%	-0.25%	-0.54%	-0.92%	-1.23%	-1.65%	-1.42%	-1.21%
NoKids4	60%-80%	-0.19%	-0.22%	-0.52%	-0.90%	-1.21%	-1.63%	-1.41%	-1.20%
NoKids5	reichste 20%	-0.05%	-0.10%	-0.33%	-0.62%	-0.81%	-1.21%	-0.95%	-0.74%
Rentnerhaushalte									
Rentner1	ärmste 20%	0.10%	0.06%	-0.04%	-0.10%	-0.08%	-0.46%	-0.13%	0.07%
Rentner2	20%-40%	0.05%	0.08%	-0.01%	-0.20%	-0.26%	-0.85%	-0.51%	-0.33%
Rentner3	40%-60%	0.04%	0.07%	-0.04%	-0.25%	-0.33%	-0.96%	-0.58%	-0.37%
Rentner4	60%-80%	0.03%	0.04%	-0.09%	-0.30%	-0.36%	-0.99%	-0.59%	-0.37%
Rentner5	reichste 20%	0.20%	0.06%	-0.09%	-0.12%	-0.03%	-0.38%	0.10%	0.40%

Ursachen für die Wohlfahrtsveränderungen

Wie kommen die obigen Wohlfahrtsveränderungen zustande? Die nachfolgende Abbildung 5-20 zeigt ein stark vereinfachtes Wirkschema, das illustriert, wie die globale und nationale Klimapolitiken die realen Einkommen bzw. letztlich die Wohlfahrt der einzelnen Haushalte verändert:

Die *Massnahmen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels* führt zu höheren Kosten in der Produktion von treibhausgas-intensiven Gütern, was – je nach Art und Weise der Überwälzung dieser Kosten – die Güterpreise erhöhen kann. Für die Schweiz bedeutet dies höhere Importpreise. Die importierten Konsumgüter und die Vorleistungen werden teurer. Die teureren Vorleistungen ihrerseits führen zu höheren Produktionskosten in der Schweiz.

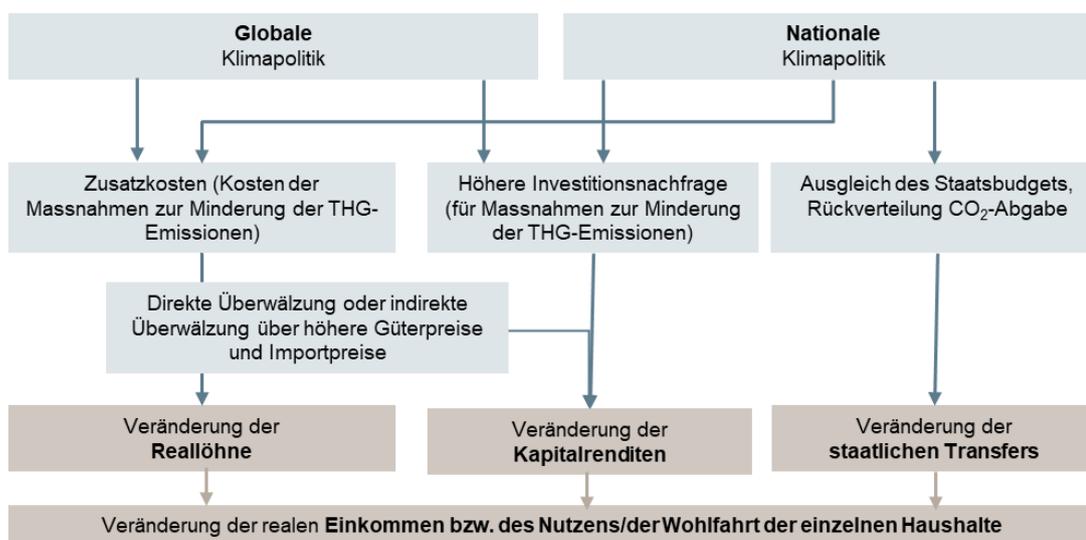
Die *nationale Klimapolitik* verteuert über CO₂- und THG-Abgabe oder Standards die Produktion treibhausgas-intensiver Güter in der Schweiz. Die höheren Produktionskosten werden zumindest teilweise auf die Endproduktpreise überwälzt. Wie stark die Zusatzkosten auf die Endproduktpreise überwälzt wird, hängt von der Nachfrageelastizität ab: Je unelastischer die Nachfrage, desto stärker kann die Abgabe auf die Endproduktpreise überwälzt werden. Die Überwälzung der klimapolitisch bedingten Zusatzkosten führt also zu höheren Güterpreise und hat sinkende Reallöhne zur Folge. Die Zusatzkosten können aber auch direkt auf die Faktoren

Arbeit und Kapital überwälzt werden. Da Arbeit weniger mobil ist als Kapital werden die Zusatzkosten in erster Linie auf den Faktor Arbeit überwälzt, was auch wieder sinkende Real-löhne zur Folge hat.

Weiter führt die *nationale Klimapolitik* (und auch die globale Klimapolitik) zu zusätzlichen Investitionen in den Umbau des Energiesystems und in treibhausgasmindernde Massnahmen. Die Kapitalnachfrage steigt – die Folge davon sind steigende Kapitalrenditen.

Letztlich ist auch zu berücksichtigen, dass ein Teil der *nationalen klimapolitischen Massnahmen* Transfers zu den Haushalten auslösen. Die Einnahmen aus der CO₂-Abgabe im Szenario KLIMA MIX 1 wird zumindest teilweise pro Kopf rückverteilt. Hinzu kommt, dass der Staat im Szenario KLIMA MIX 1 annahmegemäss dieselben Einnahmen generieren soll wie im Szenario WWB (sogenannte «Equal-yield-Restriktion»)⁸⁰. Damit diese Budgetrestriktion des Staates im Szenario KLIMA MIX 1 eingehalten werden kann, wird unterstellt, dass die Haushalte gemäss ihrem Haushalteinkommens-Anteil ein allfälliges Budgetdefizit finanzieren.⁸¹ Diese Transferzahlungen beeinflussen letztlich ebenfalls das Einkommen und damit die Wohlfahrt der Haushalte.

Abbildung 5-20: Vereinfachtes Wirkschema: Auswirkung der globalen und nationalen Klimapolitik auf die Wohlfahrt der einzelnen Haushalte



In der Abbildung 5-21 werden die realen Einkommens- bzw. Wohlfahrtsveränderungen auf die drei oben beschriebenen Teileffekte – reale Einkommensveränderungen bei Löhnen, Kapital und Transfers – zurückgeführt:

⁸⁰ Unterschiedliche klimapolitische Massnahmenpakete können mehr oder weniger belastend bzw. entlastend für das Staatsbudget sein. Für einen „fairen“ Vergleich unterschiedlicher Massnahmenpakete muss aber sichergestellt werden, dass der Staat bei allen untersuchten Massnahmenpaketen dieselbe Dienstleistung zugunsten der Bevölkerung anbieten kann. Dies wird mit der sog. Equal-yield-Restriktion sichergestellt.

⁸¹ Dasselbe gilt auch für einen allfälligen Budgetüberschuss.

Bis zum Jahr 2040 ist der Hauptgrund der Einkommenseinbussen bei den sinkenden Reallöhnen zu suchen. Dies erklärt auch, dass in der ersten Phase die Einkommenseinbussen vor allem bei den erwerbstätigen Haushalten und weniger bei den Rentnerhaushalten auftreten.

Im Jahr 2050 ist mit deutlich höheren Kapitalrenditen zu rechnen, was diejenigen Haushalte begünstigt, die einen grösseren Anteil ihres Einkommens aus Kapitaleinkünften beziehen. Dies gilt generell für die reichsten Haushalte und die Rentnerhaushalte.⁸²

Für die im Vergleich mit den anderen Jahren relativ hohen Einkommens- bzw. Wohlfahrtseinbussen im Jahr 2050 sind vor allem die Transferzahlungen zur Einhaltung der «Equal-yield-Restriktion» verantwortlich. Eine Erkenntnis der vorliegenden Studie ist also, dass die Art und Weise der Finanzierung der staatlichen Ausgaben für die künftigen Analysen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels detaillierter zu diskutieren ist. Zu beachten ist weiter, dass im Jahre 2050 keine Pro-Kopf-Rückerstattungen aus der CO₂-Abgabe mehr stattfinden, da die Haushalte keine fossile Brennstoffe mehr einsetzen. Der soziale Ausgleich der Pro-Kopf-Rückerstattung entfällt somit. Ausserdem beinhalten die KLIMA MIX Szenarien der Studie keine gezielten Massnahmen zur Entlastung gewisser Bevölkerungsgruppen oder zur Abschwächung möglicher unerwünschter Verteilungswirkungen. Tatsächlich sind die Verteilungseffekte kein Hauptfokus dieser Studie.

Fazit zu den sozialen Verteilungswirkungen: Im Szenario KLIMA MIX 1 verlieren die Haushalte maximal -1.72% bzw. gewinnen maximal +0.4% Wohlfahrt im Vergleich zum Szenario WWB. Die Wohlfahrtseffekte im Vergleich zum Szenario WWB sind für alle Haushalte 2050 am höchsten. Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei den erwerbstätigen Haushalten die verschiedenen Einkommensklassen ähnlich stark betroffen sind. Generell fallen die Wohlfahrtsverluste für die erwerbstätigen Haushalte höher aus als für die Rentnerhaushalte. Zu beachten ist, dass im Jahre 2050 keine Pro-Kopf-Rückerstattungen aus der CO₂-Abgabe mehr stattfinden, da die Haushalte keine fossile Brennstoffe mehr einsetzen. Der soziale Ausgleich der Pro-Kopf-Rückerstattung entfällt somit.

⁸² Die relativ grössten Kapitaleinkommensanteile bei den Rentnerhaushalte weisen die ärmsten und reichsten Rentnerhaushalt aus (vgl. dazu die Abbildung D-6).

Abbildung 5-21: Einnamenseitige Dekomposition der sozialen Verteilungseffekte

	Kids1	Kids2	Kids3	Kids4	Kids5	NoKids1	NoKids2	NoKids3	NoKids4	NoKids5	Rentner1	Rentner2	Rentner3	Rentner4	Rentner5	Alle HH
2030																
Lohneinkommen	-0.45	-0.43	-0.43	-0.41	-0.38	-0.44	-0.44	-0.43	-0.40	-0.38	-0.05	-0.10	-0.14	-0.17	-0.26	-0.37
Kapitaleinkommen	0.00	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.01	0.07	-0.17	-0.07	-0.06	-0.07	-0.05	0.01
Transfereinkommen	0.20	0.19	0.18	0.17	0.18	0.18	0.17	0.17	0.17	0.21	0.28	0.25	0.27	0.27	0.38	0.20
Totaleinkommen	-0.24	-0.24	-0.24	-0.23	-0.17	-0.26	-0.26	-0.25	-0.22	-0.10	0.06	0.08	0.07	0.04	0.06	-0.16
2040																
Lohneinkommen	-0.98	-0.99	-0.98	-0.94	-0.90	-0.97	-0.99	-0.97	-0.94	-0.90	-0.11	-0.22	-0.29	-0.36	-0.58	-0.86
Kapitaleinkommen	0.03	0.04	0.03	0.03	0.12	0.06	0.06	0.06	0.06	0.32	0.01	0.02	0.05	0.08	0.52	0.13
Transfereinkommen	0.02	0.01	-0.00	-0.01	-0.02	-0.00	-0.01	-0.02	-0.02	-0.03	-0.01	-0.00	-0.01	-0.02	-0.06	-0.02
Totaleinkommen	-0.94	-0.95	-0.95	-0.91	-0.79	-0.91	-0.94	-0.92	-0.90	-0.62	-0.10	-0.20	-0.25	-0.30	-0.12	-0.75
2050																
Lohneinkommen	-1.14	-1.14	-1.14	-1.09	-1.03	-1.10	-1.11	-1.09	-1.06	-1.01	-0.12	-0.25	-0.34	-0.41	-0.66	-0.98
Kapitaleinkommen	0.08	0.10	0.08	0.08	0.28	0.17	0.15	0.15	0.14	0.73	0.72	0.35	0.47	0.57	1.99	0.38
Transfereinkommen	-0.60	-0.64	-0.66	-0.66	-0.78	-0.65	-0.68	-0.71	-0.71	-0.94	-1.06	-0.95	-1.08	-1.15	-1.71	-0.82
Totaleinkommen	-1.66	-1.69	-1.72	-1.67	-1.53	-1.58	-1.65	-1.65	-1.63	-1.21	-0.46	-0.85	-0.96	-0.99	-0.38	-1.42
2060																
Lohneinkommen	-1.08	-1.10	-1.09	-1.04	-1.00	-1.05	-1.07	-1.05	-1.03	-0.99	-0.12	-0.24	-0.33	-0.39	-0.63	-0.95
Kapitaleinkommen	0.07	0.09	0.07	0.07	0.25	0.15	0.13	0.13	0.12	0.64	0.63	0.31	0.41	0.50	1.74	0.34
Transfereinkommen	-0.25	-0.27	-0.27	-0.27	-0.32	-0.27	-0.28	-0.29	-0.29	-0.38	-0.45	-0.40	-0.46	-0.48	-0.70	-0.34
Totaleinkommen	-1.26	-1.28	-1.29	-1.24	-1.07	-1.17	-1.23	-1.21	-1.20	-0.74	0.07	-0.33	-0.37	-0.37	0.40	-0.95

5.4 Struktureffekte

Aussenhandelseffekte

Nachfolgend werden zunächst die sektoralen Aussenhandelseffekte aufgezeigt, also die Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 auf die Exporte und Importe. Die nachfolgenden Ausführungen beschränken sich auf die Analyse der sektoralen Exporte und Importe für das Jahr 2050. Die Effekte sind für die Jahre vor 2050 weniger ausgeprägt und für die Jahre nach 2050 noch leicht ausgeprägter.

Bei der nachfolgende Analyse ist zu beachten, dass die energieintensiven Sektoren dem mit der EU verknüpften ETS unterstellt sind. Die dem ETS unterstellten Sektoren sind: Stromerzeugungssektor, Mineralverarbeitungssektor, Chemie, Kunststoff, Nichtmetalle, Metalle, Papier, Luftverkehr sowie Steine und Erden.

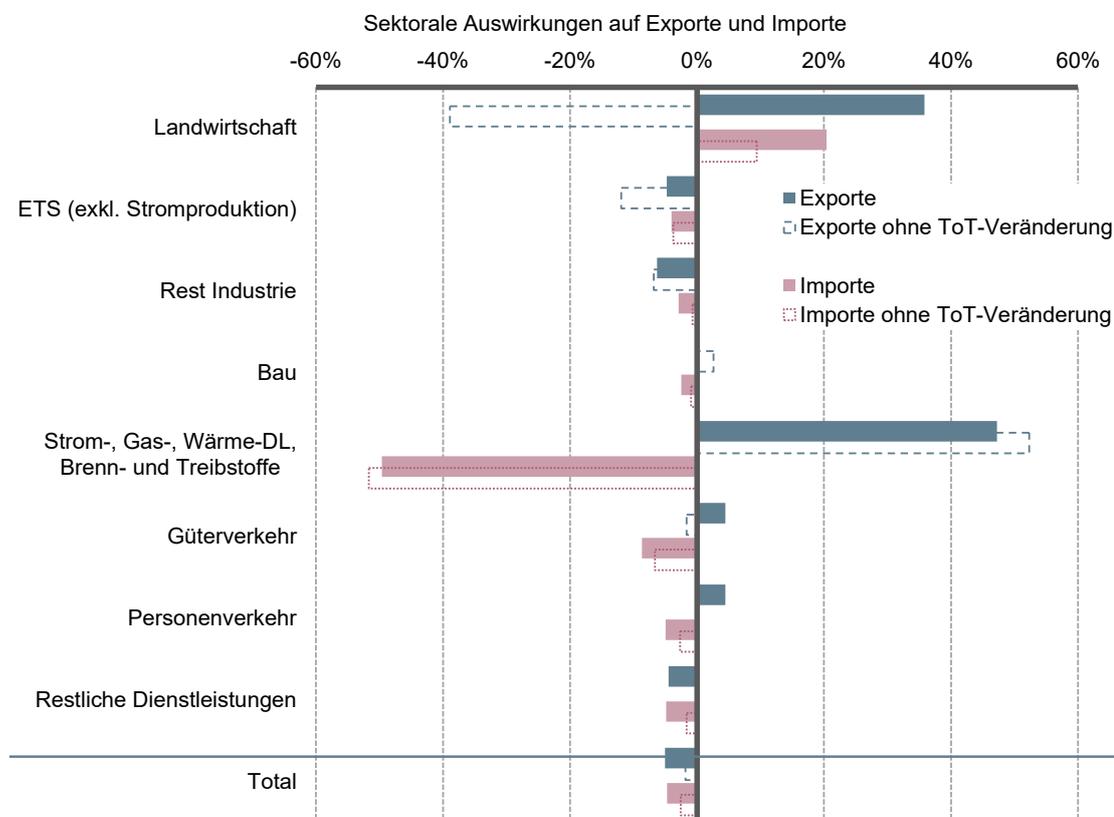
Auswirkungen auf Exporte und Importe – mit/ohne Veränderung der ToT

Die Abbildung 5-22 zeigt die Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 auf die sektoralen Exporte und Importe. Zusätzlich wird aufgezeigt, wie sich die Exporte und Importe verändern würden, wenn die Massnahmen im Ausland zur Minderung der Treibhausgasemissionen keinen Einfluss auf die Import- und Exportpreise hätten, d.h. das Austauschverhältnis bzw. die sog. Terms-of-Trade von der globalen Klimapolitik nicht verändert würde. Die Veränderungen der Exporte und Importe «ohne ToT-Veränderung» zeigen somit die Auswirkungen der nationalen Klimapolitik unter der Annahme, dass sich die Terms-of-Trade nicht verändern.

Bei der **Landwirtschaft** haben die Veränderungen der Terms-of-Trade aufgrund der globalen Klimapolitik einen entscheidenden Einfluss auf die Schweizer Exporte und Importe. Ohne Veränderung der ToT würden die Schweizer Exporte aufgrund der nationalen Klimapolitik gemäss Szenario KLIMA MIX 1 abnehmen. Unter Berücksichtigung der veränderten ToT durch die Massnahmen im Ausland zur Minderung der Treibhausgase steigen die landwirtschaftlichen Exporte. Allerdings ist anzumerken, dass der Exportanteil am Output der Schweizer Landwirtschaft sehr gering ist (rund 1.3%). Wichtiger sind die Importe: Der Importanteil an der Gesamtnachfrage liegt bei rund 27%. Die landwirtschaftlichen Importe nehmen bis zum Jahr 2050 um rund 20% zu. Würden sich die ToT aufgrund der globalen Klimapolitik nicht verändern, so würden die Importe im Szenario KLIMA MIX 1 nur um rund 9% zunehmen.

Bei den **ETS-Sektoren** nehmen im Szenario KLIMA MIX 1 sowohl die Exporte als auch Importe um -5% bzw. -4% ab. Dass sich in diesen energieintensiven Sektoren keine grösseren Auswirkungen auf die Exporte und Importe zeigen, ist auf das EU ETS zurückzuführen, bei dem die energieintensiven und handelsexponierten Unternehmen einen Teil ihrer Emissionsrechte gratis beziehen können. Weiter ist anzumerken, dass die unterstellte globale Klimapolitik in allen Ländern und Regionen die energieintensiven Sektoren belastet und entsprechend die Weltmarktpreise verteuern und so die heimischen ETS-Unternehmen weiterhin konkurrenzfähig bleiben können.

Abbildung 5-22: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf Exporte und Importe für das Jahr 2050, mit und ohne Veränderung der Terms-of-Trade aufgrund der ausländischen Klimapolitik, Jahr 2050



Die «**Rest Industrie**» (Pharma, Maschinenbau usw.) muss gegenüber dem Szenario WWB mit rückläufigen Ex- und Importen rechnen. Der Exportrückgang ist in der Rest Industrie leicht grösser als bei den ETS-Sektoren, obwohl die Rest Industrie weniger treibhausgas-intensiv ist als die ETS-Sektoren. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Rest Industrie nicht im EU ETS eingebunden ist und im Vergleich mit dem Ausland mit höheren Massnahmenkosten bzw. höheren CO₂-Preisen konfrontiert ist.

Die grössten Auswirkungen zeigen sich wie erwartet im **Energiesektor (Strom-, Gas-, FW-Dienstleistungen, Stromproduktion, Treibstoffe und Brennstoffe)**. Hier werden im grossen Ausmass Importe durch heimische Produktion ersetzt, welche im Vergleich zum Szenario WWB auch die Exporte erhöht.⁸³ Da dieser Umbau des nationalen Energiesystems relativ unabhängig ist von der globalen Klimapolitik, haben auch die veränderten ToT einen verhältnismässig geringen Einfluss auf die Exporte und Importe.

⁸³ Ein Teil davon ist darauf zurückzuführen, dass im Szenario KLIMA MIX 1 im Strombereich eine ausgeglichene Jahresbilanz einzuhalten ist, welche u.a. durch vermehrte Exporte realisiert wird.

Im **Güter- und Personenverkehr** führt das Szenario KLIMA MIX 1 zu leicht höheren Exporten und rückläufigen Importen. Dies ist zumindest teilweise auf den relativ hohen Schweizer Schienenanteil, der heute schon dekarbonisiert ist, zurückzuführen. Die restlichen Sektoren (**Bau, und restliche Dienstleistungen**) weisen einen geringen Aussenhandelsanteil auf. Für diese wenig energieintensiven Sektoren ist mit geringen Export- und Importrückgängen zu rechnen.

Struktureffekte

Die strukturellen Veränderungen – also die Auswirkungen auf den Output (Bruttoproduktionswert) – ergeben sich aus (i) der Veränderung der vorgängig diskutierten Aussenhandelseffekte und (ii) aus der Veränderung der heimischen Nachfrage. Einleitend muss angemerkt werden, dass strukturelle Veränderungen nicht unerwünscht sind. Es geht ja gerade darum, mit der Klimapolitik die Nachfrage so zu beeinflussen, dass weniger treibhausgas-intensive Güter gekauft werden. Struktureffekte, die weg von den treibhausgas-intensiven Gütern hin zu Gütern führen, die mit weniger Treibhausgas-Emissionen produziert werden, sind somit geradezu erwünscht.

Auswirkungen auf Output und heimische Nachfrage – mit/ohne Veränderung der ToT

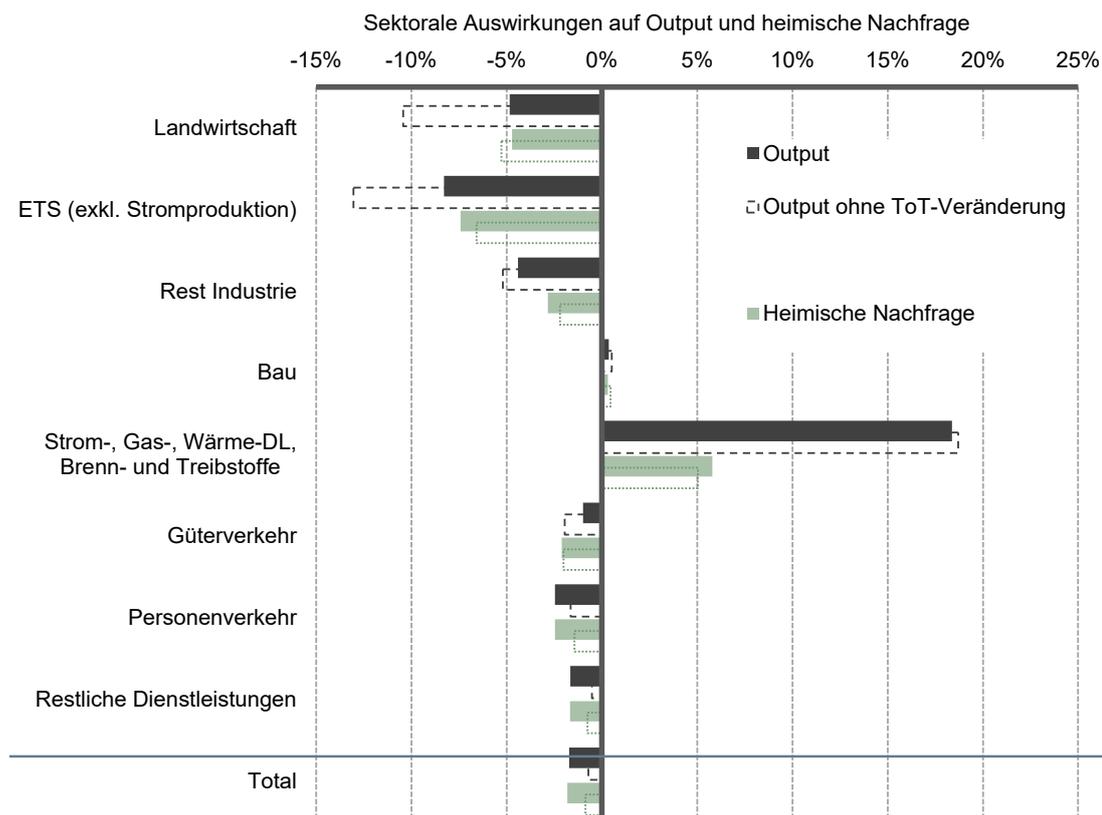
Wie die Abbildung 5-23 zeigt, geht bei den treibhausgas-intensiven Sektoren (Landwirtschaft, ETS-Sektoren und Rest Industrie) die heimische Nachfrage und auch die Produktion (Output/Bruttoproduktionswert) im Vergleich zur Entwicklung im Szenario WWB zurück. In der relativ treibhausgas-intensiven, vor allem für den heimischen Markt produzierenden **Landwirtschaft** ist der Rückgang der heimischen Nachfrage die Hauptursache für den Rückgang des Outputs um rund -5% im Jahr 2050. Bei den **ETS-Sektoren** ist der Produktionsrückgang mit -8% am grössten und ebenfalls vorab durch den Rückgang der Inlandnachfrage und in zweiter Linie durch die Exporteinbussen zu erklären. In der **Rest Industrie** muss mit einem Rückgang des Outputs im Jahr 2050 um rund -4% gerechnet werden. Neben dem Rückgang der heimischen Produktion ist hier der Export-Rückgang massgeblich für die geringere heimische Produktion verantwortlich.

Der **Bau**-Sektor ist neben dem Energiesektor der einzige Sektor in dem die heimische Nachfrage – wenn auch nur sehr leicht – im Vergleich zum Szenario WWB zunimmt. Dies ist vor allem auf die zusätzlichen Investitionen für den Umbau des Energiesystems zurückzuführen, welche eine zusätzliche Nachfrage nach Bauleistungen nach sich zieht. Dementsprechend kann in diesem Sektor, der vorab für die heimische Nachfrage produziert, der Output ganz leicht (< 1%) gesteigert werden.

Im **Energiesektor (Strom-, Gas-, FW-Dienstleistungen, Stromproduktion, Treibstoffe und Brennstoffe)** nimmt die heimische Nachfrage im Szenario KLIMA MIX 1 zu: Fossile Treib- und Brennstoffe werden durch heimische Produktion (Stromproduktion, Wärmepumpeneinsatz, Fernwärme usw.) ersetzt. Die Produktion nimmt deutlich stärker zu als die heimische Nachfrage. Dies als direkte Folge des Ersatzes der importierten fossilen Treib- und Brennstoffe durch heimische Produktion.

In den restlichen Sektoren (**Güter- und Personenverkehr, restliche Dienstleistungen**) zeigt das Szenario KLIMA MIX 1 leicht negative Auswirkungen auf den Output, die im Wesentlichen durch die veränderte heimische Nachfrage geprägt sind

Abbildung 5-23: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf Output und heimische Nachfrage für das Jahr 2050, mit und ohne Veränderung der Terms-of-Trade aufgrund der ausländischen Klimapolitik



Auswirkungen auf Output und Beschäftigung – zeitliche Entwicklung

Die obigen Ausführungen haben sich auf das Jahr 2050 konzentriert. Die Abbildung 5-24 zeigt die Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 auf den sektoralen Output für die Jahre 2025 bis 2060. Die Abbildung zeigt, dass die negativen Auswirkungen auf den Output in der **Landwirtschaft**, den **ETS-Sektoren** und der **Rest Industrie** bis 2055 zunehmen und danach stagnieren. Ein anderes Bild ergibt sich für den **Bau-Sektor** und den **Energiesektor**, welche im Jahr 2050, also dem Ende der Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems, mit den grössten positiven Auswirkungen auf den Output rechnen dürfen. Nach 2050, also nach abgeschlossenem Umbau des Energiesystems, nehmen diese positiven Outputeffekte wieder ab. In den **Verkehrssektoren** und den **restlichen Dienstleistungen** werden die grössten negativen Outputeffekte bereits im Jahr 2045 erreicht.

Abbildung 5-24: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf den Output

Sektor	Anteil (2014)	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Landwirtschaft		-4.6%	-4.6%	-2.7%	-1.4%	-3.8%	-4.8%	-5.9%	-6.0%
ETS (exkl. Stromproduktion)		1.7%	0.3%	-2.7%	-5.6%	-8.0%	-8.3%	-9.7%	-9.6%
Rest Industrie		-1.7%	-1.9%	-2.3%	-3.1%	-4.5%	-4.4%	-5.2%	-5.3%
Bau		-0.1%	0.0%	-0.1%	0.1%	0.0%	0.4%	0.2%	0.2%
Strom-, Gas-, Wärme-DL, Brenn- und Treibstoffe		-4.2%	-4.1%	-0.4%	8.4%	3.6%	8.4%	5.2%	2.4%
Güterverkehr		-0.6%	-0.7%	-0.8%	1.0%	1.5%	-1.0%	1.5%	1.5%
Personenverkehr		-0.1%	-0.3%	-1.2%	-2.1%	-2.9%	-2.5%	-2.8%	-2.5%
Restliche Dienstleistungen		-0.4%	-0.6%	-1.0%	-1.4%	-1.8%	-1.7%	-1.7%	-1.6%
Total		-0.8%	-1.0%	-1.3%	-1.5%	-2.0%	-1.7%	-2.1%	-2.1%

Die Abbildung 5-25 zeigt die Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 auf die Beschäftigung in den einzelnen Sektoren für die Jahre 2025 bis 2060. Die Beschäftigung im **Energiesektor** wird mit bis zu +32.5% stark zunehmen. Auch im **Bau**-Sektor wird aufgrund der leicht höheren Nachfrage die Beschäftigung mit bis zu +2.3% leicht zulegen. In der **Landwirtschaft** ist trotz Outputrückgang eine Beschäftigungszunahme zu verzeichnen. Hier steigt die heimische Wertschöpfung auf Kosten der Vorleistungen und zusätzlich wird relativ mehr Arbeit im Vergleich zu Kapital eingesetzt, da Arbeit relativ günstiger wird im Vergleich zu Kapital.

Abbildung 5-25: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die Beschäftigung

Sektor	Anteil (2014)	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Landwirtschaft		-2.8%	-2.2%	0.9%	2.9%	2.3%	2.4%	0.9%	0.1%
ETS (exkl. Stromproduktion)		2.6%	1.8%	-0.1%	-2.3%	-3.7%	-2.9%	-4.4%	-4.1%
Rest Industrie		-1.6%	-1.7%	-1.6%	-1.4%	-2.0%	-0.7%	-1.8%	-2.1%
Bau		0.3%	0.5%	0.8%	1.2%	1.6%	2.3%	2.0%	1.8%
Strom-, Gas-, Wärme-DL, Brenn- und Treibstoffe		11.1%	-2.2%	1.7%	15.5%	25.0%	32.5%	27.0%	22.8%
Güterverkehr		-1.3%	-1.2%	-0.7%	-0.2%	0.2%	-1.0%	-0.6%	-0.5%
Personenverkehr		-0.2%	-0.1%	0.2%	0.3%	0.5%	1.0%	1.0%	0.9%
Restliche Dienstleistungen		-0.1%	-0.2%	-0.5%	-0.6%	-0.7%	-0.1%	-0.3%	-0.3%
Total		-0.2%	-0.4%	-0.5%	-0.5%	-0.6%	0.1%	-0.2%	-0.3%

Ähnliches gilt auch für den Personenverkehr. Bei den restlichen Sektoren (**ETS-Sektoren, Rest Industrie, Güterverkehr, restliche Dienstleistungen**) ist mit einem Beschäftigungsrückgang zu rechnen. Über alle Sektoren hinweg sind die Beschäftigungseffekte aber relativ gering.

Fazit: Das Szenario KLIMA MIX 1 führt zu eindeutig feststellbaren strukturellen Auswirkungen. Für die treibhausgasintensiven Sektoren – Landwirtschaft, ETS-Sektoren, Rest Industrie – ist mit höheren Produktionskosten zu rechnen, was zu einem Rückgang der heimischen Nachfrage führt. Als Folge davon sinkt auch das Produktionsniveau in diesen Sektoren. Die Nachfrage im Bau-Sektor und dem Energiesektor wird aufgrund der Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems zunehmen. In diesen beiden Sektoren steigt denn auch das Produktionsniveau.

Exkurs: Räumliche Auswirkungen

Die vorgängig aufgezeigten strukturellen Effekte zeigen, dass bei einer ambitionierten Klimapolitik insbesondere die ETS-Sektoren und die restliche Industrie mit negativen und die Energiesektoren und das Baugewerbe mit positiven Auswirkungen rechnen müssen bzw. dürfen.

Kantone in denen die ETS-Sektoren und die restliche Industrie einen überdurchschnittlichen Anteil an der Produktion und Beschäftigung ausmachen, werden von der Klimapolitik relativ stärker betroffen sein. Umgekehrt werden Kantone mit überdurchschnittlichem Energiesektor und Baugewerbe weniger stark von der Klimapolitik betroffen sein, bzw. beschäftigungsmässig sogar profitieren können. Gehen wir von der künftigen kantonalen Branchenstruktur gemäss den aktuellen Branchenszenarien⁸⁴ des Bundes aus, so dürften die drei Kantone UR, GR und GL bei einer ambitionierten Klimapolitik im Vergleich zum Szenario WWB mit einem leichten Beschäftigungszuwachs rechnen, da sie strukturell überdurchschnittlich durch den Bau- und Energiesektor geprägt sind – beides Sektoren, die im Jahr 2050 aufgrund der klimapolitischen Massnahmen ein Beschäftigungsplus verzeichnen können. Die Kantone BS, NE und JU hingegen sind stark industriell geprägt und dürften im Vergleich zum Szenario WWB aufgrund der klimapolitischen Massnahmen mit einem Beschäftigungsrückgang im Jahr 2050 konfrontiert sein. Die unterschiedlichen Beschäftigungswirkungen einer ambitionierten Klimapolitik werden sich aber zwischen den Kantonen in engen Grenzen halten – geschätzte Beschäftigungszunahmen bzw. -rückgänge im Vergleich zum Szenario WWB von unter +/-1%.

⁸⁴ KPMG, Ecoplan (2020), Scénarios par branche et leur régionalisation, Für die künftige kantonale Branchenstruktur wurde auf das Szenario Référence abgestellt.

6 Volkswirtschaftliche Auswirkungen unterschiedlicher stilisierter Schweizer Instrumentenpakete

In diesem Kapitel werden die volkswirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher ausgewählter Schweizer Instrumentenpakete miteinander verglichen. Wichtig zu erwähnen ist, dass es sich um einen Vergleich von **stilisierten** Schweizer Instrumentenpakete handelt. Die Massnahmenpakete setzen gezielte Schwerpunkte und sind bewusst einfach gehalten. Sie sind nicht als Vorschläge für die künftige Ausgestaltung der Klima- und Energiepolitik zu verstehen. Im Fokus steht die Frage, wie gross der Einfluss unterschiedlicher Instrumentenpakete auf die volkswirtschaftlichen Effekte ist. Dabei vergleichen wir drei stilisierte Schweizer Klimapolitiken miteinander:

Szenario KLIMA MIX 1 ist eine stilisierte **Fortschreibung und Verstärkung der bestehenden energie- und klimapolitischen Instrumente** für die Schweiz (für Details vgl. Abbildung C-45). Die Detailresultate zu diesem Szenario wurden im vorgängigen Kapitel 5 bereits vorgestellt.

Szenario KLIMA MIX 2 setzt stärker auf **marktwirtschaftliche Instrumente** (für Details vgl. Abbildung C-46). Zusätzlich zum Szenario KLIMA MIX 1 wird in der Schweiz ab 2030 anstelle einer weiteren Verschärfung der Standards im Verkehr eine Abgabe auf Treibstoffe eingeführt, deren Einnahmen analog der heutigen CO₂-Abgabe rückverteilt werden.

Szenario KLIMA MIX 3 setzt stärker auf **Standards** (für Details vgl. Abbildung C-46). Zusätzlich zu einer moderaten CO₂-Abgabe auf Brennstoffe werden die Treibhausgas-Ziele über Standards im Verkehrs- und Gebäudebereich erreicht.

Abbildung 6-1: Volkswirtschaftliche Effekte unterschiedlicher Schweizer Klimapolitiken: Szenario KLIMA MIX 1 im Vergleich mit KLIMA MIX 2 und KLIMA MIX 3



In diesen drei Szenarien wird also einzig das Schweizer Instrumentarium verändert. Das Politikinstrumentarium im Ausland bleibt unverändert (uniforme Treibhausgas-Abgabe und EU-ETS). Da die Schweizer Klimapolitik die volkswirtschaftlichen Effekte auf die anderen Weltregionen nicht wesentlich beeinflusst, können wir uns auf die volkswirtschaftlichen Auswirkungen auf die Schweiz beschränken. Für die anderen Weltregionen gelten approximativ weiterhin die Ausführungen im Exkurs zum Kapitel 5.1.

Die Abbildung 6-2 zeigt noch einmal stark verkürzt den Instrumentenmix der drei nachfolgend betrachteten, stilisierten KLIMA-MIX-Szenarien der Schweizer Klimapolitik (für detailliertere Ausführungen vgl. Abbildung 4-2).

Abbildung 6-2: Zusammenfassender Überblick über die drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3

Bereich	KLIMA MIX 1	KLIMA MIX 2	KLIMA MIX 3
Energieintensive Industrie	Emissionshandelssystem – verknüpft mit dem EU ETS		
Brennstoffe	CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe <i>Rückverteilung 2/3 Teilzweckbindung für Subventionen im Gebäudebereich 1/3</i>	CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe <i>Rückverteilung 2/3 Teilzweckbindung für Subventionen im Gebäudebereich 1/3</i> CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	Standards <i>(die bestehende CO₂-Abgabe auf Brennstoffe wird auf 120 CHF/t fixiert, Rückverteilung 2/3 Teilzweckbindung Subvention im Gebäudebereich 1/3)</i>
Treibstoffe	Emissions-Standards	<i>Rückverteilung 2/3 Teilzweckbindung für Subventionen im Bereich nicht fossile Mobilität 1/3</i>	Emissions-Standards
Rest (v.a. Landwirtschaft, Abfall und industrielle Prozesse sowie von Standards oder CO ₂ -Abgabe nicht erfasste energetische Prozesse)	Treibhausgas-Abgabe		

ETS-Preise, CO₂-Abgabe und Grenzvermeidungskosten

Die nachfolgende Abbildung 6-3 zeigt die Annahmen zur CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe sowie die Auswirkungen der verschiedenen KLIMA-MIX-Szenarien auf die ETS-Preise und die Grenzvermeidungskosten im nicht über die CO₂-Abgabe oder Standards regulierten Bereich:

ETS-Preis: Der ETS-Preis unterscheidet sich in den drei Szenarien nicht, da die gut 50 Schweizer Unternehmen im EU ETS einen vernachlässigbaren Einfluss auf den ETS-Preis haben.

CO₂-Abgabe auf Brennstoffe: Die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe wurde – wie im Kapitel 5.1 ausgeführt – exogen vorgegeben und zwar so, dass in den beiden Szenarien KLIMA MIX 1 und 2 neben den Heizungen auch der Einsatz von fossilen Brennstoffen in Gewerbe und dem nicht der ETS unterstellten Industrie stark reduziert wird.⁸⁵ Die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe wird nur in den beiden Szenarien KLIMA MIX 1 und 2 auf bis 500 CHF/t CO₂ erhöht. Im Szenario KLIMA MIX 3 bleibt sie auf dem Niveau von 120 CHF/t CO₂.

CO₂-Abgabe auf Treibstoffe: Eine CO₂-Abgabe auf Treibstoffe wird nur im Szenario KLIMA MIX 2 erhoben. Annahmegemäss liegt die CO₂-Abgabe auf Treibstoffe 96 CHF/t CO₂ niedriger als die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe. Zu beachten ist, dass die CO₂-Abgabe auf Treibstoffe nicht nur auf Treibstoffe im Verkehrsbereich, sondern auch für den Einsatz bei landwirtschaftlichen Fahrzeugen und bei Fahrzeugen und Maschinen im Baugewerbe erhoben wird.

⁸⁵ Die verbleibenden, nicht reduzierbaren Emissionen werden durch CCS und NET kompensiert.

Abbildung 6-3: ETS-Preise, CO₂-Abgabe und THG Abgabe im Inland (Grenzvermeidungskosten der Treibhausgasminderung) in den drei Szenarien KLIMA MIX 1, 2 und 3

Szenario KLIMA MIX 1								
ETS-Preis, CO ₂ -Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO ₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	160	180	200	220	350	500	500	500
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	320	352	394	391	574	776	767	753

Szenario KLIMA MIX 2								
ETS-Preis, CO ₂ -Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO ₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	160	180	200	220	350	500	500	500
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	84	104	124	254	404	404	404
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	320	205	243	291	368	722	698	650

Szenario KLIMA MIX 3								
ETS-Preis, CO ₂ -Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO ₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	120	120	120	120	120	120	120	120
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	308	367	463	729	967	776	767	753

THG Abgabe im Inland / Grenzvermeidungskosten im übrigen Bereich: Der übrige Bereich umfasst die Landwirtschaft, Abfallwirtschaft, nicht-energetische industrielle Prozesse und energetische Prozesse, die nicht über die CO₂-Abgabe oder Standards reguliert sind.

Ab dem Jahr 2050 ist der Brennstoffbereich in allen Szenarien vollständig dekarbonisiert. In den Szenarien KLIMA MIX 1 und 2 wird dies durch die CO₂-Abgabe auf Brennstoffe erreicht, im Szenario KLIMA MIX3 durch entsprechende Standards und in allen drei Szenarien durch den Einsatz von Synfuels. In den beiden Szenarien KLIMA MIX 1 und 3 ergeben sich ab dem Jahr 2050 keine Unterschiede mehr im übrigen Bereich, da in beiden Szenarien der gesamte

Brennstoffbereich dekarbonisiert ist und sich die beiden Szenarien in Bezug auf den Nicht-Brennstoffbereich nicht unterscheiden.

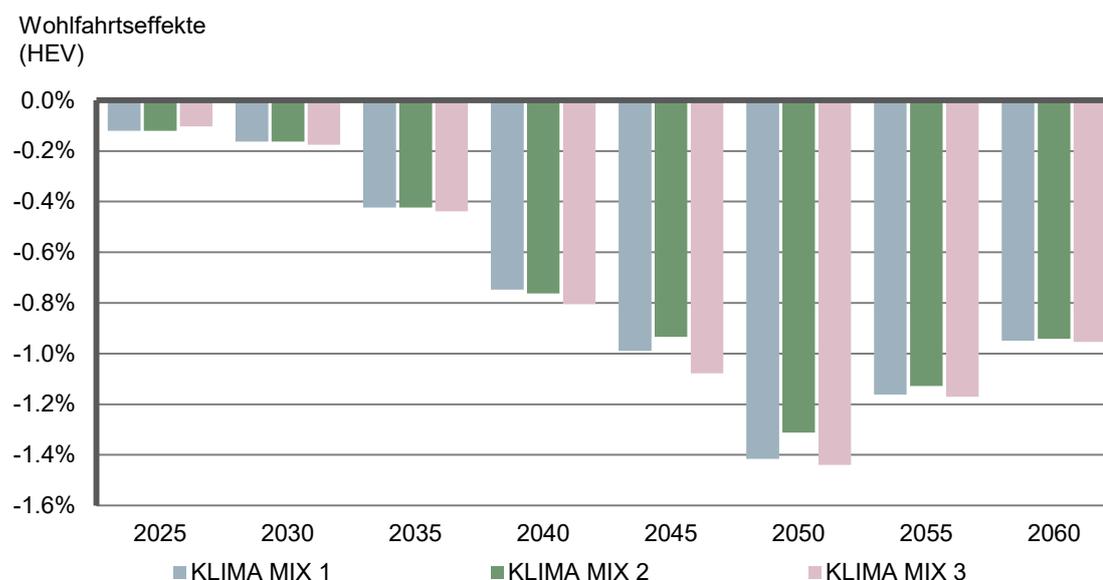
Das Szenario KLIMA MIX 2 erreicht mit der CO₂-Abgabe auf Treibstoffe eine schnellere Dekarbonisierung im Verkehrsbereich als die in den anderen Szenarien eingesetzten Standards – dies auch durch eine Lenkung bzw. Abnahme der Nachfrage nach Verkehrsleistungen. Dies erklärt die tieferen Grenzvermeidungskosten in den übrigen Bereichen.

Zu erwähnen ist, dass das Szenario KLIMA MIX 3 in den Jahren vor 2050 deutlich höhere Grenzvermeidungskosten im übrigen Bereich zeigt als die beiden anderen Szenarien. Implizit bedeutet dies, dass die Dekarbonisierung des Gebäude- und insbesondere des Verkehrsbereichs aus Kostenoptimierungssicht zeitnaher erfolgen sollte als durch die Standards vorgegeben. Konkret würde dies bedeuten, dass die Dekarbonisierung des Gebäude- und mehrheitlich auch des Verkehrsbereichs bereits bis 2040 umgesetzt werden sollte. Dazu ist allerdings anzumerken, dass im unterstellten Gleichgewichtsmodell die «Ersatzzyklen» der Heizungen und der Fahrzeuge nicht erfasst sind.

Auswirkungen auf die Wohlfahrt

Die Wohlfahrt ist das relevante «Effizienzmass», wenn unterschiedliche Klimapolitiken miteinander verglichen werden. Die nachfolgende Abbildung 6-4 zeigt die Auswirkungen der drei KLIMA-MIX-Szenarien auf die Wohlfahrt.

Abbildung 6-4: Wohlfahrtseffekte der drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (exkl. Sekundäreffekte und Primärnutzen)



Alle drei Szenarien liegen in Bezug auf ihre Wohlfahrtswirkungen eng beieinander. Das effizienz- und wohlfahrtsmässig beste Szenario ist KLIMA MIX 2 mit seinem marktwirtschaftlichen Fokus. Dass die Unterschiede nicht grösser sind, lässt sich auf folgende beiden Hauptgründe zurückführen:

In allen drei Szenarien werden dieselben relativ günstigen fossilfreien Heizungs- und Fahrzeugtechnologien unterstellt. In allen drei Szenarien wird für die Dekarbonisierung im Heizungs- und Fahrzeugbereich dieselbe Technologie eingesetzt. Unsicherheiten in Bezug auf die eingesetzten Technologien und die meist relativ grosse Bandbreite der Kosten für dieselbe Technologie werden im Modell vernachlässigt. Es spielt also gemäss den Modellrechnungen keine entscheidende Rolle, ob diese Technologien über Abgaben oder Standards umgesetzt werden. Dies erklärt auch, dass sich die Wohlfahrtseffekte im Jahre 2060 zwischen den drei Szenarien kaum mehr unterscheiden. Die Vorteile des Szenarios KLIMA MIX 2 liegt im Weg zur Dekarbonisierung. In den entscheidenden Jahren, insbesondere 2045 und 2050, erfolgt die Dekarbonisierung effizienter mit dem Szenario KLIMA MIX 2, also mit der Abgabe und nicht mit den Standards, da mit der Abgabe die jeweils günstigsten Minderungsmaßnahmen umgesetzt werden.

In jenen Bereichen, in denen die Verminderung von Emissionen am schwierigsten ist - Landwirtschaft, Abfall und industrielle Prozesse - wird in allen drei Szenarien dasselbe Instrumentarium, eine THG-Abgabe sowie CCS&NET, eingesetzt. CCS und NET spielen dabei eine wesentliche Rolle und sind für alle drei Szenarien sowohl von den Kosten als auch den Potenzialen genau gleich vorgegeben. Effizienz- bzw. Wohlfahrtsunterschiede in diesem am schwierigsten zu dekarbonisierenden Bereich sind deshalb gering.

Auswirkungen auf ausgewählte Makrogrössen

Die Abbildung 6-5 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrössen für die drei Szenarien KLIMA MIX 1, 2 und 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich untereinander für die ausgewählten Jahre 2030 und 2050:

Im *Jahr 2030* sind die Unterschiede zwischen den drei Szenarien in Bezug auf die Makrogrössen gering. Im Szenario KLIMA MIX 2 verändern sich die Faktorpreise weniger stark zugunsten des Kapitals. Dies aufgrund der Rückverteilung der CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen über die Lohnsumme, was den Faktor Arbeit im Vergleich zum Faktor Kapital relativ günstiger macht.

Im *Jahr 2050* erzeugt die CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe im Szenario KLIMA MIX 2 nur noch sehr geringe Einnahme – die Rückverteilung über die Lohnsumme ist vernachlässigbar. Dementsprechend ist von dieser Seite auch kein Anreiz für eine relative Beschäftigungszunahme zu erwarten. Gemäss Modellberechnungen stellt sich in den Jahren 2045 bis 2055 im Szenario KLIMA MIX 2 im Vergleich zu den anderen beiden KLIMA-MIX-Szenarien sogar ein leichter Beschäftigungsrückgang ein.

Abbildung 6-5: Auswirkungen der drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrössen für die Jahre 2030 und 2050

	Szenario KLIMA MIX			Veränderung		Szenario KLIMA MIX			Veränderung	
	1	2	3	2-1	3-1	1	2	3	2-1	3-1
	2030	2030	2030	2030	2030	2050	2050	2050	2050	2050
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-0.75%	-0.80%	-0.78%	-0.05%	-0.03%	-2.23%	-2.73%	-2.28%	-0.50%	-0.04%
Privater Konsum	-0.76%	-0.72%	-0.80%	0.03%	-0.05%	-2.48%	-2.78%	-2.53%	-0.30%	-0.05%
Investitionen	-0.10%	-0.44%	-0.05%	-0.34%	0.05%	0.77%	0.22%	0.76%	-0.55%	-0.01%
Exporte	-1.05%	-1.36%	-0.97%	-0.31%	0.08%	-2.82%	-4.36%	-2.83%	-1.54%	-0.01%
Importe	-0.58%	-1.12%	-0.53%	-0.44%	0.15%	-1.38%	-2.70%	-1.16%	-1.32%	0.02%
Faktorpreise										
Löhne	-0.73%	-0.62%	-0.77%	0.11%	-0.04%	-1.87%	-2.24%	-1.90%	-0.37%	-0.03%
Kapital (Total Inland)	-0.24%	-0.62%	-0.18%	-0.38%	0.06%	1.33%	0.64%	1.32%	-0.69%	-0.01%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	-0.39%	-0.36%	-0.41%	0.03%	-0.02%	0.11%	-0.33%	0.10%	-0.44%	0.00%
Kapital (Total Inland)	-0.67%	-0.54%	-0.78%	0.12%	-0.11%	-3.06%	-3.38%	-3.11%	-0.32%	-0.05%
Kapitalexporte	0.77%	0.10%	0.93%	-0.67%	0.16%	5.90%	5.55%	5.92%	-0.34%	0.02%
Kapitalimporte	-1.47%	-1.58%	-1.59%	-0.11%	-0.12%	-4.26%	-5.44%	-4.34%	-1.19%	-0.08%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-1.12%	-0.98%	-1.18%	0.14%	-0.06%	-1.77%	-2.57%	-1.80%	-0.80%	-0.04%
Heimisches Kapital + Exporte	-0.22%	-0.64%	-0.19%	-0.42%	0.03%	1.33%	0.61%	1.31%	-0.73%	-0.02%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-0.16%	-0.16%	-0.18%	0.00%	-0.01%	-1.42%	-1.31%	-1.44%	0.10%	-0.02%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0.16%	-0.16%	-0.17%	0.00%	-0.01%	-1.39%	-1.29%	-1.42%	0.10%	-0.02%

Soziale Verteilungseffekte

Die Abbildung 6-6 zeigt die Auswirkungen auf die Wohlfahrt für die einzelnen Haushaltsgruppen für die drei Szenarien KLIMA MIX 1, 2 und 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich untereinander für die ausgewählten Jahre 2030 und 2050:

Im Jahr 2030 zeigen sich kaum Unterschiede in den beiden Szenarien KLIMA MIX 1 und 3. Im Szenario KLIMA MIX 1 wird ein wenig mehr Arbeit und dafür weniger Kapital eingesetzt. Im Szenario KLIMA MIX 2 ergeben sich im Vergleich zu den anderen beiden KLIMA-MIX-Szenarien aufgrund der Rückverteilung der CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffe für die erwerbstätigen Haushalte in der Tendenz leichte Wohlfahrtsgewinne. Dies gilt allerdings nicht für die reicheren Haushalte und die Rentnerhaushalte. In diesen Haushalten macht sich der weniger starke Anstieg der Kapitalrendite im Szenario KLIMA MIX 2 bemerkbar. Weiter ist anzumerken, dass die relativen Wohlfahrtsverluste im Szenario KLIMA MIX 2 für die Haushalte mit Kindern (Kids1 bis Kids5) aufgrund der anteilmässigen Pro-Kopf-Rückverteilung der CO₂-Abgabe auf Brenn- und Treibstoffen weniger stark ausfallen als in den Szenarien KLIMA MIX 1 und 3. Der Effekt der Pro-Kopf-Rückverteilung bleibt aber relativ bescheiden.

Im Jahr 2050 zeigen sich zwischen den Szenarien KLIMA MIX 1 und 3 ebenfalls keine gewichtigen Unterschiede. Im Szenario KLIMA MIX 2 können im Jahre 2050 im Vergleich zu den anderen beiden KLIMA-MIX-Szenarien alle Haushalte von einer leicht höheren Wohlfahrt profitieren.

Abbildung 6-6: Soziale Verteilungseffekte: Auswirkungen der drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf die Wohlfahrt einzelner Haushalte für die Jahre 2030 und 2050 (exkl. Sekundäreffekte und Primärnutzen)

	Szenario KLIMA MIX			Veränderung		Szenario KLIMA MIX			Veränderung	
	1	2	3	2-1	3-1	1	2	3	2-1	3-1
	2030	2030	2030	2030	2030	2050	2050	2050	2050	2050
Erwerbstätige Haushalte mit Kinder										
Kids1 ärmste 20%	-0.24%	-0.13%	-0.31%	0.11%	-0.06%	-1.66%	-1.57%	-1.67%	0.09%	-0.02%
Kids2 20%-40%	-0.24%	-0.16%	-0.29%	0.08%	-0.05%	-1.69%	-1.61%	-1.71%	0.08%	-0.02%
Kids3 40%-60%	-0.24%	-0.15%	-0.28%	0.10%	-0.04%	-1.72%	-1.61%	-1.74%	0.11%	-0.02%
Kids4 60%-80%	-0.23%	-0.14%	-0.26%	0.09%	-0.04%	-1.67%	-1.55%	-1.68%	0.12%	-0.02%
Kids5 reichste 20%	-0.17%	-0.14%	-0.19%	0.03%	-0.02%	-1.53%	-1.40%	-1.55%	0.13%	-0.02%
Erwerbstätige Haushalte ohne Kinder										
NoKids1 ärmste 20%	-0.26%	-0.18%	-0.29%	0.08%	-0.03%	-1.58%	-1.51%	-1.60%	0.08%	-0.02%
NoKids2 20%-40%	-0.26%	-0.19%	-0.28%	0.07%	-0.02%	-1.65%	-1.56%	-1.67%	0.08%	-0.02%
NoKids3 40%-60%	-0.25%	-0.18%	-0.26%	0.07%	-0.02%	-1.65%	-1.54%	-1.67%	0.10%	-0.02%
NoKids4 60%-80%	-0.22%	-0.18%	-0.24%	0.04%	-0.01%	-1.63%	-1.54%	-1.65%	0.09%	-0.02%
NoKids5 reichste 20%	-0.10%	-0.21%	-0.09%	-0.11%	0.01%	-1.21%	-1.15%	-1.24%	0.06%	-0.03%
Rentnerhaushalte										
Rentner1 ärmste 20%	0.06%	-0.06%	0.06%	-0.11%	0.00%	-0.46%	-0.32%	-0.50%	0.15%	-0.03%
Rentner2 20%-40%	0.08%	0.07%	0.07%	0.00%	-0.01%	-0.85%	-0.57%	-0.87%	0.28%	-0.02%
Rentner3 40%-60%	0.07%	0.04%	0.07%	-0.03%	0.00%	-0.96%	-0.67%	-0.98%	0.29%	-0.02%
Rentner4 60%-80%	0.04%	0.00%	0.05%	-0.04%	0.02%	-0.99%	-0.71%	-1.02%	0.28%	-0.02%
Rentner5 reichste 20%	0.06%	-0.34%	0.12%	-0.40%	0.06%	-0.38%	-0.35%	-0.45%	0.03%	-0.07%

Struktureffekte

Die Abbildung 6-7 zeigt die Auswirkungen auf die sektoralen Outputs für die drei Szenarien KLIMA MIX 1, 2 und 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich untereinander für die ausgewählten Jahre 2030 und 2050. Auch für die Struktureffekte kann festgestellt werden, dass die Unterschiede zwischen den beiden Szenarien KLIMA MIX 1 und 3 sehr gering sind. Einzig das Szenario KLIMA MIX 2 zeigt im Vergleich zu den anderen beiden KLIMA-MIX-Szenarien leichte Abweichungen: Leicht negativere Effekte im Verkehrsbereich aufgrund der CO₂-Abgabe auf Treibstoffen und in den Industriesektoren aufgrund der durch die Abgabe tendenziell leicht verteuerten Vorleistungen.

Abbildung 6-7: Auswirkungen der drei Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf den Output

Sektor	Anteil (2014)	Szenario KLIMA MIX			Veränderung		Szenario KLIMA MIX			Veränderung	
		1	2	3	2-1	3-1	1	2	3	2-1	3-1
		2030	2030	2030	2030	2030	2050	2050	2050	2050	2050
Landwirtschaft		-4.6%	-1.7%	-4.9%	2.8%	-0.3%	-4.8%	-5.0%	-4.9%	-0.2%	-0.1%
ETS (exkl. Stromproduktion)		0.35%	-0.84%	0.09%	-1.19%	-0.25%	-8.29%	-10.80%	-8.47%	-2.51%	-0.18%
Rest Industrie		-1.86%	-1.30%	-1.86%	0.56%	0.00%	-4.41%	-5.38%	-4.39%	-0.97%	0.02%
Bau		0.00%	0.00%	0.18%	0.01%	0.18%	0.35%	0.17%	0.41%	-0.18%	0.06%
Strom-, Gas-, Wärme-DL, Brenn- und Treibstoffe		-4.14%	-0.56%	-5.74%	3.58%	-1.60%	18.38%	17.63%	18.10%	-0.75%	-0.28%
Güterverkehr		-0.71%	-0.09%	-0.76%	0.62%	-0.05%	-0.99%	-1.34%	-1.01%	-0.35%	-0.02%
Personenverkehr		-0.35%	-1.46%	-0.43%	-1.11%	-0.08%	-2.46%	-3.85%	-2.53%	-1.39%	-0.07%
Restliche Dienstleistungen		-0.55%	-0.54%	-0.55%	0.01%	0.01%	-1.66%	-1.98%	-1.67%	-0.32%	-0.01%
Total		-0.96%	-0.72%	-1.02%	0.23%	-0.06%	-1.72%	-2.28%	-1.74%	-0.57%	-0.02%

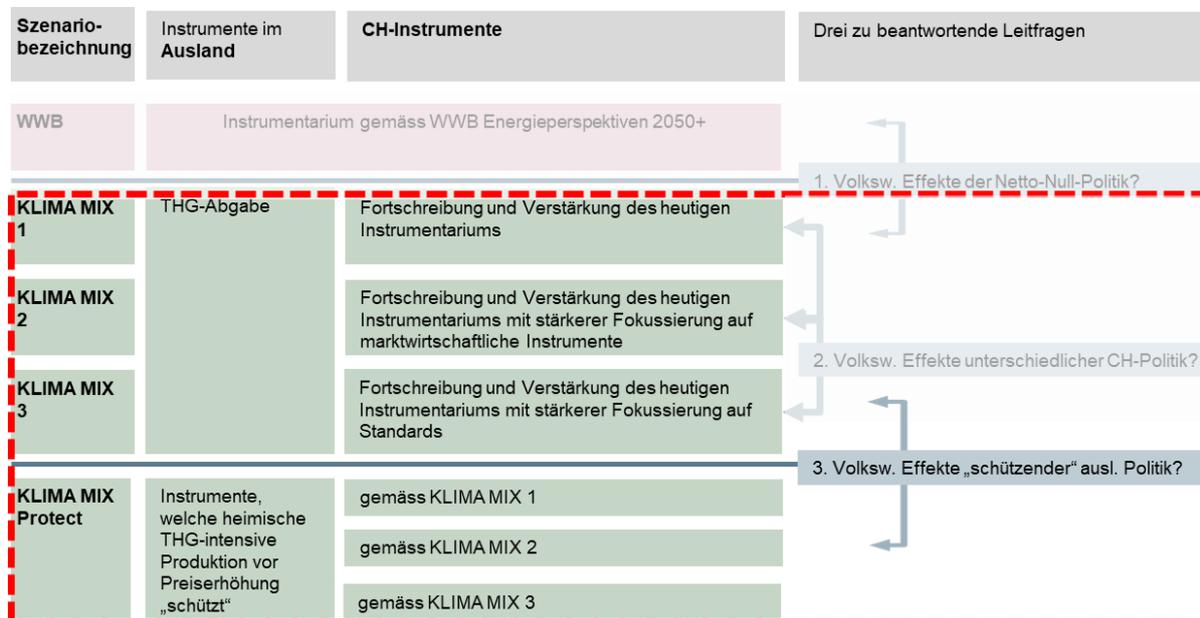
Fazit: Alle drei Szenarien liegen in Bezug auf ihre Wohlfahrtswirkungen eng beieinander. Das effizienz- und wohlfahrtsmässig beste Szenario ist KLIMA MIX 2 mit seinen CO₂-Abgaben auf Brenn- und Treibstoffen. Vorteil dieser marktwirtschaftlichen Instrumentierung ist, dass die Dekarbonisierung kosteneffizienter erfolgt als mit Emissions- und Effizienz-Standards wie in KLIMA MIX 3.

7 Volkswirtschaftliche Auswirkungen «schützender» ausländischer Klimapolitik

Die Schweiz – als kleines Land – beeinflusst mit ihrer Klimapolitik die Volkswirtschaft anderer Länder nicht massgeblich. Umgekehrt gilt dies allerdings nicht: Die Verminderung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null führt zu veränderten Weltmarktpreisen – nicht nur für Kohle, Öl und Gas, sondern auch für alle anderen Güter. Die vorgängigen Berechnungen sind alle davon ausgegangen, dass die anderen Länder bzw. Regionen eine uniforme THG-Abgabe zur Erreichung ihrer Klimaziele einsetzen. Nachfolgend zeigen wir den Effekt einer die energieintensiven und handelsexponierten Sektoren «schützenden» Klimapolitik der anderen Länder auf die Schweiz.

KLIMA MIX Protect: In diesen Szenarien wird das ausländische Politikinstrumentarium geändert: Anstelle einer uniformen Treibhausgas-Abgabe wird in den energieintensiven und handelsexponierten Sektoren auf ein «Output Based Allocation System» gesetzt⁸⁶, welches die Produktion im Ausland nicht so stark verteuert wie eine uniforme Treibhausgas-Abgabe. So schützt das Ausland seine heimische Produktion in den energieintensiven und handelsexponierten Sektoren vor zu starken Preiserhöhungen. Diese Änderungen im ausländischen Politikinstrumentarium werden kombiniert mit den obigen drei MIX-Szenarien (Fortschreibung, Markt und Standards).

Abbildung 7-1: Volkswirtschaftliche Effekte der Netto-Null-Politik: Szenario KLIMA MIX 1 im Vergleich mit dem Szenario WWB



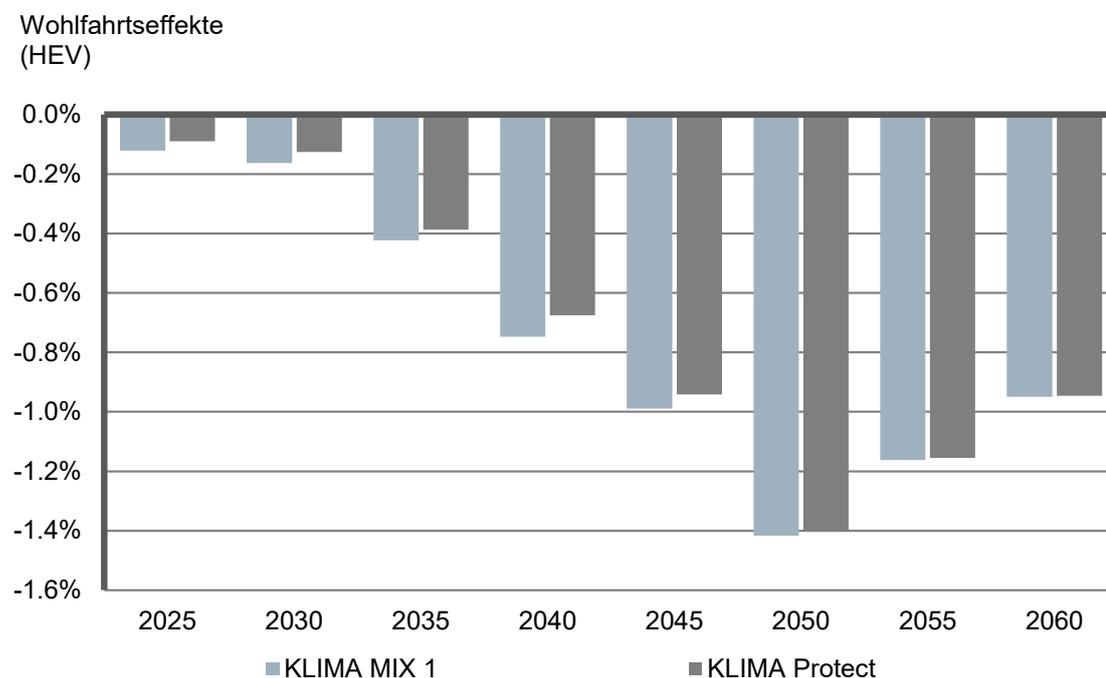
⁸⁶ In einem «Output Based Allocation System» werden energieintensiven und handelsexponierten Unternehmen basierend auf ihrer Produktionsmenge Emissionskredite zugewiesen. Die Anzahl dieser Kredite wird durch einen sektorspezifischen Standard bestimmt, der einen Benchmark für die Emissionen pro produzierter Einheit setzt. Den CO₂-Preis müssen die Firmen nur für Emissionen zahlen, die über diesem Standard liegen. Dieses OBA-System entspricht also einem Emissionshandelssystem, bei dem die THG-Zertifikate auf Basis des Outputs gratis zugeteilt werden.

Nachfolgend gehen wir auf den Vergleich des Szenarios KLIMA MIX 1 mit KLIMA Protect MIX 1 ein. Der Vergleich zwischen den Szenarien KLIMA MIX 2 und 3 sowie den entsprechenden KLIMA-Protect-Szenarien ergibt im Quervergleich sehr ähnliche Resultate.

Auswirkungen auf die Wohlfahrt

Die Abbildung 7-2 zeigt, dass eine die energieintensiven und handelsexponierten Sektoren (EITE-Sektoren) «schützende» Klimapolitik des Auslands die Wohlfahrt in der Schweiz nicht etwa verschlechtert, sondern sogar verbessert. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schweiz (i) einen relativ kleinen Anteil an EITE-Unternehmen aufweist und (ii) die Schweiz viele energieintensive Vorleistungen nicht selber produziert, sondern importiert. «Schützt» das Ausland ihre EITE-Sektoren, kann die Schweiz diese Vorleistungen günstiger beziehen und profitiert per Saldo wohlfahrtsmässig von dieser die EITE-Sektoren «schützenden» ausländischen Klimapolitik.⁸⁷ Die relativen Wohlfahrtsgewinne gelten allerdings vor allem für die Übergangsphase bis zur vollständigen Dekarbonisierung des Energiesystems im Jahre 2050.

Abbildung 7-2: Wohlfahrtseffekte der Szenarien KLIMA MIX 1 und KLIMA Protect im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (exkl. Sekundäreffekte und Primärnutzen)



⁸⁷ Diese Feststellung gilt aber nur für die Schweiz. Die Modellberechnungen zeigen, dass die EU, welche bereits im Szenario WWB ihre EITE-Sektoren mit einer teilweisen Gratiszuteilung der Emissionsrechte „schützt“ wohlfahrtsmässig negativ betroffen wäre von einer die EITE-Sektoren „schützenden“ Klimapolitik der übrigen Regionen. Strukturell unterscheidet sich die EU deutlich von der Schweiz: Die EU hat einen höheren Anteil an EITE-Unternehmen und produziert einen höheren Anteil an EITE-Vorleistungen selber. Die negativen „Leakage-Effekte“ aufgrund des ausländischen EITE-Schutzes überwiegen somit die positiven Effekte von günstigeren EITE-Importen.

Auswirkungen auf ausgewählte Makrogrössen

Die nachfolgende Abbildung 7-3 zeigt, dass eine die energieintensiven und handelsexponierten Sektoren (EITE) «schützende» Klimapolitik des Auslands die zentralen Makrogrössen in der Schweiz nicht massgeblich verändert. Die grössten Unterschiede gibt es erwartungsgemäss bei den Exporten und Importen.

Abbildung 7-3: Auswirkungen der Szenarien KLIMA MIX 1 und KLIMA Protect im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrössen für die Jahre 2030 und 2050

	Szenario KLIMA		Veränderung Protect - MIX 1	Szenario KLIMA		Veränderung Protect - MIX 1
	MIX 1	Protect		MIX 1	Protect	
	2030	2030	0	2050	2050	0
Wirtschaftliche Aktivität						
BIP-Niveau-Effekt	-0.75%	-0.75%	0.00%	-2.23%	-2.31%	-0.08%
Privater Konsum	-0.76%	-0.70%	0.05%	-2.48%	-2.48%	0.00%
Investitionen	-0.10%	-0.05%	0.06%	0.77%	0.79%	0.02%
Exporte	-1.05%	-1.42%	-0.37%	-2.82%	-3.46%	-0.64%
Importe	-0.68%	-1.05%	-0.37%	-1.18%	-1.77%	-0.58%
Faktorpreise						
Löhne	-0.73%	-0.72%	0.01%	-1.87%	-1.90%	-0.03%
Kapital (Total Inland)	-0.24%	-0.11%	0.13%	1.33%	1.42%	0.09%
Faktoreinsatz						
Beschäftigung	-0.39%	-0.41%	-0.02%	0.11%	0.08%	-0.03%
Kapital (Total Inland)	-0.67%	-0.81%	-0.14%	-3.06%	-3.24%	-0.18%
Kapitalexporte	0.77%	1.13%	0.36%	5.90%	6.44%	0.54%
Kapitalimporte	-1.47%	-1.60%	-0.13%	-4.26%	-4.55%	-0.29%
Faktoreinkommen						
Arbeit	-1.12%	-1.12%	0.00%	-1.77%	-1.82%	-0.05%
Heimisches Kapital + Exporte	-0.22%	-0.08%	0.14%	1.33%	1.50%	0.16%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)						
Wohlfahrt (HEV)	-0.16%	-0.13%	0.04%	-1.42%	-1.40%	0.02%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0.16%	-0.12%	0.04%	-1.39%	-1.38%	0.02%

Soziale Verteilungseffekte

Die vorgängig festgestellten relativen Wohlfahrtsgewinne einer die energieintensiven und handelssexponierten Sektoren (EITE) «schützenden» Klimapolitik des Auslands kommen vor allem denjenigen Haushalte zugute, welche einen hohen Anteil ihres Einkommens aus dem Kapital/Vermögen beziehen, da sich die Kapitalrendite durch diese die EITE-Sektoren «schützenden» ausländischen Klimapolitik relativ verbessert (vgl. dazu die Abbildung 7-4).

Abbildung 7-4: Soziale Verteilungseffekte: Auswirkungen der Szenarien KLIMA MIX 1 und KLIMA Protect im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf die Wohlfahrt einzelner Haushalte für die Jahre 2030 und 2050 (exkl. Sekundäreffekte und Primärnutzen)

	Szenario KLIMA			Veränderung Protect - MIX 1	Szenario KLIMA		
	MIX 1	Protect	Protect - MIX 1		MIX 1	Protect	Protect - MIX 1
	2030	2030			2050	2050	
Erwerbstätige Haushalte mit Kinder							
Kids1	ärmste 20%	-0.24%	-0.23%	0.01%	-1.66%	-1.67%	-0.01%
Kids2	20%-40%	-0.24%	-0.22%	0.01%	-1.69%	-1.70%	-0.01%
Kids3	40%-60%	-0.24%	-0.23%	0.01%	-1.72%	-1.73%	-0.01%
Kids4	60%-80%	-0.23%	-0.21%	0.01%	-1.67%	-1.68%	-0.01%
Kids5	reichste 20%	-0.17%	-0.14%	0.03%	-1.53%	-1.52%	0.01%
Erwerbstätige Haushalte ohne Kinder							
NoKids1	ärmste 20%	-0.26%	-0.24%	0.02%	-1.58%	-1.59%	-0.01%
NoKids2	20%-40%	-0.26%	-0.24%	0.02%	-1.65%	-1.65%	-0.01%
NoKids3	40%-60%	-0.25%	-0.23%	0.02%	-1.65%	-1.65%	-0.01%
NoKids4	60%-80%	-0.22%	-0.20%	0.02%	-1.63%	-1.64%	-0.01%
NoKids5	reichste 20%	-0.10%	-0.04%	0.06%	-1.21%	-1.18%	0.03%
Rentnerhaushalte							
Rentner1	ärmste 20%	0.06%	0.14%	0.08%	-0.46%	-0.37%	0.09%
Rentner2	20%-40%	0.08%	0.12%	0.04%	-0.85%	-0.81%	0.04%
Rentner3	40%-60%	0.07%	0.12%	0.05%	-0.96%	-0.91%	0.05%
Rentner4	60%-80%	0.04%	0.10%	0.06%	-0.99%	-0.94%	0.06%
Rentner5	reichste 20%	0.06%	0.24%	0.18%	-0.38%	-0.20%	0.18%

Struktureffekte

Die Abbildung 7-5 zeigt, dass die EITE-«schützende» Klimapolitik bei den Schweizer EITE-Sektoren, welche dem ETS-Sektor entspricht, zu einem doch deutlichen zusätzlichen Output-Rückgang von gegen -9% führt.

Abbildung 7-5: Auswirkungen der Szenarien KLIMA MIX 1 und KLIMA Protect im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf den Output

Sektor	Anteil (2014)	Szenario KLIMA Veränderung			Szenario KLIMA Veränderung		
		MIX 1	Protect	Protect - MIX 1	MIX 1	Protect	Protect - MIX 1
		2030	2030	2030	2050	2050	2050
Landwirtschaft		-4.6%	-4.3%	0.3%	-4.8%	-3.9%	0.9%
ETS (exkl. Stromproduktion)		0.35%	3.73%	4.08%	8.29%	17.14%	8.86%
Rest Industrie		1.86%	1.79%	0.08%	4.41%	3.78%	0.62%
Bau		0.00%	0.09%	0.10%	0.35%	0.43%	0.08%
Strom-, Gas-, Wärme-DL, Brenn- und Treibstoffe		4.14%	4.71%	0.58%	8.38%	7.96%	0.42%
Güterverkehr		0.71%	0.77%	0.07%	0.99%	1.01%	0.02%
Personenverkehr		0.35%	0.25%	0.09%	2.46%	2.47%	0.01%
Restliche Dienstleistungen		0.55%	0.50%	0.06%	1.66%	1.62%	0.04%
Total		0.96%	1.05%	0.09%	1.72%	1.83%	0.11%

Fazit: Eine die energieintensiven und handelsexponierten Sektoren «schützende» Klimapolitik des Auslands verschlechtert die Wohlfahrt in der Schweiz nicht etwa, sondern verbessert sie sogar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schweiz (i) einen relativ kleinen Anteil an energieintensiven und handelsexponierten Unternehmen aufweist und (ii) die Schweiz viele energieintensive Vorleistungen nicht selber produziert, sondern importiert. Allerdings führt eine solche «schützende» Klimapolitik des Auslands zu Einbussen bei den energieintensiven und handelsexponierten Sektoren in der Schweiz.

8 Einflussfaktoren und Sensitivitätsanalyse

8.1 Die Auswirkungen unterschiedlicher Stromvarianten und Laufzeit KKW 60 Jahre

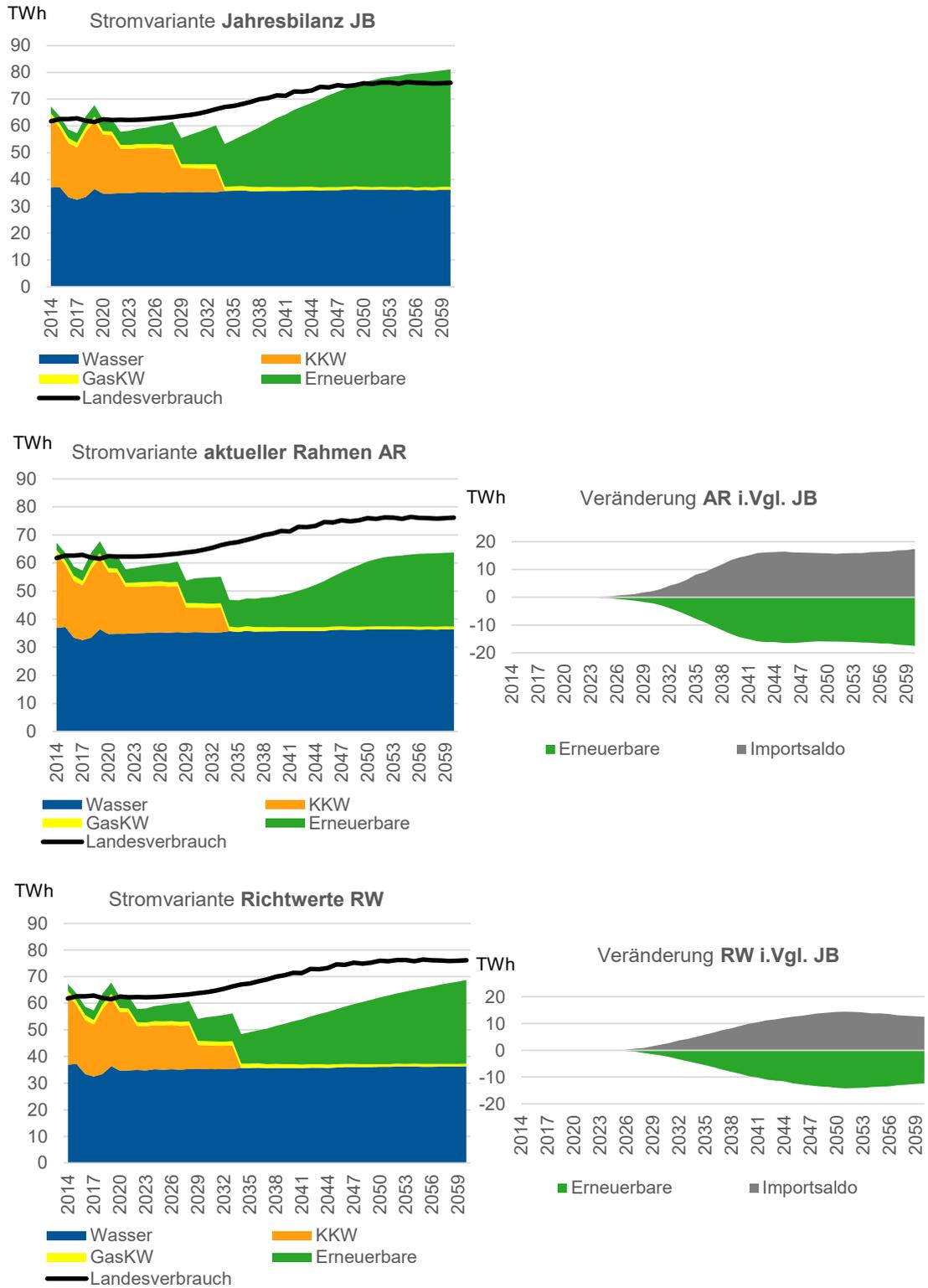
8.1.1 Auswirkungen unterschiedlicher Stromvarianten

In den Energieperspektiven 2050+ werden drei unterschiedliche Ausbaupfade der erneuerbaren Stromproduktion (ohne Wasserkraft) betrachtet. In der Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050» (kurz «**Jahresbilanz**» oder **JB**) wird ein Ausbau betrachtet, der notwendig ist, um in der Bilanz über das Jahr 2050 den Strombedarf der Schweiz decken zu können. Dies erfolgt im Sinne des Beitrags der Schweiz, dem erhöhten Strombedarf aufgrund der Dekarbonisierung des Energiesystems Rechnung zu tragen. In den Resultatpräsentationen der Kapitel 5 bis 7 wurde immer diese Stromvariante «Jahresbilanz» zugrunde gelegt.

Die folgende Sensitivitätsanalyse untersucht die Unterschiede anderer Stromvarianten im Vergleich zur Stromvariante «Jahresbilanz». Einerseits wird die Variante «Richtwerte/Ausbauziele» (kurz «**Richtwerte**» oder **RW**) analysiert, die sich orientiert an den Ausbaurichtwerten im EnG Art. 2 (2035: 11.4 TWh) bzw. an den bisherigen Zielen gemäss der Botschaft zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 (Bundesrat 2013) mit einer Erzeugung von 24.2 TWh im Jahr 2050. Andererseits werden die Auswirkung der Stromvariante «aktuelle Rahmenbedingungen» (kurz «**aktueller Rahmen**» oder **AR**) aufgezeigt, die auf den heutigen Gesetzes- und Marktbedingungen basiert.

Die nachfolgende Abbildung 8-1 zeigt das Portfolio an Stromerzeugung und den Landesverbrauch auf der linken Seite und auf der rechten Seite die Abweichungen der beiden Stromvarianten AR und RW von der bisher unterstellten Stromvarianten JB. In der Stromvariante AR wird im Vergleich zur Stromvariante JB deutlich weniger erneuerbarer Strom in der Schweiz produziert und im Gegenzug mehr Strom importiert. Gleiches gilt für die Stromvariante RW, wobei hier die Abweichungen von der Stromvariante JB nicht ganz so stark ausfallen.

Abbildung 8-1: Drei Stromerzeugungsvarianten (Basisszenario KLIMA MIX 1)

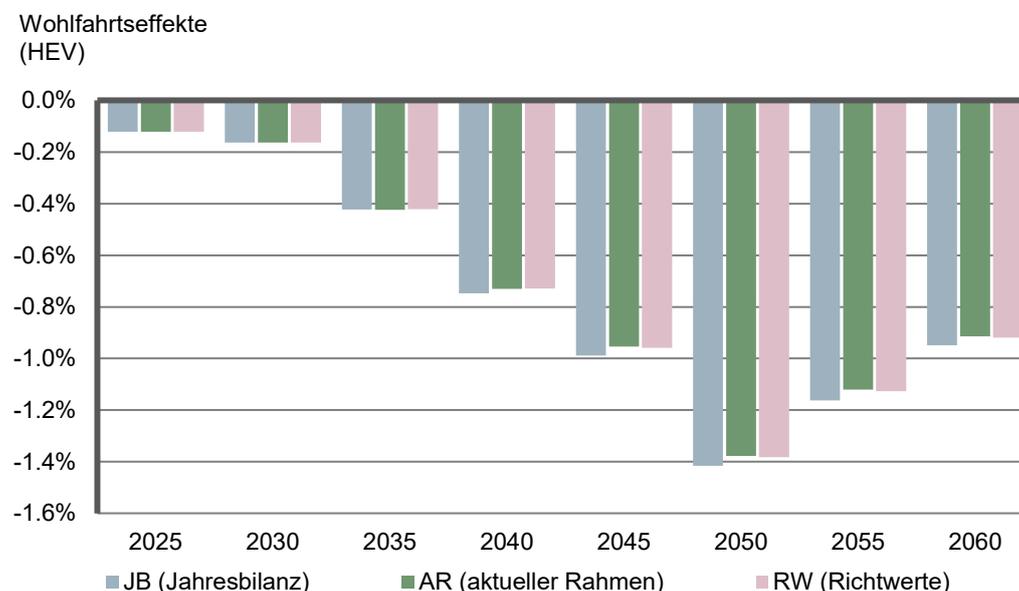


Auswirkungen unterschiedlicher Stromvarianten auf die Wohlfahrt

Die Abbildung 8-2 zeigt, dass die Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» ab 2040 im Vergleich zum Szenario WWB zu einer leicht geringeren Wohlfahrtseinbusse führen als die Stromvariante «Jahresbilanz».⁸⁸ Die beiden Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» weisen einen geringeren Anteil an heimisch produziertem Strom auf und müssen im Gegenzug mehr Strom aus dem Ausland importieren (vgl. dazu auch die vorgängige Abbildung 8-1). Da der importierte Strom leicht günstiger ist als der heimisch produzierte erneuerbare Strom und die heimische Stromproduktion leicht steigende Grenzkosten hat, fallen die Wohlfahrtsverluste geringer aus als in der Stromvariante «Jahresbilanz» mit einem höheren Anteil heimisch produziertem erneuerbarem Strom. Die Differenzen zwischen den drei Stromvarianten sind allerdings relativ gering, da der heimische erneuerbare Strom relativ günstig produziert werden kann.

Bei dieser Gegenüberstellung ist zu beachten, dass die Thematik der **Versorgungssicherheit** im Wohlfahrtsmass **nicht berücksichtigt** wird. Würde die Stromvariante «Jahresbilanz» mit ihrem hohen Anteil heimisch produzierten Strom die Versorgungssicherheit verbessern, müsste dies der Stromvariante «Jahresbilanz» positiv angerechnet werden.

Abbildung 8-2: Wohlfahrtseffekte von drei Stromerzeugungsvarianten im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



⁸⁸ Für die Berechnungen der drei Stromvarianten wurde das klimapolitische Instrumentarium gemäss Szenario KLIMA MIX 1 zugrunde gelegt. Die Erreichung des aus dem Strommarktmodell der Energieperspektiven 2050+ vorgegebene Stromproduktionsmix wird im Gleichgewichtsmodell mit sogenannten erneuerbaren Portfoliostandards (RPS renewable portfolio standards) sichergestellt. Dabei wird den Stromproduzenten eine Mindestproduktion an erneuerbar zu produzierendem Strom vorgegeben.

Auswirkungen der Stromvarianten auf ausgewählte Makrogrößen

Die Abbildung 8-3 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrößen für die drei Stromvarianten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2040 und 2050.

Die Unterschiede zwischen den drei Stromvarianten sind bezüglich der Makrogrößen gering: Die Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» erlauben im Vergleich zur Stromvariante «Jahresbilanz» eine leicht höhere Wirtschaftsaktivität, was sich in einem leicht höheren BIP zeigt. Am stärksten unterscheiden sich die Stromvarianten bei den Importen. Da in den Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» mehr Strom importiert werden muss, steigen die Importe. Im Gegenzug sinkt das im Inland eingesetzte Kapital, da in den Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» weniger Kapital in den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion eingebracht wird.

Abbildung 8-3: Auswirkungen von drei Stromerzeugungsvarianten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrößen für die Jahre 2040 und 2050 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	Stromvariante			Veränderung		Stromvariante			Veränderung	
	JB	AR	RW	AR-JB	RW-JB	JB	AR	RW	AR-JB	RW-JB
	2040	2040	2040	2040	2040	2050	2050	2050	2050	2050
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-1175%	-1170%	-1172%	004%	003%	-2123%	-2121%	-2121%	003%	003%
Privater Konsum	-1193%	-1187%	-1188%	006%	005%	-2148%	-2140%	-2141%	008%	007%
Investitionen	004%	012%	009%	008%	005%	0077%	0085%	0084%	008%	008%
Exporte	-2181%	-2122%	-2142%	059%	039%	-2182%	-2136%	-2139%	047%	043%
Importe	-2102%	-1124%	-1151%	078%	051%	-1118%	-0152%	-0157%	067%	061%
Faktorpreise										
Löhne	-1165%	-1160%	-1161%	005%	004%	-1187%	-1183%	-1183%	005%	004%
Kapital (Total Inland)	016%	029%	024%	013%	009%	1133%	1146%	1145%	013%	012%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	-0148%	-0145%	-0146%	003%	002%	0111%	0111%	0112%	001%	001%
Kapital (Total Inland)	-1190%	-1198%	-1196%	-008%	-006%	-3106%	-3117%	-3116%	-011%	-010%
Kapitalexporte	2172%	2199%	2191%	028%	019%	5190%	6127%	6122%	037%	032%
Kapitalimporte	-3122%	-3124%	-3124%	-002%	-002%	-4126%	-4135%	-4134%	-010%	-008%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-2112%	-2105%	-2107%	008%	005%	-1177%	-1171%	-1172%	005%	005%
Heimisches Kapital + Exporte	007%	021%	016%	014%	009%	1133%	1149%	1147%	016%	014%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-0175%	-0173%	-0173%	002%	002%	-1142%	-1138%	-1138%	004%	003%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0173%	-0171%	-0171%	002%	002%	-1139%	-1135%	-1136%	004%	003%
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2										
	2040	2040	2040			2050	2050	2050	2050	2050
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	391	380	384	-11	-7	776	776	776	-0	-0

Anmerkung: Am ETS-Preis und den vorgegebenen CO₂-Abgaben ändert sich nichts im Vergleich zum Basisszenario KLIMA MIX 1 mit ausgeglichener Jahresbilanz (vgl. Abbildung 5-2).

Struktureffekte der drei Stromvarianten

Die Abbildung 8-4 zeigt die sektoralen Beschäftigungseffekte der drei Stromvarianten für die Jahre 2040 und 2050. Die unterschiedlichen Stromvarianten unterscheiden sich hauptsächlich im Energiesektor: Die Stromvariante «Jahresbilanz» kann hier im Vergleich zum Szenario WWB mit einer um 15.5% (Jahr 2040) bzw. 32.5% (Jahr 2050) höheren Beschäftigung rechnen, da der Ausbau der heimischen Stromproduktion einen zusätzlichen Beschäftigungseffekt nach sich zieht. Dieser positive Beschäftigungseffekt zeigt sich in den beiden anderen Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» im Jahr 2040 gar nicht und im Jahr 2050 zu einem deutlich geringeren Umfang

Die beiden Stromvarianten «aktueller Rahmen» und «Richtwerte» weisen im Vergleich zur Stromvariante «Jahresbilanz» im Energiesektor eine tiefere Beschäftigung aus, da weniger in die erneuerbare Stromproduktion investiert wird. Das Total der Beschäftigung liegt in diesen beiden Stromvarianten aber nicht unter demjenigen der Stromvariante «Jahresbilanz». Der Grund dafür ist, dass der in der Stromvariante «Jahresbilanz» im Vergleich leicht höhere Strompreis leicht negativen Auswirkungen auf die gesamte Wirtschaft hat und damit auch die Beschäftigung ganz leicht negativ beeinflusst. Der positive Beschäftigungseffekt im Energiesektor in der Stromvariante «Jahresbilanz» wird also per Saldo wieder kompensiert durch die negativen Beschäftigungseffekte in den anderen Sektoren.

Abbildung 8-4: Auswirkungen von drei Stromerzeugungsvarianten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf die Beschäftigung (Basisszenario KLIMA MIX 1)

Sektor	Anteil (2014)	Stromvariante			Veränderung		Stromvariante			Veränderung	
		JB	AR	RW	AR-JB	RW-JB	JB	AR	RW	AR-JB	RW-JB
		2040	2040	2040	2040	2040	2050	2050	2050	2050	2050
Landwirtschaft		2.9%	3.4%	3.3%	0.5%	0.3%	2.4%	2.7%	2.7%	0.3%	0.3%
ETS (exkl. Stromproduktion)		-22.27%	-0.90%	-1.36%	1.37%	0.91%	-2.91%	-1.72%	-1.83%	1.19%	1.08%
Rest Industrie		-1.39%	-0.80%	-0.99%	0.59%	0.40%	-0.70%	-0.23%	-0.24%	0.47%	0.46%
Bau		1.23%	1.11%	1.13%	-0.12%	-0.10%	2.31%	2.20%	2.18%	-0.12%	-0.13%
Strom-, Gas-, Wärme-DL, Brenn- und Treibstoffe		15.50%	-10.97%	-2.88%	-26.48%	-18.38%	32.47%	6.49%	8.49%	-25.98%	-23.99%
Güterverkehr		-0.16%	-0.10%	-0.12%	0.06%	0.04%	-0.97%	-0.98%	-0.97%	-0.02%	-0.01%
Personenverkehr		0.29%	0.35%	0.33%	0.06%	0.04%	0.99%	1.06%	1.05%	0.07%	0.06%
Restliche Dienstleistungen		-0.57%	-0.50%	-0.53%	0.07%	0.05%	-0.12%	-0.05%	-0.06%	0.07%	0.07%
Total		-0.48%	-0.45%	-0.46%	0.03%	0.02%	0.11%	0.11%	0.12%	0.01%	0.01%

8.1.2 Auswirkung einer längeren Laufzeit der KKW

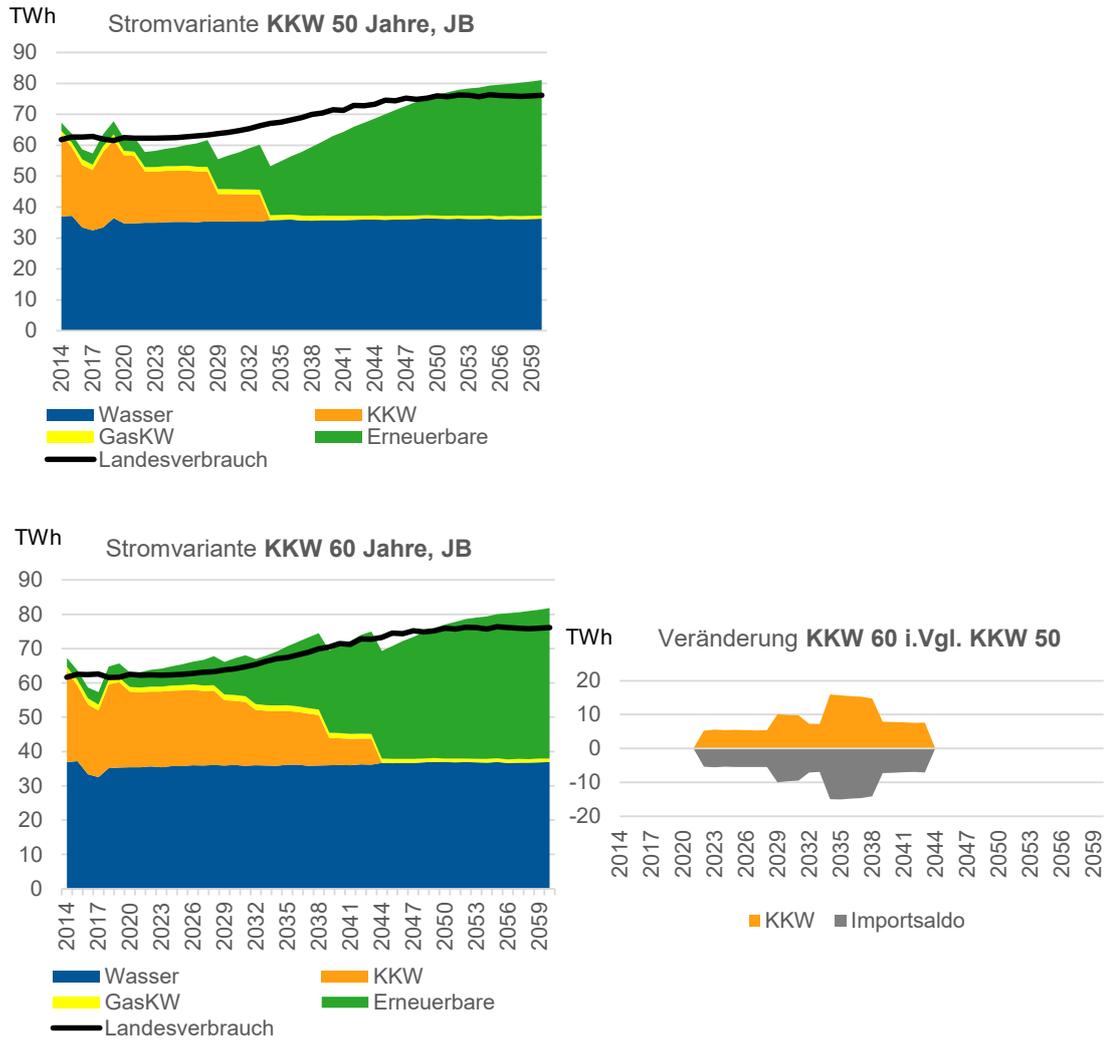
In den Energieperspektiven 2050+ wird unterstellt, dass die Schweizer Kernkraftwerke KKW am Ende ihrer technischen Laufzeit auslaufen und keine neuen KKW mehr gebaut werden.⁸⁹ Da die Schweiz keine KKW-Laufzeitbeschränkung kennt, sondern die KKW so lange am Netz bleiben dürfen, wie sie sicher sind, ist unklar, wie lange die KKW am Netz bleiben werden. In den Resultatpräsentationen der Kapitel 5 bis 7 wurde von einer Laufzeit von 50 Jahren ausgegangen. Nachfolgend soll aufgezeigt werden, welche Auswirkungen eine Laufzeit von 60 statt 50 Jahren hätte. Dazu wird sowohl im Szenario WWB wie auch im Szenario ZERO (gerechnet wird mit KLIMA MIX 1, Stromvariante JB) eine KKW Laufzeit von 60 Jahren angenommen.⁹⁰ Es muss auch hier betont werden, dass Fragen der **Versorgungssicherheit und auch der Kernkraftrisiken hier nicht berücksichtigt** werden.

Die Abbildung 8-5 zeigt die Stromerzeugung und den Landesverbrauch auf der linken Seite und auf der rechten Seite den Unterschied in der Stromproduktion und den Importen unter der Annahme, dass die KKW 60 anstatt 50 Jahre am Netz bleiben. Es gilt die bisher unterstellte Stromvariante JB. Bei einer KKW-Laufzeit von 60 Jahren wird im Zeitraum 2022 bis 2043 aufgrund der längeren Laufzeit mehr heimischer KKW-Strom produziert als bei einer KKW-Laufzeit von 50 Jahren. Ab dem Jahr 2044 sind auch bei einer 60-jährigen Laufzeit alle Schweizer KKW vom Netz, d.h. es wird in jedem Fall kein KKW-Strom mehr produziert, da annahmegermäss keine neuen KKW mehr gebaut werden. In den Energieperspektiven 2050+ wird unterstellt, dass die erneuerbare Stromproduktion unabhängig von der Laufzeit der KKW in gleichem Ausmass ausgebaut wird. Dies bedeutet, dass die KKW-Mehrproduktion bei einer Laufzeit von 60 Jahren durch entsprechend geringere Stromimporte kompensiert wird. Die längere KKW-Laufzeit hat unter diesen Annahmen einen geringeren Stromimport zur Folge.

⁸⁹ Die Laufzeiten der Kernkraftwerke sind in der Schweiz nicht gesetzlich befristet. Die Kernkraftwerke dürfen weiter betrieben werden, solange die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Das Eidgenössische Nuklearsicherheitsinspektorat (ENSI) überwacht als Aufsichtsbehörde die Sicherheit der Anlagen. Für die Sicherheit der Anlagen und die Entscheidung über den Weiterbetrieb bei zusätzlichen Sicherheitsanforderungen sind die Betreiber der Anlagen zuständig.

⁹⁰ Das neue Technologieportfolio für die Stromerzeugung bei einer Laufzeit von 60 Jahren wurde aus den Resultaten der Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+ entnommen, vgl. Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

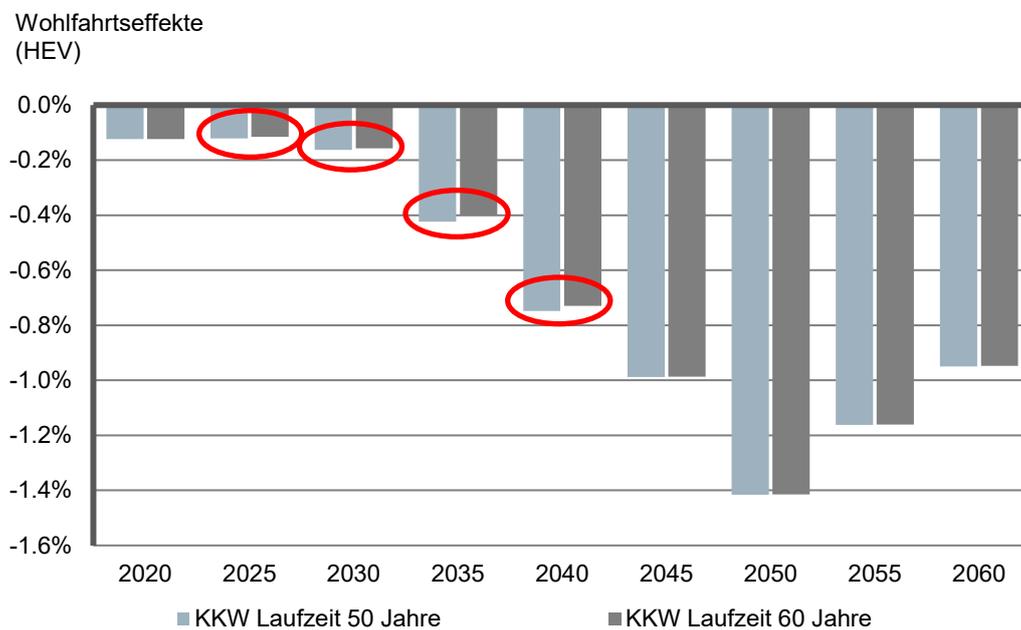
Abbildung 8-5: Stromerzeugung mit 50 bzw. 60 Jahre KKW-Laufzeit (Basisszenario KLIMA MIX 1)



Auswirkungen längerer KKW-Laufzeiten auf die Wohlfahrt

Die Abbildung 8-6 zeigt, dass die um 10 Jahre längere KKW-Laufzeit einzig in den Jahren 2025 bis 2040 zu einer leicht geringeren Wohlfahrtseinbusse führt. Die leichten relativen Wohlfahrtsgewinne bei einer längeren Laufzeit sind darauf zurückzuführen, dass der heimische KKW-Strom aus den bestehenden Kraftwerken günstiger ist als der importierte Strommix. Wiederum ist bei dieser Gegenüberstellung zu beachten, dass die **Versorgungssicherheit** im Wohlfahrtsmass **nicht berücksichtigt** ist.

Abbildung 8-6: Wohlfahrtseffekte einer KKW-Laufzeit von 50 bzw. 60 Jahren im Vergleich zum Szenario WWB 50 respektive 60 Jahre Laufzeit für die Jahre 2025 bis 2060 (Basiszenario KLIMA MIX1, exkl. Sekundäreffekte, Primärnutzen und Kernkraft Risiken)



Auswirkungen längerer KKW-Laufzeiten auf ausgewählte Makrogrössen

Die Abbildung 8-7 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrössen für die beiden KKW-Laufzeiten 50 und 60 Jahre im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2030, 2035 und 2040.

Die Unterschiede zwischen einer 50- und 60-jährigen KKW-Laufzeit sind bezüglich der Makrogrössen gering: Bei einer KKW-Laufzeit von 60 Jahren darf mit einer leicht höheren Wirtschaftsaktivität gerechnet werden, was sich u.a. in einem leicht höheren BIP zeigt.

Abbildung 8-7: Auswirkungen einer KKW-Laufzeit von 50 bzw. 60 Jahren im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrössen für die Jahre 2030, 2035 und 2040 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	KKW Laufzeit		Veränderung	KKW Laufzeit		Veränderung	KKW Laufzeit		Veränderung
	50	60		50	60		50	60	
	2030	2030	2030	2035	2035	2035	2040	2040	2040
Wirtschaftliche Aktivität									
BIP-Niveau-Effekt	-0,75%	-0,71%	0,04%	-1,30%	-1,20%	0,10%	-1,75%	-1,68%	0,06%
Privater Konsum	-0,76%	-0,71%	0,04%	-1,40%	-1,30%	0,10%	-1,93%	-1,86%	0,07%
Investitionen	-0,10%	-0,09%	0,02%	-0,14%	-0,10%	0,05%	0,04%	0,07%	0,03%
Exporte	-1,05%	-0,98%	0,07%	-1,34%	-1,27%	0,06%	-2,31%	-2,25%	0,06%
Importe	-0,68%	-0,62%	0,07%	-1,28%	-1,13%	0,15%	-2,02%	-1,85%	0,17%
Faktorpreise									
Löhne	-0,73%	-0,69%	0,04%	-1,25%	-1,16%	0,09%	-1,65%	-1,59%	0,06%
Kapital (Total Inland)	-0,24%	-0,22%	0,02%	-0,29%	-0,24%	0,05%	0,16%	0,19%	0,04%
Faktoreinsatz									
Beschäftigung	-0,39%	-0,36%	0,03%	-0,53%	-0,48%	0,05%	-0,48%	-0,45%	0,03%
Kapital (Total Inland)	-0,67%	-0,65%	0,02%	-1,18%	-1,13%	0,05%	-1,90%	-1,88%	0,03%
Kapitalexporte	0,77%	0,75%	-0,02%	1,32%	1,29%	-0,03%	2,72%	2,72%	0,00%
Kapitalimporte	-1,47%	-1,41%	0,06%	-2,39%	-2,24%	0,14%	-3,22%	-3,13%	0,08%
Faktoreinkommen									
Arbeit	-1,12%	-1,05%	0,07%	-1,78%	-1,63%	0,15%	-2,12%	-2,03%	0,09%
Heimisches Kapital + Exporte	-0,22%	-0,21%	0,02%	-0,33%	-0,28%	0,05%	0,07%	0,11%	0,04%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)									
Wohlfahrt (HEV)	-0,16%	-0,16%	0,01%	-0,42%	-0,40%	0,02%	-0,75%	-0,73%	0,02%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0,16%	-0,15%	0,01%	-0,41%	-0,39%	0,02%	-0,73%	-0,71%	0,02%
ETS-Preis, CO₂-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO₂									
	2030	2030	2030	2035	2035	2035	2040	2040	2040
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	352	345	-7	394	382	-12	391	383	-8

Fazit: Die untersuchten unterschiedlichen Stromvarianten oder eine längere KKW-Laufzeit haben einen geringen Einfluss auf die Wohlfahrtseffekte einer Netto-Null-Klimapolitik.

8.2 Auswirkungen veränderter NET-Potenziale und -Kosten

Die Negativemissionstechnologien NET werden eine entscheidende Rolle bei der globalen Dekarbonisierung des Energiesystems und zur Kompensation der restlichen Treibhausgase aus der Landwirtschaft sowie industriellen Prozessen spielen.

In den Resultatpräsentationen der Kapitel 5 bis 7 wurde für die Schweiz der maximale NET-Einsatz und NET-Kosten gemäss Szenario ZERO der Energieperspektiven 2050+ unterstellt (Abbildung B-15). Die in den bisher vorgestellten Resultaten maximal einzusetzenden globalen NET-Kapazitäten und NET-Kosten sind in der nachfolgenden Abbildung 8-8 unter der Spalte «**Basisannahmen**» zu finden (vgl. dazu die Ausführungen im Anhang B, Abbildung B-23 bis Abbildung B-27).

Abbildung 8-8: Basisannahmen und Bandbreiten für die Sensitivitätsanalyse der NET-Potenziale und -Kosten

	Potenziale in GtCO ₂ /a 2060			Kosten in USD ₂₀₁₇ /tCO ₂ 2050		
	Tief	Basis- annahmen ***)	Hoch	Tief	Basis- annahmen	Hoch
BECCS	0.5	2.7	5.0	100	150	200
DACCS	0.5	2.7	5.0	100	291 *)	400 *)
Beschleunigte Verwitterung	1.7 **)	1.7 **)	4.0	50	130	200
Pflanzkohle	0.5	0.6	2.0	30	80	120
Total	3.2	7.6	16.0			

*) Die Energieperspektiven 2050+ rechnen für DACCS in der Basisvariante mit Kosten von 291 USD/t CO₂. Für die Sensitivität «Hoch» wurden daher entsprechend höhere Kosten unterstellt.

***) In der Basisvariante wird die beschleunigte Verwitterung bis 2060 noch nicht voll ausgeschöpft. Die beschleunigte Verwitterung - und auch Pflanzkohle - wird erst ab 2045 - zur Kompensation von Emissionen im Bereich Landwirtschaft / Abfall schrittweise eingeführt. Dies wurde aus Kompatibilitätsgründen mit dem Szenario NZE («Net Zero by 2050») so gewählt, da die IEA in ihrem Szenario NZE für die Dekarbonisierung des Energiebereichs neben den Synfuels vor allem BECCS und DACCS einsetzt.

**) Die Basisannahmen werden hier für das Jahr 2060 (letztes Jahr der Berechnung mit dem höchsten NET-Bedarf) ausgewiesen (vgl. Abbildung B-24).

	Potenziale in % der Basisannahmen			Kosten in % der Basisannahmen		
	Tief	Basis- annahmen	Hoch	Tief	Basis- annahmen	Hoch
BECCS	19%	100%	187%	67%	100%	133%
DACCS	19%	100%	187%	34%	100%	138%
Beschleunigte Verwitterung	100%	100%	232%	38%	100%	154%
Pflanzkohle	87%	100%	348%	38%	100%	150%
Total	42%	100%	209%			

Im Rahmen der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse wird untersucht, welche Auswirkungen tiefere oder höhere NET-Potenziale bzw. tiefere oder höhere NET-Kosten hätten. Die Bandbreiten für die Sensitivitäten «**Tief**» und «**Hoch**» wurden der internationalen Literatur entnommen (vgl. dazu Abbildung B-22). Die untenstehende Tabelle in der Abbildung B-22 zeigt die in den

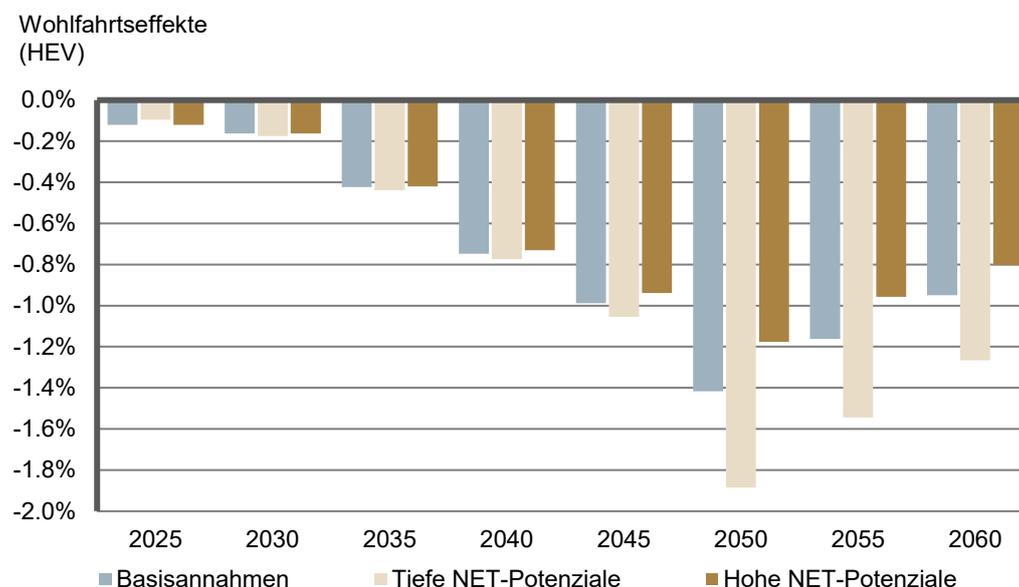
Sensitivitäten «Tief» und «Hoch» unterstellten Potenziale und Kosten in % der Basisannahmen. Diese Sensitivitätsannahmen gelten für alle Regionen und mit kleineren Abweichungen auch für die Schweiz.⁹¹

8.2.1 Auswirkung höherer und tieferer NET-Potenziale

Die Abbildung 8-9 zeigt, dass die zur Verfügung stehenden globalen NET-Potenziale einen grossen Einfluss auf die Wohlfahrt haben. Dies insbesondere in den Jahren ab 2050, wenn die Schweiz und die EU ihre Netto-Null-Ziele erreicht haben, die anderen Regionen ihr Energiesystem vollständig dekarbonisiert haben und bis 2070 auch ihre nicht-energiebedingten Treibhausgasemissionen auf Netto-Null reduzieren.

Für die Schweiz zeigt sich für das Jahr 2050, dass bei einem beschränkten globalen NET-Potenzial gemäss Sensitivität Tief die negativen Wohlfahrtseffekte von -1.42% auf -1.89%, also um -0.47 Prozentpunkte, zunehmen. Dieser zusätzliche Wohlfahrtsverlust ist zu mehr als der Hälfte auf die veränderten Terms-of-Trade zurückzuführen, denn das beschränkte globale NET-Potenzial verteuert nicht nur für die Schweiz, sondern für alle Regionen die Erreichung der Netto-Null-Ziele. Umgekehrt gilt, dass wenn mehr NET-Potenzial zur Verfügung steht, die Wohlfahrtsverluste geringer ausfallen: Anstelle von -1.42% müsste die Schweiz im Jahr nur noch mit einem Wohlfahrtseffekt von -1.18% rechnen. Mit einem höheren globalen NET-Potenzial könnten in der Schweiz für das Jahr 2050 die Wohlfahrtsverluste um 0.24% gemindert werden.

Abbildung 8-9: Wohlfahrtseffekte tiefer und hoher NET-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



⁹¹ Die Energieperspektiven 2050+ gehen davon aus, dass die Schweiz ihre Negativemissionstechnologien zum grössten Teil im Ausland „einkauft“. Unterstellt wurden dabei DACCS. Für die Sensitivitätsanalyse unterstellen wir bei der Schweiz bei den NET-Kosten ebenfalls die Bandbreite für DACCS. Bei den NET-Potenzialen gehen wir aber für die Schweiz von der Bandbreite des Totals aller NET-Potenziale aus: Also für die Sensitivität Tief wird mit 42% des Potenzials der Basisannahmen gerechnet, für die Sensitivität Hoch mit 209%.

Die Abbildung 8-10 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrößen für die unterschiedlichen NET-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2050 und 2060. Generell zeigt sich bei höheren globalen NET-Potenzialen eine höhere Wirtschaftsaktivität, da das Erreichen des Netto-Null-Ziels mit weniger Kosten verbunden ist. Dies illustrieren auch die Grenzvermeidungskosten, die bei höheren NET-Potenzialen im Vergleich zu den Basisannahmen deutlich sinken. Entsprechend hat ein tieferes globales NET-Potenzial eine im Vergleich zu den Basisannahmen tiefere Wirtschaftsaktivität zur Folge.

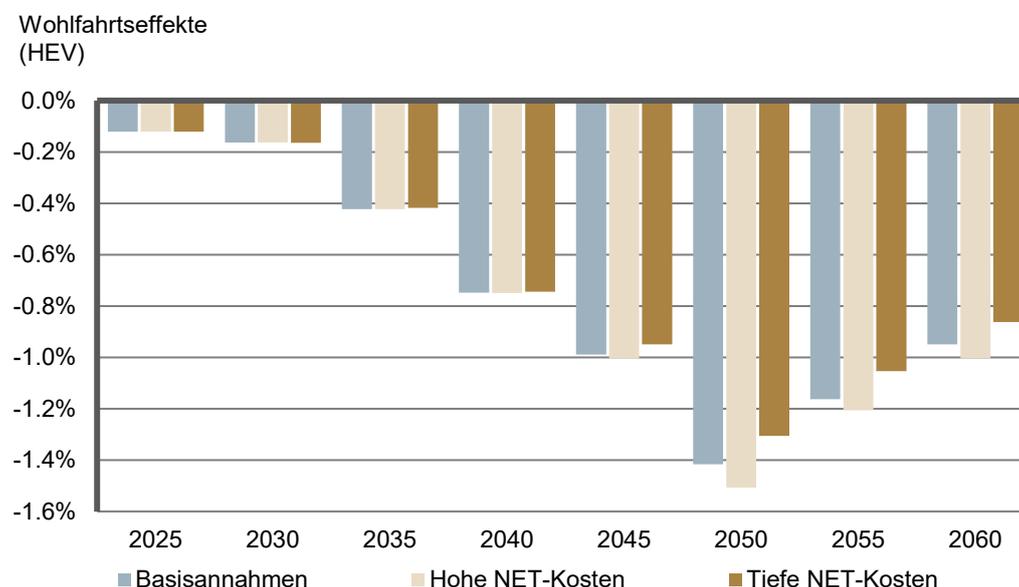
Abbildung 8-10: Auswirkungen tiefer und hoher NET-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrößen für die Jahre 2030, 2050 und 2060 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	NET-Potenziale			Veränderung		NET-Potenziale			Veränderung	
	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-2,23%	-3,66%	-1,89%	-1,43%	0,34%	-2,24%	-2,98%	-1,65%	-0,75%	0,59%
Privater Konsum	-2,48%	-3,76%	-2,15%	-1,28%	0,33%	-2,08%	-2,84%	-1,62%	-0,76%	0,46%
Investitionen	0,77%	1,34%	0,42%	0,57%	-0,35%	0,42%	0,67%	0,23%	0,25%	-0,20%
Exporte	-2,82%	-4,45%	-2,74%	-1,63%	0,08%	-3,93%	-4,56%	-3,02%	-0,63%	0,91%
Importe	-1,18%	-1,42%	-1,57%	-0,24%	-0,39%	-2,19%	-2,20%	-1,87%	-0,01%	0,31%
Faktorpreise										
Löhne	-1,87%	-3,08%	-1,64%	-1,20%	0,23%	-1,80%	-2,45%	-1,34%	-0,65%	0,46%
Kapital (Total Inland)	1,33%	1,89%	0,91%	0,56%	-0,42%	0,91%	0,98%	0,73%	0,07%	-0,18%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	0,11%	-0,27%	0,01%	-0,38%	-0,10%	-0,31%	-0,47%	-0,13%	-0,16%	0,18%
Kapital (Total Inland)	-3,06%	-5,29%	-2,36%	-2,23%	0,71%	-3,07%	-4,08%	-2,10%	-1,01%	0,97%
Kapitalexporte	5,90%	9,82%	4,45%	3,92%	-1,45%	6,00%	7,36%	4,34%	1,36%	-1,66%
Kapitalimporte	-4,26%	-7,69%	-3,40%	-3,44%	0,86%	-4,83%	-6,49%	-3,26%	-1,66%	1,57%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-1,77%	-3,34%	-1,63%	-1,57%	0,13%	-2,10%	-2,91%	-1,47%	-0,81%	0,63%
Heimisches Kapital + Exporte	1,33%	1,86%	0,93%	0,53%	-0,40%	1,13%	1,10%	0,94%	-0,02%	-0,19%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-1,42%	-1,89%	-1,18%	-0,47%	0,24%	-0,95%	-1,27%	-0,80%	-0,32%	0,14%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-1,39%	-1,86%	-1,16%	-0,46%	0,24%	-0,94%	-1,25%	-0,80%	-0,31%	0,14%
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2										
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	776	2'021	345	1'245	-431	753	1'394	276	641	-477

8.2.2 Auswirkungen höherer und tieferer NET-Kosten

Die Abbildung 8-11 zeigt, dass die globalen NET-Kosten einen Einfluss auf die Wohlfahrt der Schweiz haben. Der Einfluss der NET-Kosten auf die Wohlfahrt ist allerdings deutlich weniger ausgeprägt als der Einfluss der NET-Potenziale (vgl. dazu die Abbildung 8-11 mit der Abbildung 8-9): Für die Schweiz zeigt sich für das Jahr 2050, dass bei hohen globalen NET-Kosten gemäss Sensitivität Hoch die Wohlfahrtsverluste von -1.42% auf -1.51%, also um -0.09%, zunehmen. Umgekehrt gilt, dass wenn die globalen NET-Kosten tiefer sind, die Wohlfahrtsverluste geringer ausfallen: Anstelle von -1.42% müsste die Schweiz im Jahr mit einem Wohlfahrtsverlust von -1.31% rechnen.

Abbildung 8-11: Wohlfahrtseffekte tiefer und hoher NET-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



Die Abbildung 8-12 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrössen für die unterschiedlichen NET-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2050 und 2060. Generell zeigen sich bei tieferen globalen NET-Kosten eine höhere Wirtschaftsaktivität, da das Erreichen des Netto-Null-Ziels mit weniger Kosten verbunden ist. Allerdings verändern sich die Grenzvermeidungskosten nicht. Diese liegen deutlich über den NET-Kosten, die NET-Potenziale werden also vollständig ausgeschöpft. Dies erklärt auch, wieso eine Erhöhung der (zu) knappen NET-Potenziale einen deutlich positiveren Effekt auf die Wirtschaftsaktivität und die Wohlfahrt zeigt als tiefere NET-Kosten.

Abbildung 8-12: Auswirkungen tiefer und hoher NET-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrössen für die Jahre 2030, 2050 und 2060 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	NET-Kosten			Veränderung		NET-Kosten			Veränderung	
	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-2,23%	-2,17%	-2,28%	0,06%	-0,05%	-2,24%	-2,09%	-2,26%	0,15%	-0,02%
Privater Konsum	-2,48%	-2,36%	-2,59%	0,12%	-0,11%	-2,08%	-1,93%	-2,14%	0,15%	-0,06%
Investitionen	0,77%	0,73%	0,80%	-0,04%	0,03%	0,42%	0,32%	0,45%	-0,11%	0,02%
Exporte	-2,82%	-3,05%	-2,65%	-0,22%	0,17%	-3,93%	-3,74%	-3,81%	0,19%	0,11%
Importe	-1,18%	-1,46%	-0,98%	-0,28%	0,21%	-2,19%	-2,17%	-2,06%	0,01%	0,12%
Faktorpreise										
Löhne	-1,87%	-1,82%	-1,92%	0,06%	-0,05%	-1,80%	-1,67%	-1,83%	0,13%	-0,03%
Kapital (Total Inland)	1,33%	1,26%	1,37%	-0,07%	0,04%	0,91%	0,68%	0,92%	-0,23%	0,01%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	0,11%	0,04%	0,16%	-0,07%	0,05%	-0,31%	-0,32%	-0,28%	-0,01%	0,03%
Kapital (Total Inland)	-3,06%	-3,04%	-3,08%	0,02%	-0,01%	-3,07%	-2,79%	-3,07%	0,28%	0,00%
Kapitalexporte	5,90%	5,79%	5,92%	-0,10%	0,03%	6,00%	5,27%	5,97%	-0,73%	-0,03%
Kapitalimporte	-4,26%	-4,28%	-4,24%	-0,03%	0,02%	-4,83%	-4,52%	-4,81%	0,31%	0,03%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-1,77%	-1,78%	-1,76%	-0,01%	0,00%	-2,10%	-1,99%	-2,10%	0,12%	0,00%
Heimisches Kapital + Exporte	1,33%	1,27%	1,36%	-0,07%	0,02%	1,13%	0,87%	1,13%	-0,26%	0,00%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-1,42%	-1,31%	-1,51%	0,11%	-0,09%	-0,95%	-0,86%	-1,00%	0,09%	-0,05%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-1,39%	-1,28%	-1,48%	0,11%	-0,09%	-0,94%	-0,85%	-0,99%	0,09%	-0,05%
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2										
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	776	776	776	0	-0	753	753	753	0	0

Fazit: Die globalen Potenziale für NET haben einen grossen Einfluss auf die Wohlfahrtseffekte einer Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null. Je grösser das verfügbare NET-Potenzial, desto niedriger die Wohlfahrtsverlust. Auch tiefe NET-Kosten können die Wohlfahrtsverluste einer Netto-Null-Klimapolitik mindern – die NET-Potenziale haben aber einen grösseren Einfluss auf die Wohlfahrtseffekte und die volkswirtschaftlichen Makrogrössen als die NET-Kosten.

8.3 Auswirkungen veränderter Synfuels-Potenziale und -Kosten

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurden die Klimaziele unter Ausschluss des internationalen Luft- und Schiffsverkehrs definiert. Entsprechend wurden nur die Synfuel-Potenziale für industrielle Prozesse und den Landverkehr eingesetzt (vgl. Anhang B, Kapitel B3). In den Resultatpräsentationen der Kapitel 5 bis 7 wurde für die Schweiz der maximale Synfuel-Einsatz und die Synfuel-Kosten gemäss Szenario ZERO der Energieperspektiven 2050+ unterstellt (Abbildung B-16). Die in den bisher vorgestellten Resultaten maximal einzusetzenden globalen Synfuel-Kapazitäten und Synfuel-Kosten sind der Abbildung B-30 und Abbildung B-31 zu entnehmen.

Im Rahmen der nachfolgenden Sensitivitätsanalyse wird untersucht, welche Auswirkungen tiefere oder höhere Synfuel-Potenziale bzw. tiefere oder höhere Synfuel-Kosten hätten. Für die Bandbreiten der Sensitivitäten «Tief» und «Hoch» wurden eigene Annahmen getroffen: Die Sensitivität Tief geht von der Hälfte der Potenziale und Kosten aus im Vergleich zu den Basisannahmen. In der Sensitivität Hoch wird das Synfuel-Potenzial verdoppelt und die Kosten – analog zu den DACCS-Kosten – um 38% im Vergleich zu den Basisannahmen erhöht. Die Abbildung 8-13 zeigt die in den Sensitivitäten «Tief» und «Hoch» unterstellten Potenziale und Kosten in % der Basisannahmen. Diese Sensitivitätsannahmen gelten für alle Regionen und für die Schweiz.

Abbildung 8-13: Bandbreiten für die Sensitivitätsanalyse der Synfuel-Potenziale und -Kosten

	Potenziale in % der Basisannahmen			Kosten in % der Basisannahmen		
	Tief	Basis- annahmen	Hoch	Tief	Basis- annahmen	Hoch
PtH2	50%	100%	200%	50%	100%	138%
PtL *)	50%	100%	200%	50%	100%	138%

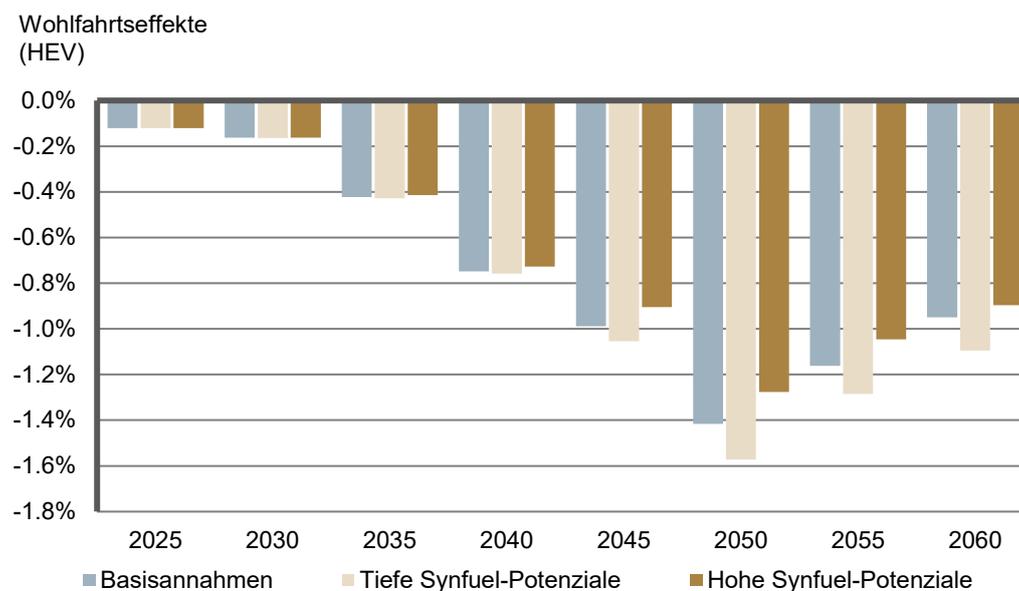
*) PtL-Kapazitätsrestriktionen gelten nur für die Schweiz. Die anderen Regionen unterliegen keinen PtL-Kapazitätsbeschränkungen (vgl. Abbildung B-30).

8.3.1 Auswirkungen höherer und tieferer Synfuel-Potenziale

Die Abbildung 8-14 zeigt, dass die zur Verfügung stehenden Synfuel-Potenziale einen spürbaren Einfluss auf die Wohlfahrt haben. Für die Schweiz zeigt sich für das Jahr 2050, dass bei tieferen Synfuel-Potenzialen die Wohlfahrtsverluste von -1.42% auf -1.57%, also um -0.16%, zunehmen. Dieser zusätzliche Wohlfahrtsverlust von -0.16% ist fast ausschliesslich auf die Erhöhung der inländischen Kosten zur Erreichung des Netto-Null-Ziels zurückzuführen. Da die Synfuels relativ hohe Kosten aufweisen und die Grenzvermeidungskosten in den übrigen Regionen nicht viel über oder sogar unter den Synfuel-Kosten liegen, sind die Rückwirkungen über veränderte Terms-of-Trade sehr viel kleiner als bspw. bei den vorgängig diskutierten NET-Potenzialen.

Umgekehrt gilt, dass wenn mehr Synfuel-Potenzial zur Verfügung steht, die Wohlfahrtsverluste geringer ausfallen: Anstelle von -1.42% müsste die Schweiz im Jahr nur noch mit einem Wohlfahrtsverlust von -1.28% rechnen. Mit einem höheren Synfuel-Potenzial könnten in der Schweiz für das Jahr 2050 die Wohlfahrtsverluste also um 0.14% gemindert werden.

Abbildung 8-14: Wohlfahrtseffekte tiefer und hoher Synfuel-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



Die Abbildung 8-15 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrößen für die unterschiedlichen Synfuel-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2050 und 2060. Generell zeigen sich bei höheren Synfuel-Potenzialen eine höhere Wirtschaftsaktivität, da das Erreichen des Netto-Null-Ziels mit weniger Kosten verbunden ist. Dies illustrieren auch die Grenzvermeidungskosten, die bei höheren Synfuel-Potenzialen im Vergleich zu den Basisannahmen deutlich sinken. Entsprechend hat ein tieferes Synfuel-Potenzial eine im Vergleich zu den Basisannahmen tiefere Wirtschaftsaktivität zur Folge.

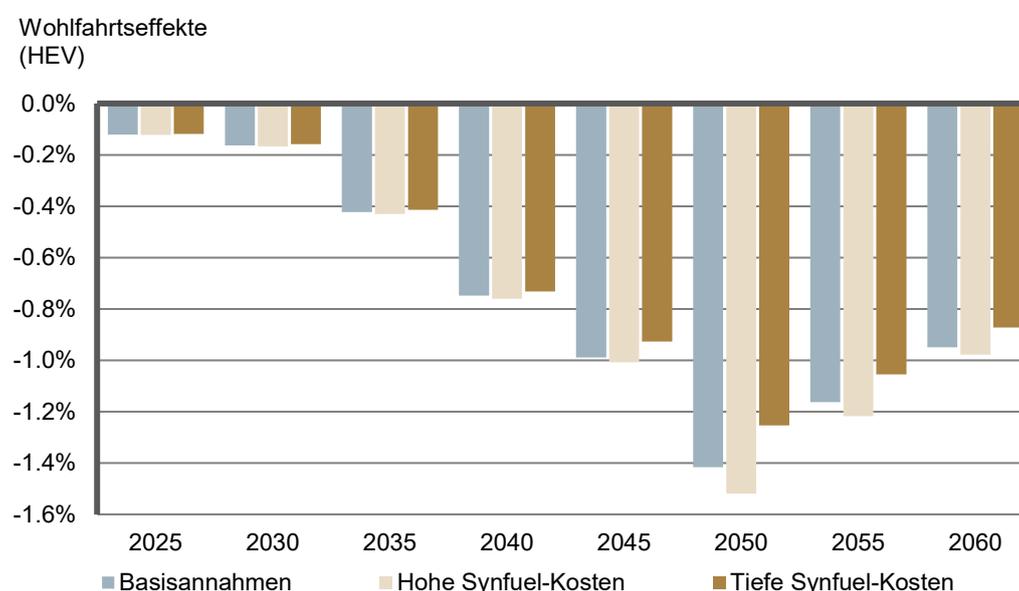
Abbildung 8-15: Auswirkungen tiefer und hoher Synfuel-Potenziale im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrößen für die Jahre 2050 und 2060 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	Synfuel-Potenziale			Veränderung		Synfuel-Potenziale			Veränderung	
	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-2,23%	-3,15%	-2,19%	-0,91%	0,04%	-2,24%	-2,80%	-1,84%	-0,57%	0,40%
Privater Konsum	-2,48%	-3,22%	-2,35%	-0,74%	0,13%	-2,08%	-2,56%	-1,81%	-0,48%	0,27%
Investitionen	0,77%	1,25%	0,72%	0,48%	-0,05%	0,42%	0,85%	0,21%	0,42%	-0,21%
Exporte	-2,82%	-3,79%	-3,21%	-0,97%	-0,38%	-3,93%	-4,43%	-3,36%	-0,50%	0,57%
Importe	-1,18%	-1,15%	-1,61%	0,03%	-0,43%	-2,19%	-1,99%	-2,09%	0,20%	0,09%
Faktorpreise										
Löhne	-1,87%	-2,68%	-1,83%	-0,81%	0,04%	-1,80%	-2,30%	-1,48%	-0,50%	0,32%
Kapital (Total Inland)	1,33%	1,80%	1,24%	0,47%	-0,09%	0,91%	1,38%	0,69%	0,47%	-0,22%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	0,11%	-0,30%	0,00%	-0,41%	-0,11%	-0,31%	-0,50%	-0,15%	-0,19%	0,16%
Kapital (Total Inland)	-3,06%	-4,61%	-3,09%	-1,55%	-0,02%	-3,07%	-4,15%	-2,33%	-1,09%	0,74%
Kapitalexporte	5,90%	8,76%	5,84%	2,86%	-0,05%	6,00%	8,05%	4,62%	2,05%	-1,38%
Kapitalimporte	-4,26%	-6,59%	-4,39%	-2,34%	-0,13%	-4,83%	-6,31%	-3,70%	-1,47%	1,13%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-1,77%	-2,97%	-1,83%	-1,21%	-0,06%	-2,10%	-2,79%	-1,63%	-0,69%	0,48%
Heimisches Kapital + Exporte	1,33%	1,80%	1,24%	0,47%	-0,09%	1,13%	1,56%	0,90%	0,43%	-0,23%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-1,42%	-1,57%	-1,28%	-0,16%	0,14%	-0,95%	-1,09%	-0,90%	-0,15%	0,05%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-1,39%	-1,55%	-1,26%	-0,15%	0,14%	-0,94%	-1,08%	-0,89%	-0,14%	0,05%
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2										
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	776	1'898	776	1'122	-0	753	1'589	299	835	-455

8.3.2 Auswirkungen höherer und tieferer Synfuel-Kosten

Die Abbildung 8-16 zeigt, dass die Synfuel-Kosten einen Einfluss auf die Wohlfahrt der Schweiz haben. Der Einfluss der Synfuel-Kosten auf die Wohlfahrt ist in etwa gleich gross wie der Einfluss der Synfuel-Potenziale und auch etwa gleich gross wie der Einfluss der NET-Kosten (vgl. dazu die Abbildung 8-16 mit der Abbildung 8-14 bzw. mit der Abbildung 8-12): Für die Schweiz zeigt sich für das Jahr 2050, dass bei hohen Synfuel-Kosten gemäss Sensitivität Hoch die Wohlfahrtsverluste von -1.42% auf -1.52%, also um -0.10%, zunehmen. Umgekehrt gilt, dass wenn die Synfuel-Kosten tiefer sind, die Wohlfahrtsverluste geringer ausfallen: Anstelle von -1.42% müsste die Schweiz im Jahr mit einem Wohlfahrtsverlust von -1.25% rechnen.

Abbildung 8-16: Wohlfahrtseffekte tiefer und hoher Synfuel-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2025 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



Die Abbildung 8-17 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrössen für die unterschiedlichen Synfuel-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich für die ausgewählten Jahre 2050 und 2060. Generell zeigt sich bei tieferen Synfuel-Kosten eine höhere Wirtschaftsaktivität, da das Erreichen des Netto-Null-Ziels mit weniger Kosten verbunden ist.

Abbildung 8-17: Auswirkungen tiefer und hoher Synfuel-Kosten im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich auf ausgewählte Makrogrößen für die Jahre 2050 und 2060 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

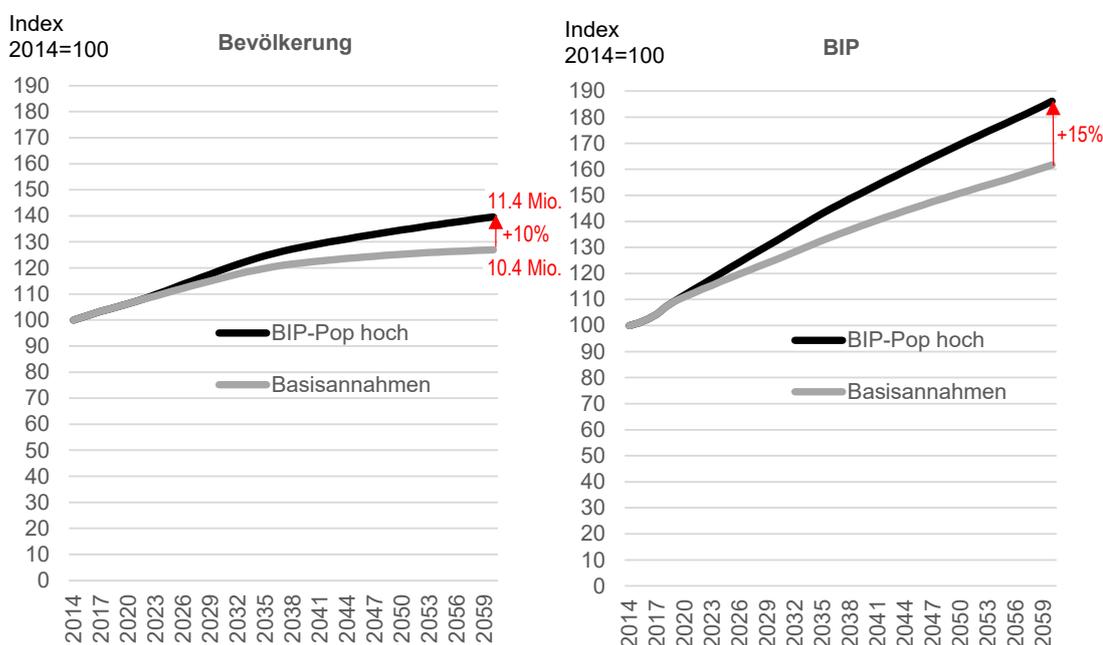
	Synfuel-Kosten			Veränderung		Synfuel-Kosten			Veränderung	
	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis	Basis	Tief	Hoch	Tief-Basis	Hoch-Basis
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Wirtschaftliche Aktivität										
BIP-Niveau-Effekt	-2,23%	-2,13%	-2,42%	0,10%	-0,19%	-2,24%	-2,07%	-2,38%	0,17%	-0,15%
Privater Konsum	-2,48%	-2,31%	-2,67%	0,17%	-0,18%	-2,08%	-1,95%	-2,18%	0,13%	-0,10%
Investitionen	0,77%	0,71%	0,96%	-0,06%	0,19%	0,42%	0,33%	0,56%	-0,09%	0,13%
Exporte	-2,82%	-3,12%	-2,78%	-0,29%	0,04%	-3,93%	-3,81%	-4,07%	0,12%	-0,14%
Importe	-1,18%	-1,60%	-0,87%	-0,42%	0,31%	-2,19%	-2,29%	-2,12%	-0,10%	0,07%
Faktorpreise										
Löhne	-1,87%	-1,80%	-2,03%	0,07%	-0,16%	-1,80%	-1,70%	-1,92%	0,11%	-0,12%
Kapital (Total Inland)	1,33%	1,22%	1,57%	-0,11%	0,24%	0,91%	0,80%	1,05%	-0,11%	0,14%
Faktoreinsatz										
Beschäftigung	0,11%	-0,01%	0,11%	-0,11%	0,00%	-0,31%	-0,32%	-0,35%	-0,01%	-0,05%
Kapital (Total Inland)	-3,06%	-2,98%	-3,42%	0,09%	-0,36%	-3,07%	-2,78%	-3,37%	0,29%	-0,30%
Kapitalexporte	5,90%	5,63%	6,69%	-0,26%	0,79%	6,00%	5,41%	6,63%	-0,59%	0,63%
Kapitalimporte	-4,26%	-4,20%	-4,68%	0,06%	-0,43%	-4,83%	-4,40%	-5,25%	0,43%	-0,42%
Faktoreinkommen										
Arbeit	-1,77%	-1,81%	-1,92%	-0,04%	-0,15%	-2,10%	-2,01%	-2,27%	0,10%	-0,16%
Heimisches Kapital + Exporte	1,33%	1,22%	1,57%	-0,11%	0,23%	1,13%	1,00%	1,28%	-0,12%	0,15%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)										
Wohlfahrt (HEV)	-1,42%	-1,25%	-1,52%	0,16%	-0,10%	-0,95%	-0,87%	-0,98%	0,08%	-0,03%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-1,39%	-1,23%	-1,49%	0,16%	-0,10%	-0,94%	-0,86%	-0,97%	0,08%	-0,03%
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2										
	2050	2050	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	776	716	1'049	-60	272	753	566	983	-187	230

Fazit: Ein höheres Synfuel Potenzial oder tiefere Synfuel-Kosten können die Wohlfahrtsverluste der Schweizer Netto-Null-Klimapolitik vermindern.

8.4 Auswirkungen höheres Bevölkerungs- und BIP-Wachstum in der Schweiz

In den bisherigen Resultatpräsentationen der Kapitel 5 bis 7 und 8.1 bis 8.3 wurde in Übereinstimmung mit den Energieperspektiven 2050+ eine mittlere Bevölkerungsentwicklung gemäss den Bevölkerungsszenarien des Bundesamtes für Statistik unterstellt. Nachfolgend wird aufgezeigt, mit welchen Auswirkungen zu rechnen ist, wenn die Bevölkerung und das Bruttoinlandsprodukt stärker wachsen als in den bisher unterstellten Basisannahmen. Die nachfolgende Abbildung 8-18 zeigt die Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung im Vergleich mit der unterstellten Entwicklung in den Basisannahmen.⁹²

Abbildung 8-18: Bevölkerungs- und BIP-Entwicklung in der Sensitivität «BIP-Pop hoch»



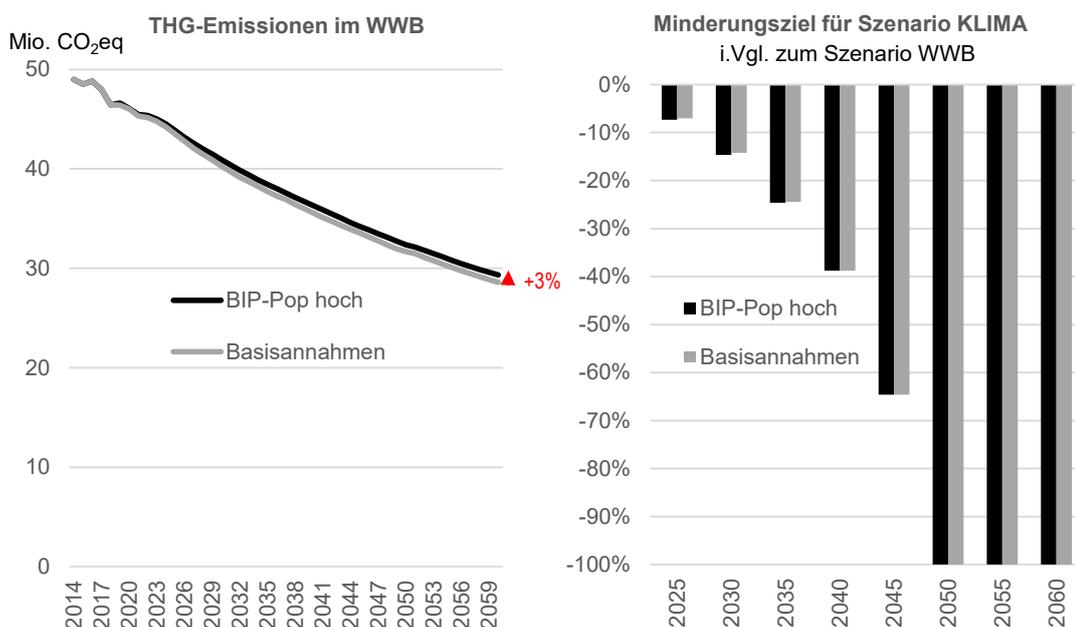
Das unterstellte stärkere Bevölkerungswachstum in der Sensitivität BIP-Pop hoch lässt die Bevölkerung im Jahr 2060 von 10.4 Millionen um insgesamt 10 Prozent auf 11.4 Millionen ansteigen. Beim BIP wird aufgrund des anteilmässig stärkeren Wachstums der Erwerbsbevölkerung in der Sensitivität BIP-Pop hoch mit einer Zunahme gegenüber den Basisannahmen von 15 Prozent gerechnet.

Die Treibhausgasemissionen steigen bis 2060 gemäss den Resultaten der Energiesystemmodelle im Szenario WWB aufgrund der +10% höheren Bevölkerung und des höheren BIPs nur um rund +3% (vgl. Abbildung 8-19). Die relativen Minderungsziele sind in der Dekarbonisierungsphase bis 2050 nur leicht ambitionierter bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum.

⁹² Für die Herleitung vgl. Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021), Energieperspektiven 2050+ - Gesamtdokumentation der Arbeiten. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Kapitel 11.1.1.

Ab 2050 ist das Netto-Null-Ziel auch bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum zu erreichen, d.h. relativ ist auch hier mit einer Treibhausgasminderung gegenüber dem Szenario WWB von -100% zu rechnen. Absolut gesehen ist aber im Jahr 2060 rund -3% mehr zu mindern, da bei einem höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum die THG-Emissionen im Szenario WWB um +3% höher liegen als beim Bevölkerungs- und BIP-Wachstum gemäss Basisannahmen.

Abbildung 8-19: Entwicklung der Treibhausgas-Emissionen und Minderungsziele in der Sensitivität «BIP-Pop hoch»

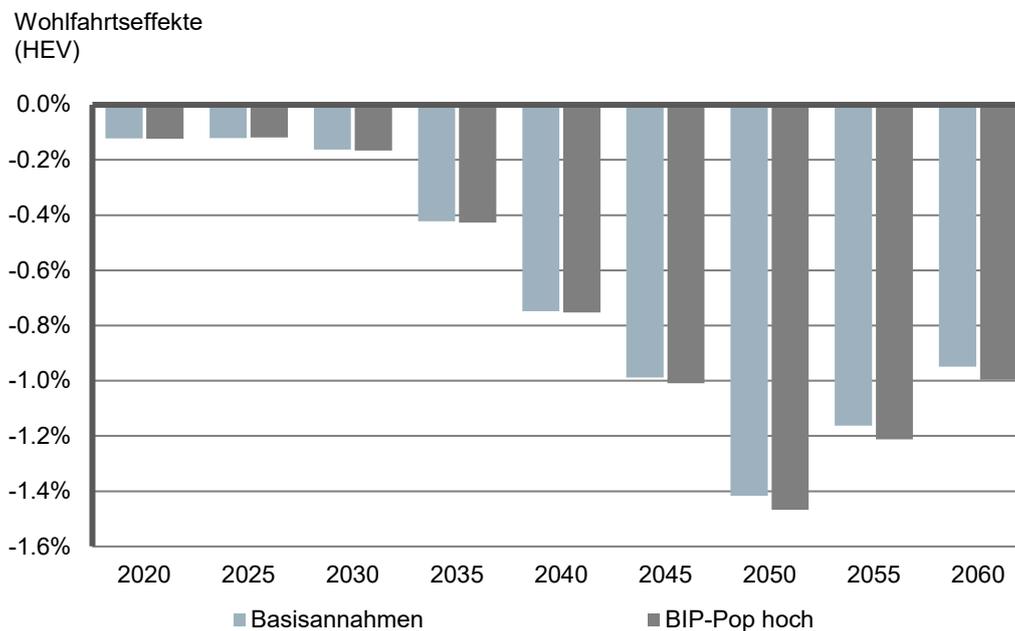


Zu beachten ist, dass sich die beiden Simulationen – einmal mit den Basisannahmen und das andere Mal mit den Annahmen gemäss BIP-Pop hoch – auch in Bezug auf die Vorgaben der Technologieportfolios, der NET&CCS-Potenziale usw. unterscheiden (vgl. Kapitel B5 im Anhang B). Anzumerken ist, dass der höhere Beschäftigungs- und BIP-Zuwachs selbstverständlich sowohl im WWB als auch im Szenario KLIMA MIX 1 gilt.

Auswirkungen eines höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstums auf die Wohlfahrt

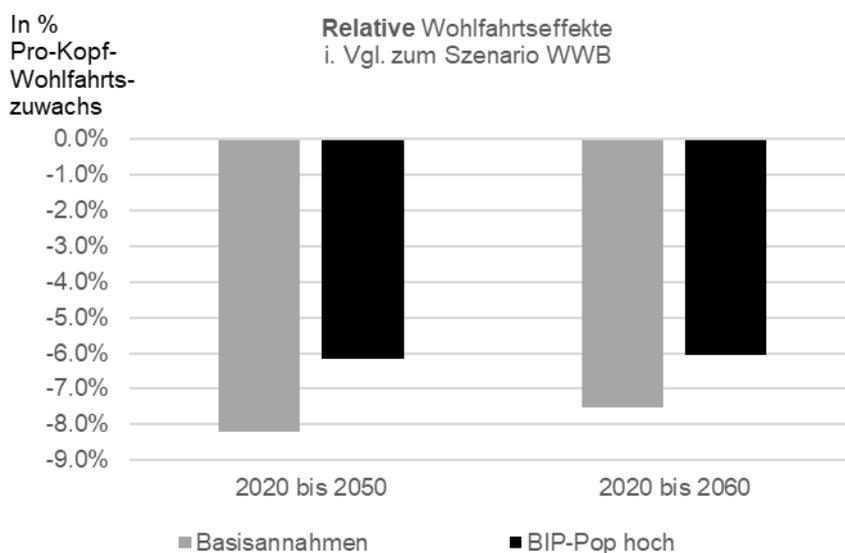
Die Abbildung 8-20 zeigt, dass bei einem höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstum die Wohlfahrtseinbußen ansteigen. Dies ist u.a. darauf zurückzuführen, dass absolut gesehen aufgrund der um 3% höheren Treibhausgasemissionen im Szenario WWB die Treibhausgas-Minderung entsprechend höher ist, die ausländischen Negativemissionstechnologien aber nicht mit dem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum zunehmen.

Abbildung 8-20: Wohlfahrtseffekte eines höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstums im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2020 bis 2060 (Basisszenario KLIMA MIX1)



Beim Vergleich zweier Szenarien mit unterschiedlichem Bevölkerungswachstum ist eine Pro-Kopf-Betrachtung aufschlussreicher. Die nachfolgende Abbildung 8-21 zeigt wie viel Prozent vom zusätzlichen Wirtschaftswachstum ab 2020 bis 2050 für die Dekarbonisierung eingesetzt werden muss: Bei einem höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstum ist 6.2% des zusätzlichen Wirtschaftswachstum für die Dekarbonisierung einzusetzen – bei tieferem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum ist hingegen mehr – nämlich 8.2% des zusätzlichen Wohlfahrtswachstums – für die Dekarbonisierung einzusetzen.

Abbildung 8-21: Pro-Kopf-Wohlfahrtseffekte eine höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstums im Vergleich zum Szenario WWB für die Jahre 2020 bis 2050 bzw. 2060 (Basis Szenario KLIMA MIX1)



Die Abbildung 8-22 zeigt die Auswirkungen auf die zentralen Makrogrössen bei einem höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstum gemäss Sensitivität BIP-Pop hoch im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich mit dem tieferen Bevölkerungs- und BIP-Wachstum gemäss Basisannahmen für die ausgewählten Jahre 2030, 2050 und 2060. Generell zeigen sich bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum unter den unterstellten Annahmen gemäss Sensitivität BIP-Pop hoch relativ stärkere negative Reaktionen auf die Wirtschaftsaktivität, da das Erreichen des Netto-Null-Ziels mit höheren Kosten verbunden ist.

Fazit: Mit höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum steigen die Kosten für die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Dies bedeutet aber nicht, dass die Bevölkerung bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum durch die Dekarbonisierung stärker belastet wird: Absolut gesehen steigen zwar die Pro-Kopf-Kosten, aber es muss bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum relativ weniger vom zusätzlichen Wohlfahrtszuwachs für die Dekarbonisierung aufgewendet werden.

Abbildung 8-22: Auswirkungen eines höheren Bevölkerungs- und BIP-Wachstums im Vergleich zum Szenario WWB und im Quervergleich mit einem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum gemäss Basisannahmen auf ausgewählte Makrogrössen für die Jahre 2030, 2050 und 2060 (Basisszenario KLIMA MIX 1)

	BIP Bevölkerung			Ver-änderung			BIP Bevölkerung			Ver-änderung			BIP Bevölkerung			Ver-änderung		
	Basis	hoch	hoch-Basis	Basis	hoch	hoch-Basis	Basis	hoch	hoch-Basis	Basis	hoch	hoch-Basis	Basis	hoch	hoch-Basis	Basis	hoch	hoch-Basis
	2030	2030	2030	2050	2050	2050	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060	2060
Wirtschaftliche Aktivität																		
BIP-Niveau-Effekt	-0.75%	-0.79%	-0.04%	-2.23%	-2.40%	-0.17%	-2.24%	-2.37%	-0.13%									
Privater Konsum	-0.76%	-0.79%	-0.03%	-2.48%	-2.66%	-0.18%	-2.08%	-2.23%	-0.15%									
Investitionen	-0.10%	-0.11%	-0.01%	0.77%	0.65%	-0.12%	0.42%	0.33%	-0.10%									
Exporte	-1.05%	-1.08%	-0.03%	-2.32%	-3.18%	-0.36%	-3.93%	-4.20%	-0.27%									
Importe	-0.68%	-0.68%	0.00%	-1.18%	-1.56%	-0.37%	-2.19%	-2.47%	-0.29%									
Faktorpreise																		
Löhne	-0.73%	-0.77%	-0.03%	-1.37%	-2.02%	-0.15%	-1.30%	-1.92%	-0.12%									
Kapital (Total Inland)	-0.24%	-0.25%	-0.01%	1.33%	1.18%	-0.15%	0.91%	0.79%	-0.12%									
Faktoreinsatz																		
Beschäftigung	-0.39%	-0.41%	-0.02%	0.11%	0.04%	-0.07%	-0.31%	-0.36%	-0.05%									
Kapital (Total Inland)	-0.67%	-0.72%	-0.05%	-3.06%	-3.13%	-0.06%	-3.07%	-3.11%	-0.04%									
Kapitalexporte	0.77%	0.83%	0.05%	5.90%	5.80%	-0.10%	6.00%	5.90%	-0.10%									
Kapitalimporte	-1.47%	-1.56%	-0.10%	-4.26%	-4.50%	-0.24%	-4.33%	-5.01%	-0.18%									
Faktoreinkommen																		
Arbeit	-1.12%	-1.18%	-0.06%	-1.77%	-1.99%	-0.22%	-2.10%	-2.28%	-0.18%									
Heimisches Kapital + Exporte	-0.22%	-0.23%	-0.01%	1.33%	1.17%	-0.16%	1.13%	1.00%	-0.13%									
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)																		
Wohlfahrt (HEV)	-0.16%	-0.17%	0.00%	-1.42%	-1.47%	-0.05%	-0.95%	-1.00%	-0.05%									
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0.16%	-0.16%	0.00%	-1.39%	-1.44%	-0.05%	-0.94%	-0.99%	-0.05%									
ETS-Preis, CO2-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2																		
	2030	2030	2030	2050	2050	2050	2060	2060	2060									
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	352	360	7	776	776	-0	753	754	0									

8.5 Sensitivitätsanalyse Modell-Parameter

Im Rahmen der vorliegenden Sensitivitätsanalyse untersuchen wir den Einfluss veränderter Elastizitäten, welche im Gleichgewichtsmodell unterstellt wurden. Nicht untersucht werden der Einfluss und die Wahl des Referenzszenarios „Weiter wie bisher“ auf die Resultate.

Der Einfluss geänderter Annahmen auf die Makrogrössen, die gesamtwirtschaftliche Wohlfahrt und die Grenzvermeidungskosten ist in den folgenden zwei Abbildungen für das Jahr 2030 (Abbildung 8-24) und das Jahr 2050 (Abbildung 8-25) dargestellt.

Internationale Kapitalmobilität

In den Basisannahmen haben wir internationale Kapitalmobilität bei Überschreiten einer Transaktionskostengrenze unterstellt. In den Basisannahmen wird also von einer unvollständigen Kapitalmobilität ausgegangen, was eine realistische Annahme ist.⁹³ Die Sensitivitätsrechnung mit (1) vollständiger internationaler Kapitalmobilität, also ohne Transaktionskostenhindernisse, und mit (2) keiner internationalen Kapitalmobilität zeigen kaum einen Einfluss auf die Gesamtwohlfahrt. Hingegen ergeben sich doch deutliche Unterschiede bei den Makrogrössen: Wird keine Kapitalmobilität unterstellt, so führt dies zu einer höheren Beschäftigung.

Auch wenn die Annahmen zur Kapitalmobilität keinen entscheidenden Einfluss auf die Gesamtwohlfahrt haben, ändern sich aber die sozialen Verteilungswirkungen je nach Ausprägung der unterstellten Modellannahmen merklich. Wie die Abbildung 8-23 zeigt, trifft dies ausgeprägt für das Jahr 2050 zu. Im Jahr 2050 ist unter den Basisannahmen mit unvollständiger Kapitalmobilität mit deutlich höheren Kapitalrenditen zu rechnen (+1.33% gemäss Abbildung 8-25), was diejenigen Haushalte begünstigt, die einen grösseren Anteil ihres Einkommens aus Kapitaleinkünften beziehen. Dies gilt generell für die reichsten Haushalte und die Rentnerhaushalte. Im hypothetischen Fall von keiner internationaler Kapitalmobilität würde die Kapitalrendite im Jahr 2050 um -0.24% sinken (vgl. Abbildung 8-25), was die reichsten Haushalte und die Rentnerhaushalte treffen würde. Das Umgekehrte gilt, wenn Kapital international völlig mobil wäre. In diesem Fall würden die reichsten Haushalte und die Rentnerhaushalte relativ zu den Basisannahmen besser gestellt. Da sich die Gesamtwohlfahrt durch veränderte Annahmen zur Kapitalmobilität nicht wesentlich ändert, würde die Schlechter- bzw. Besserstellung der reichen Haushalte und Rentnerhaushalte zugunsten bzw. zulasten der Haushalte gehen, die einen hohen Anteil Arbeitseinkommen aufweisen.

⁹³ Durch die seit den 1980er-Jahren schnell fortschreitende wirtschaftliche Integration der Weltwirtschaft hat sich das von Feldstein und Horioka (1979) gefundene Paradoxon, dass Kapital deutlich weniger mobil ist, als von der ökonomischen Theorie postuliert, stark relativiert (vgl. bspw. Blanchard O.J., Giavazzi F. (2002)). Kapital wurde also mobiler. Allerdings deuten die unterschiedlichen Kapitalrenditen zwischen den Ländern darauf hin, dass Kapital nicht vollständig mobil ist. Auch innerhalb der EU ist Kapital nur unvollständig mobil (vgl. bspw. Drakos A. A., Kouretas G.P. (2018)).

Abbildung 8-23: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf die Wohlfahrt einzelner Haushalte für unterschiedliche Annahmen zur internationalen Kapitalmobilität für die Jahre 2030 und 2050

	Basis- annahmen	Kapitalmobilität		Basis- annahmen	Kapitalmobilität	
		keine	volle		keine	volle
Jahr 2030						
Erwerbstätige Haushalte mit Kinder						
Kids1 ärmste 20%	-0.24%	-0.12%	-0.30%	-1.66%	-1.29%	-1.82%
Kids2 20%-40%	-0.24%	-0.11%	-0.29%	-1.69%	-1.31%	-1.85%
Kids3 40%-60%	-0.24%	-0.11%	-0.30%	-1.72%	-1.31%	-1.90%
Kids4 60%-80%	-0.23%	-0.09%	-0.29%	-1.67%	-1.25%	-1.84%
Kids5 reichste 20%	-0.17%	-0.08%	-0.21%	-1.53%	-1.33%	-1.62%
Erwerbstätige Haushalte ohne Kinder						
NoKids1 ärmste 20%	-0.26%	-0.16%	-0.30%	-1.58%	-1.31%	-1.71%
NoKids2 20%-40%	-0.26%	-0.14%	-0.31%	-1.65%	-1.32%	-1.79%
NoKids3 40%-60%	-0.25%	-0.13%	-0.30%	-1.65%	-1.32%	-1.79%
NoKids4 60%-80%	-0.22%	-0.11%	-0.28%	-1.63%	-1.29%	-1.77%
NoKids5 reichste 20%	-0.10%	-0.13%	-0.09%	-1.21%	-1.48%	-1.12%
Rentnerhaushalte						
Rentner1 ärmste 20%	0.06%	-0.15%	0.17%	-0.46%	-1.53%	0.03%
Rentner2 20%-40%	0.08%	0.01%	0.12%	-0.85%	-1.27%	-0.62%
Rentner3 40%-60%	0.07%	-0.01%	0.11%	-0.96%	-1.48%	-0.69%
Rentner4 60%-80%	0.04%	-0.06%	0.09%	-0.99%	-1.56%	-0.70%
Rentner5 reichste 20%	0.06%	-0.39%	0.25%	-0.38%	-2.49%	0.47%

Kein flexibles Arbeitsangebot

In den Basisannahmen haben wir ein flexibles Arbeitsangebot unterstellt (sog. «labor-leisure-choice»). Fehlt diese Arbeitsangebotsflexibilität, so ergeben sich höhere Wohlfahrtsverluste, die aber in erster Linie auf die geänderte Messgrösse für das Wohlfahrtsmass zurückzuführen sind.⁹⁴

Elastizitäten

Das Zusammenspiel zwischen Preis, Angebot und Nachfrage bestimmt in Gleichgewichtsmodellen die Wirkungen und Resultate. Elastizitäten geben an, wie stark Angebots- und Nachfragemengen auf eine Preisänderung reagieren. Im hier verwendeten Modell gibt es eine Vielzahl verschiedener Elastizitäten (vgl. Anhang B). Es werden die Sensitivität für jene Elastizitäten geprüft, die für die vorliegenden Fragestellungen besonders wichtig sind. Es sind dies die wichtigsten energiebezogenen Substitutionselastizitäten: Die Energieelastizitäten im Produktionsbereich, die Transportelastizitäten die KLEM-Elastizitäten (KLEM - Kapital-Arbeit-Energie-Vorleistungen) und die Handelselastizitäten (Armington- und Transformations-Elastizitäten).

⁹⁴ Bei flexiblem Arbeitsangebot fließen Konsum und Freizeit in das Wohlfahrtsmass ein, bei fixem Arbeitsangebot entspricht die Wohlfahrtsveränderung der realen Konsumveränderung.

Energie-, Transport- und KLEM-Elastizitäten

Die Energieelastizitäten in der Produktion, die Transportelastizitäten und auch die KLEM-Elastizitäten haben einen relativ geringen Einfluss auf die Resultate. Dies ist damit zu erklären, dass mit den vorgegebenen Heizungs-, Fahrzeug- und Stromproduktionstechnologien sowie den CCS- und NET-Potenzialen zu fix vorgegeben Kosten viele Substitutionsmöglichkeiten gar nicht mehr bestehen.

Handelselastizitäten

Bei der Analyse der Armingtonelastizitäten und den Transformationselastizitäten haben wir jeweils die Substitutionselastizität zwischen den Importen und der heimischen Produktion bzw. zwischen den Exporten und der Inlandproduktion um die Hälfte reduziert und um 50% erhöht. Die Resultate in Bezug auf die Armington- und Transformationselastizitäten ändern sich nur in engen Bandbreiten.

Fazit: Die Resultate des Modells werden stark dominiert von den exogenen Vorgaben zu den Heizungs-, Transport- und Stromproduktionstechnologien sowie den CCS- und NET-Potenzialen zu fixen Kosten. Änderungen in den Substitutionselastizitäten im Energie- und Transportbereich haben nur einen beschränkten Einfluss auf die Resultate. Die im Modell unterstellten Annahmen zur Kapitalmobilität haben einen geringen Einfluss auf die Gesamtwohlfahrt, aber einen merklichen auf die sozialen Verteilungseffekte.

Abbildung 8-24: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrössen und die Wohlfahrt für unterschiedliche Annahmen für die Modellparametrisierung für das Jahr 2030

	Basis- annahmen	Alternative Modellparameter													
		Kapitalmobilität		Flexibles Arbeits- angebot		Energieelastizitäten in der Produktion (Abbildung B-32)		Elastizitäten im Verkehrsbereich (Abbildung B-33)		KLEM-Elastizitäten (Abbildung B-35)		Armington- Elastizitäten (Abbildung B-36)		Transformationselasti- zitäten (Abbildung B-36)	
		keine	volle	nein	ja	scale=0.5	scale=1.25	scale=0.5	scale=1.5	scale=0.5	scale=1.5	scale=0.5	scale=1.5	scale=0.5	scale=1.5
	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	
Wirtschaftliche Aktivität															
BIP-Niveau-Effekt	-0.75%	-0.44%	-0.77%	-0.43%	-0.75%	-0.74%	-0.77%	-0.61%	-0.77%	-0.73%	-0.73%	-0.77%	-0.73%	-0.77%	
Privater Konsum	-0.76%	-0.67%	-0.86%	-0.32%	-0.75%	-0.75%	-0.77%	-0.59%	-0.75%	-0.76%	-0.73%	-0.77%	-0.73%	-0.77%	
Investitionen	-0.10%	-0.31%	-0.11%	-0.06%	-0.10%	-0.10%	-0.11%	-0.06%	-0.10%	-0.07%	-0.10%	-0.11%	-0.10%	-0.11%	
Exporte	-1.05%	-0.22%	-1.45%	-0.62%	-1.05%	-1.04%	-1.07%	-0.99%	-1.04%	-1.21%	-0.81%	-1.07%	-1.03%	-1.07%	
Importe	-0.68%	-0.29%	-0.88%	-0.36%	-0.68%	-0.68%	-0.69%	-0.67%	-0.68%	-0.77%	-0.42%	-0.69%	-0.68%	-0.69%	
Faktorpreise															
Löhne	-0.73%	-0.49%	-0.84%	-0.88%	-0.73%	-0.72%	-0.75%	-0.54%	-0.72%	-0.74%	-0.74%	-0.75%	-0.71%	-0.75%	
Kapital (Total Inland)	-0.24%	-0.69%	-0.46%	-0.14%	-0.24%	-0.24%	-0.25%	-0.21%	-0.24%	-0.28%	-0.28%	-0.23%	-0.23%	-0.25%	
Faktoreinsatz															
Beschäftigung	-0.39%	-0.29%	-0.45%	0.00%	-0.39%	-0.38%	-0.41%	-0.25%	-0.38%	-0.39%	-0.39%	-0.37%	-0.37%	-0.41%	
Kapital (Total Inland)	-0.67%	-0.03%	-0.98%	-0.42%	-0.67%	-0.66%	-0.69%	-0.62%	-0.66%	-0.75%	-0.63%	-0.65%	-0.65%	-0.69%	
Kapitalexporte	0.77%	0.00%	--	0.57%	0.77%	0.76%	0.79%	0.68%	0.76%	0.82%	0.81%	0.75%	0.75%	0.79%	
Kapitalimporte	-1.47%	0.00%	--	-0.94%	-1.47%	-1.44%	-1.51%	-1.34%	-1.44%	-1.39%	-1.36%	-1.41%	-1.41%	-1.51%	
Faktoreinkommen															
Arbeit	-1.12%	-0.78%	-1.29%	-0.88%	-1.12%	-1.10%	-1.16%	-0.78%	-1.10%	-1.16%	-1.13%	-1.08%	-1.08%	-1.16%	
Heimisches Kapital + Exporte	-0.22%	-0.72%	-0.92%	-0.10%	-0.22%	-0.22%	-0.23%	-0.21%	-0.22%	-0.24%	-0.21%	-0.21%	-0.21%	-0.23%	
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)															
Wohlfahrt (HEV)	-0.16%	-0.13%	-0.18%	-0.32%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	-0.17%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	-0.16%	
Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2															
	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	2030	
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	352	359	349	361	352	351	351	355	351	402	326	355	349	355	

Abbildung 8-25: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrößen und die Wohlfahrt für unterschiedliche Annahmen für die Modellparametrisierung für das Jahr 2050

Basis- annahmen	Alternative Modellparameter													
	Kapitalmobilität		Flexibles Arbeits- angebot		Energieelastizitäten in der Produktion (Abbildung B-32)		Elastizitäten im Verkehrsbereich (Abbildung B-33)		KLEIM-Elastizitäten (Abbildung B-35)		Armington- Elastizitäten (Abbildung B-36)		Transformationselasti- zitäten (Abbildung B-36)	
	keine	volle	nein	2050	scale=0.75	scale=1.25	scale=0.5	scale=2.0	scale=0.5	scale=1.5	scale=0.5	scale=1.5	scale=0.5	scale=1.5
Wirtschaftliche Aktivität	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
BIP-Niveau-Effekt	-2.23%	-2.54%	-2.31%	-2.18%	-2.31%	-2.26%	-2.22%	-2.26%	-2.39%	-2.23%	-2.20%	-2.27%	-2.20%	-2.26%
Privater Konsum	-2.48%	-2.80%	-2.53%	-2.44%	-2.53%	-2.47%	-2.51%	-2.51%	-3.12%	-2.14%	-2.48%	-2.48%	-2.45%	-2.51%
Investitionen	0.77%	1.15%	0.74%	0.82%	0.70%	0.78%	0.75%	0.75%	0.80%	0.73%	0.73%	0.81%	0.78%	0.75%
Exporte	-2.82%	-4.89%	-2.98%	-2.68%	-3.01%	-2.84%	-2.82%	-2.84%	-2.04%	-3.58%	-2.81%	-2.84%	-2.81%	-2.84%
Importe	-1.18%	-2.14%	-1.27%	-1.05%	-1.34%	-1.19%	-1.18%	-1.19%	-0.73%	-1.68%	-1.22%	-1.13%	-1.18%	-1.19%
Faktorpreise														
Löhne	-1.87%	-2.35%	-1.83%	-1.82%	-1.94%	-1.90%	-1.86%	-1.90%	-2.65%	-1.45%	-1.85%	-1.90%	-1.84%	-1.90%
Kapital (Total Inland)	-1.33%	-2.02%	-1.27%	-1.39%	-1.25%	-1.32%	-1.34%	-1.32%	-1.61%	-1.13%	-1.26%	-1.41%	-1.34%	-1.32%
Faktoreinsatz														
Beschäftigung	0.11%	-0.17%	0.00%	0.16%	0.03%	0.09%	0.11%	0.09%	-0.39%	0.38%	0.12%	0.09%	0.12%	0.09%
Kapital (Total Inland)	-3.06%	-4.48%	-3.09%	-3.03%	-3.12%	-3.08%	-3.06%	-3.08%	-2.43%	-3.60%	-2.96%	-3.17%	-3.05%	-3.08%
Kapitalexporte	5.90%	--	6.07%	5.91%	5.89%	5.90%	5.89%	5.90%	5.44%	6.35%	5.61%	6.22%	5.89%	5.90%
Kapitalimporte	-4.26%	--	-4.42%	-4.13%	-4.43%	-4.30%	-4.24%	-4.30%	-2.91%	-5.36%	-4.12%	-4.40%	-4.22%	-4.30%
Faktoreinkommen														
Arbeit	-1.77%	-2.51%	-1.83%	-1.66%	-1.91%	-1.81%	-1.75%	-1.81%	-3.03%	-1.08%	-1.73%	-1.81%	-1.73%	-1.81%
Heimisches Kapital + Exporte	1.33%	2.25%	1.35%	1.40%	1.25%	1.32%	1.34%	1.32%	1.70%	1.08%	1.24%	1.44%	1.35%	1.32%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)														
Wohlfahrt (HEV)	-1.42%	-1.42%	-2.53%	-1.42%	-1.40%	-1.43%	-1.41%	-1.43%	-1.46%	-1.39%	-1.42%	-1.41%	-1.41%	-1.43%
Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO2	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050	2050
	776	776	776	781	777	776	776	777	836	777	783	769	776	777
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO2-Abgabe oder Standards regulierten Bereich	776	776	776	781	777	776	776	777	836	777	783	769	776	777

9 Zusammenfassende Schlussfolgerungen

Die Energieperspektiven 2050+ zeigen auf, wie die Schweiz das Netto-Null-Ziel bis 2050 erreichen kann. Die vorliegende Studie untersucht, mit welchen volkswirtschaftlichen Auswirkungen die Schweiz zu rechnen hat, wenn sie koordiniert mit den übrigen Ländern ihre Treibhausgasemissionen auf Netto-Null absenken will. Die vorliegende Studie fokussiert somit auf die volkswirtschaftlichen Effekte ausgesuchter, stilisierter KLIMA-Szenarien, ohne den eigentlichen Primärnutzen – die Verminderungen der Schäden aus der Klimaerwärmung – zu quantifizieren. Die wichtigsten Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

Die Auswirkungen auf **Wohlfahrt** und **BIP** sind für die Schweiz zwar modellmässig deutlich feststellbar, halten sich aber für die Schweizer Volkswirtschaft als Ganzes in Grenzen: Die bis 2050 mit rund 1% jährlich weiter ansteigenden Wohlfahrt und BIP wachsen im Szenario KLIMA MIX 1 um 0.04% bzw. 0.07% weniger.

Die Gründe für diese moderaten volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind darin zu suchen, dass die erneuerbaren Energien im Vergleich zu den fossilen Energien immer konkurrenzfähiger werden und die heute noch hohen Kosten für CCS (Carbon Capture and Storage) und die NET (Negativemissionstechnologien) künftig immer günstiger werden.

- Der Umbau des Energiesystems führt zu einem spürbaren Anstieg des Investitionsanteils zulasten des privaten Konsums am BIP. Die Schweizer Wirtschaft wird aufgrund des Umbaus der Energiesystems anteilmässig mehr für den Schweizer Markt produzieren, d.h. die Nettoexporte gehen zurück. Von den klimapolitischen Massnahmen sind die **Löhne** stärker negativ betroffen als die **Kapitalrenditen**, welche sogar zunehmen. Der Grund dafür liegt darin, dass der Faktor Arbeit weniger flexibel reagiert als der relativ mobile Faktor Kapital.

Die Massnahmen zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bringen der Schweiz eine bessere Luftqualität und weniger Strassenlärm. Diese **Sekundäreffekte** können die Wohlfahrtsverluste der Klimapolitik zu etwa 10 Prozent kompensieren. Einer der Hauptgründe für diesen begrenzten Beitrag ist, dass auch in der «Weiter-wie-bisher»-Entwicklung schon viel erreicht wird und von der Annahme ausgegangen wird, dass in der «Weiter-wie-bisher»- und der «Netto-Null-Entwicklung» die Verkehrsleistungen dieselben sind.

Die Massnahmen zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null bringen auch **soziale Verteilungseffekte mit sich**: Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass bei den erwerbstätigen Haushalten die verschiedenen Einkommensklassen ähnlich stark betroffen sind. Generell fallen die Wohlfahrtsverluste für die erwerbstätigen Haushalte höher aus als für die Rentnerhaushalte. Zu beachten ist, dass im Jahre 2050 keine Pro-Kopf-Rückerstattungen aus der CO₂-Abgabe mehr stattfinden, da die Haushalte keine fossile Brennstoffe mehr einsetzen. Der soziale Ausgleich der Pro-Kopf-Rückerstattung entfällt somit.

Die Massnahmen zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null haben auch **Struktureffekte** zur Folge. Für die treibhausgasintensiven Sektoren – Landwirtschaft, ETS-Sektoren, Rest Industrie – nehmen die Produktionskosten zu, was zu einem Rückgang der heimischen Nachfrage führt. Als Folge davon sinkt auch das Produktionsniveau in diesen Sek-

toren. Die Nachfrage im Bau-Sektor und dem Energiesektor wird aufgrund der Dekarbonisierung des Schweizer Energiesystems zunehmen. In diese beiden Sektoren steigt denn auch das Produktionsniveau.

Die Wahl des **Instrumentenmix** zur Absenkung der Treibhausgasemissionen auf Netto-Null zeigt einen begrenzten Einfluss auf die Effizienz der Zielerreichung und die Wohlfahrt: die volkswirtschaftlichen Auswirkungen in den verschiedenen Szenarien KLIMA MIX 1 bis 3 liegen eng beieinander. Der effizienz- und wohlfahrtsmässig beste Instrumentenmix basiert vornehmlich auf marktbasierter Massnahmen (Szenario KLIMA MIX 2 mit ansteigenden CO₂-Abgaben auf fossile Brenn- und Treibstoffe). Die Vorteile einer solchen marktwirtschaftlichen Instrumentierung liegen im Weg zur Dekarbonisierung. In den entscheidenden Jahren, insbesondere 2045 und 2050, erfolgt die Dekarbonisierung effizienter als mit einem Fokus auf Emissions- und Effizienz-Standards wie in KLIMA MIX 3.

Eine die energieintensiven und handels exponierten Sektoren «schützende» **Klimapolitik des Auslands** verschlechtert die Wohlfahrt in der Schweiz nicht etwa, sondern verbessert sie sogar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Schweiz (i) einen relativ kleinen Anteil an energieintensiven und handels exponierten Unternehmen aufweist und (ii) die Schweiz viele energieintensive Vorleistungen nicht selber produziert, sondern importiert. Allerdings führt eine solche «schützende» Klimapolitik des Auslands zu Einbussen bei den energieintensiven und handels exponierten Sektoren in der Schweiz.

Die globalen Potenziale für **NET** haben einen grossen Einfluss auf die Wohlfahrtseffekte einer globalen Netto-Null-Klimapolitik. Je grösser das verfügbare NET-Potenzial, desto niedriger die Wohlfahrtsverluste.

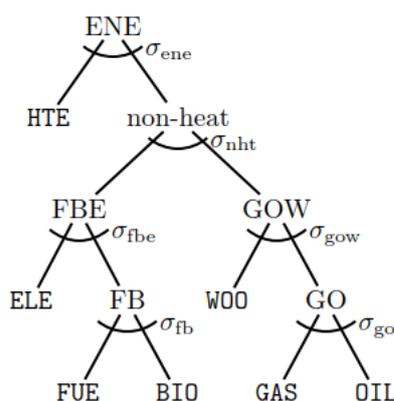
Mit **höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum** steigen die Kosten für die Erreichung des Netto-Null-Ziels. Dies bedeutet aber nicht, dass die Bevölkerung bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum durch die Dekarbonisierung stärker belastet wird: Absolut gesehen steigen zwar die Pro-Kopf-Kosten, aber es muss bei höherem Bevölkerungs- und BIP-Wachstum relativ weniger vom zusätzlichen Wohlfahrtszuwachs für die Dekarbonisierung aufgewendet werden.

Anhang A: The EPER Model- Technical documentation

A1 Model structure

The EPER model is a CGE model calibrated to the 2014 version of the Swiss Input–Output table extended by energy accounts (EIOT) provided by the Federal Statistical Office (FSO) and the Federal Office of Energy (FOE). Except in the case of energy services (viz., the first four categories of Table A-1), goods in the economy are produced by unique sectors that are represented by nested CES production functions with a modified KLEM nesting structure: In a top-level nesting a CES sub-nest that combines passenger and freight transport is combined with a KLEM nesting tree, where a KLE aggregate is combined with intermediate material inputs to production. The KLE nesting tree itself combines a CES nest with labor and capital (KL) with a nested CES function of energy goods. That energy goods nesting structure is given in Figure A-1.

Figure A-1: Nesting structure of the energy part in KLEM production functions



Remark: Nesting illustrates how energy (ENE) is composed of subnests FBE, FB, GOW, and GO, which in turn are composed of heating services (HTE), electricity (ELE), fossil based transport fuel (FUE), biofuel (BIO), woody biomass (WOO), natural gas (GAS), and other fossil based fuels (OIL).

The representation of international trade follows the Small Open Economy (SOE) assumption. International commodity prices are fixed and the exchange rate is exogenously determined by markets for imports and exports while constant trade balance is assumed. Sectors that produce internationally traded goods trade off exports with domestic sales according to a constant-elasticity-of-transformation (CET) function. Imports and domestic versions of traded commodities are aggregated in an Armington CES function.

Final demand is given by the purchasing power of a representative agent that derives income from selling production factors to industrial sectors and spends money on consumption goods according to a single-nest CES utility function with elasticity of substitution of 0.5.

Table A-1: Sectors in the EPER model

Commodity	Description and list of technologies if applicable
Technologies for electricity generation	
ETE	ERUN: <i>Running hydro power plants</i> , ESTO: <i>Storage hydro power plants</i> , ENUC: <i>Nuclear power plants</i> , EFOS: <i>Fossil fuel plants</i> , EW00: <i>Wood plants</i> , EBIO: <i>Biogas plants</i> , EWND: <i>Wind power plants</i> , ESOL: <i>PV plants</i> , EEWI: <i>Waste incineration</i>
Technologies for passenger transport	
PTE	PICE: <i>Internal combustion engine</i> , PHYB: <i>Hybrid engine</i> , PPGH: <i>Gas engine</i> , PELE: <i>Electric engine</i>
Technologies for freight transport	
FTE	FICE: <i>Internal combustion engine</i> , FHYB: <i>Hybrid engine</i> , FPGH: <i>Gas engine</i> , FELE: <i>Electric engine</i>
Technologies for heat generation	
HTE	HOIL: <i>Oil heating</i> , HGAS: <i>Gas heating</i> , HW00: <i>Wood heating</i> , HELE: <i>Electric direct heating</i> , HHEP: <i>Electric heat pump</i> , HDIS: <i>District heating</i>
Energy carriers	
CRU	Crude oil and petrol coke and other oil products
FUE	Transport fuels - gasoline and diesel oil
OIL	Other refined oil products - fuel oils, kerosene and coal
GAS	Gas
W00	Wood
BIO	Biofuels
ELE	Electricity
Final transport services	
PRA	Passenger rail transport services
PRO	Passenger road transport services
FRA	Freight rail transport services
FRO	Freight road transport services
AIR	Air transport services
Intermediate primary and secondary energy supply sectors	
REF*	Coke and refined petroleum products
EDT	Services of electricity distribution and trade
DIS	Services of steam and hot water supply
GDT	Services of gas supply
HWI	Heat from waste incineration
Remaining sectors	
ETS*	Non-energy ETS sectors
LAW	Agriculture
PHA	Pharmaceutical products
CON	Construction
SER	Services
ROI	Rest of industry

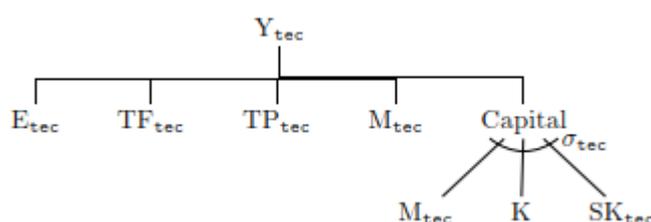
* Sectors regulated by the Swiss emission trading system.

Note: In the longer term, synfuels and hydrogen are also available as substitutes for oil.

A2 Bottom-up representation of energy services

The energy services denoted by HTE, PTE, FTE, and ETE (heating, passenger transport, freight transport, and electricity) are provided as homogeneous goods by the technologies listed in Table A-1. Single technologies are represented by the CES structure given in Figure A-2, where all inputs except specific capital SK_{tec} are flexibly provided by the respective national markets and SK_{tec} is in fix supply. This structure allows for controlled calibration of partial equilibrium⁹⁵ supply of technologies' output at given output prices (see Excursus at the end of this Appendix).

Figure A-2: Nesting structure of technologies tec in the EPER model



Output Y_{tec} depends on fix amounts of inputs of E_{tec} (nesting of energy goods — see Figure A-1 — with technology specific shares), TF_{tec} (nesting of goods pertaining to freight transport), TP_{tec} (nesting of goods pertaining to passenger transport), M_{tec} (other material inputs), and *Capital*. The capital nest is composed of durable material consumption (more M_{tec}), general purpose capital K , and technology specific capital SK_{tec} .

We calibrate quantities demanded and supplied by the technologies such that market shares of technologies match those of bottom-up models in a baseline scenario. By calibrating the substitution elasticity σ_{tec} , we can target output levels in counterfactual scenarios.⁹⁶ The strategy is to achieve this replication of bottom-up model inputs in partial equilibrium and then use the so calibrated technology in our general equilibrium analysis. In the partial equilibrium technology calibration, we distinguish CO₂ emitting technologies from non-emitting technologies. CO₂ emitting technologies experience higher cost of E_{tec} , which makes their production cost and thus the market price of Y increase. Non-emitting technologies see constant input prices and react to the increase in market price for the output by expanding their output (they can do that by making their production less SK_{tec} -intensive and thus increasing the (shadow) price of SK_{tec}).

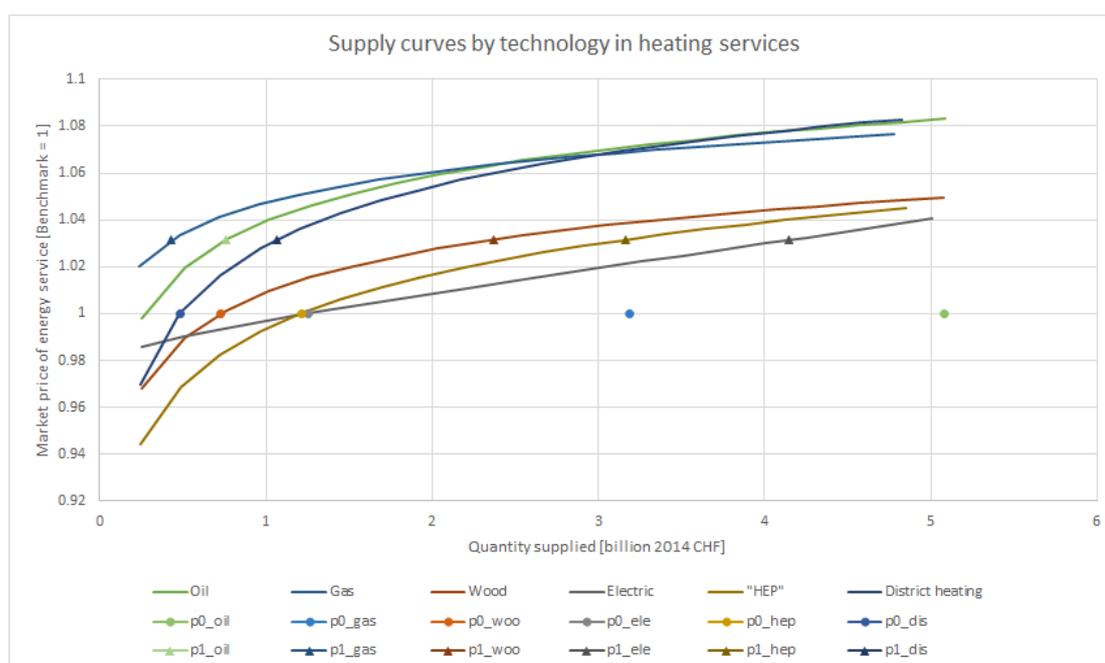
Figure A-3 illustrates the supply curves that may result from such a calibration procedure. Supply curves of CO₂ emitting technologies, under climate policy, are shifted upward and the round

⁹⁵ In the partial equilibrium view, inputs E_{tec} , TF_{tec} , TP_{tec} , M_{tec} , and K can be purchased at fixed prices. If the market price for a technologies output increases cost minimizing producers provide ever more output by shifting toward ever less SK -intensive production, thus increasing the marginal productivity of SK .

⁹⁶ Since input–output data does not tell us how production surplus is distributed between K and SK_{tec} , the share of production surplus attributed to SK_{tec} is an additional free parameter for calibrating the behaviour of technologies between baseline and counterfactual scenarios.

markers denoting the baseline supply at prices of 1 are no longer on the supply curve. Supply curves of non-emitting technologies are unaffected by the shadow prices of carbon and the increase in market price causes market supply to increase beyond baseline supply according to the calibration of σ_{tec} .

Figure A-3: Supply curves by technology in the market for heating services



A3 Backstops

The decarbonization of energy services heat (HTE), passenger transport (PTE), freight transport (FTE), and electricity generation (ETE) follows from the explicit shift in technology shares in the overall provision of the energy services. Emissions from fuel use by other industries and agriculture, on the other hand, are implicitly given by the fuel demand in the nested CES production functions of these industries. Since these production functions are calibrated to existing technologies they do not well represent technologies that we expect to take up large market shares in scenarios with deep decarbonization. In order to represent the potential of such technologies to reduce emissions in industries besides the supply of energy services listed above, the EPER model incorporates two types of backstop technologies. The first type reduces emissions in the ETS sectors, the second type in the non-ETS industries. Each type of backstop comes in different constant marginal cost levels (e.g. CCS and NET), and different maximum capacities in terms of how much emissions they can abate.

A4 Capital cost and recursive dynamic

Recursive dynamic

The dynamic of the model is recursive-dynamic, i.e. the regional economies develop in a sequence of static equilibria linked by capital accumulation and labour force: For each time step, an equilibrium is found with characteristic capital accumulation (as a result of investments from previous time steps) and labour force (as a result of increasing efficiency and changing population numbers). These variables are used as input variables in the next time step, so that a new equilibrium is now found. In this way, sequences with a freely selectable time horizon can be modelled.

International capital mobility

Capital is mobile across the national border. In domestic production, we distinguish capital by domestic and foreign origin. Outflows of domestic capital to the international capital market as well as inflows of foreign capital to the domestic capital market are not perfectly elastic. The calibration of the associated domestic capital export and import functions is laid out in Boeters et al. (2008). We use the same elasticities as Boeters et al. (2008).

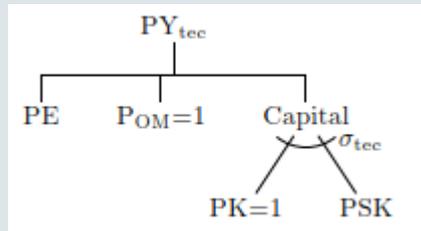
Mobile capital across domestic industries combined with sector specific capital

Capital K is modeled as a mobile factor in the Swiss economy and the uniform rental value of capital in the production cost functions of sectors represents the annualized cost of capital. In the case of bottom-up technologies, this mobile capital is combined with sector specific SK_{tec} in the capital nest. The supply of SK_{tec} is fixed in each period and exogenous (that is, it does not depend on past investment behavior) and SK_{tec} can be interpreted as a technology specific "potential". Its scarcity causes the marginal amount of mobile capital required for units of technology output to increase as more units are sold: the marginal cost of supply increases. The difference between marginal cost of supply (which corresponds to the market price at which the technology is supplied) and average cost is captured by the market value of the fixed potential SK_{tec} . When we report "system cost", we report costs in terms of non-capital cost and mobile capital cost, which equals revenue minus market value of the fixed potential SK_{tec} .

Excursus: Partial equilibrium analysis of market supply by technology

The working assumption is that we are looking at a technology tec for producing output (priced at PY). The technology is represented by a Leontief composite of fuel (priced at PE), operation and maintenance, and capital. The capital input itself is a constant elasticity of substitution composite of mobile capital K and a fixed technology-specific capital priced at PSK . Figure A-4 illustrates this nesting structure. This is a simplified structure from the one presented in Figure 2: P_{OM} represents the combined inputs TF_{tec} , TP_{tec} , and M_{tec} and PK represents the combined capital-nest inputs M_{tec} and K . Investors observe output prices PY , fuel prices PE , and other input prices (unchanged at $P = 1$). From this they determine the optimal amount of output to generate by investing into durable goods until the marginal cost of investing into durable goods equals the marginal profits that can be gained from producing and selling the corresponding output.

Figure A-4: Nesting structure of generic technologies in simplified partial equilibrium form



In the following we discern clean technologies and polluting technologies. The former do not face increasing fuel prices PE and adapt their behavior only to changing output prices. The latter face both increases in fuel prices and changes in output prices.

In the algebraic expositions below, the following notation for (technology dependent) benchmark value shares is adopted:

- θ_K is the benchmark value share of the capital composite,
- θ_{FX}^K is the benchmark value share of the fixed factor *within* the capital composite, and
- θ_F^{NK} is the benchmark value share of the fuel input within the *non-capital* expenditure of technology tec.

Clean technology expansion

The assumption for clean technologies is that their input prices are stuck at 1 but that due to policy, the price of their output increases. First, we compute how fixed factor rents RFX depend on output price PY. For this, consider the capital cost PK as a composite of RFX and roi and contributes with expenditure share θ_K to overall benchmark expenditure.

$$PY = \theta_K PK + (1 - \theta_K)$$

$$PK = (\theta_{FX}^K RFX^{1-\sigma_{tec}} + (1 - \theta_{FX}^K))^{1/(1-\sigma_{tec})} .$$

The derivation of RFX as a function of PY looks like this:

$$PK = \frac{PY - (1 - \theta_K)}{\theta_K}$$

$$RFX = \left(\frac{PK^{1-\sigma_{tec}} - (1 - \theta_{FX}^K)}{\theta_{FX}^K} \right)^{1/(1-\sigma_{tec})}$$

$$= \left[\frac{\left(\frac{PY - (1 - \theta_K)}{\theta_K} \right)^{1-\sigma_{tec}} - (1 - \theta_{FX}^K)}{\theta_{FX}^K} \right]^{1/(1-\sigma_{tec})} .$$

And from this, we can calculate unit demand of the fixed factor as

$$\begin{aligned} \frac{FXI}{\overline{FXI}} &= 1 \cdot \left(\frac{PK}{RFX} \right)^{\sigma_{tec}} \\ &= \left(\frac{\frac{PY - (1 - \theta_K)}{\theta_K}}{\left[\frac{\left(\frac{PY - (1 - \theta_K)}{\theta_K} \right)^{1 - \sigma_{tec}} - (1 - \theta_{FX}^K)}{\theta_{FX}^K} \right]^{1/(1 - \sigma_{tec})}} \right)^{\sigma_{tec}} \\ &= \left[\frac{1 - (1 - \theta_{FX}^K) \left(\frac{PY - (1 - \theta_K)}{\theta_K} \right)^{\sigma_{tec} - 1}}{\theta_{FX}^K} \right]^{\frac{\sigma_{tec}}{\sigma_{tec} - 1}} . \end{aligned}$$

Since supply of FX is fixed, supply of output O is the inverse of the fixed-factor unit demand:

$$\begin{aligned} \frac{O}{\overline{O}} &= \frac{\overline{FXI}}{FXI} \\ &= \left[\frac{1 - (1 - \theta_{FX}^K) \left(\frac{\theta_K}{PY - (1 - \theta_K)} \right)^{1 - \sigma_{tec}}}{\theta_{FX}^K} \right]^{\frac{\sigma_{tec}}{1 - \sigma_{tec}}} . \end{aligned}$$

If we want to solve for output price as a function of quantity:

$$PY = 1 - \theta_K + \theta_K \left[\frac{1 - \theta_{FX}^K \left(\frac{O}{\overline{O}} \right)^{\frac{1 - \sigma_{tec}}{\sigma_{tec}}}}{1 - \theta_{FX}^K} \right]^{\frac{1}{\sigma_{tec} - 1}} .$$

Dirty technology contraction

While clean technologies expand due to increased output prices, the dirty technology faces the same output price, but is assumed to contract due to considerable increases in fuel prices PE. Thus,

$$\begin{aligned} PY &= \theta_K PK + (1 - \theta_K) \left[\theta_F^{non-K} PE + (1 - \theta_F^{non-K}) \right] \\ &= \theta_K PK + (1 - \theta_K) \left[1 + \theta_F^{non-K} (PE - 1) \right] , \end{aligned}$$

and solving for PK gives

$$PK = \frac{PY - (1 - \theta_K) \left[1 + \theta_F^{non-K} (PE - 1) \right]}{\theta_K}$$

Solving for unit demand yields

$$\frac{O}{\bar{O}} = \left[\frac{1 - (1 - \theta_{FX}^K) \left(\frac{\theta_K}{PY - (1 - \theta_K)[1 + \theta_F^{non-K}(PE - 1)]} \right)^{1 - \sigma_{tec}}}{\theta_{FX}^K} \right]^{\frac{\sigma_{tec}}{1 - \sigma_{tec}}}$$

and, solving for PY, one ends up with

$$PY = (1 - \theta_K) \left[1 + \theta_F^{non-K}(PE - 1) \right] + \theta_K \left[\frac{1 - \theta_{FX}^K \left(\frac{O}{\bar{O}} \right)^{\frac{1 - \sigma_{tec}}{\sigma_{tec}}}}{1 - \theta_{FX}^K} \right]^{\frac{1}{\sigma_{tec} - 1}}$$

Anhang B: Datengrundlagen und Modellparametrisierung

B1 Technologiedisaggregation der Schweizer Energie-Input-Output-Tabelle 2014

Die Daten für das Benchmarkjahr 2014 basieren auf der Schweizer Energie-Input-Output-Tabelle 2014 (EIOT 2014) mit ihren disaggregierten Energie- und Transportsektoren. Diese EIOT 2014 wurde für den Einsatz im EPER-Modell wesentlich erweitert: Es wurden im Jahr 2014 insgesamt 6 Heizungstechnologien und jeweils 4 Motorentechnologien für leichte und schwere Fahrzeuge eingeführt. Nachfolgend ist diese Technologiedisaggregation der EIOT 2014 kurz dargelegt.

Technologiedisaggregation der EIOT 2014

Die nachfolgende Abbildung B-1 zeigt die Inputs der zusätzlich eingefügten Technologien und die Abbildung B-2 die Nachfrage nach diesen zusätzlichen Technologien in 2014. Die Herleitung der Technologien erfolgte in einem aufwendigen Verfahren unter Verwendung folgender Datenquellen:

- *Stromimporte*: BFE, Elektrizitätsstatistik 2018, Tabelle 40
- *Stromverbrauch Wärmepumpen*: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018, Tabelle 35
- *Produktion der Inlandraffinerien*: BFE, Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2018, Tabelle 22
- *Aufteilung des Stromverbrauchs für Elektrospeicherheizungen und Wärmepumpen für Haushalte, Dienstleistungen und Industrie*:
 - Prognos (2018), Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000-2017 - Ex-Post-Analyse, Tabellen 11, 14
 - Prognos (2018), Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2017 nach Verwendungszweck, Tabellen 13, 26, 30, 15, 24, 28
- *Aufteilung des Energieverbrauchs für Raumheizung und Warmwasserbereitung auf die Sektoren*: Prognos (2018), Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2017 nach Verwendungszweck, Tabelle 31
- *Separierung des Benzin- und Dieselverbrauchs für Non-road, Gasverbrauch für leichte und schwere Fahrzeuge*: Prognos (2016), Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2015 nach Verwendungszweck, Tabellen 4-21, 4-22, 4-24
- *Aufteilung des Non-Road-Sektors auf die Sektoren*: BAFU (2010), Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-road Sektors, Tabelle 2
- *Abschätzung der Personenwagenanteile nach Technologien (Verbrennungsmotoren, Hybride, Gas, Elektro)*: BFS (2018), Strassenfahrzeugbestand

- *Aufteilung Strom- und Treibstoffverbrauch für Hybridfahrzeuge:* TCS, Hybrid-Test, Annahmen: Jahresfahrleistung 67% im Strombetrieb
- *Kosten Personenwagen und Aufteilung auf die Sektoren:* TCS, Kilometerkosten 2019

CO₂-Emissionen im Jahr 2014

Die Abbildung B-3 zeigt die CO₂-Emissionen im Benchmarkjahr 2014. Die energiebedingten CO₂-Emissionen wurden aus den Energieverbräuchen der EIOT 2014 und den energieträgerspezifischen CO₂-Emissionsfaktoren berechnet. Die nichtenergiebedingten CO₂-Emissionen wurde gemäss Abgrenzung der Energieperspektiven 2050+ auf die einzelnen Sektoren aufgeteilt. Das Gesamttotal der Treibhausgase entspricht dem Gesamttotal für das Jahr 2014 gemäss den kalibrierten THG-Emissionen der Energieperspektiven 2050+. Zum Treibhausgasinventar des BAFU können sich Abweichungen ergeben, da für die Berechnung der CO₂-Äquivalente die Energieverbräuche der Energie-Input-Output-Tabelle 2014 verwendet wurden und diese nicht ganz kompatibel sind mit dem Treibhausgasinventar des BAFU.

Disaggregation der Steuern und Abgaben im Jahr 2014

Folgende Steuern und Abgaben wurden in der Input-Output-Tabelle differenziert nach Sektoren erfasst:

- Mehrwertsteuer
- CO₂-Abgabe
- Netzzuschlag
- Mineralölsteuern
- Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe LSVA

Die restlichen Gütersteuern und Subventionen wurden als Outputsteuern bzw. -subventionen im Modell erfasst.

Abbildung B-1: Inputs der zusätzlichen Technologien im Raumwärme- und Transportbereich (Mio. CHF im Jahr 2014)

No	Code	PRODUCTS (CPA)	HOMOGENEOUS BRANCHES (CPA)															
			Oil heating	Gas heating	Wood heating	Electric direct heating	Electric heat pump	District heating	LVT internal combustion engine	LVT hybrid engine	LVT gas engine	LVT electric engine	HVT internal combustion engine	HVT hybrid engine	HVT gas engine	HVT electric engine		
			91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104		
			HOIL	HGAS	HWOO	HELE	HHEP	HDIS	PICE	PHYB	PPGH	PELE	FICE	FHYB	FPGH	FELE		
13	22	Rubber and plastic products	-	-	-	-	-	-	312	3	0	0	111	0	1	0		
17	25	Fabricated metal products, except machinery and equipment	357	152	61	23	105	10	-	-	-	-	-	-	-	-		
18	26	Computer, electronic and optical products	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
19	27	Electrical equipment	-	-	-	-	-	-	28	0	0	0	-	-	-	-		
20	28	Machinery and equipment n.e.c.	99	42	17	6	29	3	-	-	-	-	-	-	-	-		
21	29	Motor vehicles, trailers and semi-trailers	-	-	-	-	-	-	6'673	79	7	10	-	-	-	-		
22	30	Other transport equipment	-	-	-	-	-	-	424	4	0	0	-	-	-	-		
35	35j	Services of steam and hot water supply	-	-	-	-	-	-	365	-	-	-	-	-	-	-		
40	41-43	Construction work	863	365	142	65	261	29	-	-	-	-	-	-	-	-		
41	45	Wholesale and retail trade and repair of motor vehicles and	-	-	-	-	-	-	5'970	71	6	9	816	3	4	2		
55	52c	Other warehousing and support services for transportation	-	-	-	-	-	-	647	6	1	1	-	-	-	-		
63	64	Financial services	-	-	-	-	-	-	615	6	1	1	-	-	-	-		
64	65	Insurance and pension funding services	-	-	-	-	-	-	3'754	36	3	4	45	0	0	0		
65	68	Real estate services	1'380	594	232	108	424	47	3'337	32	3	4	8	0	0	0		
66	69-71	Legal, accounting, management, architecture, engineering s	61	36	12	13	29	6	-	-	-	-	-	-	-	-		
69	77-82	Administrative and support services	-	-	-	-	-	-	2'704	26	2	3	-	-	-	-		
72	85	Education services	-	-	-	-	-	-	693	7	1	1	-	-	-	-		
79	ZLOI	Light fuel oil	2'185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
80	ZHOI	Heavy fuel oil	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
81	ZBEN	Gasoline	-	-	-	-	-	-	2'177	9	-	-	42	-	-	-		
82	ZDIE	Diesel oil	-	-	-	-	-	-	1'054	-	-	-	807	1	-	-		
83	ZKER	Kerosene	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
84	ZPEC	Petrol coke	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
85	ZOOP	Other oil products	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
86	ZCOA	Coal	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
87	ZGAS	Gas	-	1'937	-	-	-	-	-	-	3	-	-	-	4	-		
88	ZWOO	Wood	-	-	237	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
89	ZBIO	Biofuels	-	-	-	-	-	-	36	-	-	-	-	-	-	-		
90	ZELE	Electricity	-	-	-	1'025	321	-	-	11	-	2	-	1	-	1		
91	HOIL	Oil heating	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
92	HGAS	Gas heating	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
93	HWOO	Wood heating	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
94	HELE	Electric direct heating	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
95	HHEP	Electric heat pump	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
96	HDIS	District heating	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
97	PICE	LVT internal combustion engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
98	PHYB	LVT hybrid engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
99	PPGH	LVT gas engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
100	PELE	LVT electric engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
101	FICE	HVT internal combustion engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
102	FHYB	HVT hybrid engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
103	FPGH	HVT gas engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
104	FELE	HVT electric engine	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Total	4'945	3'126	702	1'241	1'170	460	28'425	289	27	36	1'830	6	9	3		
		Net commodity taxes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Total intermediate consumption / Final use at purchasers' pr	4'945	3'126	702	1'241	1'170	460	28'425	289	27	36	1'830	6	9	3		
		Labour compensation	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Remaining value added	138	59	23	11	42	23	1'258	13	1	2	98	0	0	0		
		Value added at basic prices	138	59	23	11	42	23	1'258	13	1	2	98	0	0	0		
		Output at basic prices	5'083	3'185	725	1'252	1'212	483	29'683	303	28	38	1'928	6	10	3		
		Imports cif	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
		Supply at basic prices	5'083	3'185	725	1'252	1'212	483	29'683	303	28	38	1'928	6	10	3		

Quelle: Berechnungen Ecoplan basierend auf Rütter Soceco, infras, Modelworks (2019).

Abbildung B-2: Nachfrage nach den zusätzlichen Technologien im Raumwärme-, Transportbereich (Mio. CHF im Jahr 2014)

No	Code	HOMOGENEOUS BRANCHES (CPA)										INPUT OF HOMOGENEOUS BRANCHES										FINAL USE						Total use at basic prices
		Agri-culture	Manu-facture of pharmaceutical products	Const-ruktion	ETS	Rest of industry	Service sectors	Oil heating	Gas heating	Wood heating	Electric direct heating	Electric heat pump	District heating	LVT internal combustion engine	LVT hybrid engine	LVT gas engine	LVT electric engine	HVT internal combustion engine	HVT hybrid engine	HVT gas engine	HVT electric engine	COICOP 04	COICOP 04a	COICOP 07	COICOP 07a	Changes in inventories	Exports	
79	ZLOI	-	12	20	17	100	-	2185	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-109	42	2268	
80	ZHOI	-	-	-	24	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	215	247	
81	ZBEN	18	-	8	0	2	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-27	554	2783	
82	ZDIE	91	-	116	94	6	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	301	2551	
83	ZKER	-	-	-	-	-	1659	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-11	465	2186	
84	ZPEC	-	-	-	15	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	-	16	
85	ZOOP	-	0	2	278	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	357	
86	ZCOA	-	-	-	29	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-6	-	24	
87	ZGAS	-	49	11	303	325	-	1937	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2632	
88	ZWOO	-	-	13	21	48	-	-	-	237	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	319	
89	ZBIO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	
90	ZELE	167	110	94	712	2125	3130	-	1025	321	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2280	12315	
91	HOL	129	7	31	3	121	1463	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5083	
92	HGAS	0	21	11	39	169	928	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3185	
93	HWOO	-	-	27	4	61	205	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	725	
94	HELE	7	0	1	1	3	126	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1252	
95	HHEP	14	1	3	1	8	272	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1212	
96	HDIS	-	24	1	53	45	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	483	
97	PICE	103	31	312	55	537	2564	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29683	
98	PHYB	1	0	3	0	5	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	303	
99	PPGH	0	0	0	0	0	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28	
100	PELE	0	0	0	0	1	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	38	
101	FICE	59	3	118	25	188	1535	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1928	
102	FHYB	0	0	0	0	1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	
103	FPGH	-	0	1	0	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	
104	FELE	0	0	0	0	0	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	

Quelle: Berechnungen Ecoplan basierend auf Rütter Soceco, infras, Modelworks (2019).

B2 Vorgaben für die Schweiz aus Energiesystemmodellen: Basisannahmen

Vorgaben aus den Energiesystemmodellen	Abgleich	Abbildung
Rahmenentwicklung *)		
BIP-Entwicklung Szenario WWB **)	vorgegebene Wachstumsrate gemäss EP2050+	B-4
Szenario WWB und KLIMA		
Nicht Energiebedingte THG-Emissionspfad (getrennt nach Landwirtschaft, Zementindustrie, Raffinerien, Abfall, restliche DL, restl. Industrie)	exogen vorgegebene autonome Dekarbonisierungsfaktoren (Anmerkung: Die Dekarbonisierungsfaktoren wurden iterativ bestimmt. Abweichungen von den vorgegebenen Emissionen im WWB von 3% werden toleriert)	B-5
Szenario WWB		
THG-Emissionspfad für das Szenario WWB ***)	Der THG-Emissionspfad im WWB wird durch die Technologieportfoliovorgaben fast erreicht -> der einkalibrierte THG-Emissionspfad liegt etwa 3% über dem vorgegebenen THG-Emissionspfad	B-6
Technologieportfolios für		
- Leichte Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV)	Vorwärtskalibrierung: Anpassung der Produktivität der Technologien (Beispiel: Zeigen bspw. die Bottom-up-Modelle einen höheren Anteil an Wärmepumpen als gemäss Gleichgewichtsmodell – ohne weitere Anpassungen – berechnet, wird die Produktivität der Wärmepumpe erhöht)	B-7
- Schwere Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV)		B-8
- Heizungen (Öl, Gas, Holz, Strom, WP, FW)		B-9
- Stromproduktion (Wasser, KKW, fos. KW, HolzKW, Biogas/ARA, KVA, Wind, Solar+Geoth.)	-> vorgegebenes Technologieportfolio wird exakt repliziert	B-10
Stromverbrauchspfad	techn. Fortschritt (AEEI Autonomous Energy Efficiency Improvementes) -> der Stromverbrauchspfad wird exakt repliziert	B-14
Szenario ZERO		
THG-Emissionspfad für das Szenario ZERO ***)	Die Instrumente der Klimapolitik gemäss den Politikszenerarien (vgl. Kapitel 4) müssen den vorgegebenen THG-Emissionspfad genau treffen (d.h. es werden - je nach Politikszenerarien - Technologieportfolios vorgegeben, welche dann durch entsprechende Standards oder Subventionen zu erreichen sind, und/oder es werden THG-Zielpfade vorgegeben, die durch eine endogen berechnete Abgabe erreicht werden)	B-6
Technologieportfolios für		
- Leichte Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV)	Angebotskurve, -elastizitäten für die einzelnen Technologien Partialanalytisch Herleitung für jede einzelne Technologie, welche das Technologieportfolio und/oder die Differenzkosten zwischen WWB und ZERO ungefähr treffen. Partialanalytische Parameter der partialanalytischen Herleitung werden in Gleichgewichtsmodell übernommen.	B-7
- Schwere Fahrzeuge (konv.+FCEV, Gas, BEV, HEV)		B-8
- Heizungen (Öl, Gas, Holz, Strom, WP, FW)	Technologieportfolio im Gleichgewichtsmodell ist nicht genau gleich wie in Energiesystemmodellen	B-9
- Stromproduktion (Wasser, KKW, fos. KW, HolzKW, Biogas/ARA, KVA, Wind, Solar+Geoth.)	technologiespezifische Subvention Technologieportfolio wird für die drei Stromangebotsvarianten exakt getroffen.	B-11, B-12, B-13
Stromverbrauchspfad ****)	Mengenrestriktion auf den Stromverbrauch gemäss EP2050+	B-14
Backstop-Technologien jeweils drei verschiedene Backstop-Technologien mit tiefem, mittlerem und hohem Preis und entsprechende Kapazitäten, wobei die Kapazitäten abhängig sind vom Produktionsniveau der Sektoren, bei denen CCS vorgesehen ist Wieviel von den Kapazitäten beansprucht wird, wird endogen berechnet.		
NET&CCS		B-15
Nur Importe: Kapazitäten und Preis für PtL und H2 getrennt, für den gesamten Zeitpfad Wieviel von den Kapazitäten beansprucht wird, wird endogen berechnet.		
Synfuels		B-16, B-17
*) Die unterstellten internationalen Preise für Öl und Gas im Szenario WWB werden aus dem World Energy Outlook 2020 der IEA übernommen (Szenario STEPS). Die Preise im EU ETS für das Szenario WWB werden aus IEA (2020), World Energy Outlook 2020, Tabelle 2.3, entnommen. Die Vorgaben für die internationalen Energiepreise und die EU-ETS-Preise decken sich nicht genau mit denjenigen der Energieperspektiven 2050+. Im Szenario KLIMA werden die internationalen Energiepreise und die EU-ETS-Preise endogen bestimmt, also vom Modell berechnet.		
**) Der BIP-Entwicklung ist eine Bevölkerungsentwicklung unterstellt, die für Pro-Kopf-Berechnungen benutzt wird. Die Bevölkerungsentwicklung ist im Szenario WWB und KLIMA dieselbe, es wird unterstellt, dass die Klimapolitik keine Migration erzeugt.		
***) Für die Schweiz und die EU wird ein gekoppeltes Emissionssystem unterstellt, bei dem die Caps exogen vorgegeben und die Preise endogen berechnet werden.		
****) Stromverbrauch (Endenergie) inkl. Stromverbrauch der Umwandlungsprozesse, exkl. Stromverbrauch für Elektrolyse und Sonstiges (CCS usw.).		

Rahmenentwicklung

Die nachfolgende Abbildung zeigt die den Energiesystemmodellen und dem Gleichgewichtsmodellen unterstellte Rahmenentwicklung für die Schweiz.

Abbildung B-4: Rahmenentwicklung: Basisannahmen

Rahmenentwicklung		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB und KLIMA											
Bevölkerung	Tsd, Jahresmittel	8189	8705	9108	9492	9817	10016	10150	10257	10338	10394
Bruttoinlandsprodukt	Mrd CHF-2017	642	713	760	805	851	893	932	968	1002	1038

Anmerkung: Da in der Input-Output-Tabelle mit 2014er-Preisen gerechnet wird und das BIP 2014 nach Umwandlung der IOT nicht exakt dem offiziellen BIP entspricht wurde die BIP-Reihe leicht angepasst, die Wachstumsraten aber beibehalten. Da diese Änderung marginal ist, wurden die Resultate – sofern absolute Zahlen publiziert wurden – wieder auf die obigen BIP-Werte (Preise 2017) umgerechnet.

Quelle: Annahmen zu den Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Nicht-energiebedingte THG-Emissionen

Der Dekarbonisierungsfaktor (Decarbonization multiplier of process emissions per unit of output) für die nicht-energetischen THG-Emissionen wurde iterativ hergeleitet, so dass die Vorgaben der THG-Emissionen im WWB in etwa getroffen wurden.

Abbildung B-5: Dekarbonisierungsfaktoren für nicht-energiebedingte THG-Emissionen

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Landwirtschaft	1.000	0.890	0.838	0.791	0.750	0.718	0.692	0.669	0.649	0.628
ETS-Sektoren	1.000	0.847	0.740	0.626	0.591	0.574	0.562	0.551	0.556	0.532
Raffinerien	1.000	0.483	0.469	0.466	0.468	0.475	0.478	0.481	0.484	0.000
Fernwärme	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
Dienstleistungen	1.000	0.921	0.786	0.654	0.540	0.446	0.370	0.305	0.253	0.148
Restliche Industrie	1.000	0.867	0.842	0.826	0.811	0.806	0.807	0.810	0.783	0.757

Quelle: Eigene Berechnungen mittels iterativen Modellsimulationen mit dem Gleichgewichtsmodell. Für die iterative Bestimmung der Schweizer Dekarbonisierungsfaktoren wurde die Einländerformulierung des Mehrländergleichgewichtsmodell für die Schweiz verwendet. Der Dekarbonisierungsfaktor ist ein autonomer technischer Fortschritt in Bezug auf die Minderung der THG-Emissionen für nicht-energiebedingte THG-Emission – also das Pendant zum AEEI (autonomous energy efficiency increase) im Energiebereich.

THG-Emissionen

Für die THG-Emissionen wurde in den beiden Szenarien das Gesamttotal der THG-Emissionen vorgegeben, also die rot unterlegten Zahlen.

Abbildung B-6: THG-Emissionen gemäss bup-Modellen und THG-Minderungsziele für das Szenario KLIMA im Vergleich zum Szenario WWB

THG-Emissionen, Mio. t CO ₂ , Szenario WWB										
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Energie (exkl. Energieumwandlung/Verdampfung)	33.6	31.7	29.3	26.5	23.9	21.5	19.3	17.2	15.6	14.2
Energieumwandlung	3.6	3.1	3.3	3.4	3.6	3.9	4.2	4.4	4.4	4.5
- KVA	2.0	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.1	3.1
- Raffinerien	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4
- Rest	0.7	0.4	0.5	0.5	0.5	0.7	0.8	0.9	0.9	1.0
Verdampfungsemissionen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Industrielle Prozesse (inkl. indirektes CO ₂)	2.8	2.8	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
Lösungsmittel	1.8	1.6	1.3	0.9	0.8	0.7	0.7	0.7	0.8	0.7
Landwirtschaft	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
Abfall (inkl. Andere)	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Total THG-Emissionen: WWB	49.0	46.0	43.5	40.3	37.7	35.6	33.5	31.7	30.1	28.6

THG-Emissionen, Mio. t CO ₂ , Szenario KLIMA										
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Energie (exkl. Energieumwandlung/Verdampfung)	33.6	31.7	27.3	22.1	17.0	12.0	6.8	1.6	1.3	1.2
Energieumwandlung	3.6	3.1	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	2.6	2.6	2.5
- KVA	2.0	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.5	2.5
- Raffinerien	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-	-	-
- Rest	0.7	0.5	0.5	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0
Verdampfungsemissionen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
Industrielle Prozesse	2.8	2.8	2.2	2.2	2.2	2.2	2.1	2.1	2.1	2.1
Lösungsmittel	1.8	1.6	1.2	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.2
Landwirtschaft	6.2	6.0	5.7	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.3	4.1
Abfall (inkl. Andere)	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
Total THG-Emissionen: KLIMA (exkl. NET & CCS)	49.0	46.0	40.5	34.6	28.9	23.5	17.8	11.8	11.2	10.7

NET & CCS, Mio. t CO ₂ , Szenario KLIMA										
NET & CCS in Mio. t CO ₂	-	-	-	-	0.4	1.7	5.9	11.8	11.2	10.7
Total THG-Emissionen: KLIMA (inkl. NET & CCS)	49.0	46.0	40.5	34.6	28.5	21.8	11.9	-	-	-

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Anmerkung: Der THG-Emissionspfad im WWB wird im Modell nicht exakt repliziert. Der einkalibrierte THG-Emissionspfad liegt im Modell rund 3% über dem oben dargestellten THG-Emissionspfad gemäss den Resultaten aus den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+.

Technologieportfolios WWB und KLIMA

Abbildung B-7: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für leichte Fahrzeuge (Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge, Motorräder)

Technologieportfolio Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen) gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	97	587	2'047	4'946	9'372	14'778	20'523	26'510	32'667	39'001
Hybrid	Fzkm	8	296	996	1'825	2'575	3'051	3'289	3'418	3'500	3'556
Gasfahrzeug	Fzkm	123	155	201	199	154	99	53	27	16	10
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	61'330	65'159	65'445	64'032	60'896	56'212	51'085	45'623	39'863	33'818
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	<i>61'330</i>	<i>65'159</i>	<i>65'445</i>	<i>63'971</i>	<i>60'642</i>	<i>55'429</i>	<i>49'345</i>	<i>42'500</i>	<i>35'193</i>	<i>27'614</i>
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>62</i>	<i>254</i>	<i>783</i>	<i>1'740</i>	<i>3'123</i>	<i>4'670</i>	<i>6'205</i>
Total	Fzkm	61'558	66'197	68'690	71'002	72'997	74'141	74'950	75'579	76'046	76'386
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	3%	7%	13%	20%	27%	35%	43%	51%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	3%	4%	4%	4%	5%	5%	5%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	100%	98%	95%	90%	83%	76%	68%	60%	52%	44%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	<i>100%</i>	<i>98%</i>	<i>95%</i>	<i>90%</i>	<i>83%</i>	<i>75%</i>	<i>66%</i>	<i>56%</i>	<i>46%</i>	<i>36%</i>
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>1%</i>	<i>2%</i>	<i>4%</i>	<i>6%</i>	<i>8%</i>
Total		100%									
Szenario KLIMA: Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	97	590	2'427	7'145	15'894	27'804	39'605	49'489	56'544	60'920
Hybrid	Fzkm	8	296	1'723	5'180	8'998	10'633	9'821	7'297	4'549	2'571
Gasfahrzeug	Fzkm	123	155	201	198	153	98	52	27	16	10
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	61'330	65'156	64'339	58'479	47'951	35'605	25'472	18'766	14'936	12'885
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	<i>61'330</i>	<i>65'156</i>	<i>64'281</i>	<i>58'250</i>	<i>46'883</i>	<i>32'673</i>	<i>20'355</i>	<i>11'757</i>	<i>6'606</i>	<i>3'805</i>
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	<i>0</i>	<i>0</i>	<i>58</i>	<i>230</i>	<i>1'069</i>	<i>2'932</i>	<i>5'117</i>	<i>7'009</i>	<i>8'331</i>	<i>9'079</i>
Total	Fzkm	61'558	66'197	68'690	71'002	72'997	74'141	74'950	75'579	76'046	76'386
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	4%	10%	22%	38%	53%	65%	74%	80%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	3%	7%	12%	14%	13%	10%	6%	3%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	100%	98%	94%	82%	66%	48%	34%	25%	20%	17%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	<i>100%</i>	<i>98%</i>	<i>94%</i>	<i>82%</i>	<i>64%</i>	<i>44%</i>	<i>27%</i>	<i>16%</i>	<i>9%</i>	<i>5%</i>
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>0%</i>	<i>1%</i>	<i>4%</i>	<i>7%</i>	<i>9%</i>	<i>11%</i>	<i>12%</i>
Total		100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-8: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für schwere Fahrzeuge (Schwere Nutzfahrzeuge, Stadtbus, Trolley-Bus, Reisebus)

Technologieportfolio Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen) gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	1	3	17	69	154	251	346	437	524	604
Hybrid	Fzkm	-	6	31	67	99	116	117	102	66	35
Gasfahrzeug	Fzkm	12	16	36	82	136	172	184	184	178	173
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	2'617	2'712	2'774	2'759	2'711	2'677	2'658	2'665	2'696	2'727
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	2'617	2'710	2'743	2'688	2'602	2'534	2'485	2'457	2'457	2'463
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	2	31	71	110	143	174	207	239	264
Total	Fzkm	2'630	2'737	2'858	2'978	3'100	3'216	3'306	3'388	3'464	3'539
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	5%	8%	10%	13%	15%	17%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	3%	4%	4%	3%	2%	1%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	1%	3%	4%	5%	6%	5%	5%	5%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	99%	99%	97%	93%	87%	83%	80%	79%	78%	77%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	99%	99%	96%	90%	84%	79%	75%	73%	71%	70%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	1%	2%	4%	4%	5%	6%	7%	7%
Total		100%									
Szenario KLIMA: Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	1	3	19	82	195	344	501	666	843	1'048
Hybrid	Fzkm	-	7	33	69	91	88	69	45	24	11
Gasfahrzeug	Fzkm	12	18	71	190	373	613	837	933	868	656
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	2'617	2'709	2'735	2'637	2'441	2'172	1'899	1'744	1'729	1'824
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	2'617	2'707	2'678	2'486	2'186	1'822	1'448	1'166	973	775
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	2	57	151	255	350	451	578	755	1'049
Total	Fzkm	2'630	2'737	2'858	2'978	3'100	3'216	3'306	3'388	3'464	3'539
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	1%	3%	6%	11%	15%	20%	24%	30%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	3%	3%	2%	1%	1%	0%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	2%	6%	12%	19%	25%	28%	25%	19%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	99%	99%	96%	89%	79%	68%	57%	51%	50%	52%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	99%	99%	94%	83%	71%	57%	44%	34%	28%	22%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	2%	5%	8%	11%	14%	17%	22%	30%
Total		100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infras AG (2021).

Abbildung B-9: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Wärmeerzeugung
(Beheizungsstruktur (inkl. Warmwasserbereitung) für die gesamte Energiebezugsfläche von Haushalten, Dienstleistungen und Industrie ausgedrückt in Kostenanteilen)

Technologieportfolio Heizungen gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Heizungen											
Ölheizung	Anteile am Total	42%	36%	26%	20%	16%	13%	11%	8%	6%	5%
Gasheizung	Anteile am Total	26%	30%	30%	28%	26%	24%	22%	20%	19%	18%
Holzheizung	Anteile am Total	6%	7%	7%	6%	6%	5%	4%	4%	3%	3%
Stromdirektheizung	Anteile am Total	10%	8%	6%	4%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Wärmepumpe	Anteile am Total	10%	12%	24%	35%	44%	50%	56%	61%	65%	68%
Fernwärme	Anteile am Total	5%	7%	7%	7%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Total	Anteile am Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Szenario KLIMA: Heizungen											
Ölheizung	Anteile am Total	42%	37%	22%	13%	8%	5%	3%	1%	0%	0%
Gasheizung	Anteile am Total	26%	31%	24%	17%	12%	7%	4%	1%	0%	0%
Holzheizung	Anteile am Total	6%	7%	6%	5%	4%	3%	2%	2%	2%	2%
Stromdirektheizung	Anteile am Total	10%	8%	5%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Wärmepumpe	Anteile am Total	10%	10%	34%	53%	66%	74%	80%	85%	86%	87%
Fernwärme	Anteile am Total	5%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	11%	11%	10%
Total	Anteile am Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Eigene Berechnungen aufbauend auf der Kostenstruktur der mit den sechs Wärmeerzeugungstechnologien desaggregierten Input-Output-Tabelle 2014 und der Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser für die gesamte Gebäudesubstanz gemäss den Resultaten der Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+.

Abbildung B-10: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario WWB, KKW-Laufzeit 50 Jahre

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Stromproduktion											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	39.0	39.9	40.4	39.6	39.3	39.0	38.9	38.7	38.2
KKW	TWh	26.4	22.0	16.7	9.0	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.6	8.4	9.6	11.3	15.5	19.3
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.5	8.2	9.5	11.1	15.3	19.1
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Total	TWh	69.6	66.7	64.1	59.7	50.9	51.5	52.9	54.7	58.8	62.3
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	58%	62%	68%	78%	76%	74%	71%	66%	61%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	4%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	15%	16%	18%	21%	26%	31%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	15%	16%	18%	20%	26%	31%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-11: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario KLIMA: Stromerzeugungsvariante «aktuelle Rahmenbedingungen», KKW-Laufzeit 50 Jahre

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario KLIMA: Stromproduktion Variante «aktuelle Rahmenbedingungen»											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	39.1	40.4	41.5	41.8	43.4	43.9	45.0	44.4	44.1
KKW	TWh	26.4	22.1	16.6	8.8	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.2	1.4	1.4	1.5
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.6	9.1	14.0	20.4	22.7	23.3
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.6	9.0	13.9	20.2	22.5	23.1
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Total	TWh	69.6	66.7	64.3	60.6	52.9	56.1	61.6	69.1	71.1	71.5
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	59%	63%	68%	79%	77%	71%	65%	62%	62%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	3%	3%	3%	2%	2%	1%	1%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	2%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	14%	16%	23%	30%	32%	33%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	14%	16%	22%	29%	32%	32%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-12: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario KLIMA: Stromerzeugungsvariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario KLIMA: Stromproduktion Variante «ausgeglichene Jahresbilanz»											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	39.1	40.4	41.7	41.9	43.8	44.2	44.7	44.1	43.8
KKW	TWh	26.4	22.1	16.6	8.8	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	1.3	1.4	1.4
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.6	1.2	2.2	3.4	4.3	4.6	4.7
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.3	8.7	14.5	21.7	27.6	32.7	35.3	37.0
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.3	8.7	14.4	21.1	26.3	30.7	33.3	35.0
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.6	1.3	2.0	2.0	2.0
Total	TWh	69.6	66.7	64.6	63.0	60.9	71.0	78.4	84.8	87.2	88.7
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	59%	63%	66%	69%	62%	56%	53%	51%	49%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	2%	3%	2%	2%	1%	1%	1%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	2%	2%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	5%	5%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	7%	14%	24%	31%	35%	39%	40%	42%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	7%	14%	24%	30%	34%	36%	38%	39%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	2%	2%	2%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-13: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario KLIMA: Stromerzeugungsvariante «Richtwerte», KKW-Laufzeit 50 Jahre

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario KLIMA: Stromproduktion Variante «Richtwerte»											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	39.1	40.3	41.5	41.9	43.3	44.0	44.7	44.4	44.2
KKW	TWh	26.4	22.1	16.6	8.9	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.5	1.2	1.0	1.0	1.0
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1	1.4	1.5	1.5
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.6	1.2	2.0	3.0	3.8	4.4	4.7
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.3	6.8	8.9	12.2	15.6	19.0	21.7	24.4
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.3	6.7	8.8	11.5	14.3	17.0	19.7	22.4
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.6	1.3	2.0	2.0	2.0
Total	TWh	69.6	66.7	64.6	60.9	55.3	60.8	65.8	70.8	73.9	76.7
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	59%	62%	68%	76%	71%	67%	63%	60%	58%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	3%	3%	2%	2%	1%	1%	1%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	1%	2%	2%	2%	2%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	2%	3%	5%	5%	6%	6%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	7%	11%	16%	20%	24%	27%	29%	32%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	7%	11%	16%	19%	22%	24%	27%	29%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%	3%	3%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infracore AG (2021).

Stromverbrauchspfad WWB und ZERO

Stromverbrauchspfad unter Einrechnung der Verbräuche für GWP (Grosswärmepumpen) im Szenario KLIMA. Die Dekarbonisierung führt zu einer erhöhten Nachfrage nach Strom. Im hier verwendeten Gleichgewichtsmodell haben wir keine expliziten Stromeffizienzmassnahmen abgebildet. Der Stromverbrauch würde also stärker zunehmen als in den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ berechnet. Daher haben wir den Stromverbrauch auf den Stromverbrauchspfad gemäss Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ restringiert (vgl. Abbildung B 14). Die dadurch entstehenden volkswirtschaftliche Kosten können als Kosten für die Umsetzung von Stromeffizienzmassnahmen interpretiert werden.

Abbildung B-14: Stromverbrauchspfad

Elektrizitätsverbrauch in PJ	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
WWB	207	210	212	216	220	223	225	227	231	234
KLIMA	207	209	208	212	220	229	235	237	236	234

Anmerkung: Der vorgegebene Stromverbrauchspfad entspricht dem Endenergieverbrauch (inkl. Stromverbrauch der sonstigen Umwandlung (Raffinerien) und Grosswärmepumpen, exkl. Stromverbrauch für Elektrolyse und Sonstige (CCS usw.)).

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

NET&CCS

NET (Negativemissionstechnologien): Für die Schweiz gilt der maximale NET-Bedarf gemäss den Resultaten der Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+ (ca. 4.7 Mio. Tonnen CO₂ im Jahr 2050 fast ausschliesslich mittels DACCS im Ausland). Weiter werden auch die Kosten gemäss Annahmen der Energieperspektiven für die Schweiz vorgegeben.

CCS (Kohlenstoffabscheidung und -speicherung): Die Schweiz weist ein theoretisches Speicherpotenzial von insgesamt 50 bis 150 MtCO₂ auf (vgl. infrac, TEP, prognos (2021), Negativemissionstechnologien und CCS, Exkurs zu den Energieperspektiven 2050+, Seite 32). Im Szenario KLIMA wird von einer maximalen inländischen Speicherkapazität von 3 MtCO₂ pro Jahr ausgegangen. Die gesamte Abscheidung von CO₂ in der Schweiz beläuft sich auf rund 7 MtCO₂ pro Jahr gemäss Energieperspektiven 2050+ und dem darin unterstellten Produktionsniveaus für die Produktionssektoren, die für eine CO₂-Abscheidung in Frage kommen. Von diesen 7 MtCO₂ entfallen rund 5 MtCO₂ auf die Abscheidung fossiler und geogener CO₂-Emissionen (CCS) und rund 2 Mt auf die Abscheidung biogener CO₂-Emissionen (negative Emissionen). Rund 4 MtCO₂ pro Jahr werden zur Speicherung im Ausland exportiert.

Im Gleichgewichtsmodell wird unterstellt, dass maximal 7 MtCO₂ in der Schweiz zu entsprechend differenzierten Kosten abgeschieden und im In- oder Ausland gespeichert werden. In

den Modellberechnungen werden die CO₂-Abscheidungspotenziale entsprechend der endogen berechneten, klimapolitikbedingten Veränderung des Produktionsniveaus reduziert.

Abbildung B-15: Backstop-Technologien gemäss im Szenario KLIMA: Kapazitäten und Kosten
(Gesamtkosten für Abscheidung, Transport und Speicherung)

NET&CCS im Szenario KLIMA: Kapazitäten		2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Bereich: Inland	Mio. t CO₂	-	0.3	2.1	3.0	3.0	2.9
Zementklinkerherstellung (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	Mio. t CO ₂	-	0.2	1.8	2.4	2.4	2.4
Chemie, Pharma	Mio. t CO ₂	-	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5
Eisen, Stahl	Mio. t CO ₂	-	-	0.1	0.1	0.1	0.1
Non-ETS-Bereich: Inland	Mio. t CO₂	0.4	1.4	2.7	4.0	4.1	4.2
KVA (Post-Combustion-CO ₂ -Abscheidung)	Mio. t CO ₂	0.4	1.1	2.3	3.6	3.6	3.5
Biomasseanlagen (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	Mio. t CO ₂	-	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
Biokohle (Post-Combustion-CO ₂ -Abscheidung)	Mio. t CO ₂	-	-	-	0.0	0.0	0.1
Biokohle (Ausbringung Biokohle)	Mio. t CO ₂	-	-	-	0.0	0.1	0.2
Non-ETS-Bereich: Ausland	Mio. t CO₂	-	-	1.1	4.7	4.1	3.6
Total	Mio. t CO₂	0.4	1.7	5.9	11.8	11.2	10.7

Anmerkung: Die obige Tabelle enthalten die maximalen Potenziale vor einem klimapolitikbedingten Produktionsrückgang.

NET&CCS im Szenario KLIMA: Preise		2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Bereich: Inland	CHF/tCO₂	150	141	137	125	113	102
Zementklinkerherstellung (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	CHF/tCO ₂	150	141	137	125	113	102
Chemie, Pharma	CHF/tCO ₂	150	141	137	125	113	102
Eisen, Stahl	CHF/tCO ₂	150	141	137	125	113	102
Non-ETS-Bereich: Inland	CHF/tCO₂	155	145	143	133	123	114
KVA (Post-Combustion-CO ₂ -Abscheidung)	CHF/tCO ₂	155	147	144	133	124	114
Biomasseanlagen (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	CHF/tCO ₂	150	141	137	125	113	102
Biokohle (Post-Combustion-CO ₂ -Abscheidung)	CHF/tCO ₂	155	147	144	133	124	114
Biokohle (Ausbringung Biokohle)	CHF/tCO ₂	177	169	161	154	146	138
Non-ETS-Bereich: Ausland	CHF/tCO₂	389	354	320	285	250	216
Total	CHF/tCO₂	155	144	175	192	167	145

Quelle: Annahmen und Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Synfuels

Abbildung B-16: Kapazitätvorgaben für synthetische Brenn- und Treibstoffe sowie Wasserstoff im Szenario KLIMA (strombasierte Energieträger / PtX)

Kapazitäten PtX im Szenario KLIMA		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
PtDiesel	PJ	0	0	0	0	0	10	25	14	7
PtBenzin	PJ	0	0	0	0	0	3	12	7	5
PtKerosin	PJ	0	0	0	0	0	0	3	3	3
PtH ₂	PJ	0	1	2	4	7	11	15	19	23
PtG	PJ	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PtX TOTAL	PJ	0	1	2	4	7	25	56	44	37

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-17: Importpreise für die beiden modellierten Synfuels: PtL und Wasserstoff im Szenario KLIMA

		2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wasserstoff	RP. 2017/kWh (Hu)	28.0	26.2	24.1	23.0	21.4	20.8	19.5	19.4	18.5
PtL	RP. 2017/kWh (Hu)	46.8	43.4	40.1	37.8	35.5	33.7	31.9	31.2	30.3

Quelle: Annahmen der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

B3 Internationale Luft- und Schifffahrt - Systemabgrenzung

Der internationale Flug- und Schiffsverkehr wurde in Bezug auf die Klimaziele in den Schweizer Energieperspektiven 2050+ nicht berücksichtigt. Damit sind also auch die Kosten für die Dekarbonisierung bzw. Defossilisierung des internationalen Flug- und Schiffsverkehr in den vorliegenden Berechnungen nicht enthalten.

Modell- und datenmässig konnte der nationale und internationale Flugverkehr – ausser für die Schweiz – nicht aufgetrennt werden. Daher wurde folgendes pragmatisches Vorgehen für die daten- und modellmässige Behandlung des internationalen Flug- und Schiffsverkehr umgesetzt:

Zielvorgaben: Die Klimaziele für die Schweiz und die anderen betrachteten Regionen wurden ohne Einbezug des internationalen Flug- und Schiffsverkehr definiert. Der mittels klimapolitischen Massnahmen einzuhaltende Pfad für die Treibhausgasemissionen beinhaltet also die Treibhausgase aus dem internationalen Flug- und Schiffsverkehr nicht.

Synfuels: Bei der Vorgabe der Synfuel-Kapazitäten wurde entsprechend berücksichtigt, dass das für die Erzeugung von Sustainable Aviation Fuels gebrauchte Potenzial für andere Zwecke nicht zur Verfügung steht.⁹⁷

Internationaler Luftverkehr Schweiz: Für die Schweiz ist bekannt, wie viel Flugtreibstoff und damit auch wie viel Treibhausgasemissionen der internationale Flugverkehr verursacht. Entsprechend wurden für die Schweiz die Treibhausgase im internationalen Luftverkehr nicht berücksichtigt.

Internationaler Luft- und Schiffsverkehr für die anderen Regionen: Nationaler und internationaler Luft- und Schiffsverkehr sind in den Daten und im Modell aggregiert. Für diesen aggregierten Sektor wurde unterstellt, dass für die Hälfte der total eingesetzten Treibstoffe günstige Backstops zur Verfügung stehen (vgl. «Backstops für Kohleverstromung und im Transportbereich» am Schluss des folgenden Kapitels B4).

⁹⁷ Für die in der Luft- und Schifffahrt eingesetzten erneuerbaren Treibstoffe wurden folgende Quellen verwendet:
Luftfahrt: ATAG (2020): WayPoint 2050, Szenario 1.
Schifffahrt: IEA (2021), Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector, Szenario NZE

B4 Vorgaben für die restlichen Weltregionen

Vorgaben für die Vorwärtskalibrierung des Szenarios WWB

Abbildung B-18: BIP-Entwicklung für die einzelnen Länder [Index 2014 = 100]

BIP	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
CH	100	111	118	125	133	139	145	151	156	162
EU	100	109	115	123	131	140	149	159	169	179
Rest_OECD	100	112	120	133	146	160	175	192	208	225
ChInRuME	100	134	165	202	241	287	339	398	465	542
ROW	100	118	135	163	196	235	280	331	391	460

Quellen:

CH: Annahmen der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infras AG (2021)

Restliche Regionen. IEA (2020), World Energy Outlook 2020.

Abbildung B-19: Entwicklung der Weltmarktpreise für Kohle, Öl und Gas im Szenario WWB in USD₂₀₁₉

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kohle (\$/Tonne)	81.6	49.8	66.0	71.0	70.0	69.0	68.0	67.0	66.0	65.0
Öl (\$/barrel)	104.8	40.5	71.0	76.0	81.0	85.0	89.5	94.0	98.5	103.0
Gas (\$/MBtu)	13.1	5.3	6.7	7.5	7.9	8.3	8.7	9.1	9.5	9.9

Quellen:

Jahre 2014 und 2020: BP (2021), Statistical Review of World Energy July 2021

Jahre 2025 bis 2040: IEA (2020), World Energy Outlook 2020, Scenario Stated Policies, jeweils die Preise für die EU

Jahre ab 2045: linear fortgeschrieben

Abbildung B-20: Entwicklung der CO₂-Schattenpreise der bestehenden Klima- und Energiepolitik Szenario WWB in USD₂₀₁₉

	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
CH	61	98	98	98	98	98	98	98	98	98
EU	8	28	34	38	45	52	59	66	73	80
Rest_OECD	5	10	15	22	28	35	42	48	55	62
ChInRuME	3	7	10	15	20	25	30	35	40	45
ROW	3	7	10	13	17	20	23	27	30	33

Quellen:

CH: Niveau der CO₂-Abgabe im Szenario WWB.

Restliche Regionen. Eigene grobe Einschätzung basierend auf IEA (2020), World Energy Outlook 2020, Tabelle 2.3.

Vorgaben für Minderungsziele in den Klimaszenarien

Abbildung B-21: Minderungsziele im EU ETS

	Basis- jahr	LRF- Referenz- wert								
		2005	2008-2012	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045
Index Referenzwerte	100.0	86.7	76.4	74.7	56.5	38.2	28.7	19.1	9.6	0.0
LRF Linearer Reduktions-Faktor				1.74%	4.2%	4.2%	2.2%	2.2%	2.2%	2.2%
Reduktionsziel i.Vgl. zu 2014				-12%	-26%	-50%	-62%	-75%	-87%	-100%

Quellen:

Tatsächliche Emissionen: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/klima/der-europaeische-emissionshandel#vergleich-von-emissionen-und-emissionsobergrenzen-cap-im-eu-ets>

LRF ab 2021 bis 2030 entspricht dem Fit-for-55-Reformpaket der EU-Kommission

Ab 2031 wurde eine linear Reduktion bis zum Netto-Null-Zielwert im 2050 unterstellt.

Vorgaben für NET – Negative Emissionstechnologien

Wie hoch die tatsächlich nutzbaren Potenziale für Negative Emissionstechnologien sind, ist noch unklar. Wie die nachfolgende Abbildung B-22 aus der aktuellen Literatur zeigt, ergeben sich sowohl in Bezug auf die zur Verfügung stehenden Potenzialen als auch deren Kosten relative grosse Bandbreiten.

Abbildung B-22: Bandbreiten der NET-Potenziale und -Kosten für 2050 aus der Literatur

	Potenziale in GtCO ₂ /a			Kosten in USD ₂₀₁₇ /tCO ₂		
	Tief	Mittel	Hoch	Tief	Mittel	Hoch
BECCS	0.5	2.5	5.0	100	150	200
DACCS	0.5	2.5	5.0	100	200	300
Beschleunigte Verwitterung	2.0	3.0	4.0	50	130	200
Pflanzenkohle	0.5	1.0	2.0	30	80	120
Total	3.5	9.0	16.0			

Quelle: Fuss et al. (2018), *Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects*, *Environ. Res. Lett.* 13 (2018). Die Anwendung von Pflanzenkohle und beschleunigter Verwitterung sind aus heutiger Sicht noch mit grösseren Unsicherheiten verbunden.

Anmerkung: Aufforstung wird in den Potenzialen aufgrund der Konkurrenz zu landwirtschaftlichem Land und entsprechende Rückwirkungen auf die Nahrungsmittelpreise nicht berücksichtigt. Fuss et al. (2018) beziffern das Potenzial für Aufforstung von 0.5 bis 3.6 GtCO₂/a, zu Kosten von 5 bis 50 USD/t CO₂.

Annahmen für die Modellierung

Für die Modellierung sind Annahmen zu den in den Jahren 2025 bis 2060 genutzten bzw. zur Verfügung stehenden maximalen Kapazitäten und den Kosten vorzugeben. Nachfolgend stellen wir diese Annahmen zu den NET für die Szenarienrechnungen in den Kapiteln 5 bis 7 zusammen. Im Rahmen der Sensitivitätsanalyse (Kapitel 8) wird untersucht, was die Auswirkungen geringer bzw. höherer NET-Potenziale und geringerer/höherer NET-Kosten im Rahmen der oben dargelegten Bandbreiten sind.

Annahmen Global (exkl. CH)

Im Szenario Net-Zero by 2050 (NZE) der IEA (2021) werden zum Ausgleich von Rest-Emissionen in den Sektoren Energie und industrielle Prozesse im Jahr 2050 global negative Emissionen von 1'900 MtCO₂ eingerechnet. Werden die THG-Emissionen in der Landwirtschaft und im Abfallbereich sowie die Non-CO₂-Gase in den industriellen Prozessen in der Schweiz und in der EU zur Erreichung der THG-Neutralität bis 2050 und bei den anderen Weltregionen bis 2070 auch mit NET ausgeglichen, ergibt sich insgesamt im Szenario KLIMA MIX 1 im Jahr 2050 ein weltweiter Bedarf von rund 2.8 GtCO₂ für NET (vgl. nachfolgende Abbildung B-23). Für die Jahre 2055 und 2060 steigt der NET-Bedarf aufgrund der Dekarbonisierung der Bereiche Landwirtschaft/Abfall in den Regionen Rest_OECD, ChInRuME und ROW.

Der NET-Bedarf für den Energiebereich gemäss dem NZE-Szenario der IEA und für die restlichen Bereiche gemäss eigenen Abschätzungen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels werden im Modell als maximal zur Verfügung stehende Kapazitäten vorgegeben.

Abbildung B-23: NET-Kapazitäten in den Klimaszenarien - Herkunft

NET-Kapazitäten in Mt CO ₂ eq	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
NET für Kompensation bei Energie/ind. Prozesse	10	211	366	633	1'097	1'900	1'900	1'900
NET für Kompensation in Landwirtschaft/Abfall	-	-	-	-	69	288	3'731	5'290
EU					69	288	263	239
Rest_OECD							400	585
ChInRuME							932	1'291
ROW							2'136	3'175
NET für Kompensation Non-CO₂- in ind. Prozessen	-	-	-	-	-	630	547	460
EU						42	37	32
Rest_OECD						168	146	122
ChInRuME						257	225	193
ROW						162	139	112
NET Global (exkl. CH)	10	211	366	633	1'166	2'817	6'177	7'650

Quellen:

*NET für Kompensation bei Energie / ind. Prozesse: IEA, Net Zero Emissions by 2050, Scenario NZE
NET für Kompensation Landwirtschaft/Abfall und Non-CO₂ in ind. Prozessen: Eigene grobe Abschätzungen auf Basis des Vorgehens, welches im Kapitel 3.2 beschrieben ist.*

Abbildung B-24: NET-Kapazitäten in den Klimaszenarien – angenommene Anteile für die einzelnen NET

NET-Kapazitäten in Mt CO _{2eq}	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
NET für Kompensation bei Energie/ind. Prozesse	10	211	366	633	1'097	1'900	1'900	1'900
<i>davon BECCS (50%)</i>	5	106	183	317	548	950	950	950
<i>DACCS (50%)</i>	5	106	183	317	548	950	950	950
NET für Kompensation bei Landw./Abfall/weitere	-	-	-	-	69	917	4'277	5'750
<i>davon BECCS (30%)</i>	-	-	-	-	21	275	1'283	1'725
<i>DACCS (30%)</i>	-	-	-	-	21	275	1'283	1'725
<i>Beschleunigte Verwitterung (30%)</i>	-	-	-	-	21	275	1'283	1'725
<i>Pflanzkohle (10%)</i>	-	-	-	-	7	92	428	575
NET Global (exkl. CH)	10	211	366	633	1'166	2'817	6'177	7'650

Quellen:

NET für Kompensation bei Energie / ind. Prozesse: IEA (2021), Net Zero Emissions by 2050, zeigt die genutzten BECCS und DACCS, welche gemäss den Potenzialen (vgl. Abbildung B-22) hälftig aufgeteilt wurde.

NET für Kompensation Landwirtschaft/Abfall und Non-CO₂ in ind. Prozessen: Grobe Aufteilung anhand der vorhandenen Potenziale gemäss Abbildung B-22.

Die NET-Kapazitäten wurden anhand der internationalen Literatur bzw. aufgrund von eigenen Annahmen auf die im Modell erfassten Regionen verteilt (vgl. nachfolgende Abbildung B-25). Die NET-Kapazitäten wurden regional zugeordnet, damit sich unterschiedliche regionale Grenzvermeidungskosten der THG-Minderung ergeben und allfällige Renten beim Einsatz von NET den jeweiligen Regionen gutgeschrieben werden.

Abbildung B-25: Regionale NET-Kapazitäten in den Klimaszenarien

Regionale NET-Kapazitäten in Mt CO ₂ eq								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
BECCS (regionale Kapazitäten)								
EU	1	17	29	50	90	186	282	324
Rest_OECD	2	42	73	127	228	485	843	1'000
ChInRuME	1	25	43	75	135	290	530	636
ROW	1	22	37	65	116	264	577	715
DACCS (Importquoten)								
EU	2	26	40	63	109	215	376	431
Rest_OECD	2	52	89	155	273	579	1'020	1'180
ChInRuME	1	25	46	87	166	383	762	986
ROW	0	0	0	0	1	5	4	4
Beschleunigte Verwitterung (regionale Kapazitäten)								
EU	0	0	0	0	1	14	64	86
Rest_OECD	0	0	0	0	1	8	38	52
ChInRuME	0	0	0	0	7	94	436	586
ROW	0	0	0	0	12	160	744	1'000
Pflanzenkohle (regionale Kapazitäten)								
EU	0	0	0	0	0	4	17	22
Rest_OECD	0	0	0	0	1	11	49	65
ChInRuME	0	0	0	0	2	23	105	138
ROW	0	0	0	0	4	54	256	350

Quellen und Herleitung:

BECCS: Die BECCS wurde anhand der regional vorhandenen Potenziale gemäss Turner et al. (2018) auf die verschiedenen Regionen aufgeteilt.⁹⁸

DACCS: Die DACCS werden von einem internationalen Konsortium global zur Verfügung gestellt. Die einzelnen Regionen auferlegen sich aber Importrestriktionen in Bezug auf die maximal importierten DACCS. Es wurde angenommen, dass die EU und Rest_OECD denselben Anteil wie die Schweiz an DACCS an der THG-Minderung als Importrestriktion festlegen. Die restlichen DACCS-Kapazitäten werden zu gleichen Anteilen an der THG-Minderung den Regionen ChInRuME sowie ROW zugewiesen.

Beschleunigte Verwitterung: Die Kapazitäten für die beschleunigte Verwitterung wurden gemäss Strefler J. et al (2018) regionalisiert.⁹⁹

Pflanzenkohle: Für die Pflanzenkohle wurde vereinfachend unterstellt, dass diese gemäss den Anteilen der landwirtschaftlichen Produktion auf die Regionen aufgeteilt wird.

Anmerkung

Die NET-Potenziale werden nicht für einzelne Sektoren, wie bspw. Landwirtschaft, „reserviert“, sondern stehen allen Sektoren bis zu den Kapazitätsgrenzen zur Verfügung.

⁹⁸ Turner, P.A., Mach, K.J., Lobell, D.B. et al. (2018), The global overlap of bioenergy and carbon sequestration potential. *Climatic Change* 148, 1–10 (2018). <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2189-z>

⁹⁹ Strefler J. et al. (2018), Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks, *Environ. Res. Lett.* 13 034010.

Die NET-Kosten (vgl. Abbildung B-26) stammen aus der internationalen Literatur.¹⁰⁰

Abbildung B-26: Spezifische NET-Kosten

NET-Kosten global in USD ₂₀₁₇ /t CO ₂	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
BECCS	188	180	173	165	158	150	142	135
DACCS	700	432	396	361	326	291	256	220
Beschleunigte Verwitterung	163	156	150	143	137	130	123	117
Pflanzenkohle	100	96	92	88	84	80	76	72
NET Global (exkl. CH)	444	306	285	263	239	207	175	156

Quellen:

Global: Mittlere Kostenabschätzung gemäss Abbildung B-22 für das Jahr 2050. Für die restlichen Jahre wurde dieselbe Kostenentwicklung wie für die Schweiz unterstellt.

Abbildung B-27: NET-Kosten in Milliarden USD₂₀₁₇

NET-Kosten global in Mrd. USD ₂₀₁₇	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
BECCS	1	19	32	52	90	184	318	361
DACCS	3	46	72	114	186	356	571	589
Beschleunigte Verwitterung	-	-	-	-	3	36	158	202
Pflanzenkohle	-	-	-	-	1	7	33	41
NET Global (exkl. CH)	4	65	104	167	279	583	1'080	1'194

Quellen: Eigene Berechnung.

Vorgaben für CCS – CO₂-Abscheidung und -Speicherung

In Europa wird von einem theoretischen Speicherpotential von rund 300'000 MtCO₂ ausgegangen, davon in der Nordseeregion rund 200'000 MtCO₂.¹⁰¹ Das Speicherpotenzial global übersteigt dasjenige von Europa um ein Vielfaches. Begrenzend sind nicht die gesamten theoretischen Speicherkapazitäten, sondern die geologischen Einspeisekapazitäten pro Jahr und die kostengünstigen Abscheidemöglichkeiten (bei Chemie, Stahl und Zement sowie der Strom- und Wärmeerzeugung).

Als CCS-Kapazitätsgrenze (Abscheidepotenzial) werden die im Szenario Net-Zero by 2050 (NZE) der WEO 2020 ausgeschöpften CCS-Potenziale unterstellt (vgl. nachfolgende Abbildung B-28).

¹⁰⁰ Vgl. dazu die Ausführungen zu Beginn der vorgängigen Ausführungen zu «Vorgaben für NET – Negative Emissionstechnologien».

¹⁰¹ GCCSI (2020), Global Status Report 2019.

Abbildung B-28: CCS-Potenzial und -Kosten im Szenario KLIMA [Kapazitäten in Mt CO₂eq pro Jahr, Kosten in US\$2017]

Kapazitäten								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
CCS Global (exkl. CH) in Mt CO ₂ eq *)	237	1'581	2'905	5'338	6'045	7'103	7'103	7'103
Kosten								
CCS Global (exkl. CH) in USD ₂₀₁₇	150	140	130	120	110	100	92	84

*) Potenzial für Abscheidung nach Abzug CCU von Synfuels. Ab dem Jahr 2050 wird von einem konstanten CCS-Abscheidepotenzial abzüglich CCU für Synfuel gerechnet. D.h. allfällige weitere CCS-Abscheidungen würden unter dieser Annahme für die Produktion von Synfuels eingesetzt.

Quellen:

Kapazitäten: Ausgeschöpfte CCS-Potenziale gemäss WEO (2020), Net-Zero by 2050.

Kosten: Eigene Abschätzung auf Basis von IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage.

Gemäss IEA (2020)¹⁰² liegen die Kosten für die CO₂-Abscheidung bei der Elektrizitätsproduktion, der Zementindustrie und Eisen&Stahl im Jahre 2019 zwischen 50 bis 120 USD/Tonne CO₂ (Fig. 3.4). Die Speicherkosten werden auf <10 (günstigste) bis 50 (teuerste) USD/Tonne CO₂ geschätzt (Fig. 3.10). Die Transportkosten (Pipeline) betragen zwischen 2 bis 16 USD/Tonne CO₂. Künftig dürften die Kosten für die Abscheidung (vgl. Fig. 3.11) und Speicherung aufgrund des technologischen Fortschritts noch weiter fallen.

Für die Berechnungen gehen wir davon aus, dass die CCS-Kosten (Abscheidung, Transport und Speicherung) in den Regionen ausserhalb der Schweiz von 150 auf 100 CHF/tCO₂ im Jahr 2050 sinken. Die Kostendegression ab 2050 entspricht derjenigen, welche auch für die Schweiz unterstellt wurde.

Abbildung B-29: Regionale CCS-Kapazitäten in den Klimaszenarien

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kapazitäten Nicht-ETS-Bereich in Mt CO ₂								
EU	1	8	13	20	21	23	20	18
Rest_OECD	50	311	542	959	1'064	1'236	1'212	1'186
ChInRuME	133	903	1'665	3'049	3'414	3'951	3'892	3'829
ROW	40	289	572	1'125	1'356	1'689	1'796	1'907
Kapazitäten ETS-Bereich in Mt CO ₂								
EU	12	70	113	184	189	204	184	163

Herleitung:

Die globalen Kapazitäten gemäss Abbildung B-28 wurden anhand der regionalen Anteile an CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen, Stromerzeugung und den restlichen CO₂-Emissionen gemäss dem Szenario NZE, WEO (2020), aufgeteilt. Für die EU wurde vereinfachend angenommen, dass der überwiegende CCS-Anteil im ETS anfällt (90%).

¹⁰² IEA (2020), Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage.

Vorgaben für Synfuels

Bei den Synfuels unterscheiden wir zwischen Wasserstoff und flüssigen Synfuels – beide hergestellt aus erneuerbaren, CO₂-neutralen Quellen. Die Kapazitäten an Wasserstoff werden im Modell restringiert auf die im NZE-Szenario, IEA (2021), eingesetzten Wasserstoff (abzüglich der im NZE-Szenario angegebenen Mengen für Luftfahrt und Schifffahrt, vgl. dazu auch die Ausführungen im Kapitel B3). Für die flüssigen Synfuels werden im Modell keine Kapazitätsgrenzen vorgegeben. Die relativ teuren flüssigen Synfuels gelten als «letzte Backstop-Technologie», die unbeschränkt zur Verfügung steht.

Die Kosten für Wasserstoff und flüssige Synfuels sind global gleich hoch und entsprechen denjenigen, welche auch in den Energieperspektiven 2050+ für die Schweiz unterstellt wurden.

Abbildung B-30: Synfuel Kapazitäten und -Kosten im Szenario KLIMA [Kapazitäten in Mt CO₂-Einsparung pro Jahr, Kosten in Rp./kWh]

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kapazitäten in Mt CO₂-Einsparung durch den Einsatz von Synfuels								
PtH2 (Wasserstoff)	35	454	649	929	1'121	1'353	1'353	1'353
PtL (flüssige Kraftstoffe)	keine Kapazitätsbeschränkung							
Kosten in Rp. 2017/kWh (Hi)								
PtH2 (Wasserstoff)	26	24	23	21	21	19	19	19
PtL (flüssige Kraftstoffe)	43	40	38	36	34	32	31	30

Quellen:

Wasserstoff-Kapazitäten: WEO(2020), Net-Zero by 2050, fig. 02 21., ab 2050 wurde nicht mit einer weiteren Ausdehnung der H₂-Produktion gerechnet.

Kosten: Prognos (2021), Kostendaten, welche für die Energieperspektiven 2050+ verwendet wurden (Grenzübergangskosten).

Abbildung B-31: Regionale Wasserstoff-Kapazitäten in den Klimaszenarien

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Kapazitäten Wasserstoff in Mt CO₂-Einsparung durch den Wasserstoffeinsatz								
EU	3	41	55	75	84	94	86	79
Rest_OECD	10	122	163	220	249	280	261	242
ChInRuME	15	206	302	441	541	663	672	680
ROW	6	85	129	193	248	316	334	352

Herleitung:

Regionale Aufteilung der Wasserstoff-Kapazitäten anhand des regionalen Stromverbrauch-Anteils.

Backstops für Kohleverstromung und im Transportbereich

Im Mehrländermodell sind keine Dekarbonisierungstechnologien explizit abgebildet. Als Ersatz werden ausserhalb der Schweiz zwei Backstops, je einer bei der Kohleverstromung und der andere im Transportbereich, eingeführt:

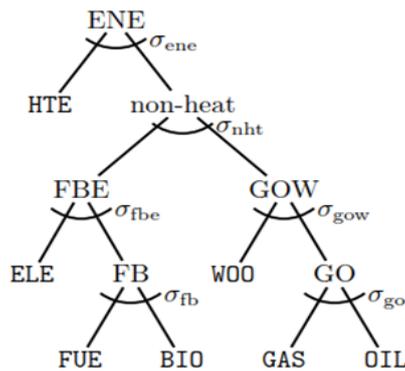
- Backstop-Potenzial: 50% des Verbrauchs an Kohle und Benzin/Diesel/Kerosin
- Backstop-Kosten: 5 bzw. 10 USD 2014 über den Grenzkosten im WWB

Es wird also unterstellt, dass 50% des Kohle- und Benzin/Diesel-Verbrauchs relativ günstig ersetzt werden kann und entsprechend kostengünstige CO₂-Vermeidungspotenziale vorhanden sind.

B5 Elastizitäten

Abbildung B-32: Elastizitäten für das aggregierte Energiegut in der Produktionsfunktion

Energieelastizitäten in der Produktionsfunktion



- ENE = Energiegut
- HTE = Aggregat der Heizungstechnologien
- FBE = Aggregat aus Strom, Treibstoffe, Biogas
- ELE = Strom
- FUE = Treibstoffe
- BIO = Biogas
- GOW = Aggregat aus Erdgas, Öl, Holz
- WOO = Holz
- GAS = Erdgas
- OIL = Erdöl EL (inkl. min. Anteil MS)

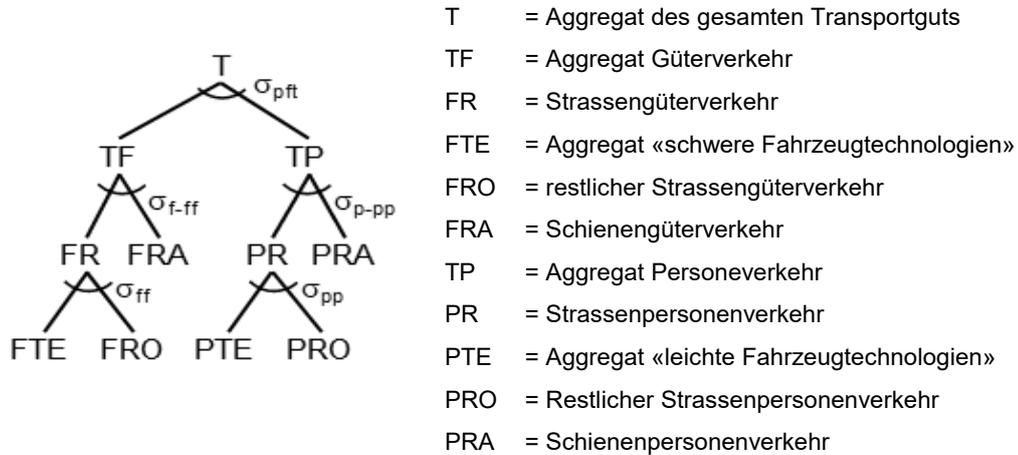
Elastizität	Sektoren	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ene	alle	0.10	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.15	0.15	0.15
nht	alle	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75
fbe	alle	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75
gow	alle	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75
go	alle	0.75	0.81	0.87	0.94	1.00	1.06	1.13	1.13	1.13
fbe	alle	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75

Anmerkung: Die Annahmen zu den Elastizitäten entsprechen den Standardannahmen, die bereits in den Vorgängerstudien Verwendung fanden.¹⁰³ Zwischen der Raumwärme (HTE) und den anderen Energieanwendungen (non-heat) wird mit 0.1 eine sehr geringe Substitutionelastizität angenommen. Zwischen den einzelnen Energieträgern im Non-heat-Bereich wird eine Substitutionelastizität von 0.5 angenommen – ausser zwischen Öl und Gas, welche mit 0.75 besser untereinander substituierbar sind. Weiter wurde unterstellt, dass die längerfristigen Elastizitäten um 50% höher sind.

¹⁰³ Vgl. bspw. Ecoplan (2012), Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform.

Abbildung B-33: Elastizitäten im Verkehrsbereich

Elastizitäten im Verkehrsbereich

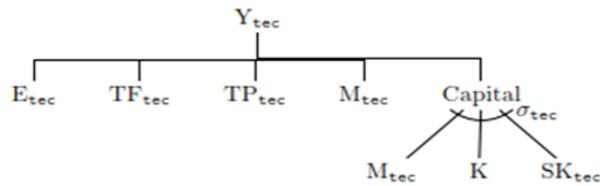


Elastizität	Sektoren	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
σ_{pft}	alle	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
σ_{f-ff}	alle	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
σ_{ff}	alle	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
σ_{p-pp}	alle	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
σ_{pp}	alle	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20

Anmerkung: Die Annahmen zu den Elastizitäten im Verkehrsbereich wurden angelehnt an Ecoplan (2012), Volkswirtschaftliche Auswirkungen einer ökologischen Steuerreform, gewählt.

Abbildung B-34: Elastizitäten bei den Wärme-, Transport- und Stromerzeugungstechnologien

Elastizitäten bei den Wärme-, Transport-, Stromerzeugungstechnologien

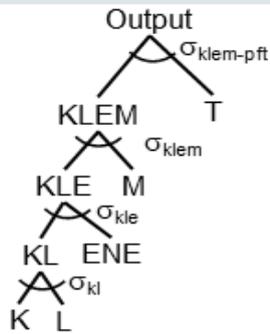


Wärmeerzeugungstechnologie	σ_{tec}
Ölheizung	0.50
Gasheizung	0.50
Holzheizung	0.00
Stromheizung	0.00
Wärmepumpe	2.00
Fernwärme	10.00
Technologie «leichte Fahrzeuge»	σ_{tec}
Verbrennungsmotor (inkl. H2)	1.50
Hybridmotor	2.50
Gasmotor	5.00
Stromantrieb	1.60
Technologie «schwere Fahrzeuge»	σ_{tec}
Verbrennungsmotor (inkl. H2)	0.30
Hybridmotor	0.00
Gasmotor	0.00
Stromantrieb	1.60
Stromerzeugungstechnologie	σ_{tec}
Laufkraftwerke	0.30
Speicherwasserkraftwerke	0.33
Kernkraftwerke	1.10
Fossile Kraftwerke	1.10
Kehrichtverbrennungsanlagen	1.10
Holzskraftwerke	1.10
Biogaskraftwerke	0.50
Windkraftwerke	1.10
Photovoltaik	1.10

Anmerkung: Bei der Fernwärme musste eine sehr hohe Elastizität gewählt werden, damit die gemäss Energieperspektiven 2050+ berechnete Zunahme des Fernwärmeabsatzes annäherungsweise erreicht wird.

Abbildung B-35: KLEM-Elastizitäten (KLEM = Kapital/Arbeit/Energie/Vorleistungen)

KLEM-Elastizitäten



T = Aggregat des gesamten Transportguts
 KLEM = Aggregat Kapital/Arbeit/Energie/Vorleistungen
 M = Vorleistungen
 KLE = Aggregat Kapital/Arbeit/Energie
 ENE = Energiegut
 KL = Aggregat Kapital/Arbeit
 K = Kapital
 L = Arbeit

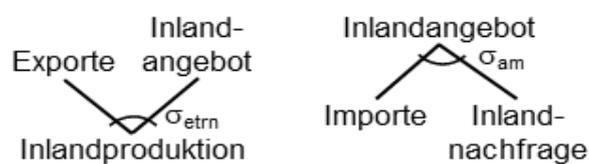
Elastizität	Sektoren	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
$\sigma_{\text{klem-pft}}$	alle	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
σ_{klem}	alle *)	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75
σ_{kle}	alle *)	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75
σ_{kl}	alle	0.50	0.54	0.58	0.63	0.67	0.71	0.75	0.75	0.75

Anmerkung: Für den Sektor Fernwärme wurde eine Elastizität von 4 unterstellt.

Quelle: Die Studie Mohler Lukas, Müller Daniel (2012), *Substitution Elasticities in Swiss Manufacturing*. February 2012, Table 1 and 11, zeigt, dass für die Industriesektoren die KLEM-Elastizitäten in der Nähe von 0.5 liegen. In dieser Studie haben wir keine weitere Differenzierung vorgenommen, sondern generell für alle Sektoren eine Substitutionselastizität von 0.5 unterstellt. Einzig bei der Substitution zwischen dem Aggregat und dem übrigen Vorleistungseinsatz wurde eine – wie üblich – tiefe Elastizität von 0.1 unterstellt.

Abbildung B-36: Elastizitäten im Aussenhandel (Exporte: Transformationselastizität, Importe Armingtonelastizitäten)

Elastizitäten im Aussenhandel



Sektoren	alle Jahre	alle Jahre
	σ_{etrn}	σ_{am}
Landwirtschaft	1.6	0.8
ETS-Sektoren	1.2	0.9
Pharma	0.4	0.5
Rest der Industrie	1.8	2
Bau	1.8	1.2
Luftfahrt (ETS-Sektor)	0.4	0.5
Rest Transportsektoren	0.4	1.0
Rest der Dienstleistungen	0.4	0.5
Energieträger (Öl, Gas, Strom)	4.0	4.0
Energieträger (Rest)	2.0	2.0

Quellen: Dimaranan, B.V., McDougall, R.A. (2002); Saito M. (2004); Welsch H. (2008).

B6 Vorgaben für die Schweiz aus Energiesystemmodellen für die Sensitivität BIP-Pop hoch

Abbildung B-37: Rahmenentwicklung: BIP-Pop hoch

Rahmenentwicklung		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB und KLIMA											
Bevölkerung	Tsd, Jahresmittel	8189	8705	9205	9738	10212	10536	10790	11021	11234	11426
Bruttoinlandsprodukt	Mrd CHF-2017	642	717	785	851	918	977	1034	1088	1141	1195

Quelle: Annahmen zu den Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-38: THG-Emissionen gemäss bup-Modellen und THG-Minderungsziele für die Sensitivität BIP-Pop hoch

THG-Emissionen, Mio. t CO₂, Szenario WWB											
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Energie (exkl. Energieumwandlung/Verdampfung)	33.6	31.7	29.6	26.9	24.5	22.2	20.0	17.9	16.3	14.9	
Energieumwandlung	3.6	3.1	3.3	3.5	3.5	3.7	3.9	4.1	4.2	4.2	
- KVA	2.0	2.3	2.4	2.5	2.7	2.8	2.9	3.1	3.1	3.1	
- Raffinerien	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	
- Rest	0.7	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	
Verdampfungsemissionen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	
Industrielle Prozesse (inkl. indirektes CO ₂)	2.8	2.8	2.8	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	2.9	
Lösungsmittel	1.8	1.6	1.3	0.9	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.7	
Landwirtschaft	6.2	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
Abfall (inkl. Andere)	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
Total THG-Emissionen: WWB	49.0	46.1	43.9	40.9	38.4	36.3	34.2	32.4	30.8	29.3	

THG-Emissionen, Mio. t CO₂, Szenario KLIMA											
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Energie (exkl. Energieumwandlung/Verdampfung)	33.6	31.7	27.4	22.3	17.3	12.4	7.0	1.7	1.4	1.3	
Energieumwandlung	3.6	3.2	3.3	3.3	3.2	3.1	3.1	2.6	2.6	2.5	
- KVA	2.0	2.3	2.3	2.3	2.4	2.4	2.5	2.6	2.5	2.5	
- Raffinerien	0.9	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-	-	-	
- Rest	0.7	0.5	0.6	0.5	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	
Verdampfungsemissionen	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	
Industrielle Prozesse	2.8	2.8	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	2.3	
Lösungsmittel	1.8	1.6	1.2	0.8	0.6	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	
Landwirtschaft	6.2	6.0	5.7	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6	4.3	4.1	
Abfall (inkl. Andere)	0.7	0.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	
Total THG-Emissionen: KLIMA (exkl. NET & CCS)	49.0	46.1	40.7	34.9	29.4	23.9	18.2	12.1	11.5	11.0	

NET & CCS, Mio. t CO₂, Szenario KLIMA											
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
ETS-Bereich: Inland	-	-	-	-	-	0.3	2.2	3.3	3.3	3.3	
Zementklinkerherstellung (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	-	-	-	-	-	0.2	1.9	2.7	2.7	2.7	
Chemie, Pharma	-	-	-	-	-	0.1	0.3	0.5	0.5	0.5	
Eisen, Stahl	-	-	-	-	-	-	-	0.1	0.1	0.1	
Non-ETS-Bereich: Inland	-	-	-	-	0.4	1.4	2.7	4.0	4.1	4.2	
Kehrichtverbrennungsanlagen (Post-Combustion-CO ₂ -Abscht)	-	-	-	-	0.4	1.1	2.3	3.6	3.6	3.5	
Biomasseanlagen (Oxyfuel-CO ₂ -Abscheidung)	-	-	-	-	-	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	
Biokohle	-	-	-	-	-	-	-	0.0	0.1	0.3	
Non-ETS-Bereich: Ausland	-	-	-	-	-	-	1.2	4.7	4.1	3.6	
NET & CCS in Mio. t CO₂	-	-	-	-	0.4	1.7	6.1	12.1	11.5	11.0	

Total THG-Emissionen: KLIMA (inkl. NET & CCS)											
	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060	
Total THG-Emissionen: KLIMA (inkl. NET & CCS)	49.0	46.1	40.7	34.9	29.0	22.2	12.1	0.0	0.0	0.0	

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-39: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für leichte Fahrzeuge (Personenwagen, leichte Nutzfahrzeuge, Motorräder): Sensitivität BIP-Pop hoch

Technologieportfolio Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen) gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	97	587	2'074	5'073	9'712	15'446	21'431	27'648	34'036	40'613
Hybrid	Fzkm	8	296	1'009	1'870	2'663	3'180	3'426	3'559	3'644	3'701
Gasfahrzeug	Fzkm	123	155	203	203	158	102	54	28	17	11
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	61'495	65'159	66'129	65'340	62'675	58'329	52'999	47'340	41'376	35'112
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	61'495	65'159	66'129	65'276	62'410	57'505	51'173	44'074	36'504	28'648
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	0	0	63	265	824	1'826	3'266	4'872	6'465
Total	Fzkm	61'723	66'197	69'415	72'487	75'208	77'057	77'910	78'575	79'072	79'437
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	3%	7%	13%	20%	28%	35%	43%	51%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	3%	4%	4%	4%	5%	5%	5%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	100%	98%	95%	90%	83%	76%	68%	60%	52%	44%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	100%	98%	95%	90%	83%	75%	66%	56%	46%	36%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	4%	6%	8%
Total		100%									
Szenario KLIMA: Leichte Fahrzeuge (bis 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	97	590	2'461	7'343	16'505	29'114	41'396	51'622	58'899	63'407
Hybrid	Fzkm	8	296	1'746	5'313	9'306	11'064	10'191	7'558	4'707	2'658
Gasfahrzeug	Fzkm	123	155	203	202	157	101	53	28	16	11
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	61'330	65'156	65'006	59'628	49'239	36'778	26'270	19'368	15'450	13'362
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	61'330	65'156	64'947	59'392	48'128	33'702	20'909	12'036	6'744	3'877
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	0	59	236	1'112	3'077	5'361	7'331	8'706	9'484
Total	Fzkm	61'558	66'197	69'415	72'487	75'208	77'057	77'910	78'575	79'072	79'437
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	4%	10%	22%	38%	53%	66%	74%	80%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	3%	7%	12%	14%	13%	10%	6%	3%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	100%	98%	94%	82%	65%	48%	34%	25%	20%	17%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	100%	98%	94%	82%	64%	44%	27%	15%	9%	5%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	0%	0%	1%	4%	7%	9%	11%	12%
Total		100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-40: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für schwere Fahrzeuge (Schwere Nutzfahrzeuge, Stadtbus, Trolley-Bus, Reisebus): Sensitivität BIP-Pop hoch

Technologieportfolio Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen) gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	1	3	17	71	161	266	366	462	553	638
Hybrid	Fzkm	-	6	31	69	103	123	124	107	69	37
Gasfahrzeug	Fzkm	12	16	36	84	142	182	195	194	188	182
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	2'617	2'712	2'800	2'808	2'805	2'812	2'792	2'799	2'832	2'864
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	2'617	2'710	2'769	2'735	2'691	2'661	2'608	2'580	2'579	2'585
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	2	32	73	114	151	184	219	253	279
Total	Fzkm	2'630	2'737	2'885	3'032	3'210	3'382	3'476	3'562	3'642	3'721
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	5%	8%	11%	13%	15%	17%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	3%	4%	4%	3%	2%	1%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	1%	3%	4%	5%	6%	5%	5%	5%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	99%	99%	97%	93%	87%	83%	80%	79%	78%	77%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	99%	99%	96%	90%	84%	79%	75%	72%	71%	69%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	1%	2%	4%	4%	5%	6%	7%	8%
Total		100%									
Szenario KLIMA: Schwere Fahrzeuge (ab 3.5 Tonnen)											
Stromfahrzeug	Fzkm	1	3	19	84	204	365	531	705	891	1'106
Hybrid	Fzkm	-	7	34	71	95	93	72	47	25	11
Gasfahrzeug	Fzkm	12	18	72	194	388	647	883	983	913	689
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Fzkm	2'617	2'709	2'760	2'683	2'523	2'278	1'990	1'828	1'813	1'914
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Fzkm</i>	2'617	2'707	2'702	2'529	2'258	1'907	1'513	1'217	1'015	807
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Fzkm</i>	0	2	58	155	265	371	477	611	798	1'107
Total	Fzkm	2'630	2'737	2'885	3'032	3'210	3'382	3'476	3'562	3'642	3'721
Stromfahrzeug	Anteile am Total	0%	0%	1%	3%	6%	11%	15%	20%	24%	30%
Hybrid	Anteile am Total	0%	0%	1%	2%	3%	3%	2%	1%	1%	0%
Gasfahrzeug	Anteile am Total	0%	1%	2%	6%	12%	19%	25%	28%	25%	19%
Verbrennungsmotor+H2-Fzg	Anteile am Total	99%	99%	96%	88%	79%	67%	57%	51%	50%	51%
- <i>Verbrennungsmotor</i>	<i>Anteile am Total</i>	99%	99%	94%	83%	70%	56%	44%	34%	28%	22%
- <i>H2-Fahrzeug</i>	<i>Anteile am Total</i>	0%	0%	2%	5%	8%	11%	14%	17%	22%	30%
Total		100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-41: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Wärmeerzeugung
(Beheizungsstruktur (inkl. Warmwasserbereitung) für die gesamte Energiebezugsfläche von Haushalten, Dienstleistungen und Industrie ausgedrückt in Kostenanteilen):
Sensitivität BIP-Pop hoch

Technologieportfolio Heizungen gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Heizungen											
Ölheizung	Anteile am Total	42%	36%	26%	20%	16%	13%	10%	8%	6%	5%
Gasheizung	Anteile am Total	26%	30%	30%	29%	27%	25%	23%	21%	20%	18%
Holzheizung	Anteile am Total	6%	7%	7%	7%	6%	5%	4%	4%	3%	3%
Stromdirektheizung	Anteile am Total	10%	8%	6%	4%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Wärmepumpe	Anteile am Total	10%	12%	24%	35%	43%	49%	55%	60%	64%	68%
Fernwärme	Anteile am Total	5%	7%	7%	7%	6%	6%	6%	6%	6%	6%
Total	Anteile am Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Szenario KLIMA: Heizungen											
Ölheizung	Anteile am Total	42%	37%	22%	13%	8%	5%	3%	1%	0%	0%
Gasheizung	Anteile am Total	26%	31%	23%	17%	11%	7%	4%	0%	0%	0%
Holzheizung	Anteile am Total	6%	7%	6%	5%	4%	3%	3%	2%	2%	2%
Stromdirektheizung	Anteile am Total	10%	8%	5%	3%	2%	1%	1%	1%	1%	1%
Wärmepumpe	Anteile am Total	10%	10%	35%	53%	66%	74%	80%	85%	86%	87%
Fernwärme	Anteile am Total	5%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	10%	11%	10%
Total	Anteile am Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Quelle: Eigene Berechnungen aufbauend auf der Kostenstruktur der mit den sechs Wärmeerzeugungstechnologien desaggregierten Input-Output-Tabelle 2014 und der Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Raumwärme und Warmwasser für die gesamte Gebäudesubstanz gemäss den Resultaten der Energiesystemmodelle der Energieperspektiven 2050+.

Abbildung B-42: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario WWB, KKW-Laufzeit 50 Jahre: Sensitivität BIP-Pop hoch

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario WWB: Stromproduktion											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	38.9	40.0	40.4	39.8	39.2	39.0	38.9	38.7	38.3
KKW	TWh	26.4	22.0	16.7	9.0	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.5	2.7
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.6	8.4	9.6	11.3	15.5	19.4
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.0	6.8	7.5	8.2	9.5	11.1	15.3	19.2
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
Total	TWh	69.6	66.6	64.2	59.7	51.1	51.5	52.9	54.7	58.8	62.4
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	58%	62%	68%	78%	76%	74%	71%	66%	61%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	15%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	3%	3%	4%	4%	4%	4%	4%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	2%	2%	2%	2%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	15%	16%	18%	21%	26%	31%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	6%	11%	15%	16%	18%	20%	26%	31%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-43: Technologieportfolio gemäss bup-Modellen für die Stromproduktion im Szenario KLIMA: Stromerzeugungsvariante «aktuelle Rahmenbedingungen», KKW-Laufzeit 50 Jahre: Sensitivität BIP-Pop hoch

Technologieportfolio Stromproduktion gemäss Bup-Modellen		2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Szenario KLIMA: Stromproduktion Variante «ausgeglichene Jahresbilanz»											
Wasserkraftwerke	TWh	39.3	39.2	40.5	41.5	42.3	43.7	44.2	44.4	44.2	43.7
KKW	TWh	26.4	21.9	16.6	8.8	-	-	-	-	-	-
Fossile Kraftwerke	TWh	1.3	1.4	1.5	1.6	1.6	1.4	1.2	1.0	1.0	1.0
Holzkraftwerke	TWh	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Biogas / ARA	TWh	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	1.2	1.4	1.4
KVA (EE-Anteil)	TWh	1.1	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7	0.7	0.7
Wind	TWh	0.1	0.2	0.3	0.6	1.2	2.2	3.4	4.3	4.6	4.7
Solar (inkl. Geothermie)	TWh	0.8	2.5	4.3	8.7	15.3	23.9	32.2	38.3	40.7	43.2
- Photovoltaik	TWh	0.8	2.5	4.3	8.7	15.3	23.3	30.9	36.3	38.7	41.2
- Geothermie	TWh	-	-	0.0	0.0	0.1	0.6	1.3	2.0	2.0	2.0
Total	TWh	69.6	66.7	64.8	62.8	62.1	73.1	83.0	90.2	92.7	94.8
Wasserkraftwerke	Anteile am Total	56%	59%	63%	66%	68%	60%	53%	49%	48%	46%
KKW	Anteile am Total	38%	33%	26%	14%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Fossile Kraftwerke	Anteile am Total	2%	2%	2%	3%	3%	2%	1%	1%	1%	1%
Holzkraftwerke	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Biogas / ARA	Anteile am Total	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
KVA (EE-Anteil)	Anteile am Total	2%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%	1%
Wind	Anteile am Total	0%	0%	0%	1%	2%	3%	4%	5%	5%	5%
Solar (inkl. Geothermie)	Anteile am Total	1%	4%	7%	14%	25%	33%	39%	43%	44%	46%
- Photovoltaik	Anteile am Total	1%	4%	7%	14%	25%	32%	37%	40%	42%	43%
- Geothermie	Anteile am Total	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	2%	2%	2%
Total	Anteile am Total	100%									

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Abbildung B-44: Stromverbrauchspfad: Sensitivität BIP-Pop hoch

Elektrizitätsverbrauch in PJ	2014	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
WWB	207	211	216	223	232	238	241	246	251	256
KLIMA	207	211	213	220	231	242	250	254	254	253

Anmerkung: Der vorgegebene Stromverbrauchspfad entspricht dem Endenergieverbrauch (inkl. Stromverbrauch der sonstigen Umwandlung (Raffinerien) und Grosswärmepumpen, exkl. Stromverbrauch für Elektrolyse und Sonstige (CCS usw.)).

Quelle: Resultat der Energieperspektiven 2050+, Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021).

Anhang C: KLIMA MIX Szenarien – die Instrumentierung im Detail

Abbildung C-45: Hauptszenario KLIMA-MIX 1

Szenario-Bezeichnung	Politikinstrumente	Politikinstrumente
	CH	EU, Rest_OECD, ChInRuME, ROW
KLIMA MIX 1 (Fortschreibung heutiges Massnahmenpaket)	<p>ETS-Sektoren</p> <p>Instrument: Emissionshandelssystem (Cap and Trade System) inkl. CCS in den EU-ETS-Sektoren Stahl, Zement Chemie</p> <p>Vorgaben: Netto-Null-Zielpfad im ETS, CCS-Potenziale und -Kosten</p> <p>Endogene Grösse: Höhe des CO₂-Preises im Cap and Trade System im Mehrländermodell</p> <p>Energetische CO₂-Emissionen aller Sektoren ausser ETS-Sektoren, Landwirtschaft</p> <p>Instrument: CO₂-Abgabe auf Brennstoffe</p> <p>Vorgabe: Exogene Höhe der CO₂-Abgabe, so dass sich die erneuerbaren Heizungstechnologien im Jahr 2050 vollständig durchsetzen</p> <p>Rückverteilungsmechanismus gemäss aktuellem Schlüssel:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 2/3 rückverteilt an Wirtschaft (AHV-Lohnsumme) und Bevölkerung (pro Kopf) • 1/3 für Subventionen (Maximalgrenze 450 Millionen CHF) <p>Endogene Grösse: Resultierendes Technologieportfolio und CO₂-Emissionen</p> <p>Instrument: Subventionen im Gebäudebereich</p> <p>Vorgabe: Höhe der Subventionen (1/3 der CO₂-Abgabe, bzw. max. 450 Mio. CHF)</p> <p>Instrument: Standards im Verkehrsbereich (Portfoliostandard)</p> <p>Vorgabe: Standards in Bezug auf die CO₂-Emissionen der Fahrzeuge (Vorgabe des Technologieportfolios, Anteile der einzelnen Technologien)</p> <p>Endogene Grösse: CO₂-Minderung der Standards</p> <p>Landwirtschaft und nichtenergetische THG-Emissionen (insbesondere CH₄, N₂O, F-Gase) sowie durch CO₂-Abgabe auf Brennstoffe und Standards im Verkehrsbereich nicht erfasste THG-Emissionen</p> <p>Instrument: THG-Abgabe</p> <p>Vorgabe: Zielpfad der THG-Emissionen gemäss Szenario ZERO, CCS-, NET-Potenziale und deren Kosten</p> <p>Endogene Grösse: Höhe der THG-Abgabe bzw. des THG-Schattenpreises und das Ausmass der Beanspruchung der CCS- und NET-Potenziale.</p> <p>Stromverbrauch</p> <p>Instrument: Quantitative Restriktion des Stromverbrauchs¹⁰⁴</p> <p>Vorgabe: Zielpfad des Stromverbrauchs gemäss Szenario ZERO, 100% rückverteilt an Bevölkerung und Wirtschaft</p> <p>Endogene Grösse: Höhe des Schattenpreises auf Strom</p> <p>Stromproduktion</p> <p>Instrument: Portfoliostandard</p> <p>Vorgabe: Höhe der Stromproduktion für die verschiedenen Stromproduktionstechnologien</p> <p>Endogene Grösse: Ausgleichszahlungen zur Erreichung der Quoten</p>	<p>Nicht-ETS-Sektoren:</p> <p>Instrument: Uniforme THG-Abgabe mit vollständiger Rückverteilung gemäss Schlüssel aktueller CO₂-Abgabe (Wirtschaft via AHV-Lohnsumme, Bevölkerung pro Kopf)</p> <p>Vorgabe: Netto-Null-Zielpfad in den Nicht-ETS-Sektoren, CCS-Potenziale und -Kosten, NET-Potenziale und -Kosten.</p> <p>Endogene Grösse: Höhe der uniformen THG-Abgabe</p> <p>ETS-Sektoren</p> <p>Instrument: Emissionshandelssystem (Cap and Trade System) inkl. CCS in den EU-ETS-Sektoren Stahl, Zement Chemie</p> <p>Vorgaben: Netto-Null-Zielpfad im ETS, CCS-Potenziale und -Kosten</p> <p>Endogene Grösse: Höhe des CO₂-Preises im Cap and Trade System</p>

¹⁰⁴ Die Dekarbonisierung führt zu einer erhöhten Nachfrage nach Strom. Im hier verwendeten Gleichgewichtsmodell haben wir keine expliziten Stromeffizienzmassnahmen abgebildet. Der Stromverbrauch würde also stärker zunehmen.

Abbildung C-46: Szenarien KLIMA-MIX 2 und 3

Szenario-Bezeichnung	Politikinstrumente	Politikinstrumente
	CH	EU, Rest-OECD, ChInRuME, ROW
KLIMA MIX 2 (Fokus auf marktwirtschaftliche Instrumente)	ETS-Sektoren <i>dito KLIMA MIX 1</i> Energetische CO₂-Emissionen aller Sektoren ausser ETS-Sektoren, Landwirtschaft <i>dito KLIMA MIX 1</i> Zusätzlich ab 2030 : Instrument: CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe. Relative Abgabehöhe: CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe = CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe abzüglich 96 CHF/t CO ₂ Vorgabe: Exogene Höhe der CO ₂ -Abgabe, so dass sich die erneuerbaren Heizungs- und Fahrzeugtechnologien im Jahr 2050 (fast) vollständig durchsetzen Rückverteilungsmechanismus: Teilweise Rückverteilung mit Schlüssel gemäss CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe Teilzweckbindung für Förderung im Bereich nicht fossile Mobilität. Endogene Grösse: Resultierendes Technologieportfolio und CO ₂ -Emissionen Landwirtschaft und nichtenergetische THG-Emissionen (insbesondere CH₄, N₂O, F-Gase) <i>dito KLIMA MIX 1</i> Stromverbrauch <i>dito KLIMA MIX 1</i>	Alle Sektoren <i>dito KLIMA MIX 1</i>
KLIMA MIX 3 (Fokus auf Standards) →	ETS-Sektoren <i>dito KLIMA MIX 1</i> Energetische CO₂-Emissionen aller Sektoren ausser ETS-Sektoren, Landwirtschaft Instrument: CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe Vorgabe: <ul style="list-style-type: none"> Abgabehöhe: CO₂-Abgabe auf 120 CHF/t Rückverteilungsmechanismus: <i>dito KLIMA MIX 1</i> Instrument: Subventionen im Gebäudebereich Vorgabe: Höhe der Subventionen (1/3 der CO ₂ -Abgabe) Instrument: Standards im Verkehrsbereich, im Gebäudebereich (Portfoliostandard) Endogene Grösse: CO ₂ -Minderung der Standards Landwirtschaft und nichtenergetische THG-Emissionen (insbesondere CH₄, N₂O, F-Gase) sowie durch Standards im Gebäude- und Verkehrsbereich nicht erfasste THG-Emissionen <i>dito KLIMA MIX 1</i> Stromverbrauch <i>dito KLIMA MIX 1</i> Stromproduktion <i>dito KLIMA MIX 1</i>	Alle Sektoren <i>dito KLIMA MIX 1</i>

men als in den Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ berechnet. Daher haben wir den Stromverbrauch auf den Stromverbrauchspfad gemäss Energiesystemmodellen der Energieperspektiven 2050+ restringt (vgl. Abbildung B 14). Die dadurch entstehenden volkswirtschaftliche Kosten können als Kosten für die Umsetzung von Stromeffizienzmassnahmen interpretiert werden.

Abbildung C-47: Szenarien KLIMA-MIX Protect

Szenario- Bezeichnung	Politikinstrumente CH	Politikinstrumente EU, Rest-OECD, ChInRuME, ROW
KLIMA MIX Protect (Ausland «schützt» heimische Produktion in den energieintensiven Sektoren (EITE) vor Preiserhöhungen)	Alle Sektoren <i>dito KLIMA MIX 1</i> bzw. <i>dito KLIMA MIX 2</i> bzw. <i>dito KLIMA MIX 3</i>	EITE-Sektoren: <i>Instrument:</i> OBA (anstelle THG-Abgabe) <i>Vorgabe:</i> Netto-Null-Zielpfad in den EITE-Sektoren, CCS-Potenziale und -Kosten <i>Endogene Grösse:</i> Implizite Outputsubvention im OBA-System pro Sektor Nicht-EITE-Sektoren: <i>Instrument:</i> Uniforme THG-Abgabe mit Rückverteilung gemäss CO ₂ -Abgabe <i>Vorgabe:</i> Netto-Null-Zielpfad in den EITE-Sektoren, CCS-Potenziale und -Kosten, NET-Potenziale und -Kosten. <i>Endogene Grösse:</i> Höhe der uniformen THG-Abgabe

Anhang D: Sekundäreffekte / Externe Kosten

D1 Einleitung

Energieperspektiven 2050+

In den Energieperspektiven 2050+ wird im Szenario KLIMA eine weitgehende Reduktion der energie- und prozessbedingten Treibhausgasemissionen¹⁰⁵ in der Schweiz untersucht. Der Rückgang der energie- und prozessbedingten Treibhausgasemissionen wird u.a. mit einer starken Minderung des fossilen Brenn- und Treibstoffverbrauchs erreicht, was auch zu einer Verbesserung der Luftqualität führt. Weiter werden im Verkehrsbereich die Verbrennungsmotoren durch Elektromotoren ersetzt, was eine geringer Lärmbelastung zur Folge hat.

Sekundäreffekte – Ergänzung zu den volkswirtschaftlichen Effekte aus dem Modell

Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen des Szenarios KLIMA (entspricht dem Szenario ZERO der Energieperspektiven 2050+) im Vergleich zur Referenzentwicklung «Weiter wie bisher» (Szenario WWB) werden mit einem Gleichgewichtsmodell untersucht (vgl. Anhang A). In diesem Gleichgewichtsmodell werden die externen Kosten (siehe folgender Exkurs) nicht explizit erfasst, sondern werden nachträglich berechnet und bei der Zusammenstellung der volkswirtschaftlichen Resultate zusammen mit den Resultaten aus dem Gleichgewichtsmodell im Kapitel 5.2 aufgeführt. In diesem Anhang werden die für die Berechnung der Sekundäreffekte verwendeten **spezifischen Kostensätze** vorgestellt.

Ecoplan hat im Auftrag des Bundesamts für Energie die Grundlagen und die spezifischen Kostensätze zur Berechnung der Sekundäreffekte eines Szenario KLIMA in einem separaten **technischen Bericht** zusammengestellt.¹⁰⁶ In diesem Bericht werden die vorhandene Informationen zu Schadstoffemissionen verschiedener Technologien der Energieperspektiven 2050+ zusammen. Beim Verkehr werden zusätzlich zu den Luftschadstoffemissionen weitere externe Effekte berücksichtigt. Es werden keine neuen Daten erhoben oder Effekte ermittelt. Wichtig ist dabei das Abstellen auf konsistente Quellen, hier sind dies primär die Ecoinvent Datenbank sowie diverse Daten des BAFU, des ARE und des HBEFA. Ziel dieses Berichts ist keinesfalls eine umfassende Abbildung der Sekundäreffekte, sondern ihre Abschätzung auf Basis vorhandener Quellen. So werden zumindest die Informationen zur Abschätzung der Grössenordnung der Sekundäreffekte zur Verfügung gestellt. Der vorliegende Anhang fasst die wesentlichen Informationen aus diesem Bericht zusammen.

Exkurs: Was sind externe Kosten?

Sowohl beim Verbrauch von Energie als auch bei der Produktion von Elektrizität und Wärme fallen Kosten an, die nicht von den Verbrauchern bzw. den Produzenten getragen werden, sondern von der Allgemeinheit, z.B. in Form von Erkrankungen aufgrund der Luftverschmutzung. Werden Kosten nicht von den Verursachern getragen (Verbraucher oder Produzenten), sondern von Dritten, spricht man von externen Kosten.

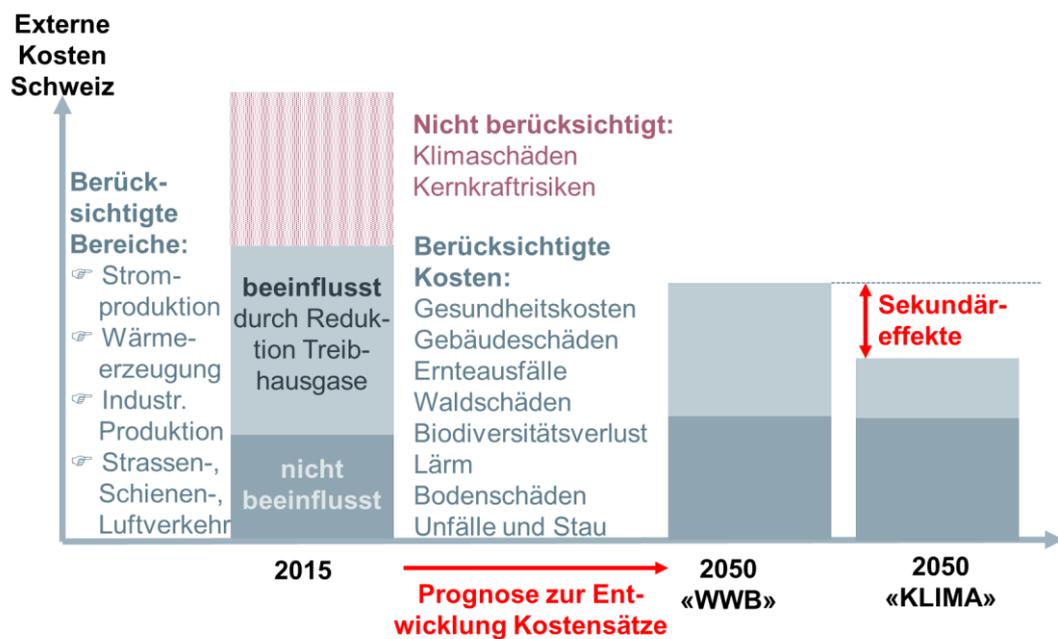
¹⁰⁵ Inklusiv Treibhausgase von Lösungsmitteln.

¹⁰⁶ Ecoplan (2022), Sekundäreffekte der Energieperspektiven 2050+ im Bereich externe Kosten.

Die Sekundäreffekte des Szenarios KLIMA der Energieperspektiven 2050+

Das Szenario KLIMA zielt auf eine weitgehende Reduktion der energiebedingten Treibhausgasemissionen aus den fossilen Brenn- und Treibstoffen, der Stromproduktion und die Erhöhung der Energieeffizienz in der Schweiz. Neben diesen hauptsächlichen Wirkungen bringt das Szenario KLIMA jedoch weitere, sogenannte sekundäre Effekte (Sekundäreffekte): Im Vergleich zum Referenzszenario WWB nehmen im Szenario KLIMA neben den Treibhausgasemissionen auch die externen Kosten ab, wie z.B. die Kosten der Luftbelastung. Damit diese Sekundäreffekte der Energieperspektiven 2050+ berechnet werden können, wird die Reduktion der externen Kosten in den Bereichen Stromproduktion, Wärmeerzeugung, industrielle Produktion, Strassen-, Schienen- und Luftverkehr abgeschätzt (vgl. Abbildung D-1).

Abbildung D-1: Die Sekundäreffekte eines Szenarios KLIMA



Die berücksichtigten Kosten werden alle durch die Klima- / Energiepolitik beeinflusst. Die nicht beeinflussten externen Kosten könnten 2060 wie dargestellt höher (oder tiefer) liegen als 2015. Die Sekundäreffekte werden für das Szenario KLIMA nur mit einer Stromangebotsvariante («ausgeglichene Jahresbilanz») berechnet.

Berücksichtigte Kostenbereiche

Die Abbildung D-2 zeigt auf, für welche Kostenbereiche spezifische Kostensätze ermittelt wurden. Dies betrifft praktisch alle Bereiche der externen Kosten im Verkehr (Unfälle, Lärm etc.¹⁰⁷), wobei hier anzumerken ist, dass sich die in den Energiesystemmodellen unterstellten Verkehrsleistungen mit der ambitionierten Klimapolitik nicht ändern und somit die Sekundäreffekte aufgrund von Nachfrageveränderungen im Verkehrsbereich unberücksichtigt bleiben.

Im Bereich der Produktion von Strom und Wärme (sowie Power to Hydrogen PtH₂) konzentrieren wir uns auf die Folgeschäden der Luftbelastung, da die weiteren Kostenbereiche entweder unbedeutend oder schwer quantifizierbar sind, so dass dazu – im Gegensatz zum Verkehr – keine Datengrundlagen verfügbar sind.

Daneben werden im Folgenden auch die nichtenergetischen externen Kosten der Luftbelastung in der Produktion (Industrie und Landwirtschaft) grob ermittelt. Führt das Szenario KLIMA (KLIMA MIX 1) zu einer Veränderung der Produktionsmengen verschiedener Sektoren, können die daraus resultierenden externen Effekte der Luftbelastung somit ebenfalls in die Berechnung der Sekundäreffekte einfließen.

Die Minderung der Klimakosten, also die Verhinderung bzw. Minderung der Folgekosten des Klimawandels, sind der eigentliche Primärnutzen einer Netto-Null-Zielsetzung. Dieser Primärnutzen in Form von geringeren Folgeschäden des Klimawandels wird hier nicht miteinbezogen werden (siehe entsprechende Exkurse am Ende des Kapitels 1 und 5.2.2). Die vor- und nachgelagerten Effekte durch die Luftbelastung werden bei der Strom- und Wärmeproduktion (sowie PtH₂) miteinbezogen (da die ecoinvent-Datenbank dies einfach erlaubt). Bei der Produktion in Industrie und Landwirtschaft erlaubt dies die Datengrundlage jedoch nicht. Im Verkehr sind diese Effekte so gering, dass sie vernachlässigt werden können. Entsprechend der Berücksichtigung der vor- und nachgelagerten Effekte können die Nicht-Betriebsemissionen (vor- und nachgelagerten Prozesse bei Herstellung, Unterhalt und Entsorgung von strom- und wärmeerzeugenden Technologien oder Fahrzeugen) nur bei der Strom- und Wärmeerzeugung (und PtH₂) berücksichtigt werden. Auch die Emissionen im Ausland können nur in diesen Bereichen miteinbezogen werden.

Im Rahmen des vorliegenden Berichts werden die Sekundäreffekte für die Schweiz berechnet. Es werden also nur die Effekte in der Schweiz miteinbezogen. Als ergänzende Information werden aber auch die Effekte im Ausland angegeben.

¹⁰⁷ Natur und Landschaft wird nicht berücksichtigt, weil es sich dabei um Fixkosten der Infrastruktur handelt. Da sich die Verkehrsinfrastruktur in den beiden Szenarien «WWB» und «KLIMA» nicht massgeblich ändert, ergeben sich auch keine Unterschiede im Bereich Natur und Landschaft.

Abbildung D-2: In der vorliegenden Studie berücksichtigte Kostenbereiche

	Strom- produktion	Wärme- produktion	Sektorkopplungs- technologie (PtH2)	Produktion (Industrie, Landwirtschaft)	Strassen-, Schienen- und Luftverkehr
Gesundheit Luft	✓	✓	✓	✓	✓
Gebäude Luft	✓	✓	✓	✓	✓
Ernteauffälle Luft	✓	✓	✓	✓	✓
Waldschäden Luft	✓	✓	✓	✓	✓
Biodiversitätsverluste Luft	✓	✓	✓	✓	✓
Lärm	✗	✗	✗	✗	✓
Klima	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)
Natur und Landschaft	✗	✗	✗	✗	✗ (Fixkosten)
Bodenschäden	✗	✗	✗	✗	✓
Vor- und nachgelagerte Prozesse					
- Klima	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)	✗ (Primäreffekt)
- Luftbelastung	✓	✓	✓	✗	✗ (vernachlässigbar)
Unfälle	✗	✗	✗	✗	✓
Städtische Räume	✗	✗	✗	✗	✓
Staukosten	✗	✗	✗	✗	✓ (nur Strasse)
Berücksichtigung der Effekte im					
- Betrieb in der Schweiz	✓	✓	✓	✓	✓
- Nicht-Betrieb in der Schweiz	✓	✓	✓	✗	✗
- Betrieb im Ausland	✓	✓	✓	✗	✗
- Nicht-Betrieb im Ausland	✓	✓	✓	✗	✗
Hauptquelle Emissionsfaktoren	Ecoinvent- Datenbank (UVEK 2019)	Ecoinvent- Datenbank (UVEK 2019)	Ecoinvent- Datenbank (UVEK 2019)	Emissionen von BAFU	HBEFA 4.1
Hauptquelle Kostensätze	Infras, Ecoplan (2019)	Infras, Ecoplan (2019)	Infras, Ecoplan (2019)	Infras, Ecoplan (2019)	Infras, Ecoplan (2019)

✓ = berücksichtigt als Sekundärnutzen, ✗ = nicht berücksichtigt als Sekundärnutzen

Wie die Datenquellen zeigen geht es im vorliegenden Projekt um das Zusammentragen und gezieltes Auswerten bestehender Daten, nicht um die Neuerhebung originärer Daten.

Entwicklung der externen Kostensätze

Für die Abschätzung der Sekundäreffekte bei der Erreichung des Netto-Null-Ziels sind grobe Einschätzungen notwendig, wie sich die externen Kosten bzw. die Kostensätze und die Emissionsfaktoren pro Leistungseinheit in Zukunft verändern werden. Für die Abschätzung der künftigen Entwicklung der externen Kosten gehen wir von einfachen «Fortschreibungen» aus (vgl.

dazu den technischen Bericht, Ecoplan (2022)) und berechnen dann die Sekundäreffekte einer ambitionierten Klima- und Energiepolitik als Differenz der externen Kosten in der Schweiz zwischen den Szenarien WWB und KLIMA.

D2 Die spezifischen externen Kosten im Überblick

Im technischen Bericht Ecoplan (2022) wurden Kostensätze erarbeitet, um auch sekundäre Nutzen der Energiestrategie im Bereich der externen Kosten abschätzen zu können. Diese werden im Folgenden zusammengefasst.

Externe Kosten der Strom- und Wärmeerzeugung

Im Bereich der Strom- und Wärmeproduktion werden nur die externen Kosten der Luftbelastung ermittelt (Gesundheitskosten, Gebäudeschäden, Ernteauffälle, Waldschäden und Biodiversitätsverluste je inkl. vor- und nachgelagerte Effekte). Nicht berücksichtigt werden die Risiken der Kernkraft und die Schäden des Klimawandels:

- Die Kernkraftrisiken unterscheiden sich im Szenario KLIMA und dem Referenzszenario WWB nicht – in beiden Szenarien gibt es ein Phase-out aus der Atomenergie. Kommt dazu, dass die Monetarisierung dieser Risiken sehr grosse Unsicherheiten zeigt.
- Beim Klima werden die Vermeidungskosten für die Reduktion der Treibhausgase in der Schweiz mit einem Gleichgewichtsmodell berechnet (Vergleich Szenario KLIMA mit Referenzszenario WWB – primärer Effekt). Die Berechnung von Schadenskosten des Klimawandels war nicht Teil des Auftrags. Im Rahmen der vorliegenden Studie können somit die mit dem Gleichgewichtsmodell quantifizierten Vermeidungskosten nicht direkt den Schadenskosten gegenübergestellt werden. Im Rahmen dieses Berichts erfolgt daher einzig eine kurze qualitative Diskussion (vgl. Kapitel 5.2.2).

Diverse weitere Kostenbereiche werden nicht berücksichtigt, weil sie entweder praktisch unbedeutend (Lärm) oder schwer quantifizierbar sind (Landschaftsbild, Habitatverluste). In den vorliegenden Arbeiten werden aufgrund diverser Datenquellen die externen Kosten der Luftbelastung pro kWh ermittelt. Für die Hauptarbeiten zu den volkswirtschaftlichen Auswirkungen der Energieperspektiven 2050+ gilt die Schweiz als Systemgrenze. Somit wird einerseits der Anteil der Kosten in der Schweiz bestimmt. Ergänzend werden aber auch die Kosten im Ausland ermittelt.

Im technischen Bericht Ecoplan (2022) werden diejenigen spezifischen externen Kostensätze ermittelt, zu denen es verlässliche Grundlagen gibt. Einige dieser Kostensätze werden aber für die Berechnung der Sekundäreffekte in der vorliegenden Studie nicht angewendet. Die nachfolgende Abbildung D-3 fasst zusammen, welche Kostensätze im Rahmen der vorliegenden Studie verwendet werden.

Abbildung D-3: Externe Kostensätze gemäss technischem Bericht zu den externen Kosten von Ecoplan (2022) und Anwendung für die vorliegende Berechnung der Sekundäreffekte

Bereiche	Für folgende Kostenbereiche wurden im technischen Bericht von Ecoplan (2022) Kostensätze berechnet / nicht berechnet			
	berechnet		nicht berechnet	
Stromproduktion	Luft *)			Klima
Wärmeerzeugung	Luft *)			
Sektorkopplungstechnologien (PtH2)	Luft *)			
Industrielle Produktion	Luft *)			
Strassenverkehr	Luft *)	Lärm	Unfälle, Stau, Bodenschäden, sädtische Räume, vor- und nachgelagerte Prozesse, Natur- und Landschaft	
Schienenverkehr	Luft *)	Lärm		
Luftverkehr	Luft *)	Lärm	Unfälle, Stau, Bodenschäden,...	
*) Luft = Kosten der Luftverschmutzung in den Bereichen Gesundheit, Gebäude, Ernteausfälle, Waldschäden, Biodiversitätsverluste				
Legende: Berücksichtigung bei der Berechnung der Sekundäreffekte (Multiplikation der obigen Kostensätze mit Mengengerüst) in der vorliegenden Studie:		berücksichtigt		
		berücksichtigt, aber gleiches Mengengerüst für WWB und ZERO (keine Unterschiede in den externen Kosten zwischen Szenario WWB und KLIMA)		
		ausserhalb der Systemgrenze der Energieperspektiven 2050+		

Externe Grenzkosten der Stromerzeugung pro kWh

Im ersten Block der Abbildung D-4 werden die externen Grenzkosten der Stromproduktion dargestellt. Die externen Kosten der Luftbelastung liegen in der Schweiz zwischen 0.04 und 9.1 Rp / kWh (je nach Technologie). Werden auch die Effekte im Ausland miteinbezogen, steigen die externen Kosten auf 0.16 bis 9.5 Rp / kWh.

Die höchsten weltweiten Kosten von 9.5 Rp / kWh verursacht das Biogas, gefolgt vom Holz mit 6.3 Rp / kWh und dem Erdgas mit 4.8 Rp / kWh. Die nachhaltigen Technologien sind mit deutlich tieferen Kosten verbunden: Geothermie 1.8 Rp / kWh, Photovoltaik 1.4 Rp / kWh, Windkraft 0.8 Rp / kWh und Wasserkraft 0.3 Rp / kWh. Bei der Kernkraft mit 0.7 Rp / kWh fehlen die Nuklearrisiken und bei den Kehrlichtverbrennungsanlagen werden nur die Emissionen durch

Stromverteilung und Netz von 0.2 Rp / kWh miteinbezogen und die Emissionen der eigentlichen Verbrennung werden der Abfallentsorgung zugerechnet.

Externe Grenzkosten der Wärmeerzeugung pro kWh (inkl. PtH₂)

Die Wärmeerzeugung ist mit weltweiten Kosten von 0.03 Rp / kWh (Luft-Wärmepumpe) bis 9.8 Rp / kWh (Holz) verbunden (zweiter Block in Abbildung D-4). Am zweithöchsten sind die Kosten beim Biogas mit 2.5 Rp / kWh, gefolgt vom Heizöl mit 1.6 Rp / kWh und Erdgas mit 0.6 Rp / kWh. Wärmepumpen (Luft und Erdsonde) sind mit Kosten unter 0.1 Rp / kWh verbunden (wobei der Stromverbrauch nicht berücksichtigt wird, da dieser bei der Stromerzeugung miteinbezogen wird). Die Solarthermie kann nicht direkt verglichen werden, da sie in einer anderen Einheit gemessen wird (12.4 CHF / m² Kollektorfläche oder 0.50 CHF / m² / Jahr). Für Klimaanlage (Kühlung) können als grobe Näherung die Ergebnisse der Luft-Wärmepumpe verwendet werden.

Bei der Herstellung von Power to Hydrogen (PtH₂) entstehen nur geringe Kosten von ca. 0.1 Rp / kWh.

Nichtenergetische externe Grenzkosten der Produktion

Der letzte Block in Abbildung D-4 zeigt schliesslich noch die nichtenergetischen externen Kosten der Luftbelastung in der Produktion: Verändert sich aufgrund der Energieperspektiven 2050+ der Output in den verschiedenen Produktionssektoren, so werden die sich dadurch verändernden externen Kosten ebenfalls miteinbezogen. Dabei wird vereinfachend eine lineare Beziehung zwischen Output und externen Kosten unterstellt. Insgesamt entstehen in den betrachteten Sektoren Luftbelastungskosten von 7.6 Mrd. CHF (davon 5.5 Mrd. CHF in der Land- und Forstwirtschaft).

Abbildung D-4: Zusammenfassung externe Kosten der Luftbelastung durch Strom- und Wärmeerzeugung und in der Produktion im Jahr 2015¹⁰⁸

Externe Grenzkosten der Strom- und Wärmeerzeugung in Rp / kWh			
Stromerzeugung im Jahr 2015	Rappen pro kWh erzeugtem Strom		
nur Luftbelastung	Schweiz	Ausland	Total
Kernenergie	0.17	0.53	0.70
Erdgas	3.26	1.51	4.77
Photovoltaik	0.45	0.98	1.43
Wasserkraft	0.20	0.13	0.33
Kehrrichtverbrennungsanlage	0.04	0.12	0.16
Windturbine 800kW	0.62	0.17	0.80
Biogas WKK 160 kWe	9.13	0.41	9.54
Holz WKK 6400 kWe CH	5.76	0.57	6.33
Geothermie	1.64	0.12	1.76
Batterien von Photovoltaikanlagen <i>in CHF/Batterie</i>	-	98.41	98.41
Wärmeerzeugung im Jahr 2015	Rappen pro kWh Inputenergie		
nur Luftbelastung	Schweiz	Ausland	Total
Heizöl	1.03	0.53	1.56
Erdgas	0.41	0.17	0.58
Wärmepumpe Luft - Wasser	-	0.03	0.03
Wärmepumpe Erdsonde	0.06	0.03	0.09
Holz	9.80	0.01	9.81
Fernwärme (nur Leitungen)	0.02	0.03	0.05
Biogas	2.51	0.01	2.52
Solarthermie <i>in CHF / m2</i>	1.42	10.99	12.41
Sektorkopplungstechnologien	Rappen pro kWh		
Power-to-Wasserstoff (PtH2)	Schweiz	Ausland	Total
Produktion in der Schweiz	0.08	0.01	0.09
Produktion im Ausland	-	0.16	0.16
Nichtenergetische externe Kosten der Luftbelastung in der Produktion im Jahr 2015 in Mio. CHF			
Industrie Steine Erden	409	Mio. CHF	
Abfallindustrie	192	Mio. CHF	
Baugewerbe	748	Mio. CHF	
Industrielle Maschinen	69	Mio. CHF	
Raffinerien	79	Mio. CHF	
Prozesse weitere	550	Mio. CHF	
Industrie Gewerbe andere	83	Mio. CHF	
Land- und Forstwirtschaft (ohne Feuerungen)	5'479	Mio. CHF	
Total	7'610	Mio. CHF	

¹⁰⁸ Aus Konsistenzgründen wurden alle Strom- und Wärmeerzeugungs-Grenzkosten mit Hilfe einer einzigen Datengrundlage (Ecoinvent) erhoben. Dies hat den Vorteil, dass alle Kostenberechnungen auf derselben Basis mit der gleichen Methodik berechnet werden. Der Nachteil besteht aber darin, dass einzelne berechnete Werte (bspw. Biogas) auf teilweise nicht mehr aktuellen Daten beruhen.

Externe Grenzkosten des Verkehrs

Im Verkehrsbereich werden neben der Luftbelastung noch weitere externe Kostenbereiche miteinbezogen (Lärm, Bodenschäden, Unfälle, Städtische Räume, Staukosten). Wie bei der Strom- und Wärmeerzeugung werden die Auswirkungen auf das Klima nicht berücksichtigt. Entsprechend werden auch die vor- und nachgelagerten Prozesse weggelassen, die grossmehrfach Klimaeffekte sind. Zudem verändern die Energieperspektiven die Kosten im Bereich Natur und Landschaft nicht (Fixkosten).

Die externen Kosten (aus Sicht Verkehrsteilnehmende) in den relevanten Bereichen werden in der folgenden Abbildung D-5 dargestellt. Nur im Strassenverkehr wird bei der Luftbelastung ein Kostensatz pro Tonne Schadstoff bestimmt, da Infrast die Änderung der Schadstoffemissionen durch die Energieperspektiven sehr genau ermittelt. Die übrigen Kostenbereiche wurden im Strassenverkehr in einen Kostensatz pro Fzkm zusammengefasst und nach Fahrzeugkategorien differenziert. Im Schienen- und Luftverkehr sind die Kosten der Luftbelastung jedoch im Kostensatz pro Zugkm bzw. pro LTO integriert.

Abbildung D-5: Zusammenfassung der externen Kosten im Verkehr (Sicht Verkehrsteilnehmende) für das Jahr 2015

Strassenverkehr 2015		
CHF pro Tonne PM10	899'000	
CHF pro Tonne NOx	7'000	
Kosten pro Fzkm in den übrigen berücksichtigten Kostenbereichen		
Personenwagen	7.1	Rp / Fzkm
Gesellschaftswagen	47.4	Rp / Fzkm
Motorisierte Zweiräder	31.2	Rp / Fzkm
Bus	31.2	Rp / Fzkm
Trolleybus	79.9	Rp / Fzkm
Tram	54.6	Rp / Fzkm
Lieferwagen	11.5	Rp / Fzkm
Schwere Nutzfahrzeuge	4.5	Rp / Fzkm
Schieneverkehr 2015: Kosten pro Zugkm in den berücksichtigten Kostenbereichen (inkl. Luft)		
Personenverkehr	274	Rp / Zugkm
Güterverkehr	1'479	Rp / Zugkm
Luftverkehr 2015: Kosten pro LTO in den berücksichtigten Kostenbereichen (inkl. Luft)		
Linien- und Charterverkehr	667	CHF / LTO

Schwellenwerte

Bei den Gesundheitskosten der Luftbelastung muss ein Schwellenwert berücksichtigt werden, denn unter einer Konzentration von $3.3 \mu\text{g} / \text{m}^3$ PM₁₀ werden keine Kosten berechnet, da es keine Studien bei so geringen Konzentrationen gibt. Es ist zwar anzunehmen, dass es auch unter diesem Schwellenwert Gesundheitskosten gibt, doch da diese nicht belegt werden können, wird vorsichtig angenommen, dass sie nicht existieren.

Entwicklung der Kostensätze

Die oben dargestellten Kostensätze gelten alle für das Jahr 2015. Die Energieperspektiven 2050+ reichen jedoch bis ins Jahr 2060. Entsprechend müssen Annahmen zur Entwicklung der Kostensätze bis 2060 getroffen werden. Als Grundprinzip der Arbeiten gilt, dass die Annahmen konservativ getroffen werden: grundsätzlich wird von Konstanz ausgegangen, es sei denn es liegen robuste Informationen zur Entwicklung vor. Die folgende Abbildung D-6 zeigt, welche Annahmen zur Entwicklung der Kostensätze getroffen wurden.

In der Strom- und Wärmeerzeugung konnten für einzelne Technologien Prognosen des BAFU bis 2035 für die Emissionen im Betrieb in der Schweiz übernommen werden (Emissionen im Nicht-Betrieb und im Ausland bzw. nach 2035 bleiben konstant). Viele Kostensätze nehmen auch mit dem Reallohnwachstum (höhere Bewertung der Schäden) und dem Bevölkerungswachstum (mehr von der Umweltbelastung betroffene Personen) zu. Bei der Strom- und Wärmeerzeugung, bei den Sektorkopplungstechnologien und in der Produktion wird nur 88% des Kostensatzes entsprechend fortgeschrieben, weil nur die Gesundheitskosten der Luftbelastung zunehmen, die anderen Effekte der Luftbelastung hingegen nicht. Im Verkehr werden die Kostenbereiche separat analysiert und entsprechend nehmen die Kostensätze entweder zu 100% oder gar nicht mit Reallohnwachstum (und Bevölkerungswachstum) zu.

Abbildung D-6: Prognostizierte Veränderung der Kostensätze bis 2060

Stromerzeugung nur Luftbelastung	Emissionsfaktoren		Reallohn- wachstum	Bevölkerungs- wachstum
	2015-2035	2035-2060		
Erdgas	-0.94% / Jahr	konstant	X*	X*
Holz	-3.23% / Jahr	konstant	X*	X*
Übrige Technologien (inkl. Batterien)	konstant	konstant	X*	X*
Wärmeerzeugung nur Luftbelastung	Emissionsfaktoren		Reallohn- wachstum	Bevölkerungs- wachstum
	2015-2035	2035-2060		
Heizöl	-1.66% / Jahr	konstant	X*	X*
Erdgas	-0.94% / Jahr	konstant	X*	X*
Holz	-3.23% / Jahr	konstant	X*	X*
Übrige Technologien	konstant	konstant	X*	X*
Sektorkopplungstechnologien PtH2				
Produktion in Schweiz und Ausland		konstant	X*	X*
Nichtenergetische externe Kosten der Luftbelastung in der Produktion				
Alle Sektoren		konstant	X*	X*
Strassenverkehr	Emissionsfaktoren		Reallohn- wachstum	Bevölkerungs- wachstum
Gesundheitskosten Luftbelastung	in Anzahl Tonnen aus Bottom-up Modell von Infrass		X	X
Luftbelastung Rest			-	-
Lärm: Je nach Fzkat. und Szenario	-0.33% bis +0.11% pro Jahr		X	(vorne drin)
Bodenschäden	konstant		-	-
Unfälle	-2% pro Jahr		X	-
Städtische Räume	konstant		X	X
Staukosten	konstant		X	-
LSVA-Abzug	konstanter %-satz		-	-
Schienenverkehr	Emissionsfaktoren		Reallohn- wachstum	Bevölkerungs- wachstum
Gesundheitskosten Luftbelastung	konstant		X	X
Luftbelastung Rest	konstant		-	-
Lärm bis 2020 (Personen- / Güterverkehr)	-2.2% / -8.9% pro Jahr		X	X
Lärm ab 2020	-0.6% pro Jahr			
Bodenschäden	konstant		-	-
Unfälle	-2% pro Jahr		X	-
Städtische Räume	konstant		X	X
Luftverkehr	Emissionsfaktoren		Reallohn- wachstum	Bevölkerungs- wachstum
Gesundheitskosten Luftbelastung	Treibstoffverbrauch / -1% pro Jahr		X	X
Gebäudeschäden Luftbelastung	Treibstoffverbrauch / -1% pro Jahr		-	-
Luftbelastung Rest	Treibstoffverbrauch		-	-
Lärm (nicht pro LTO)	konstant in Schweiz		X	X
Unfälle	konstant		X	-

* Bei diesen Kostensätzen darf nur 88% des Reallohn- und Bevölkerungswachstums berücksichtigt werden.

Anhang E: Desaggregation der Haushalte

Einleitung

Disaggregation der Haushalte zur Erfassung der Verteilungswirkungen

Eine ambitionierte Klimapolitik hat Auswirkungen auf die Wirtschaft und die gesamte Wohlfahrt. Wichtig – und für die politische Beurteilung wichtig – sind auch die Verteilungseffekte der Klimapolitik: Also der Frage, welche Haushalte wie stark belastet bzw. entlastet werden. Dazu wird der repräsentative Haushalt in verschiedene, soziökonomisch differenzierte Haushalte unterteilt.

Damit wir die Verteilungswirkungen für verschiedene verteilungsrelevante Aspekte berechnen können, wird der repräsentative Haushalt nach verschiedenen Kriterien eingeteilt. Insgesamt werden vier verschiedene Einteilungen berechnet. Dabei wird der repräsentative Haushalt in insgesamt 16 verschiedene Haushalte eingeteilt:

- NoKids 1 bis 5: 5 nach Lebensstandard unterteilte erwerbstätige Haushalte ohne Kinder
- Kids 1 bis 5: 5 nach Lebensstandard unterteilte erwerbstätige Haushalte mit Kindern
- Rentner 1 bis 5: 5 nach Lebensstandard unterteilte Rentnerhaushalte
- Kapitalist (Spezialhaushalt mit nicht zuweisbarem Kapitaleinkommen und dem Konsum der Heimbewohnenden).

Diese Einteilung nach Lebensstandard, Erwerbsstatus und Kinder zeigt, wie die Familienhaushalte im Vergleich zu kinderlosen Haushalten durch die Klimapolitik betroffen sind.

Haushaltsbudgeterhebung (HABE) zeigt Einnahmen- und Ausgabenstruktur

Mit Hilfe der Haushaltsbudgeterhebung (HABE) können die Haushalte nach den obigen Kriterien eingeteilt und deren Einnahmen- und Ausgabenstrukturen erfasst werden. Für die Auswertung haben wir einen vom Bundesamt für Statistik zur Verfügung gestellten gepoolten Datensatz der HABE 2012, 2013 und 2014 verwendet.¹⁰⁹

In den nachfolgenden Abbildungen E-1 bis E-7 werden die aus der HABE ausgewerteten Einnahmen- und Ausgabenstrukturen für die obigen 15 Haushaltstypen aufgezeigt.

¹⁰⁹ Das Poolen der Befragungen erhöht die Anzahl der befragten Haushalte und verbessert die Qualität der Auswertung. Pro Jahr liegen Einkommens- und Verbrauchsdaten von rund 3000 Haushalten vor. Das Pooling 2012 bis 2014 wurde gewählt, weil sich der Benchmarkjahrsdatensatz für die Modellierung auf das Jahr 2014 bezieht.

Die Preisentwicklung innerhalb der Jahre 2012 bis 2014 wurde nicht speziell berücksichtigt. Diese kann auch bei grösseren Veränderungen (wie dies bspw. bei den fossilen Energieträgern der Fall war) vernachlässigt werden, da die mittels der HABE ausgewertete Einkommens- und Ausgabenstruktur auf die gesamtwirtschaftlichen Grössen gemäss VGR 2014 (Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung) kalibriert werden.

Für die Auswertung wurde die vom Bundesamt für Statistik mitgelieferte Gewichtung der Haushalte benutzt. Auch die Einteilung in Rentner- und erwerbstätigen Haushalte basiert auf den Angaben und Definitionen des Bundesamts für Statistik. Die Auswertung der Einkommensstruktur zeigt aber, dass das Arbeitseinkommen der Rentnerhaushalte nur einen sehr kleinen Teil am Gesamteinkommen ausmacht.

Kalibrierung der Mikrodaten der HABE auf die Makrogrössen

Da die Makrodaten aus den Input-Output-Tabellen nicht direkt aus den Mikrodaten der HABE hergeleitet werden können, wurden die Mikrodaten der HABE auf die Makrogrössen aus der Input-Output-Tabelle 2014 kalibriert. Dazu wurde ein neuer Haushaltstyp „Kapitalist“ eingeführt, der aus den nicht den Erwerbstätigen und Rentnerhaushalten zuweisbaren Kapitaleinkommen und dem Konsum der Heimbewohnenden gebildet wurde. Der Kapitalist erhält rund die Hälfte des gesamtwirtschaftlichen Kapitaleinkommens.

Exkurs: Bestimmung des Lebensstandards

Die Einteilung der Haushalte in die einzelnen Gruppen basiert unter anderem auf dem Lebensstandard. Wir bestimmen einen Indikator für den Lebensstandard, der auf Haushaltseinkommen und Konsumausgaben basiert und zusätzlich die Haushaltsgrösse – über die Äquivalenzskala¹¹⁰ – berücksichtigt. Formal ausgedrückt ergibt dies einen Indikator des Lebensstandards IL für einen Haushalt i von

$$IL_i = \frac{\frac{1}{2}Y_i + \frac{1}{2}C_i}{E_i}$$

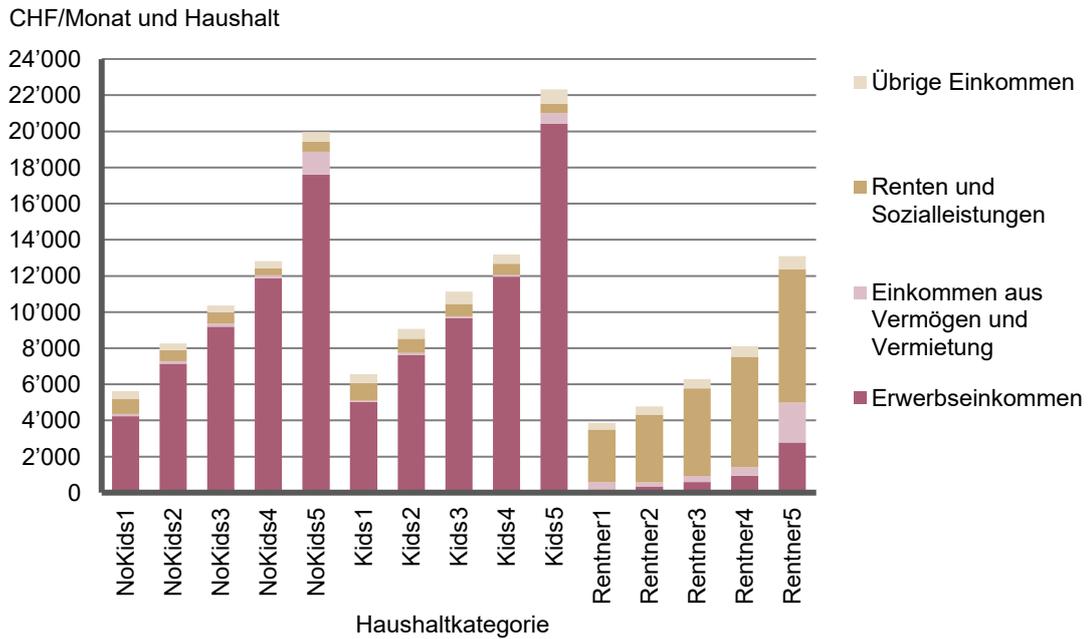
E gibt den Wert der gewählten Äquivalenzskala für einen bestimmten Haushalt wieder. Y gibt das Bruttoeinkommen des Haushaltes an, während C die Konsumausgaben wiedergibt.

Zur Bestimmung des Lebensstandards berücksichtigen wir sowohl das Bruttoeinkommen eines Haushaltes, Y , wie auch die Konsumausgaben, C , und gewichten beide mit je 50%. Diese Entscheidung ist u.a. auf die Erhebungsart der Haushaltsbudgeterhebung zurückzuführen.¹¹¹

¹¹⁰ Wir verwenden die OECD-Äquivalenzskala (1 für den ersten Erwachsenen im Haushalt, 0.5 für jeden weiteren Erwachsenen und 0.3 für jedes Kind).

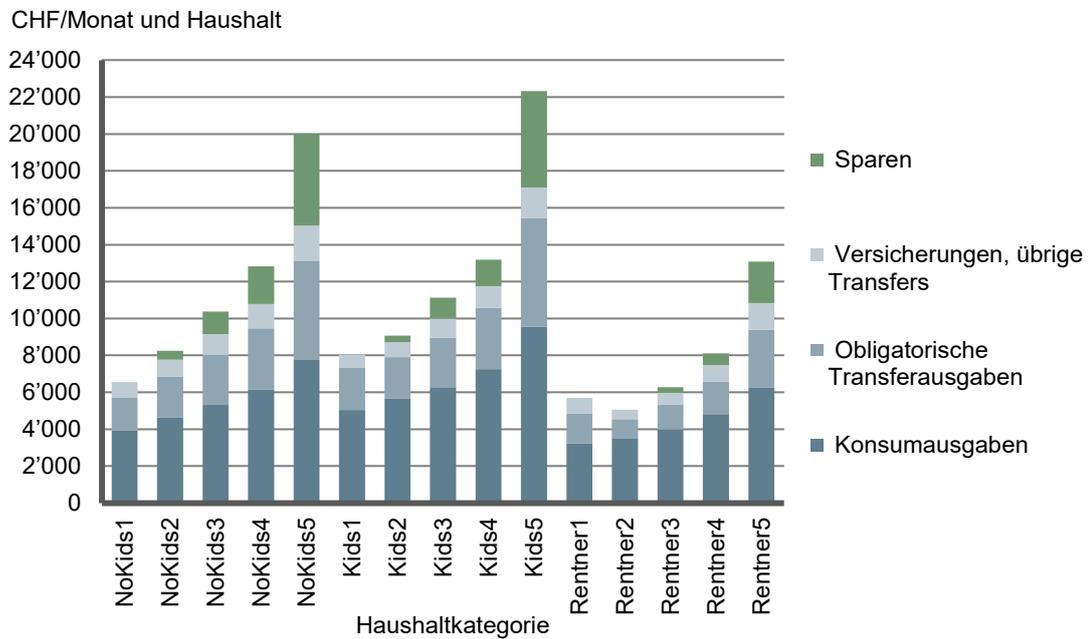
¹¹¹ Die Wahl dieser Einteilung ist in Ecoplan (2002), Globalisierung und die Ursachen der Umverteilung in der Schweiz – Analyse der strukturellen und sozialen Umverteilungen in den 90-er Jahren mit einem Mehrländergleichgewichtsmodell, ausführlich begründet.

Abbildung E-2: Einnahmenstruktur



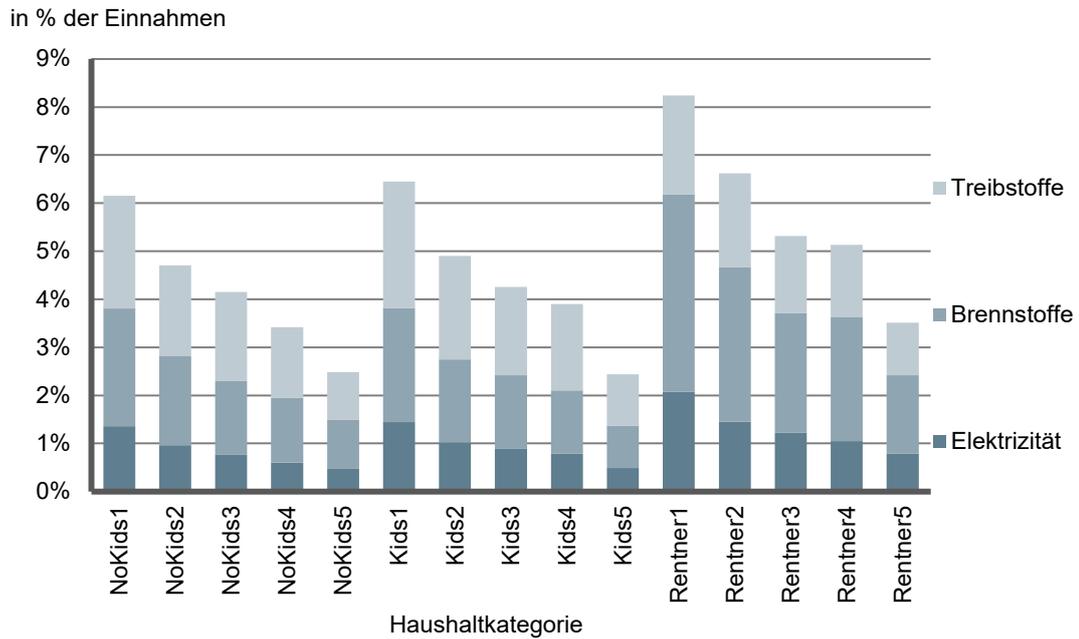
Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Abbildung E-3: Ausgabenstruktur



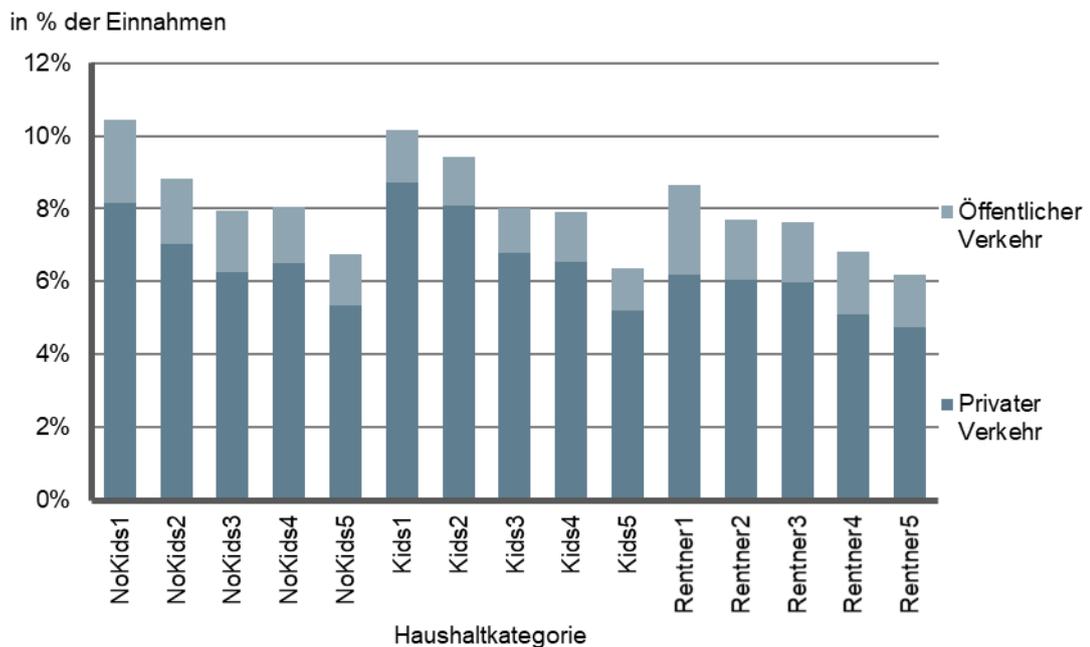
Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Abbildung E-4: Struktur des Energiekonsums



Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Abbildung E-5: Struktur der Verkehrsnachfrage



Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Abbildung E-6: Ausgaben und Einnahmenstruktur [in CHF pro Monat und Haushalt]

Haushaltskategorie	NoKids1		NoKids2		NoKids3		NoKids4		NoKids5		Kids1		Kids2		Kids3		Kids4		Kids5		Rentner1		Rentner2		Rentner3		Rentner4		Rentners												
	6'557	7'763	9'164	10'784	15'033	3'925	4'655	5'325	6'137	7'759	8'038	8'714	9'990	11'743	17'091	5'689	5'053	5'967	7'481	10'841	3'239	3'484	3'984	4'814	6'237	500	532	598	636	706											
Total aller Ausgaben	6'557	7'763	9'164	10'784	15'033	3'925	4'655	5'325	6'137	7'759	8'038	8'714	9'990	11'743	17'091	5'689	5'053	5'967	7'481	10'841	3'239	3'484	3'984	4'814	6'237	500	532	598	636	706											
Konsumausgaben	3'925	4'655	5'325	6'137	7'759	527	554	590	603	642	750	793	854	888	939	500	532	598	636	706	527	554	590	603	642	750	793	854	888	939											
Nahrungsmittel und alkoholfreie Getränke																																									
Alkoholische Getränke und Tabakwaren																																									
Bekleidung und Schuhe																																									
Wohnen (exkl. Energie)																																									
Heizung Brennstoffe																																									
Heizung Rest																																									
Elektrizität																																									
Wohnungseinrichtung und laufende Haushaltsführung																																									
Gesundheitsausgaben																																									
Öffentlicher Verkehr																																									
Privater Verkehr Treibstoffe																																									
Privater Verkehr Rest																																									
Nachrichtenübermittlung																																									
Unterhaltung, Erholung und Kultur																																									
Gast- und Beherbergungsstätten																																									
Ausbildung																																									
Andere Waren und Dienstleistungen																																									
Obligatorische Transferausgaben	1'807	2'190	2'706	3'336	5'372	128	183	193	234	319	212	238	2'232	2'684	5'882	1'614	1'064	1'337	1'766	3'142	1'807	2'190	2'706	3'336	5'372	128	183	193	234	319	212	238	2'232	2'684	5'882	1'614	1'064	1'337	1'766	3'142	
Sozialversicherungsbeiträge																																									
Obligatorische Krankenversicherung																																									
Direkte Bundessteuern																																									
Restliche Einkommenssteuern																																									
Versicherungen, übrige Transfers	824	917	1'134	1'311	1'902	824	917	1'134	1'311	1'902	709	801	1'031	1'159	1'651	836	505	647	902	1'462	824	917	1'134	1'311	1'902	824	917	1'134	1'311	1'902	824	917	1'134	1'311	1'902	824	917	1'134	1'311	1'902	
Total aller Einnahmen	5'617	8'255	10'367	12'822	19'967	4'234	7'144	9'199	11'873	17'612	6'564	9'072	11'130	13'180	22'321	3'866	4'771	6'285	8'103	13'087	5'617	8'255	10'367	12'822	19'967	4'234	7'144	9'199	11'873	17'612	6'564	9'072	11'130	13'180	22'321	3'866	4'771	6'285	8'103	13'087	
Erwerbseinkommen																																									
Einkommen aus Vermögen und Vermietung																																									
Renten und Sozialleistungen																																									
Transfers von anderen Haushalten, sporadische Eink.																																									
Sparen (Einkommen - Ausgaben)	-939	492	1'203	2'038	4'935	-939	492	1'203	2'038	4'935	-1'474	358	1'140	1'437	5'229	-1'822	-281	317	622	2'246	-939	492	1'203	2'038	4'935	-1'474	358	1'140	1'437	5'229	-1'822	-281	317	622	2'246	-939	492	1'203	2'038	4'935	

Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Abbildung E-7: Ausgaben und Einnahmenstruktur [in % der Einnahmen]

Haushaltskategorie	NoKids1	NoKids2	NoKids3	NoKids4	NoKids5	Kids1	Kids2	Kids3	Kids4	Kids5	Rentner1	Rentner2	Rentner3	Rentner4	Rentner5
Total aller Ausgaben	116.7%	94.0%	88.4%	84.1%	75.3%	122.5%	96.0%	89.8%	89.1%	76.6%	147.1%	105.9%	94.9%	92.3%	82.8%
Konsumausgaben	69.9%	56.4%	51.4%	47.9%	38.9%	76.9%	62.6%	56.4%	55.1%	42.8%	83.8%	73.0%	63.4%	59.4%	47.7%
Nahrungsmittel und alkoholfreie Getränke	9.4%	6.7%	5.7%	4.7%	3.2%	11.4%	8.7%	7.7%	6.7%	4.2%	12.9%	11.2%	9.5%	7.8%	5.4%
Alkoholische Getränke und Tabakwaren	1.7%	1.1%	1.0%	0.9%	0.7%	2.3%	1.0%	0.9%	0.6%	0.5%	1.7%	1.6%	1.4%	1.4%	1.0%
Bekleidung und Schuhe	2.4%	2.2%	2.1%	2.1%	1.7%	3.2%	2.7%	2.8%	2.6%	2.4%	2.5%	2.6%	2.1%	2.1%	1.7%
Wohnen (exkl. Energie)	16.9%	13.1%	11.9%	10.5%	8.3%	17.8%	14.1%	12.0%	11.3%	8.7%	19.5%	17.9%	13.7%	11.7%	8.3%
Heizung Brennstoffe	2.4%	1.8%	1.5%	1.3%	1.0%	2.4%	1.7%	1.5%	1.3%	0.9%	4.1%	3.2%	2.5%	2.6%	1.6%
Heizung Rest	0.7%	0.6%	0.5%	0.4%	0.4%	0.6%	0.5%	0.4%	0.4%	0.3%	1.2%	1.0%	0.8%	0.9%	0.6%
Elektrizität	1.4%	1.0%	0.8%	0.6%	0.5%	1.4%	1.0%	0.9%	0.8%	0.5%	2.1%	1.5%	1.2%	1.0%	0.8%
Wohnungseinrichtung und laufende Haushaltsführung	2.6%	2.5%	2.5%	2.3%	2.0%	3.6%	2.9%	2.7%	3.2%	2.8%	4.4%	3.0%	3.2%	3.3%	2.8%
Gesundheitsausgaben	3.3%	2.4%	2.1%	1.8%	1.3%	2.9%	2.7%	2.4%	2.3%	1.4%	6.5%	5.6%	5.3%	4.9%	3.4%
Öffentlicher Verkehr	2.3%	1.8%	1.7%	1.6%	1.4%	1.4%	1.3%	1.2%	1.4%	1.2%	2.4%	1.7%	1.7%	1.7%	1.4%
Privater Verkehr Treibstoffe	2.3%	1.9%	1.8%	1.5%	1.0%	2.6%	2.1%	1.8%	1.8%	1.1%	2.1%	1.9%	1.6%	1.5%	1.1%
Privater Verkehr Rest	5.8%	5.2%	4.4%	5.0%	4.4%	6.1%	5.9%	5.0%	4.7%	4.1%	4.1%	4.1%	4.4%	3.6%	3.7%
Nachrichtenübermittlung	3.3%	2.3%	1.9%	1.6%	1.1%	3.4%	2.6%	2.0%	1.9%	1.1%	2.5%	2.2%	1.9%	1.7%	1.3%
Unterhaltung, Erholung und Kultur	6.1%	5.7%	5.4%	5.3%	5.0%	8.1%	6.3%	6.3%	6.4%	5.1%	7.0%	7.0%	6.4%	7.0%	6.5%
Gast- und Beherbergungsstätten	6.3%	5.6%	5.6%	5.6%	5.1%	5.5%	5.4%	5.5%	5.4%	4.9%	6.7%	5.3%	5.2%	5.4%	4.6%
Ausbildung															
Andere Waren und Dienstleistungen	2.3%	2.2%	1.9%	1.8%	1.6%	3.2%	2.6%	3.0%	3.4%	3.1%	3.9%	3.3%	2.4%	2.7%	3.2%
Obligatorische Transferausgaben	32.2%	26.5%	26.1%	26.0%	26.9%	34.8%	24.6%	24.1%	25.2%	26.4%	41.7%	22.3%	21.3%	21.8%	24.0%
Sozialversicherungsbeiträge	11.0%	11.6%	11.7%	12.1%	11.1%	13.3%	10.9%	11.2%	11.8%	11.5%	0.6%	1.1%	1.4%	1.5%	2.7%
Obligatorische Krankenversicherung	9.5%	6.2%	4.9%	4.0%	2.5%	10.8%	7.4%	5.9%	4.9%	3.0%	14.3%	11.3%	9.4%	7.7%	4.8%
Direkte Bundessteuern	1.4%	0.8%	1.1%	1.2%	2.3%	1.8%	0.5%	0.7%	1.1%	2.4%	3.8%	0.8%	0.9%	1.3%	2.9%
Restliche Einkommenssteuern	10.3%	8.0%	8.4%	8.7%	11.0%	8.9%	5.8%	6.3%	7.4%	9.4%	23.0%	9.1%	9.6%	11.3%	13.6%
Versicherungen, Transferausgaben	14.7%	11.1%	10.9%	10.2%	9.5%	10.8%	8.8%	9.3%	8.8%	7.4%	21.6%	10.6%	10.3%	11.1%	11.2%
Total aller Einnahmen	100.0%														
Erwerbseinkommen	75.4%	86.5%	88.7%	92.6%	88.2%	76.5%	84.1%	86.9%	90.7%	91.5%	3.9%	7.4%	9.6%	11.7%	21.2%
Einkommen aus Vermögen und Vermietung	2.1%	1.6%	1.5%	1.4%	6.3%	1.1%	1.2%	0.9%	0.9%	2.6%	11.4%	4.7%	5.3%	5.9%	17.0%
Renten und Sozialleistungen	15.0%	7.5%	5.9%	2.9%	2.8%	15.1%	8.6%	6.2%	4.6%	2.4%	75.4%	78.5%	77.1%	75.4%	56.3%
Transfers von anderen Haushalten, sporadische Eink.	7.5%	4.4%	3.8%	3.1%	2.7%	7.4%	6.1%	6.0%	3.9%	3.5%	9.2%	9.3%	8.1%	7.0%	5.6%
Sparen (Einkommen - Ausgaben)	-16.7%	6.0%	11.6%	15.9%	24.7%	-22.5%	4.0%	10.2%	10.9%	23.4%	-47.1%	-5.9%	5.1%	7.7%	17.2%

Quelle: Auswertungen Ecoplan basierend auf der Haushaltsbudgeterhebung 2012-14 des BFS.

Anhang F: Detailresultate

Abbildung F-1: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 1 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrößen und die Wohlfahrt, die ETS-Preis, Höhe der CO₂-Abgabe und die Grenzvermeidungskosten

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wirtschaftliche Aktivität								
BIP-Niveau-Effekt	-0.38%	-0.75%	-1.30%	-1.75%	-2.34%	-2.23%	-2.44%	-2.24%
Privater Konsum	-0.48%	-0.76%	-1.40%	-1.93%	-2.51%	-2.48%	-2.40%	-2.08%
Investitionen	0.12%	-0.10%	-0.14%	0.04%	0.11%	0.77%	0.44%	0.42%
Exporte	-0.58%	-1.05%	-1.84%	-2.81%	-3.72%	-2.82%	-3.87%	-3.93%
Importe	-0.45%	-0.68%	-1.28%	-2.02%	-2.49%	-1.18%	-2.08%	-2.19%
Faktorpreise								
Löhne	-0.48%	-0.73%	-1.25%	-1.65%	-2.16%	-1.87%	-1.99%	-1.80%
Kapital (Total Inland)	0.13%	-0.24%	-0.29%	0.16%	0.31%	1.33%	0.95%	0.91%
Faktoreinsatz								
Beschäftigung	-0.22%	-0.39%	-0.53%	-0.48%	-0.61%	0.11%	-0.24%	-0.31%
Kapital (Total Inland)	-0.33%	-0.67%	-1.18%	-1.90%	-2.65%	-3.06%	-3.23%	-3.07%
Kapitalexporte	0.69%	0.77%	1.32%	2.72%	4.10%	5.90%	6.09%	6.00%
Kapitalimporte	-0.51%	-1.47%	-2.39%	-3.22%	-4.45%	-4.26%	-5.02%	-4.83%
Faktoreinkommen								
Arbeit	-0.70%	-1.12%	-1.78%	-2.12%	-2.76%	-1.77%	-2.23%	-2.10%
Heimisches Kapital + Exporte	0.16%	-0.22%	-0.33%	0.07%	0.27%	1.33%	1.09%	1.13%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)								
Wohlfahrt (HEV)	-0.12%	-0.16%	-0.42%	-0.75%	-0.99%	-1.42%	-1.16%	-0.95%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0.12%	-0.16%	-0.41%	-0.73%	-0.97%	-1.39%	-1.15%	-0.94%
ETS-Preis, CO₂-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	160	180	200	220	350	500	500	500
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	320	352	394	391	574	776	767	753

Abbildung F-2: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 2 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrößen und die Wohlfahrt, die ETS-Preis, Höhe der CO₂-Abgabe und die Grenzvermeidungskosten

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wirtschaftliche Aktivität								
BIP-Niveau-Effekt	-0,38%	-0,80%	-1,35%	-1,73%	-2,54%	-2,73%	-2,67%	-2,28%
Privater Konsum	-0,48%	-0,72%	-1,38%	-1,90%	-2,58%	-2,78%	-2,55%	-2,10%
Investitionen	0,12%	-0,44%	-0,48%	-0,17%	-0,39%	0,22%	0,14%	0,26%
Exporte	-0,58%	-1,36%	-2,17%	-2,97%	-4,57%	-4,36%	-4,62%	-4,19%
Importe	-0,45%	-1,12%	-1,77%	-2,34%	-3,49%	-2,70%	-2,89%	-2,55%
Faktorpreise								
Löhne	-0,48%	-0,62%	-1,17%	-1,55%	-2,21%	-2,24%	-2,15%	-1,80%
Kapital (Total Inland)	0,13%	-0,62%	-0,65%	-0,07%	-0,26%	0,64%	0,57%	0,72%
Faktoreinsatz								
Beschäftigung	-0,22%	-0,36%	-0,52%	-0,43%	-0,76%	-0,33%	-0,43%	-0,34%
Kapital (Total Inland)	-0,33%	-0,54%	-1,04%	-1,73%	-2,59%	-3,38%	-3,37%	-3,06%
Kapitalexporte	0,69%	0,10%	0,64%	2,15%	3,34%	5,55%	5,73%	5,60%
Kapitalimporte	-0,51%	-1,58%	-2,45%	-3,10%	-4,86%	-5,44%	-5,56%	-4,93%
Faktoreinkommen								
Arbeit	-0,70%	-0,98%	-1,69%	-1,98%	-2,95%	-2,57%	-2,57%	-2,14%
Heimisches Kapital + Exporte	0,16%	-0,64%	-0,73%	-0,19%	-0,33%	0,61%	0,64%	0,86%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)								
Wohlfahrt (HEV)	-0,12%	-0,16%	-0,42%	-0,76%	-0,93%	-1,31%	-1,13%	-0,94%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0,12%	-0,16%	-0,41%	-0,74%	-0,91%	-1,29%	-1,11%	-0,93%
ETS-Preis, CO₂-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	160	180	200	220	350	500	500	500
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	84	104	124	254	404	404	404
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	320	205	243	291	368	722	698	650

Abbildung F-3: Auswirkungen des Szenarios KLIMA MIX 3 im Vergleich zum Szenario WWB auf ausgewählte Makrogrößen und die Wohlfahrt, die ETS-Preis, Höhe der CO₂-Abgabe und die Grenzvermeidungskosten

	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
Wirtschaftliche Aktivität								
BIP-Niveau-Effekt	-0.28%	-0.78%	-1.39%	-2.09%	-2.67%	-2.28%	-2.51%	-2.31%
Privater Konsum	-0.32%	-0.80%	-1.52%	-2.35%	-2.94%	-2.53%	-2.46%	-2.14%
Investitionen	0.19%	-0.05%	-0.07%	0.31%	0.43%	0.76%	0.40%	0.38%
Exporte	-0.18%	-0.97%	-1.83%	-2.90%	-3.68%	-2.83%	-4.00%	-4.08%
Importe	0.08%	-0.53%	-1.18%	-1.75%	-2.06%	-1.16%	-2.19%	-2.31%
Faktorpreise								
Löhne	-0.31%	-0.77%	-1.38%	-2.13%	-2.63%	-1.90%	-2.04%	-1.86%
Kapital (Total Inland)	0.18%	-0.18%	-0.21%	0.42%	0.64%	1.32%	0.89%	0.85%
Faktoreinsatz								
Beschäftigung	-0.11%	-0.41%	-0.61%	-0.76%	-0.84%	0.10%	-0.28%	-0.35%
Kapital (Total Inland)	-0.43%	-0.78%	-1.33%	-2.45%	-3.21%	-3.11%	-3.29%	-3.13%
Kapitalexporte	0.81%	0.93%	1.58%	3.78%	5.24%	5.92%	6.11%	6.01%
Kapitalimporte	-0.61%	-1.59%	-2.57%	-3.94%	-5.11%	-4.34%	-5.18%	-4.99%
Faktoreinkommen								
Arbeit	-0.42%	-1.18%	-1.99%	-2.87%	-3.45%	-1.80%	-2.32%	-2.20%
Heimisches Kapital + Exporte	0.18%	-0.19%	-0.27%	0.32%	0.58%	1.31%	1.03%	1.06%
Wohlfahrt (exkl. Sekundäreffekte)								
Wohlfahrt (HEV)	-0.10%	-0.18%	-0.44%	-0.80%	-1.08%	-1.44%	-1.17%	-0.95%
Wohlfahrt (HEV in BIP%)	-0.10%	-0.17%	-0.43%	-0.78%	-1.06%	-1.42%	-1.16%	-0.94%
ETS-Preis, CO₂-Abgabe, Grenzvermeidungskosten der Treibhausgas-Minderung in CHF/t CO₂								
	2025	2030	2035	2040	2045	2050	2055	2060
ETS-Preis	31	50	152	216	295	427	367	339
CO ₂ -Abgabe auf Brennstoffe	120	120	120	120	120	120	120	120
CO ₂ -Abgabe auf Treibstoffe	0	0	0	0	0	0	0	0
Grenzvermeidungskosten im nicht über CO ₂ -Abgabe oder Standards regulierten Bereich	308	367	463	729	967	776	767	753

Literaturverzeichnis

- Arvanitis S., Bolli T., Ley M., Stucki T., Wörter M., Soltmann C. (2011)
Potenziale für Cleantech im Industrie- und Dienstleistungsbereich in der Schweiz. Studie im Auftrag der economiesuisse.
- ATAG (2020)
WayPoint 2050.
- BAZL - Bundesamt für Zivilluftfahrt BAZL (2020)
Faktenmaterial Wege zu fossilfreiem Fliegen.
- Blanchard O.J., Giavazzi F. (2002)
Current Account Deficits in the Euro Area. The End of the Feldstein Horioka Puzzle? Massachusetts Institute of Technology, Department of Economics, Working Paper 03-05, September 17, 2002.
- Boeters S, Böhringer Ch., Büttner T., Kraus M. (2008)
Economic effects of VAT reforms in Germany. Applied Economics, 2008, 1–18.
- BP (2021)
Statistical Review of World Energy July 2021
- Bundesrat (2021)
Langfristige Klimastrategie der Schweiz. Bern.
- Ciscar et al. (2018)
Climate impacts in Europe: Final report of the JRC PESETA III project, EUR 29427 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018.
- Dimaranan, B.V., McDougall, R.A. (2002)
Global Trade, Assistance, and Production: The GTAP 5 Data Base. Center for Global Trade Analysis, Purdue University.
- Drakos A.A., Kouretas G.P. (2018)
Saving, investment and capital mobility in EU member countries: a panel data analysis of the Feldstein–Horioka puzzle.
- Ecologic Institut & Infras (2009)
Klimawandel: Welche Belastungen entstehen für die Tragfähigkeit der öffentlichen Finanzen?
- Econcept (2008)
Reduktion Treibhausgasemissionen: Gutachten Sekundärnutzen. Schlussbericht im Auftrag des Bundesamts für Umwelt. Zürich.
- Ecoplan (2006)
Zukunfts- und wachstumsorientiertes Steuersystem (ZUWACHS). Analyse der Effizienz-, Verteilungs- und Wachstumswirkungen einer Reform der indirekten Steuern in der Schweiz mit dem berechenbaren all-gemeinen Gleichgewichtsmodell SWISSOLG. Studie im Auftrag der Eidgenössischen Steuerverwaltung. Bern.

- Ecoplan (2007)
Auswirkungen der Klimaänderung auf die Schweizer Volkswirtschaft (nationale Einflüsse). Studie im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt und des Bundesamtes für Energie.
- Ecoplan (2012)
Energiestrategie 2050 – volkswirtschaftliche Auswirkungen. Studie im Auftrag des Bundesamts für Energie. Bern.
- Ecoplan (2022)
Sekundäreffekte der Energieperspektiven 2050+ im Bereich externe Kosten. Herleitung der spezifischen Kostensätze für die externen Kosten für die Strom- und Wärmeproduktion und den Verkehrsbereich. Technischer Bericht. Bern.
- Eidg. Volkswirtschaftsdepartement (2011)
Masterplan Cleantech. Eine Strategie des Bundes für Ressourceneffizienz und erneuerbare Energien. Bern.
- EU Commission (2018)
A Clean Planet for all. A European long-term strategic vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy.
- Feldstein M., Horioka Ch. (1979)
Domestic Savings and International Capital Flows. NBER Working Paper No. 310.
- Fuss et al. (2018)
Negative emissions—Part 2: Costs, potentials and side effects, Environ. Res. Lett. 13 (2018).
- GCCSI – Global CCS Institute (2020)
Global Status Report 2019.
- IEA (2020)
Energy Technology Perspectives 2020, Special Report on Carbon Capture Utilisation and Storage.
- IEA (2020)
World Energy Outlook 2020.
- IEA (2021)
Net Zero by 2050, A Roadmap for the Global Energy Sector
- IPCC (2014)
Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Edenhofer, O., R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, E. Farahani, S. Kadner, K. Seyboth, A. Adler, I. Baum, S. Brunner, P. Eicke-meier, B. Kriemann, J. Savolainen, S. Schlömer, C. von Stechow, T. Zwickel and J.C. Minx (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC (2018)

Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)].

IPCC (2022)

Sixth Assessment Report (AR 6) Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change, Working Group III, Summary for Policymakers.

Kahn M., Mohaddes K., Ng R., Hashem Pesaran M., Raissi M., Yang J.-C. (2019)

Long-Term Macroeconomic Effects of Climate Change: A Cross-Country Analysis. IMF Working Paper 19/215.

Kemfert (2007)

Klimawandel kostet die deutsche Volkswirtschaft Milliarden, DIW Wochenbericht, ISSN 1860-8787, Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW), Berlin, Vol. 74, Iss. 11, pp. 165-169.

KPMG, Ecoplan (2020)

Scénarios par branche et leur régionalisation. Im Auftrag des Bundesamts für Raumentwicklung ARE, des Bundesamts für Energie BFE und des Staatssekretariats für Wirtschaft SECO, Bern.

Mohler L., Müller D. (2012)

Substitution Elasticities in Swiss Manufacturing.

OECD (2006)

The Political Economy of Environmentally Related Taxes. Paris.

OECD (2010)

Taxation, Innovation and the Environment. Paris.

OECD (2015)

The Economic Consequences of Climate Change. Paris.

Ostertag K., Hemer J., Marscheider-Weidemann F., Reichardt K., Stehnen T., Tercero L., Zapp C. (2011)

Optimierung der Wertschöpfungskette Forschung-Innovation-Markt im Cleantech-Bereich, Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI.

Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infrac AG (2021)

Energieperspektiven 2050+ - Gesamtdokumentation der Arbeiten. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie BFE, Bern.

Rütter sococo, infrac, Modelworks (2019)

Energie- und verkehrsbezogene Differenzierung der Schweizerischen Input-Output-Tabelle 2014.

- Saito M. (2004)
Armington Elasticities in Intermediate Inputs Trade: A Problem in Using Multilateral Trade Data. IMF Working Paper.
- Steininger et al. (2015)
Die Auswirkungen des Klimawandels in Österreich: Eine ökonomische Bewertung für alle Bereiche und deren Interaktion – Hintergrund und Ergebnisse des Projekts COIN.
- Stern (2006)
Stern Review – The economics of climate change.
- Strefler J. et al. (2018)
Potential and costs of carbon dioxide removal by enhanced weathering of rocks, Environ. Res. Lett. 13 034010.
- Turner, P.A., Mach, K.J., Lobell, D.B. et al. (2018)
The global overlap of bioenergy and carbon sequestration potential. Climatic Change 148, 1–10 (2018), <https://link.springer.com/article/10.1007/s10584-018-2189-z>
- Umweltbundesamt (2018)
Methodenkonvention 3.0 zur Ermittlung von Umweltkosten. Methodische Grundlagen. Dessau-Rosslau.
- Vöhringer F., Vielle M., Thalmann Ph., Frehner A., Knoke W., Stocker D., Thurm B.(2019)
Costs and benefits of climate change in Switzerland, Climate Change Economics 10 (2), 1-34.
- Welsch H. (2008)
Armington elasticities for energy policy modeling: Evidence from four European countries. Energy Economics, Volume 30, Issue 5, September 2008, Pages 2252–2264.