



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

National Centre for Climate Services NCCS
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Treibhausgasemissionen unter verschiedenen sozioökonomischen und klimapolitischen Szenarien für die Schweiz

Zusammenfassung



prognos



IMPRESSUM

Projektleitung

Lena Gubler, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Konsortiumsleitung

Quirin Oberpriller und Jürg Füssler, INFRAS

Autorschaft

Quirin Oberpriller, Nicolas Schmid, Sophie Bogler, David Giger, Jürg Füssler (INFRAS); Andreas Kemmler, Alexander Piégsa, Sven Kreidelmeyer, Minh Phuong Vu, Andreas Brutsche, Almut Kirchner (PROGNOS); Johanna Zwahlen (Zoï Environment Network), Benjamin Black (ETH), Lena Gubler (WSL)

Projekt-Partner im Konsortium

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, INFRAS, Prognos, Zoï Environment Network

Design

Maria Libert (Zoï Environment Network)

Lektorat

Stephanie Kusma, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Diese Arbeiten wurden durch das National Centre for Climate Services NCCS gefördert und im Rahmen des Programms "Entscheidungsgrundlagen für den Umgang mit dem Klimawandel in der Schweiz: Informationen zu sektorenübergreifenden Themen (NCCS-Impacts)" als Teil des Projektes "Sozioökonomische Szenarien für die Schweiz" durchgeführt.

Mehr Informationen zum Programm:

www.nccs-impacts.ch

Zitierung

INFRAS, PROGNOS, WSL (2026): Treibhausgasemissionen unter verschiedenen sozioökonomischen und klimapolitischen Szenarien für die Schweiz. Zusammenfassung. National Centre for Climate Services (NCCS) (Hrsg.), Zürich. <http://doi.org/10.55419/wsl:42756>

Programmkoordination NCCS-Impacts

Andreas Fischer und Angela Michiko Hama (NCCS / MeteoSchweiz)

Herausgeber

National Centre for Climate Services NCCS

Das National Centre for Climate Services NCCS ist das Netzwerk des Bundes zur Erarbeitung von praxisorientierten Klimadienleistungen für Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft. Das NCCS ist im Sinne eines virtuellen Zentrums organisiert und ist ein Zusammenschluss von acht Bundesämtern und eidgenössischen Forschungsinstitutionen. Als nationales Koordinations- und Innovationsorgan an der Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis unterstützt das NCCS klimabezogene Entscheidungsfindungen.

Mitglieder des NCCS

- Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz
- Bundesamt für Umwelt BAFU
- Bundesamt für Landwirtschaft BLW
- Bundesamt für Bevölkerungsschutz BABS
- Bundesamt für Gesundheit BAG
- Bundesamt für Lebensmittelsicherheit und Veterinärwesen BLV
- ETH Zürich
- Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Mai 2026

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Diese Zusammenfassung ist auch in französischer, italienischer und englischer Sprache verfügbar. Die Originalsprache ist Deutsch.

VORBEMERKUNG

Die vorliegende Zusammenfassung des Projektes «Sozioökonomische Szenarien für die Schweiz» richtet sich an Entscheidungstragende in Verwaltung und Politik, die sich mit prospektiven Arbeiten wie Szenarien, Perspektiven und Strategien beschäftigen, sowie an die Forschung und Beratung. Sie stellt die Sozioökonomischen Szenarien für die Schweiz (SSP-CH) sowie die klimapolitischen Pakete (SPA) vor. Diese dienen als Grundlagen für die Modellierung von Treibhausgasemissionen und Landnutzungsänderungen in der Schweiz bis ins Jahr 2100. Sie gibt einen Überblick über die verwendeten Methoden, die Modellierung und ausgewählte Ergebnisse.

Detaillierte Berichte zum Gesamtprojekt, weitere wissenschaftliche Publikationen sowie zugrundeliegende Daten sind auf der Projektwebsite zugänglich:

www.nccs-impacts.ch/ssp-ch

Diese Zusammenfassung basiert auf folgendem technischen Bericht:

Oberpriller, Q., Schmid, N., Kemmler, A., Gubler, L., Bogler, S., Giger, D., Piégsa, A., Brutsche, A., Kreidelmeyer, S., Vu, M. Ph., Black, B., Kirchner, A., Füssler, J. (2026): Treibhausgasemissionen unter verschiedenen sozioökonomischen und klimapolitischen Szenarien für die Schweiz. Modellierung und Analyse. Infras, Prognos, WSL. Zürich. <http://doi.org/10.55419/wsl:42766>

Grundlagen zu den SSP-CH sind in folgendem Bericht beschrieben:

Gubler, L., Tschumi, P., Pütz, M., Seidl, I. (2026): SSP-CH: Sozioökonomische Szenarien für die Schweiz. Grundlagen, Methoden und Resultate. WSL Berichte 193. Birmensdorf. <http://doi.org/10.55419/wsl:42764>



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

National Centre for Climate Services NCCS

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL



prognos



Alle Inhalte stehen, soweit nicht anders angegeben, unter der Creative Commons-Lizenz CC BY 4.0.

INHALT

EINLEITUNG	3
Die Modellierung von zukünftigen Treibhausgasemissionen für die Schweiz	
VORGEHEN UND GRUNDLAGEN	5
Wie wurden die Modellierungsergebnisse ermittelt?	
BOX 1 Sozioökonomische Szenarien Für Die Schweiz (SSP-CH)	6
BOX 2 Pakete klimapolitischer Instrumente für die Schweiz (SPA)	7
ERGEBNISSE	10
Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen für vier ausgewählte Zukunftsszenarien bis 2100	
Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik SSP1-CH & SPA1	10
Ressourcenintensive Schweiz ohne Klimapolitik SSP5-CH & SPA4	14
Konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik SSP3-CH & SPA3	15
Genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik SSP0-CH & SPA2	17
Überblick und Vergleich der vier Szenarien	19
Erweiterte Systemgrenze: Flugemissionen und Aussenhandel	20
BOX 3 Veränderung der Landnutzung	23
SCHLUSSFOLGERUNGEN	24
Fazit und mögliche Anwendungen	

DIE MODELLIERUNG VON ZUKÜNFTIGEN TREIBHAUSGASEMISSIONEN FÜR DIE SCHWEIZ

Die Bewältigung des Klimawandels und seiner Folgen für Gesellschaft und Wirtschaft ist dringlicher denn je. In der Schweiz hängen der Verbrauch von Ressourcen und der Ausstoss von Treibhausgasen vorwiegend mit den Bereichen Wirtschaft, Energie, Verkehr, Landwirtschaft und Konsum zusammen. Wissenschaftlich fundierte Szenarien und Modelle helfen aufzuzeigen, wie sich diese Emissionen unter verschiedenen gesellschaftlichen, wirtschaftlichen und politischen Rahmenbedingungen entwickeln – und reduziert werden – könnten.

Dabei dienen explorative sozioökonomische und klimapolitische Szenarien dazu, mögliche Entwicklungen auszuloten und miteinander zu vergleichen. Die Zukunft lässt sich nicht exakt voraussagen: Mit zunehmendem Zeithorizont und steigender Systemkomplexität nimmt die Unsicherheit zu. Das Denken in "Wenn-Dann-Szenarien" erlaubt es hingegen, Politikentscheidungen besser auf unterschiedliche mögliche Zukünfte abzustimmen.

Energie- und Emissionsmodelle helfen, die Auswirkungen dieser Entwicklungen auf die Emissionen sichtbar zu machen und gegenüberzustellen: Wie verändern sich Emissionen, wenn der technologische Fortschritt schnell voranschreitet? Welchen Einfluss haben soziale Faktoren und Wertehaltungen der Bevölkerung auf den Ressourcenverbrauch? Was passiert, wenn die Bevölkerung wächst oder sich das Konsumverhalten verändert? Welche Wirkung haben Investitionen in erneuerbare Energie und energetisch effizientere Gebäudehüllen und Wärmereizeuger? Wie können politische Instrumente, wie beispielsweise eine CO₂-Abgabe oder strengere, verbindliche Gebäudestandards, zur Emissionsreduktion beitragen und wie gross kann deren Wirkung sein?

Die Schweiz hat eine lange Tradition von Szenarioarbeiten zur Unterstützung der Politik. Beispiele sind die Klimaszenarien, die Bevölkerungs-, BIP- und Branchenszenarien, die Langfristperspektiven für die öffentlichen Finanzen, die prospektiven Arbeiten der Lage- und Umfeldanalyse der Bundeskanzlei sowie die Verkehrs- und Energieperspektiven. Letztere etwa fokussieren mit einem zeitlichen Horizont bis 2050 auf Fragen der Energie- und Klimapolitik und betrachten einen engen Fächer an möglichen sozioökonomischen Entwicklungen.

Im hier vorgestellten Projekt wurden umfassende sozioökonomische Szenarien für die Schweiz (SSP-CH) und Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA – *Shared Policy Assumptions*) erarbeitet, in Anlehnung an das SSP-Rahmenwerk des Weltklimarats IPCC. Sie beschreiben in sich konsistente, plausible Entwicklungen der Schweiz, ohne diesen Eintretenswahrscheinlichkeiten beizumessen. Die SSP-CH ergänzen die bereits bestehenden Szenarien und Perspektiven der Bundesverwaltung in mehrfacher Hinsicht: Sie erweitern den Zeithorizont bis in das Jahr 2100. Zudem berücksichtigen sie ein breiteres Spektrum möglicher, stark unterschiedlicher Entwicklungen. Diese betreffen vor allem Veränderungen der Gesellschaft, der Wirtschaft und der Technik. Die SPA wiederum erlauben es, die Wirkung verschiedener klimapolitischer Szenarien zu analysieren.

DAS SSP-CH-PROJEKT IM NCCS-IMPACTS-PROGRAMM

Im Rahmen des NCCS-Impacts-Programms wurden im Projekt *Sozioökonomische Szenarien für die Schweiz* (SSP-CH) der mögliche Verlauf der Treibhausgasemissionen und Landnutzungen in der Schweiz bis ins Jahr 2100 modelliert. In dieser Zusammenfassung steht die Modellierung der Treibhausgasemissionen im Fokus. Betrachtet werden fünf SSP-CH-Szenarien (*Shared Socioeconomic Pathways*) mit unterschiedlichen sozioökonomischen Entwicklungen (siehe Box 1). Diese werden anschliessend kombiniert mit vier möglichen Paketen an klimapolitischen Instrumenten (SPA – *Shared Policy Assumptions*) (siehe Box 2). Die Modellierung der Landnutzung erläutert der Text in Box 3.

Dieser Ansatz lehnt sich an die Methodik des globalen SSP-Rahmenwerks des IPCC an und erlaubt es, ein breites Spektrum an möglichen zukünftigen Entwicklungen zu untersuchen. Im Sinne einer «Wenn-Dann-Analyse» werden explorative Szenarien entwickelt. Es werden also nicht heutige Trends extrapoliert oder nach der wahrscheinlichsten Entwicklung gesucht, sondern Ziel ist es, eine Bandbreite plausibler, in sich konsistenter Entwicklungen aufzuzeigen und einander gegenüberzustellen. Diese können von heutigen Entwicklungen stark abweichen: Zum Beispiel werden Zustände mit sehr tiefer oder hoher Innovationstätigkeit, mit geringem oder starkem Wachstum (Wirtschaft oder Bevölkerung), tiefem oder hohem Stellenwert von Klima- und Umweltfragen in Gesellschaft und Politik beschrieben.

WEM DIENEN DIE MODELLIERUNGEN?

Die Ergebnisse der Modellierung von Treibhausgasemissionen unterstützen Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger in Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft dabei, informierte und langfristig tragfähige Strategien und Massnahmen zu planen und umzusetzen. Sie liefern eine auf wissenschaftlichen Methoden basierende Grundlage, um Herausforderungen und Chancen zu erkennen und robuste Entscheidungen zu treffen. Zudem können die SSP-CH, die SPA, die Modellierungsergebnisse und insbesondere die methodische Herangehensweise für zukunftsgerichtete Arbeiten in Forschung und Beratung genutzt werden. So leisten der entwickelte Szenarienansatz für die Schweiz (sozioökonomische Szenarien SSP-CH kombiniert mit Paketen klimapolitischer Instrumente SPA) und dessen quantitative Übersetzung einen wichtigen methodischen Beitrag zur internationalen Forschung in diesem Bereich.

Sämtliche im Projekt untersuchten Szenarien sind sogenannte explorative Szenarien. Sie beschreiben in Form von «Wenn-Dann-Aussagen», wie sich Annahmen zu Rahmenbedingungen, Wechselwirkungen und gegebenenfalls Veränderungen in gesellschaftlichen Präferenzen und Dynamiken auf zukünftige Treibhausgasemissionen auswirken. Es handelt sich ausdrücklich nicht um Zielszenarien, mit denen untersucht würde, wie sich vorgegebene Ziele zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichen lassen.

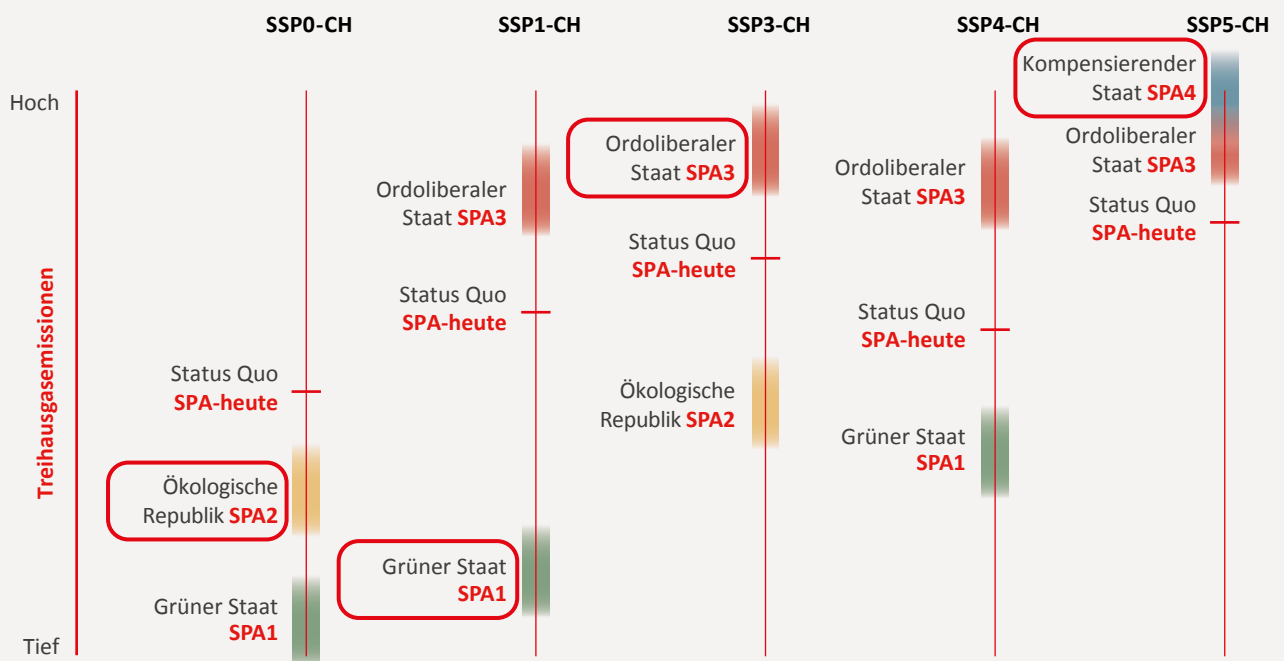
WIE WURDEN DIE MODELLIERUNGSERGEBNISSE ERMITTELT?

ENTWICKLUNG DER SZENARIEN

In einem ersten Schritt wurden in Anlehnung an die globalen *Shared Socioeconomic Pathways* (SSP) fünf sozioökonomische Szenarien für die Schweiz (SSP-CH) erstellt. Die SSP-CH beschreiben unterschiedliche Entwicklungen für Bevölkerung, Wirtschaft, Technologie und Lebensstil bis in das Jahr 2100 und sind in Box 1 näher erläutert. Die SSP-CH berücksichtigen allerdings per Design nicht die Entwicklung der Klimapolitik. Dafür wurden in einem zweiten Schritt komplementär vier unterschiedliche Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA – *Shared Policy Assumptions*) entwickelt, die in Box 2 beschrieben sind.

Abschliessend wurden die SSP-CH mit den SPA kombiniert. Dies so, dass das SPA jeweils zur Logik des SSP-CH passt: Das SPA darf die gesellschaftliche Entwicklung des SSP-CH nicht übersteuern beziehungsweise die klimapolitischen Instrumente der SPA müssen im Kontext der gesellschaftlichen Entwicklungen der SSP-CH politisch umsetzbar sein. Um die Darstellung übersichtlich zu halten, konzentriert sich diese Zusammenfassung exemplarisch auf vier solcher Kombinationen (siehe Abbildung 1). Diese wurden so gewählt, dass sie ein möglichst breites Spektrum an Entwicklungen repräsentieren. Im technischen Bericht «Treibhausgasemissionen unter verschiedenen sozioökonomischen und klimapolitischen Szenarien für die Schweiz. Modellierung und Analyse» (siehe Impressum) sind drei weitere und somit insgesamt sieben Kombinationen analysiert.

Abb. 1: Wirkung der SPA auf die SSP-CH.



Der Status Quo bezeichnet das jeweilige Niveau der Treibhausgasemissionen in den SSP-CH ohne zusätzliche SPA. Die Emissionen mit zusätzlichen SPA liegen dann über oder unter diesem Niveau.

Die in dieser Zusammenfassung beschriebenen Kombinationen sind rot umrandet: SSP0-CH&SPA2: Genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik; SSP1-CH&SPA1: effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik; SSP3-CH&SPA3: Konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik; SSP5-CH&SPA4: Ressourcenintensive Schweiz ohne Klimapolitik.

BOX 1 | SOZIOÖKONOMISCHE SZENARIEN FÜR DIE SCHWEIZ (SSP-CH)

Die *Sozioökonomischen Szenarien für die Schweiz* (SSP-CH) beschreiben fünf plausible, in sich konsistente Entwicklungen der Schweiz bis zum Ende des 21. Jahrhunderts. Sie beleuchten mögliche technische, institutionelle, wirtschaftliche und kulturelle Entwicklungen und deren Wechselwirkungen. Sie sind zukunfts offen, gehen also nicht von einem bestimmten Ziel in der Zukunft aus, und decken somit ein breites Spektrum möglicher Zukünfte ab. Solche Szenarien sind nicht zu verwechseln mit Visionen oder Wunschszenarien. Sie enthalten sowohl positiv als auch negativ konnotierte Entwicklungen.

Die SSP-CH wurden unter Einbezug von 59 Expertinnen und Experten aus 20 wissenschaftlichen Institutionen der Schweiz entwickelt und in fünf Workshops in der Deutsch- und Westschweiz mit insgesamt 85 Teilnehmerinnen und Teilnehmern

ausgebaut und validiert. Die fünf Szenarien (SSP-CH) sind in einer Publikation¹ der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL ausführlich beschrieben. Tabelle 1 gibt einen Überblick über ausgewählte Parameter, deren Ausprägungen die fünf SSP-CH charakterisieren.

Die Szenarien SSP1-CH, SSP3-CH und SSP4-CH sind mit den entsprechenden globalen SSP gut vergleichbar. Das SSP0-CH hat auf globaler Ebene noch kein Pendant. Das SSP5-CH weicht vom globalen SSP5 ab, denn die befragten Expertinnen und Experten stufen es als nicht plausibel ein, dass eine hoch innovative, technisch weit fortgeschrittene Gesellschaft, wie

¹ Link zum WSL Bericht: <https://ssp-ch-szenarien.wsl.ch>

Tabelle 1: Übersicht über die ausgewählten Parameter, deren Ausprägungen die fünf SSP-CH charakterisieren.

SSP-CH Szenarioparameter	SSP0-CH <i>Genügsame Schweiz</i>	SSP1-CH <i>Effiziente Schweiz</i>	SSP3-CH <i>Konfliktreiche Schweiz</i>	SSP4-CH <i>Ungleiche Schweiz</i>	SSP5-CH <i>Ressourcenintensive Schweiz</i>
Bevölkerung und Gemeinwohl					
Ständige Wohnbevölkerung	gering	hoch	gering	mittel	hoch
Sozialer Zusammenhalt	hoch	mittel	in Gruppen hoch, gesamtgesellschaftlich niedrig	niedrig	mittel
Wirtschaft und Konsum					
Wirtschaftswachstum	niedrig	hoch	niedrig	hoch	mittel
Verteilung von Vermögen und Einkommen	gleichmässig	gleichmässig	mittel	ungleichmässig	mittel
Konsum	gering	mittel	gering	geteilt	hoch
Politik und Staat					
Fokus des Staates	Gemeinwohl	Wirtschaft, Gemeinwohl	Sicherheit	Wirtschaft, Sicherheit	Wirtschaft
Internationale politische Integration der CH	mittel	hoch	gering	hoch	gering
Technologie					
Technologische Entwicklung und Innovation	langsam	schnell	langsam	schnell	langsam
Umwelt und natürliche Ressourcen					
Umweltbewusstsein	hoch	hoch	gering	gering	gering
Ressourceneffizienz	mittel	hoch	niedrig	hoch	niedrig

sie im globalen SSP5 beschrieben wird, bis ans Ende des Jahrhunderts auf fossile Energien setzt. Im SSP5-CH wird deshalb von einer nicht-innovativen Gesellschaft ausgegangen. Global existiert zudem ein SSP2-Szenario «Middle of the Road», das eine durchschnittliche Entwicklung der relevanten sozioökonomischen Parameter beschreibt. Bei den SSP-CH fehlt ein solches, weil der in diesem Projekt gewählte methodische Ansatz zur Entwicklung der qualitativen Szenarien es nicht erlaubt, ein

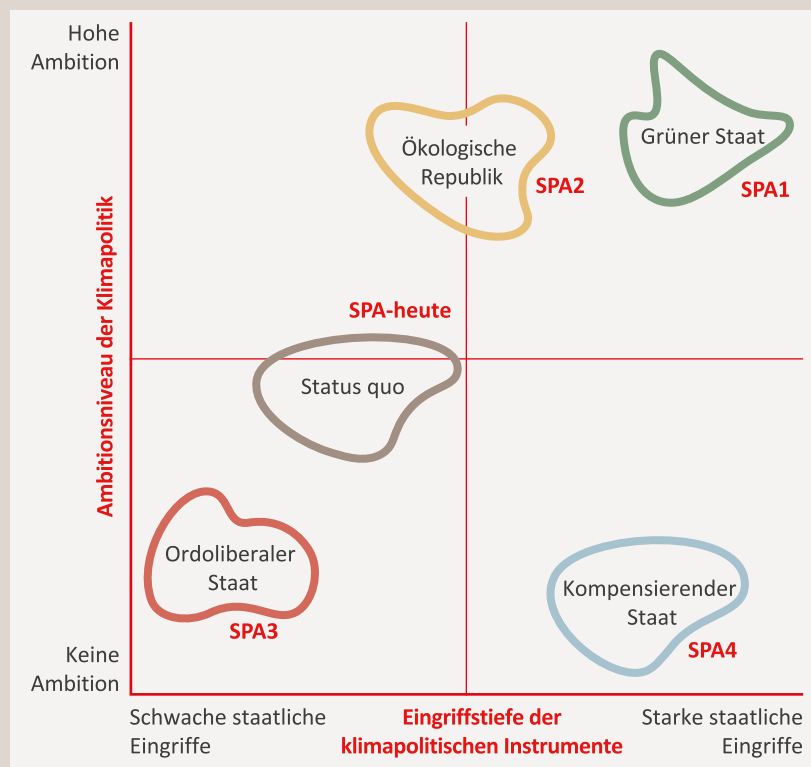
Szenario zu generieren, in dem alle Entwicklungen durchschnittlich verlaufen. Da ein mittleres Szenario oft als das Wahrscheinlichste angesehen und als alleiniges weiterverwendet wird, wurde zudem davon abgesehen, ein SSP2-CH nachträglich zu konstruieren. Die Verwendung eines einzelnen Szenarios würde der Szenariomethode widersprechen, die darauf angelegt ist, mehrere mögliche Entwicklungen einander gegenüberzustellen, ohne ihnen Eintretenswahrscheinlichkeiten beizumessen.

BOX 2 | PAKETE KLIMAPOLITISCHER INSTRUMENTE FÜR DIE SCHWEIZ (SPA)

Die Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA) beschreiben vier unterschiedliche Entwicklungen der nationalen Klimapolitik (SPA1 bis SPA4). Ein SPA-heute fasst zudem den Status Quo der im Jahr 2023 bestehenden klimapolitischen Instrumente zusammen. Auf Basis von politikwissenschaftlicher Literatur wurden die SPA entlang zweier zentraler Dimensionen entwickelt – dem Ambitionsniveau der Klimapolitik und der Eingriffstiefe der politischen Instrumente (siehe Abbildung 2). Die SPA decken ein breites Spektrum möglicher Klimapolitiken ab:

- SPA-heute – Status Quo: Aktuell umgesetzte Klimapolitik (Stand 2023)
- SPA1 – Grüner Staat: Ambitionierte Klimapolitik, starke staatliche Eingriffe – lenkende Klimapolitik
- SPA2 – Ökologische Republik: Ambitionierte Klimapolitik, eher geringe staatliche Eingriffe (z.B. freiwillige Massnahmen der Zivilgesellschaft und Wirtschaft) – partizipative Klimapolitik
- SPA3 – Ordoliberaler Staat (in anderen Publikationen auch: Marktliberaler Staat): Gering ausgeprägte Ziele, minimale staatliche Eingriffe – minimale Klimapolitik
- SPA4 – Kompensierender Staat (in anderen Publikationen auch: Erhaltender Staat): Starke staatliche Eingriffe, die allerdings nicht der Klimapolitik, sondern anderen Politikzielen dienen (z.B. Energiekosten reduzieren) – ohne Klimapolitik.

Abb. 2: Die Pakete klimapolitischer Instrumente werden entlang der Dimensionen des Ambitionsniveaus der politischen Ziele und des Grads der Eingriffe der politischen Massnahmen angeordnet.



Die SPA wurden für die Sektoren Energie, Verkehr, Industrie, Gebäude, Landwirtschaft und Import entwickelt. Die Kombination der Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA) mit den verschiedenen sozioökonomischen Szenarien (SSP-CH) ermöglicht es, ein umfassendes Spektrum möglicher zukünftiger Entwicklungspfade der Schweizer Gesellschaft und Klimapolitik zu analysieren.

MODELLIERUNG DES ENERGIEVERBRAUCHS UND DER TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Die Hauptaufgabe dieses Projekts war es, die in den verschiedenen Kombinationen von SSP-CH und SPAs qualitativ beschriebenen Entwicklungen durch quantitative Modellierung in Treibhausgasemissionen zu übersetzen. Der Modellierung liegen ein Bottom-up-Ansatz sowie das THG-Inventar zugrunde. Die Modellierung ist unterteilt in die Sektoren Verkehr, Gebäude, Landwirtschaft, Industrie, Energiewirtschaft und Negativemissionstechnologien (NET). Eine erweiterte Perspektive berücksichtigt zudem die Emissionen von Importen und Exporten sowie jene des internationalen Flugverkehrs. Als Vorstufe der Treibhausgasemissionen wird ausserdem der Energieverbrauch modelliert.

Hierfür wurde in einem ersten Schritt eine Reihe von Szenarioparametern definiert. Diese bilden die wichtigsten Eigenschaften der SSP-CH in vereinfachter Form ab beschreiben sowohl gebräuchliche Grössen (z.B. Wohnbevölkerung, BIP pro Kopf oder Tierbestand pro Kopf) als auch solche wie das Umweltbewusstsein oder das individuelle Konsumniveau. Wie sie sich je nach SSP-CH entwickeln, wurde unter Einbezug von Expertinnen und Experten quantifiziert.

Im zweiten Schritt wurden die Entwicklungen der Szenarioparameter in Änderungen von Modellparametern übersetzt. Diese sind die zentralen Bausteine des Modells (z.B. im Gebäudesektor die Gebäudefläche oder der Energieträgermix). Um die vielen Szenarien dieses Projekts systematisch zu modellieren, wurde für jeden Sektor eine unveränderliche Wirkungsmatrix definiert, welche Elastizitäten beinhaltet. Diese legt exakt fest, wie die Szenarioparameter die Modellparameter beeinflussen. Unterschiedliche Ergebnisse in Bezug auf die Treibhausgasemissionen der Szenarien ergeben sich daher ausschliesslich aus den unterschiedlichen Entwicklungen der Szenarioparameter. Für die Wirkung von klimapolitischen Instrumenten wurden keine eigenen Szenarioparameter entwickelt. Stattdessen wurde die Wirkung der verschiedenen Klimapolitiken (SPA) auf die Modellparameter jeweils in der Summe abgeschätzt. Abbildung 3 zeigt die gerade beschriebenen Schritte ausgehend von den Szenarioparametern hin zu den Modellergebnissen illustrativ und anhand eines Beispiels.

Für jeden Sektor kommen eigens für dieses Projekt entwickelte Modelle reduzierter Komplexität zum Einsatz. Grundlage für diese sind die Ergebnisse und Erkenntnisse aus komplexeren Modellen (z.B. für die Modellierung der Energieperspektiven 2050+). So lassen sich die entscheidenden Verknüpfungen zwischen Szenario- und Modellparametern massgeschneidert abbilden und die Wirkungspfade nachvollziehbar darstellen.

Ausgangspunkt der Modellierung ist das Jahr 2023. Modelliert wurden die Jahre 2035, 2060, 2085 und 2100. Die dazwischenliegenden Jahre sind interpoliert.²

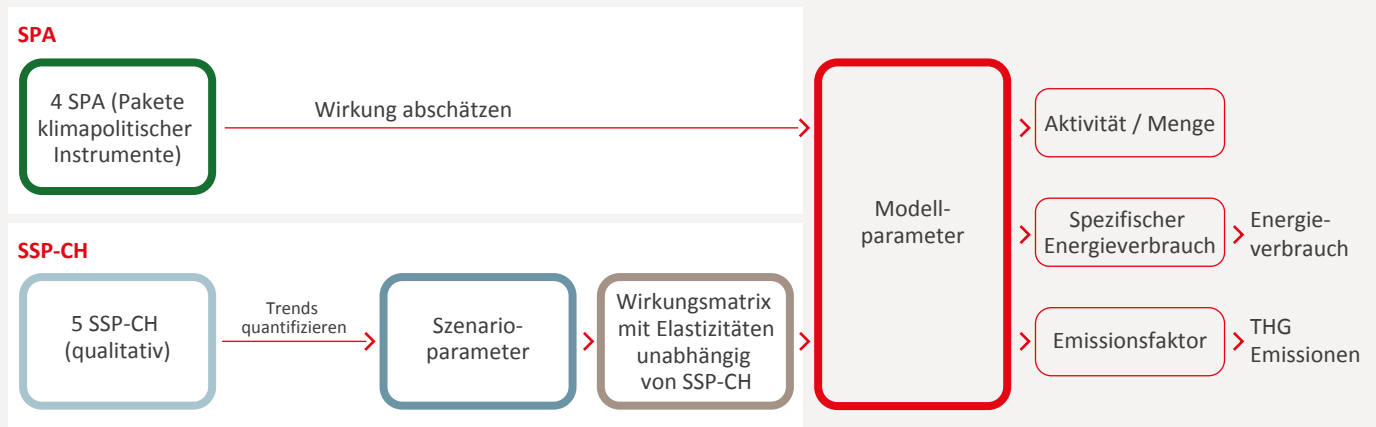
Im internationalen Kontext hängen die sozioökonomischen SSP-Szenarien eng mit den RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways)³ zusammen, welche verschiedene Entwicklungen der globalen Treibhausgasemissionen beschreiben. Beispielsweise dienten die Emissionspfade der RCP-Szenarien als Ziele für die Modellierung der globalen SSP. Ein solcher Bezug existiert nicht zwischen den SSP-CH und den globalen Emissionsszenarien beziehungsweise den daraus abgeleiteten für die Modellierung Klimaszenarien: Die SSP-CH sind keine Zielszenarien. Zudem verursacht die Schweiz nur einen Bruchteil der globalen Emissionen, sodass keine direkte Wirkung der Schweizer Emissionsszenarien auf die globalen Emissionsszenarien besteht.

² Zudem ist das Jahr 2050 in den Abbildungen ausgewiesen, da dies ein wichtiges Jahr der Klimapolitik darstellt und teilweise für die Modellierung der SPA relevant ist.

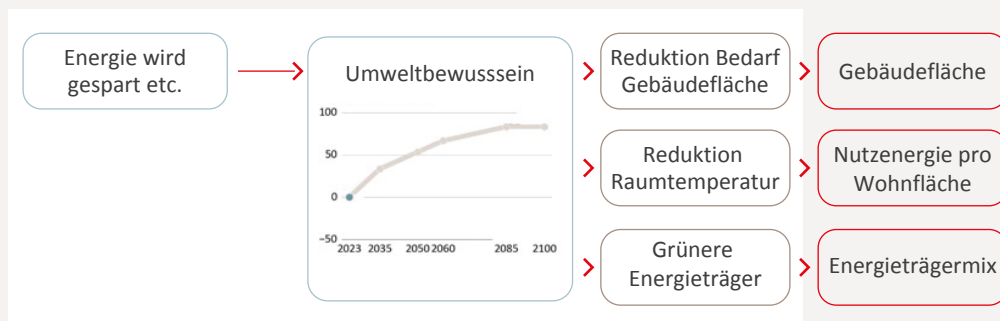
³ RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) sind Emissionsszenarien für Treibhausgase, die vom Weltklimarat (IPCC) genutzt werden.

Abb. 3: Ansatz für die Modellierung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen.

Generischer Modellaufbau



Beispiel: Modellierung SSP0-CH im Gebäudesektor



Beispiel: Steigt das Umweltbewusstsein um 50 Prozent, reduziert sich der Bedarf an Gebäudefläche um 25 Prozent, falls die Elastizität für diesen Wirkungspfad -0.5 beträgt.

Für die Modellierung in diesem Bericht verwenden alle Szenarien das gleiche mittlere RCP-Szenario.⁴ Der Grund hierfür ist, dass unterschiedliche Annahmen die hier vorliegende Modellierung wenig beeinflussen. Zudem ist es aus methodischer Sicht vorteilhaft, die Einflüsse des Klimawandels konstant zu belassen, sodass unterschiedliche Endenergieverbräuche und Emissionen nur die Auswirkungen der SSP-CH und SPA widerspiegeln.

⁴ Verwendet wird das Szenario RCP4.5. Dieses resultiert bis 2100 in einem Temperaturanstieg von +2,9°C (Bandbreite: 2.1°C bis 4.0°C) gegenüber dem vorindustriellen Niveau (siehe Table 4.2; IPCC, 2021: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report).

ENDENERGIEVERBRAUCH UND TREIBHAUSGASEMISSIONEN FÜR VIER AUSGEWÄHLTE ZUKUNFTSSZENARIEN BIS 2100

Die folgenden Kapitel stellen vier Kombinationen von sozioökonomischen Szenarien (SSP-CH) und Paketen klimapolitischer Instrumente (SPA) vor.⁵ Jeweils am Anfang steht eine kurze Einführung der entsprechenden SSP-CH und SPA. Diese bilden den Ausgangspunkt der Modellierung. Danach folgen die Resultate des Endenergieverbrauchs und der direkten Treibhausgasemissionen in der Schweiz. Der Endenergieverbrauch bezeichnet die Energiemenge, die in den Endverbrauchssektoren Industrie, Gebäude (Haushalte, Dienstleistungen) und Verkehr zum Einsatz kommt.

Eine detaillierte Darstellung aller Grundlagen und Annahmen findet sich im technischen Bericht «Treibhausgasemissionen unter verschiedenen sozioökonomischen und klimapolitischen Szenarien für die Schweiz. Modellierung und Analyse».

Generell sind Modellierungsergebnisse über den langen Zeitraum bis 2100 mit Vorsicht zu interpretieren: Das Modell kann zwar mögliche Zusammenhänge in einem Gesamtsystem quantitativ erfassen. Sowohl die Grundlagendaten, die SSP-CH und SPA als auch die Energie-, Emissions- und Landnutzungsmodellierungen über einen so langen Zeitraum hinweg sind jedoch naturgemäss mit grossen Unsicherheiten und Limitierungen verbunden. Die Modellierung kann dennoch helfen, verschiedene mögliche und in sich konsistente Entwicklungen in die Zukunft systematisch zu betrachten.

EFFIZIENTE SCHWEIZ MIT LENKENDER KLIMAPOLITIK SSP1-CH & SPA1

Sozioökonomische und klimapolitische Annahmen

Szenario SSP1-CH – Die effiziente Schweiz: Die Schweiz ist stark technisiert und hat sich zu einer effizienten Kreislaufwirtschaft mit hoher internationaler Einbindung entwickelt. Die Bevölkerung profitiert von der Wertschöpfung einer wachsenden Wirtschaft. Stete Zuwanderung führt zu stark verdichteten Städten. Der Flächenverbrauch steigt moderat, das Umweltbewusstsein in der Bevölkerung ist sehr hoch. Die Versorgung mit erneuerbaren Energien ist gesichert, zum grossen Teil inländisch, teils importiert. Lebensmittel werden zu grossen Teilen importiert; die Schweiz pflegt enge politische und wirtschaftliche internationale Beziehungen, insbesondere mit der EU. Politische Institutionen funktionieren verlässlich und effizient.

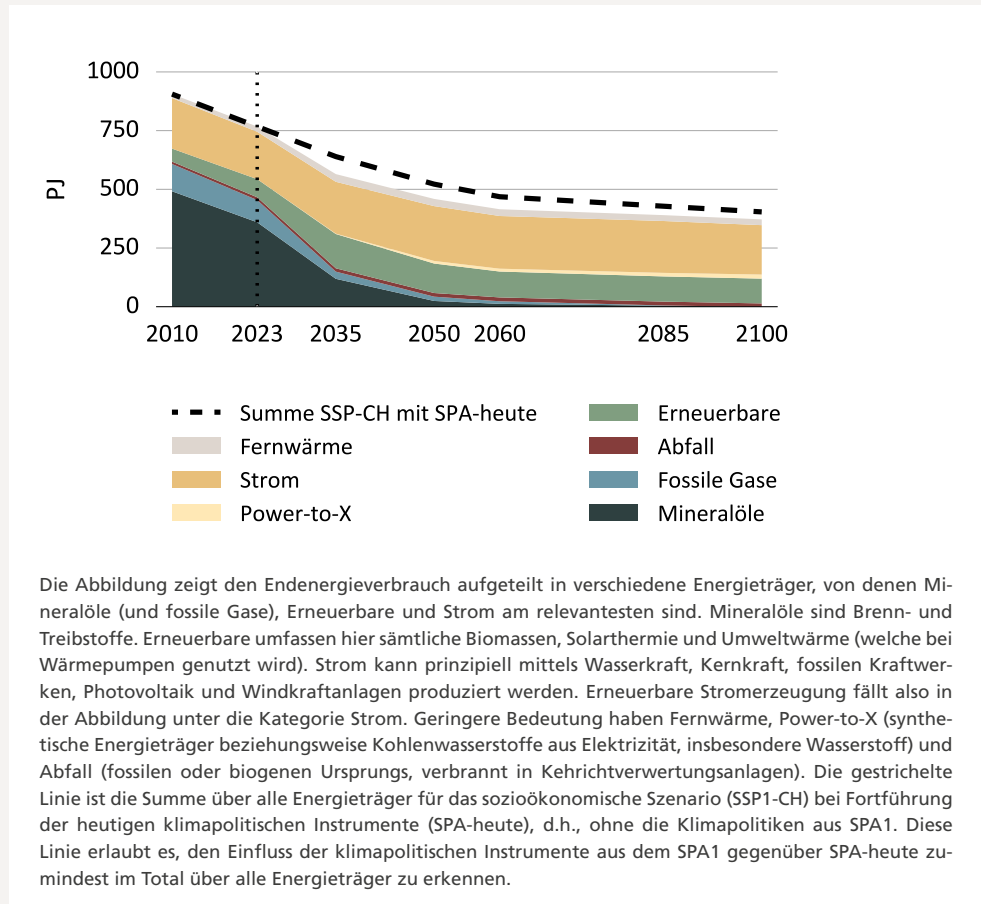
Klimapolitisches Paket SPA1 Lenkende Klimapolitik: Um ehrgeizige Klimaschutzziele zu erreichen, greift der Staat lenkend in wirtschaftliche Angelegenheiten und den privaten Konsum ein und hat eine Vielzahl neuer Regulierungs- und Finanzinstrumente eingeführt.

⁵ Im technischen Bericht werden alle fünf sozioökonomischen Szenarien SSP-CH mit verschiedenen kompatiblen Klimapolitiken SPA kombiniert. Für diese Zusammenfassung wurden vier typische Kombinationen ausgewählt, welche die Breite der Ausprägungen hinreichend repräsentieren.

Modellierungsergebnisse: Endenergieverbrauch

Abbildung 4 stellt den Endenergieverbrauch dieses Szenarios dar.

Abb. 4: Endenergieverbrauch im Szenario Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik SSP1-CH & SPA1.



Die Abbildung zeigt den Endenergieverbrauch aufgeteilt in verschiedene Energieträger, von denen Mineralöl (und fossile Gase), Erneuerbare und Strom am relevantesten sind. Mineralöl sind Brenn- und Treibstoffe. Erneuerbare umfassen hier sämtliche Biomassen, Solarthermie und Umweltwärme (welche bei Wärmepumpen genutzt wird). Strom kann prinzipiell mittels Wasserkraft, Kernkraft, fossilen Kraftwerken, Photovoltaik und Windkraftanlagen produziert werden. Erneuerbare Stromerzeugung fällt also in der Abbildung unter die Kategorie Strom. Geringere Bedeutung haben Fernwärme, Power-to-X (synthetische Energieträger beziehungsweise Kohlenwasserstoffe aus Elektrizität, insbesondere Wasserstoff) und Abfall (fossilen oder biogenen Ursprungs, verbrannt in Kehrlichtverwertungsanlagen). Die gestrichelte Linie ist die Summe über alle Energieträger für das sozioökonomische Szenario (SSP1-CH) bei Fortführung der heutigen klimapolitischen Instrumente (SPA-heute), d.h., ohne die Klimapolitiken aus SPA1. Diese Linie erlaubt es, den Einfluss der klimapolitischen Instrumente aus dem SPA1 gegenüber SPA-heute zumindest im Total über alle Energieträger zu erkennen.

Für den Zeitraum 2010 bis 2023 zeigt die Abbildung die tatsächlichen Verbrauchsdaten (links der gepunkteten Linie). Diese nehmen um ca. 15 Prozent ab. Dieser Trend setzt sich im Zukunftsszenario fort. Vor allem der Verbrauch von Mineralöl sinkt weiterhin. Der Hauptgrund hierfür ist die zunehmende Elektrifizierung (u.a. Wärmepumpen, E-Fahrzeuge, Elektrowärme bei industriellen und gewerblichen Prozessen) und die gesteigerte Energieeffizienz, welche in allen Sektoren zum Tragen kommt (gegeben durch das SSP1-CH). Allein im Industriesektor existieren noch immer gewisse Hochtemperaturprozesse, bei denen erst ein Technologiewandel fossile Brennstoffe ersetzen könnte.

Der Stromverbrauch steigt nur leicht, obwohl im SSP1-CH eine zunehmende Elektrifizierung stattfindet. Hinzu kommen neue Verbraucher (z.B. Rechenzentren), die signifikant zusätzlich Strom verbrauchen. Ohne deren Einfluss nähme der Stromverbrauch sogar leicht ab. Der Hauptgrund hierfür ist die im SSP1-CH steigende Energieeffizienz. Beispielsweise im Gebäudesektor steigt zwar der Stromverbrauch aufgrund der Wärmepumpen zwischenzeitlich an, weil diese einen immer grösseren Anteil der Wohnfläche beheizen. Aber gleichzeitig werden weniger effiziente, konventionelle Elektroheizungen und Warmwassererhitzer ersetzt und die Effizienz der Wärmepumpen steigt. Ausserdem reduzieren das wärmer werdende Klima und der damit verbundene Rückgang der Wärmenachfrage den Verbrauch. Im Gegenzug nimmt allerdings der Kühlbedarf zu, so dass der Nettoeffekt im Gebäudesektor eher gering ist.

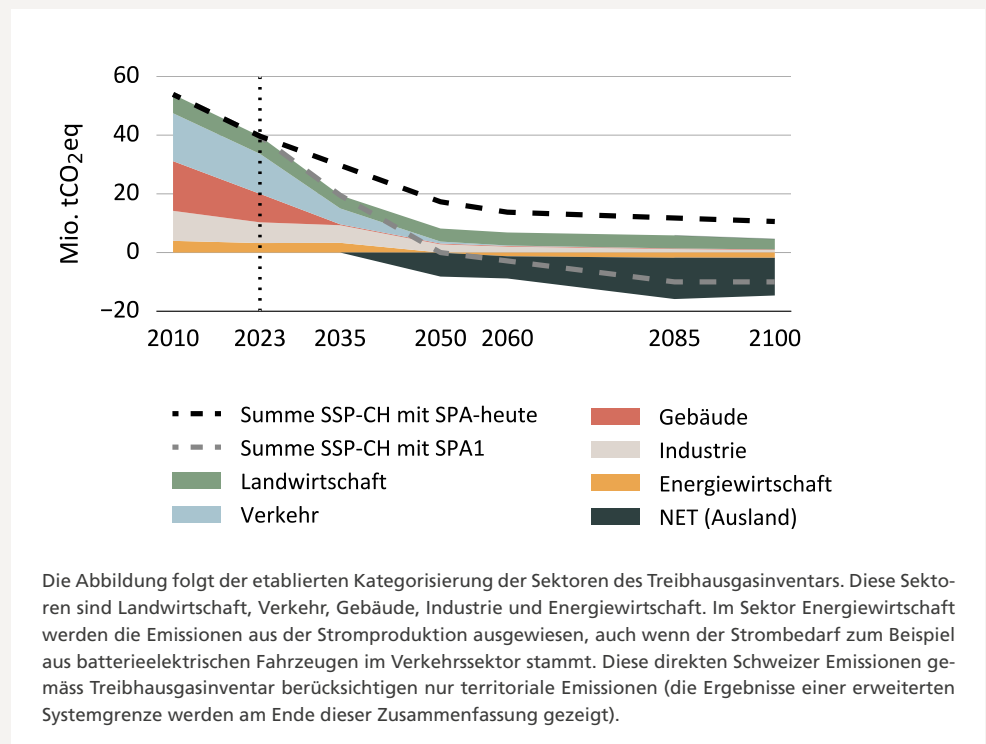
Der Einsatz erneuerbarer Energien in der Wärmeerzeugung verdoppelt sich im SSP1-CH bis 2035. Das ist vor allem auf den vermehrten Einsatz von Wärmepumpen zurückzuführen, deren genutzte Umweltwärme als Erneuerbare kategorisiert ist. Aufgrund der kontinuierlichen Steigerung der Effizienz nimmt der Energieverbrauch bei den Erneuerbaren ab 2035 wieder ab. Für biomassebasierte Erneuerbare ergaben sich in der Modellierung keine relevanten Änderungen, da die verfügbare Menge an Biomasse limitiert ist. Zur Erinnerung: Erneuerbare Stromproduktion ist nicht in dieser Kategorie enthalten, sondern in der Kategorie Strom (dort aber nicht separat gezeigt).

Der Vergleich mit dem Endenergieverbrauch bei Fortführung der heutigen klimapolitischen Instrumente («Summe SSP-CH mit SPA-heute», schwarze gestrichelte Linie) zeigt langfristig einen eher kleinen Einfluss der klimapolitischen Instrumente des SPA1 in diesem sozioökonomischen Szenario. Dies liegt vor allem an einer stärkeren Energieeffizienz und geringeren Nachfrage, die durch die gesellschaftliche Entwicklung im SSP1-CH entsteht. Klimapolitische Instrumente, die auf einen Wechsel weg von fossilen Energieträgern abzielen (Substitution), wirken sich zudem vor allem auf die Treibhausgasemissionen aus und weniger auf den Endenergieverbrauch (auch wenn z.B. batterieelektrische Fahrzeuge wesentlich effizienter sind als fossil betriebene Fahrzeuge). Zu sehen ist auch, dass sich die Wirkung von SPA1 zum Ende des Jahrhunderts abschwächt, weil die sozioökonomischen Entwicklungen (z.B. hohes Umweltbewusstsein) diese Wirkung vorwegnehmen. Die Klimapolitik des SPA1 beschleunigt und verstärkt also eine Entwicklung, die auch schon in den Annahmen des betrachteten sozioökonomischen Szenarios (SSP1-CH) angelegt ist.

Modellierungsergebnisse: Treibhausgasemissionen

Abbildung 5 zeigt die Treibhausgasemissionen unterschiedlicher modellierter Sektoren der Schweiz.

Abb. 5: Treibhausgasemissionen im Szenario Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik SSP1-CH & SPA1.



Zu erkennen ist ein rascher Rückgang der Emissionen in fast allen Sektoren. Am schnellsten ist dieser im Sektor Gebäude, in dem technische Trends und strenge klimapolitische Instrumente (v.a. ein Verbot des Betriebs fossiler Heizungen ab 2035, gegeben durch das SPA1) dazu führen, dass die Emissionen schon kurz nach 2035 auf null sinken. Ähnlich, aber etwas langsamer ist die Entwicklung im Sektor Verkehr. Dort reduzieren sich die Emissionen v.a. aufgrund der Verbreitung batterieelektrischer Fahrzeuge ab 2050 auf nahezu null.

Der Sektor Industrie erzeugt auch in der zweiten Jahrhunderthälfte Emissionen, was auf die schwer vermeidbaren Emissionen industrieller Prozesse (z.B. Zementherstellung oder Hochtemperaturprozesse) zurückzuführen ist. Zwar wird aufgrund der Vorgaben der Klimapolitik (SPA1) Carbon Capture and Storage (CCS) eingesetzt, um diese Emissionen zu reduzieren. Aber es verbleibt trotzdem ein kleiner Rest, weil kein flächendeckender Einsatz von CCS vorgesehen ist. Dessen Einsatz erfolgt prioritär bei der Zementherstellung und in geringerem Umfang in den Branchen Chemie und Stahl (gegeben durch das SPA1).

In der Energiewirtschaft stammen die Emissionen v.a. aus dem fossilen Anteil des Kehrrichts in Kehrriichtverwertungsanlagen (KVA). Kehrriicht besteht etwa je zur Hälfte aus einem fossilen und einem biogenen Anteil. Auch dort wird aufgrund des SPA CCS eingesetzt. Da die Abscheidung der biogenen Anteile zu negativen Emissionen führt (ohne Abscheidung sind biogene Emissionen klimaneutral), resultieren in diesem Sektor in der zweiten Jahrhunderthälfte leicht negative Emissionen.

Zusätzliche negative Emissionen entstehen gemäss dem SPA durch die Nutzung von Negativemissionstechnologien (NET) im Ausland. Der Energieverbrauch (im Ausland) und die Kosten für den Kauf von negativen Emissionen (es werden keine Kosten modelliert) fliessen allerdings nicht in das Modell ein.

Verbleibende Restemissionen generiert vor allem der Sektor Landwirtschaft, da das SSP1-CH vorgibt, dass es keine Technologien geben wird, um dessen Emissionen signifikant zu reduzieren. Dieses Zukunftsszenario geht auch nicht von einer nennenswerten Reduktion des Fleischkonsums aus, der für einen Grossteil der Emissionen verantwortlich ist. Allerdings ist im Sektor Landwirtschaft — im Gegensatz zu den anderen Sektoren — nicht CO₂, sondern Methan das dominierende Treibhausgas.

In der Summe erreicht dieses Szenario Netto-Null im Jahr 2050 und wird im Anschluss netto-negativ. Es erreicht dies durch robuste Emissionsreduktionen im Inland, kombiniert mit dem Einkauf von Negativemissionen (NET) aus dem Ausland.

Ein Vergleich mit den Gesamtemissionen des SSP1-CH ohne zusätzliche Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA-heute) zeigt, wie stark die politischen Instrumente des SPA1 die Emissionen reduzieren. Dies liegt einerseits an der beschriebenen Senkung des Energieverbrauchs und der weitreichenden Substitution fossiler Brenn- und Treibstoffe durch Erneuerbare in allen Sektoren. Andererseits ermöglichen die klimapolitischen Instrumente des SPA-1 sowohl CCS als auch NET überhaupt erst.

RESSOURCENINTENSIVE SCHWEIZ OHNE KLIMAPOLITIK SSP5-CH & SPA4

Sozioökonomische und klimapolitische Annahmen

SSP5-CH – Die ressourcenintensive Schweiz: Die Schweiz verzeichnet zunächst ein starkes Wirtschaftswachstum und hohe Immigration. Der zunehmende Verbrauch fossiler Energien, kombiniert mit ressourcenintensiven Lebensstilen, belastet die Umwelt stark. Gegen Ende des Jahrhunderts führen steigende Ressourcenpreise und die Kosten der Umweltdegradation zu sinkender Wirtschaftsleistung und Wohlstandsverlust. Sozialleistungen sind reduziert. Die Bevölkerung wandert vermehrt aus und der gesellschaftliche Zusammenhalt ist geschwächt. Der Staat muss zunehmend einschreiten, um Umweltkrisen, sozialen Krisen und deren Folgeerscheinungen beizukommen.

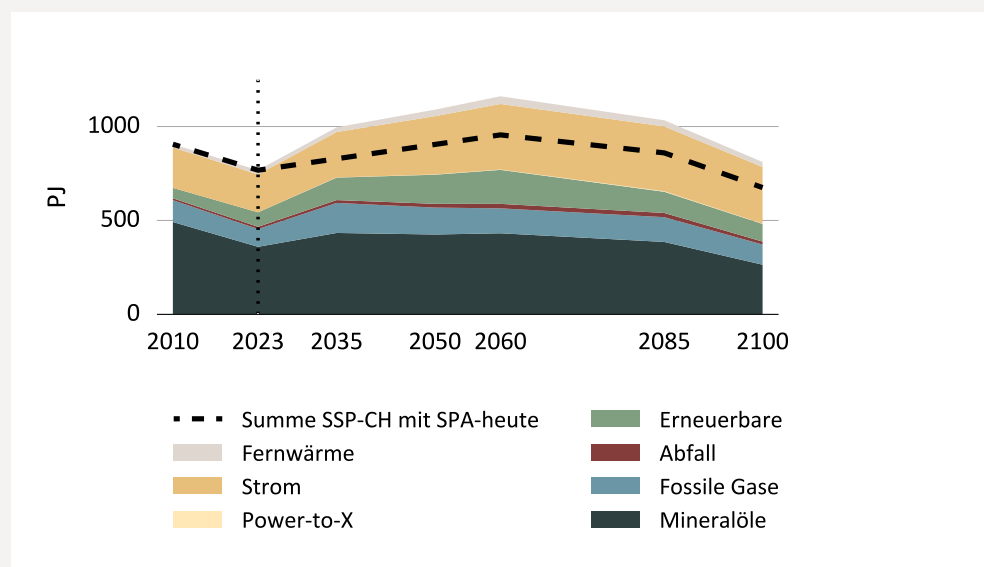
SPA4 – Ohne Klimapolitik: Viele klimapolitische Instrumente werden abgeschafft, Förderungen für fossile Energien und andere Förderinstrumente verstärkt.

Modellierungsergebnisse: Endenergieverbrauch

In diesem Zukunftsszenario weicht v.a. der Verbrauch an fossilen Energieträgern deutlich von dem ersten Szenario (Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik; SSP1-CH & SPA1) ab. Dieser Verbrauch nimmt zunächst noch zu, sinkt dann aber aufgrund der sinkenden Wirtschaftsleistung zum Ende des Jahrhunderts (siehe Abbildung 6). Der Anteil fossiler Gase ist weitaus grösser, weil Stromerzeugung und Industrie sie verstärkt einsetzen. Gegenüber dem ersten Szenario ist der Stromverbrauch um rund die Hälfte höher, weil der Lebensstil der Bevölkerung energieintensiver ist (gegeben durch das SSP5-CH). Die Elektrifizierung schreitet voran, wenn auch weniger stark. Neue Stromverbraucher kommen auch hier dazu. Ähnliches gilt auch für die anderen Energieträger. So ist etwa der Verbrauch von Erneuerbaren sogar höher, weil auch in diesem Szenario viele Wärmepumpen in Gebäuden eingesetzt werden und gleichzeitig der Wärmebedarf aufgrund einer grösseren Wohnfläche und weniger Sanierungen wesentlich höher ist.

Der Einfluss der Politikinstrumente des SPA4 erhöht in diesem Fall den Energieverbrauch, weil das SPA4 die meisten zurzeit bestehenden klima- und energiepolitischen Instrumente aufhebt oder zurückfährt (z.B. Förderung von Gebäudesanierungen, CO₂-Abgabe, Emissionshandelssystem). Im Gegenzug wird die Nutzung von fossilen Energieträgern verstärkt subventioniert.

Abb. 6: Endenergieverbrauch im Szenario Ressourcenintensive Schweiz ohne Klimapolitik SSP5-CH & SPA4.

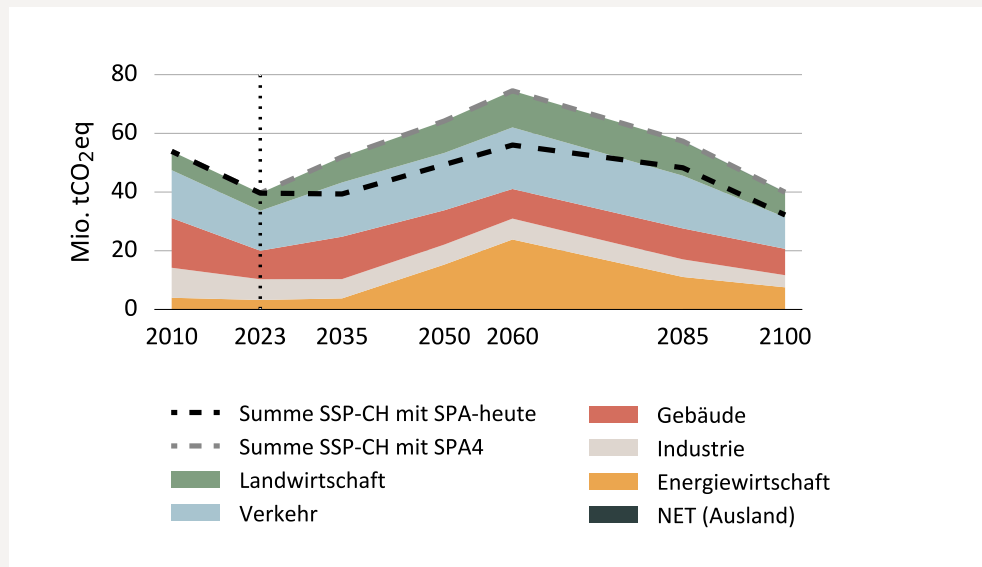


Modellierungsergebnisse: Treibhausgasemissionen

Die Treibhausgasemissionen folgen in diesem Szenario der starken Nutzung der fossilen Energieträger. Wie in Abbildung 7 dargestellt, nehmen die Emissionen der Energiewirtschaft bis zur Jahrhundertmitte stark zu, weil diese vermehrt Gaskraftwerke einsetzt. Die anderen Sektoren erfahren einen gewissen technischen Fortschritt, welchen allerdings oft eine höhere Nutzung überkompensiert (z.B. steigert sich die Verkehrsleistung). Daher bleiben die Emissionen dieser Sektoren in etwa auf dem heutigen Niveau (Industrie) oder nehmen etwas zu (alle anderen Sektoren). Die totalen Emissionen verbleiben deshalb bis 2100 über dem heutigen Niveau, trotz der wirtschaftlichen Kontraktion gegen Ende des Jahrhunderts.

Auch hier ist zu erkennen, dass die oben beschriebene klimapolitische Kehrwende, gegeben durch SPA4, die Emissionen erhöht. Zudem werden weder Carbon Capture and Storage (CCS) im Inland, noch Negativemissionstechnologien (NET) im Ausland eingesetzt.

Abb. 7: Treibhausgasemissionen im Szenario Ressourcenintensive Schweiz ohne Klimapolitik SSP5-CH & SPA4.



KONFLIKTREICHE SCHWEIZ MIT MINIMALER KLIMAPOLITIK SSP3-CH & SPA3

Sozioökonomische und klimapolitische Annahmen

SSP3-CH – Die konfliktreiche Schweiz: Die Schweiz erlebt politische Polarisierung, Korruption und Wohlstandsverlust. Investitionen und Innovation gehen zurück und die Wirtschaft schrumpft. Arbeitslosigkeit und Emigration steigen, Unternehmen schliessen oder wandern ab. Der Sozialstaat wird abgebaut. Internationale Beziehungen sind stark reduziert, die Schweiz ist zunehmend isoliert und die Grundversorgung wird schwieriger. Viele Menschen sichern sich durch Selbstversorgung ab. Der Staat setzt seine wenigen Mittel vorrangig ein, um die innere Sicherheit zu wahren.

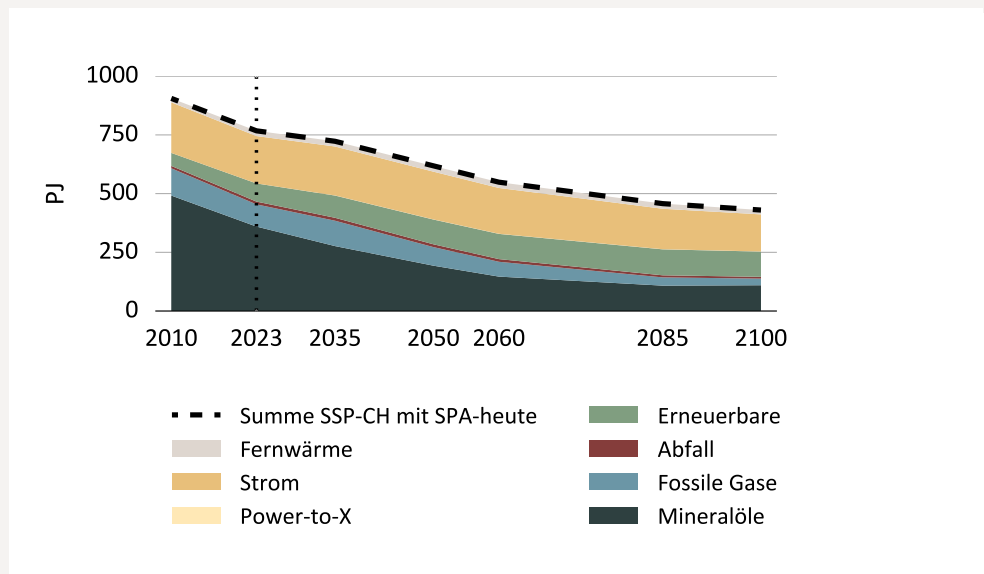
SPA3 – minimale Klimapolitik: Klimapolitische Instrumente werden abgebaut.

Modellierungsergebnisse: Endenergieverbrauch

In diesem Zukunftsszenario entwickelt sich der totale Endenergieverbrauch ähnlich wie im ersten, in dem er deutlich abnimmt (Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik; SSP1-CH & SPA1). Allerdings sind die Gründe andere: Hier sind es der Rückgang der Wirtschaftsleistung und die wachsende Armut eines Grossteils der Bevölkerung, welche dazu führen, dass die Menschen sich Energie immer weniger leisten können. Deswegen sinkt der Endenergieverbrauch (siehe Abbildung 8). Der Anteil fossiler Energien am Total sinkt, weil bereits bestehende Klimapolitikinstrumente (z.B. im Gebäude- und Verkehrsbereich) und heutige Trends bei den Verbrauchern (z.B. zu batterieelektrischen Fahrzeugen oder Wärmepumpen) weiterlaufen.

Die minimale Klimapolitik zeigt keine Wirkung auf den totalen Energieverbrauch.

Abb. 8: Endenergieverbrauch im Szenario Konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik SSP3-CH & SPA3.

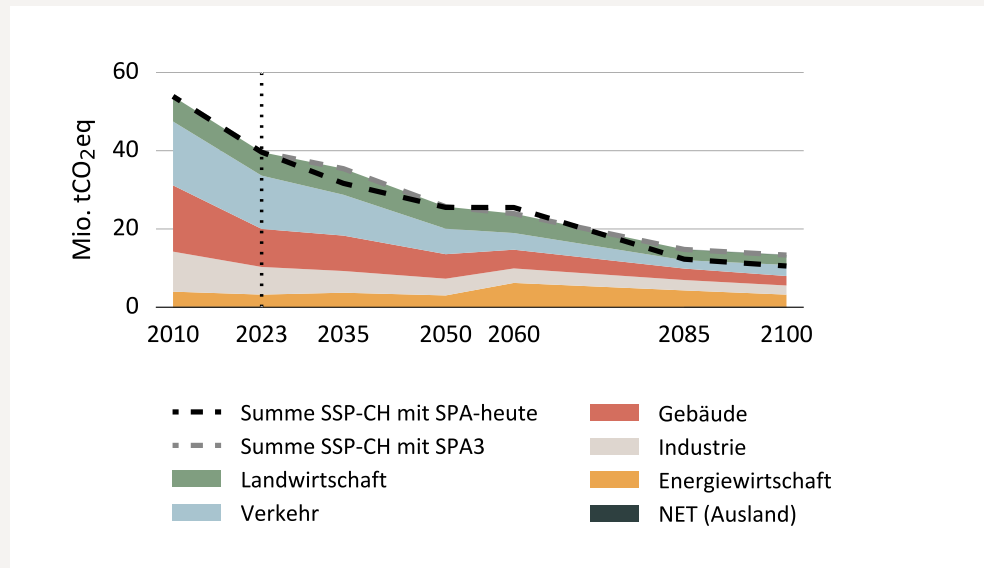


Modellierungsergebnisse: Treibhausgasemissionen

Die Emissionen aus der Energiewirtschaft steigen, weil vermehrt Erdgas verwendet wird (siehe Abbildung 9). Die Emissionen der anderen Sektoren nehmen aus den oben beschriebenen Gründen sukzessive ab, bleiben aber auch im Jahr 2100 erheblich. Verglichen mit der ressourcenintensiven Schweiz (SSP5-CH / SPA4) sind die Emissionen aber dennoch geringer.

Minimale Klimapolitik beziehungsweise das vereinzelte Zurückfahren bestehender Instrumente führen zu hohen Emissionen. Im Inland existieren wenige Carbon Capture and Storage (CCS)-Anlagen, deren Wirkung gering ist. Ausländische Negativemissionen werden nicht zugekauft.

Abb. 9: Treibhausgasemissionen im Szenario Konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik SSP3-CH & SPA3.



GENÜGSAME SCHWEIZ MIT PARTIZIPATIVER KLIMAPOLITIK SSP0-CH & SPA2

Sozioökonomische und klimapolitische Annahmen

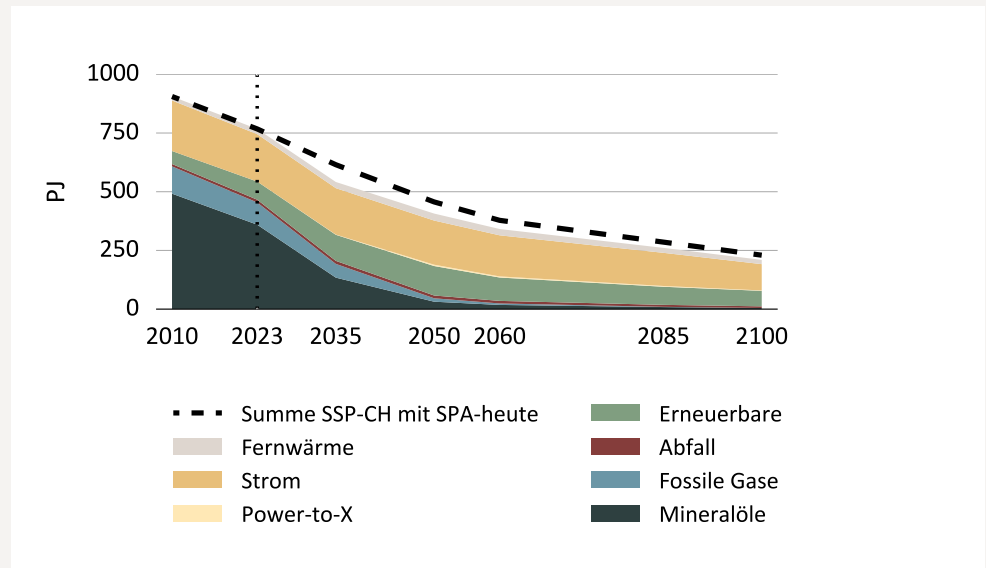
SSP0-CH – Die genügsame Schweiz: Das Gemeinwohl hat einen hohen Stellenwert in der Schweizer Bevölkerung. Auch das Vertrauen in politische Institutionen ist hoch. Die Bevölkerung wählt bewusst ein tiefes Konsumniveau. Der finanzielle Lebensstandard nimmt ab. Einkommen und Vermögen sind in der Gesellschaft ausgeglichen verteilt. Regionale Zentren und Stadtquartiere bieten eine gute regionale Grundversorgung. Der Selbstversorgungsgrad bezüglich Energie und Lebensmitteln ist hoch. Konsum, Mobilität und Energieverbrauch gehen stark zurück, das Umweltbewusstsein der Bevölkerung ist sehr hoch.

SPA2 – partizipative Klimapolitik: Der Staat verfolgt ehrgeizige klimapolitische Ziele, verzichtet aber auf starke staatliche Eingriffe. Die politischen Instrumente konzentrieren sich auf anreiz- und informationsbasierte Ansätze. Das Erreichen der ehrgeizigen Klimaziele hängt weitgehend von der Zivilgesellschaft ab.

Modellierungsergebnisse: Energieverbrauch

In diesem Zukunftsszenario fällt der Energieverbrauch am schnellsten. Wie in Abbildung 10 dargestellt, werden fossile Energieträger ab 2050 nur noch minimal konsumiert. Auch die Nachfrage nach den anderen Energieträgern reduziert sich aufgrund der tieferen Wirtschaftsleistung und genügsamen Lebensweise. Der Einfluss der Politik darüber hinaus ist gering. Er ist im Jahr 2035 am stärksten und geht dann wieder zurück, weil die sozioökonomischen Trends in die gleiche Richtung gehen.

Abb. 10: Energieverbrauch im Szenario Genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik SSP0-CH & SPA2.

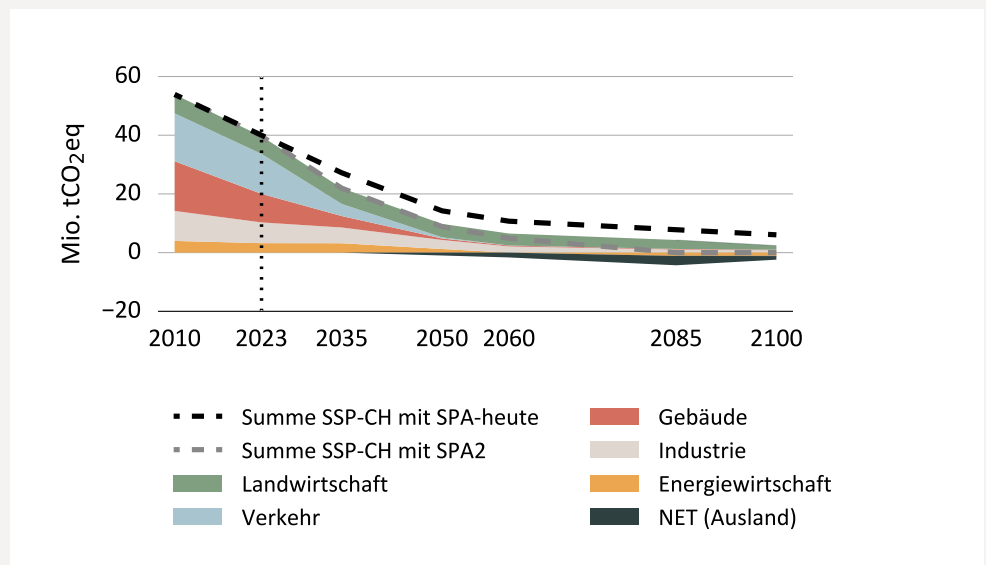


Modellierungsergebnisse: Treibhausgasemissionen

Die Emissionen gehen in allen Sektoren zurück, in etwa im gleichen Tempo (siehe Abbildung 11). Die Reduktion geschieht weniger schnell als im ersten Szenario (Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik; SSP1-CH & SPA1), weil der technische Fortschritt langsamer vorangeht und SPA2 keine stark lenkenden politischen Instrumente enthält.

Carbon Capture and Storage (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET) im Inland und der Einkauf von NET im Ausland finden statt – aufgrund der hohen Kosten allerdings in wesentlich geringerem Umfang als im ersten Szenario. Die Emissionen sind 2050 zwar gering, aber Netto-Null wird erst um das Jahr 2085 erreicht.

Abb. 11: Treibhausgasemissionen im Szenario Genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik SSP0-CH & SPA2.



ÜBERBLICK UND VERGLEICH DER VIER SZENARIEN

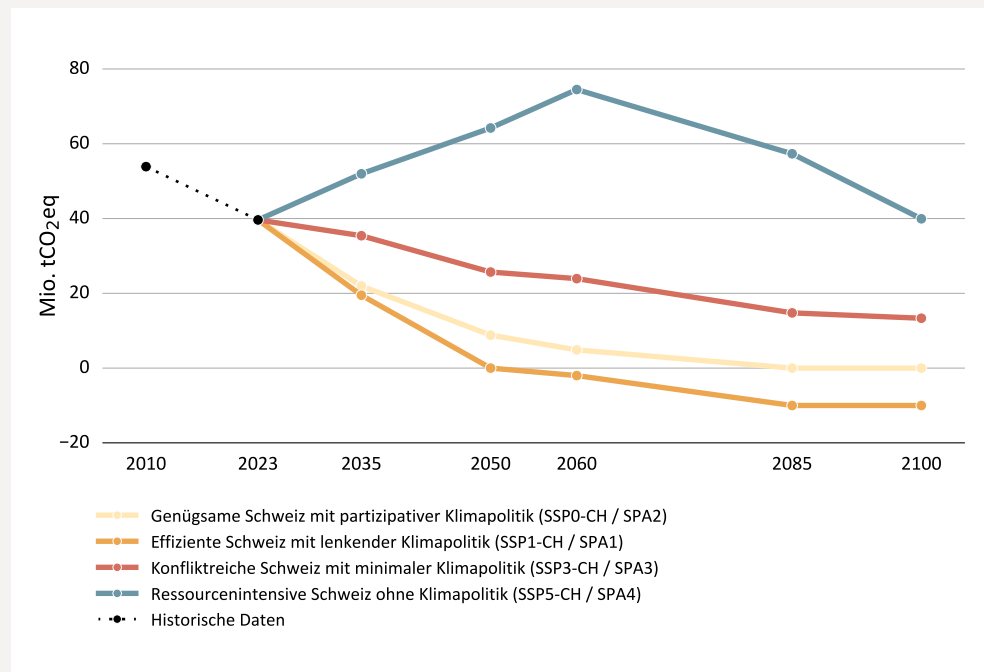
Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der totalen Treibhausgasemissionen der vier Zukunftsszenarien. In drei der vier betrachteten Szenarien nehmen die Emissionen ab. Am stärksten geschieht dies im Szenario «effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik», da dort Effizienz auf eine ambitionierte und wirksame Klimapolitik trifft. Dieser stehen aus der starken Wirtschaftsleistung die notwendigen Ressourcen zur Verfügung, um umfassend in Kohlenstoffabscheidung (CCS) und Negativemissionstechnologien (NET) zu investieren, so dass in etwa 2050 Netto-Null erreicht ist und die Emissionen danach weiter sinken.

Im Szenario «ressourcenintensive Schweiz ohne Klimapolitik» steigen die Emissionen bis 2060 stark an. Der Grund ist die ressourcenintensive Lebensweise, gekoppelt mit einer Politik, welche die Nutzung fossiler Energieträger aktiv fördert. Aufgrund der sinkenden Wirtschaftsleistung und abnehmenden Bevölkerung sinken die Emissionen gegen Ende des Jahrhunderts wieder auf das Startniveau von 2023.

Im Szenario «konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik» reduzieren sich die Emissionen in erster Linie auf Grund der rückläufigen Wirtschaftsleistung und der (unfreiwilligen) Reduktion des privaten Konsums. Die klimarelevanten Elemente der Politik führen eher dazu, dass die Emissionen steigen, weil bestehende Instrumente zurückgefahren werden. Die Emissionen sinken zwar, verbleiben bis zum Ende des Jahrhunderts aber auf rund 50 Prozent des heutigen Niveaus.

Das Szenario «genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik» führt aufgrund der genügsamen und klimafreundlichen Lebensweise zu einer raschen Reduktion der Emissionen. Dieser Rückgang ist jedoch aufgrund des langsameren technischen Fortschritts, der wenig eingreifenden Klimapolitik und der geringeren Investitionen in CCS und NET weniger ausgeprägt als in der effizienten Schweiz mit lenkender Klimapolitik und die Emissionen werden nie negativ.

Abb. 12: Treibhausgasemissionen der vier Szenarien



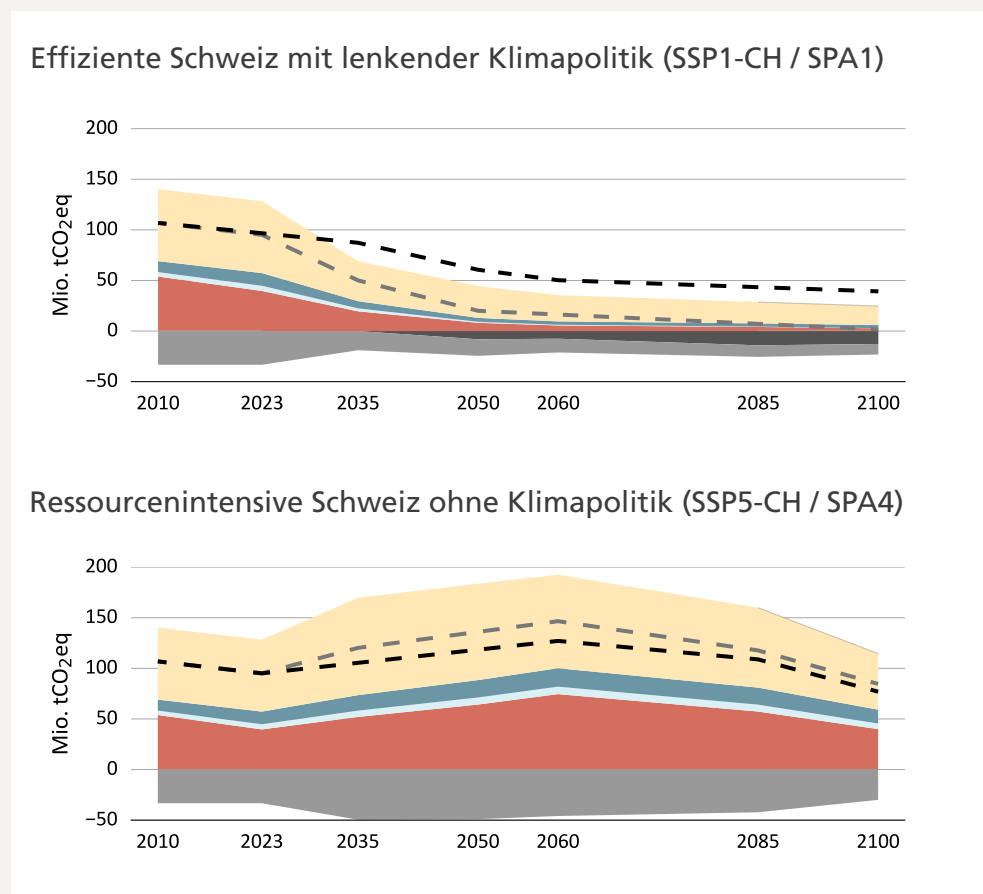
ERWEITERTE SYSTEMGRENZE: FLUGEMISSIONEN UND AUSSENHANDEL

Die bisher vorgestellten Resultate der Modellierung zeigen für die vier betrachteten Zukunftsszenarien die direkten Treibhausgasemissionen, welche in der Schweiz selbst anfallen. Dies entspricht der Treibhausgas-Berichterstattung der Schweiz gemäss den internationalen Vorgaben (Treibhausgasinventar). Allerdings ist es sinnvoll, die Systemgrenze um die folgenden Komponenten zu erweitern:

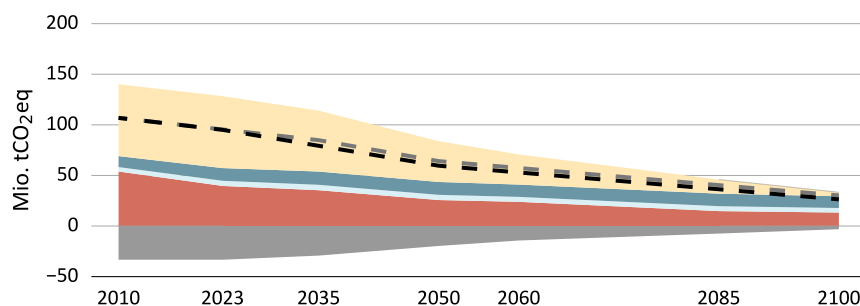
- Internationale Flugemissionen: Diese sind im nationalen Treibhausgasinventar nur zur Information enthalten und fliessen nicht in die Zielbeurteilung ein. Neben den direkten CO₂-Emissionen durch die Verbrennung von Kerosin werden hier auch die Klimaeffekte durch Nicht-CO₂-Emissionen ausgewiesen. Hierfür werden gemäss gängiger Praxis die CO₂-Emissionen mit einem fixen Faktor multipliziert, welcher in etwa in der Mitte der von der massgeblichen Literatur vorgegebenen Bandbreite liegt.
- Die Emissionen aus dem Import beziehungsweise Export von Gütern: Der Schweiz werden die Emissionen angerechnet, die im Ausland bei der Produktion von in die Schweiz importierten Gütern entstehen. Im Gegenzug werden die Emissionen abgezogen, welche in der Schweiz für die Produktion von Gütern anfallen, die exportiert werden.

Abbildung 13 zeigt die modellierten Treibhausgasemissionen unter Berücksichtigung des internationalen Flugverkehrs und der Emissionen, die aus den Schweizer Import- und Exportaktivitäten entstehen. Die Modellierung dieser Emissionen ist mit höheren Unsicherheiten behaftet als jene der direkten Emissionen in der Schweiz, vor allem da die Datenlage zu importierten und exportierten Emissionen schlecht und der verwendete methodische Ansatz einfach ist. Die Ergebnisse sind daher als grobe Grössenordnung zu verstehen, um das Bild der direkten Emissionen zu ergänzen.

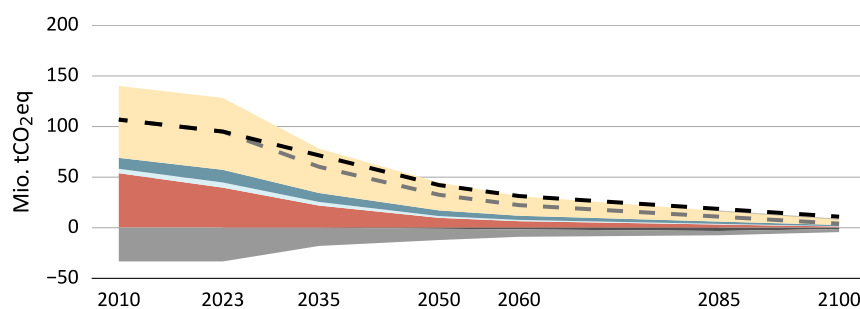
Abb. 13: Treibhausgasemissionen der vier Szenarien in der erweiterten Systemgrenze



Konfliktreiche Schweiz mit minimaler Klimapolitik (SSP3-CH / SPA3)



Genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik (SSP0-CH / SPA2)



- Summe mit SPA-heute
- Summe (netto)
- Import
- Int. Flugverkehr (Nicht-CO₂)
- Int. Flugverkehr (CO₂)
- Direkte Emissionen Schweiz
- NET (Ausland)
- Export

«Summe (netto)» ist die Summe der positiven und negativen Emissionen. Die Emissionen der bisher betrachteten Sektoren gemäss dem Treibhausgasinventar sind zur Übersichtlichkeit zusammengefasst («Direkte Emissionen Schweiz»). Lediglich Negativemissionen NET (Ausland) sind weiterhin separat abgebildet.

Die Emissionen durch Importe sind in jedem Szenario höher als die direkten Emissionen in der Schweiz. Importierte Emissionen gehen im Lauf der Zeit zurück, da die Modellierung in allen Szenarien davon ausgeht, dass im Ausland eine ähnliche, wenn auch etwas langsamere, Reduktion der Treibhausgasemissionen bei der Produktion von Gütern stattfindet wie in der Schweiz. Zudem nimmt in manchen Szenarien (vor allem „genügsame Schweiz mit partizipativer Klimapolitik“) die Menge importierter Güter ab. Generell ähnelt die Entwicklung der importierten Emissionen im Zeitverlauf jener der direkten Emissionen. Allerdings steigt ihr relativer Anteil an den Gesamtemissionen in der erweiterten Systemgrenze. Der Grund hierfür ist, dass die Importmenge und die Emissionen im Ausland bei der Produktion dieser Güter langsamer zurückgehen als das Total der direkten Schweizer Emissionen. Deutlich sichtbar ist das beispielsweise im Szenario „Effiziente Schweiz mit lenkender Klimapolitik“, in dem die importierten Emissionen den Treibhausgasausstoss in der zweiten Jahrhunderthälfte dominieren.

Auch die exportierten Emissionen sind erheblich. Ihre Menge ist aber in allen Szenarien kleiner als jene der importierten Emissionen. Das liegt daran, dass die Schweiz zum einen mehr Güter importiert als exportiert und zum anderen im Durchschnitt treibhausgas-effizienter produziert als das Ausland. Die Modellierung geht davon aus, dass sich daran nichts Grundlegendes ändert.

Die Emissionen des Flugverkehrs sind zwar geringer als jene der anderen Sektoren, aber dennoch relevant. Zudem steigt ihre relative Bedeutung im Zeitverlauf, da die Bedeutung der internationalen Luftfahrt langsamer sinkt als jene anderer Sektoren und gemäss den Modellannahmen Flugzeuge noch lange zu einem erheblichen Anteil fossile Energieträger nutzen. Zudem sind die nicht-CO₂-Effekte unabhängig davon, ob der in den Flugzeugen verbrannte Energieträger fossil oder erneuerbar (biogene beziehungsweise synthetisch) ist.

In den Modellierungen mit erweiterter Systemgrenze sind die Gesamtemissionen höher als die direkten Emissionen der Schweiz. Dies gilt in jedem Szenario und in allen Jahren. Zudem erreicht kein Szenario mit erweiterter Systemgrenze das Netto-Null Ziel, unter anderem da die aus dem Ausland zugekauften negativen Emissionen dazu nicht ausreichen. Das Szenario der genügsamen Schweiz mit partizipativer Klimapolitik erreicht zu Ende des Jahrhunderts allerdings fast Null Emissionen. Zudem verursacht die Schweiz in diesem Szenario bei der erweiterten Systemgrenze weniger Emissionen als im Szenario der effizienten Schweiz mit lenkender Klimapolitik, weil in letzterem die Emissionen aus der erweiterten Betrachtung weniger stark zurückgehen.

BOX 3 | VERÄNDERUNG DER LANDNUTZUNG

In einer ergänzenden Analyse wurde die Flächenverteilung nach Landnutzungsklassen in Abhängigkeit der SSP-CH untersucht. Dazu wurde das an der ETH Zürich entwickelte Modell Evoland benutzt.⁶ Darin wird die Landnutzung in der Schweiz als Zellen innerhalb eines Rasters dargestellt, dessen Auflösung 100m*100m beträgt. Das Modell unterscheidet zehn übergeordnete Landnutzungsklassen: Ackerland, Alpwirtschaftsflächen, Dauerkulturen, geschlossener Wald, offener Wald, Siedlungsflächen, Weiden und Wiesen, Gebüschflächen, Gletscher und sonstige Flächen. Nicht explizit modelliert sind Gewässer (Seen, Flüsse) – das Modell geht davon aus, dass sich diese Flächen im Zeitverlauf nicht wesentlich verändern.

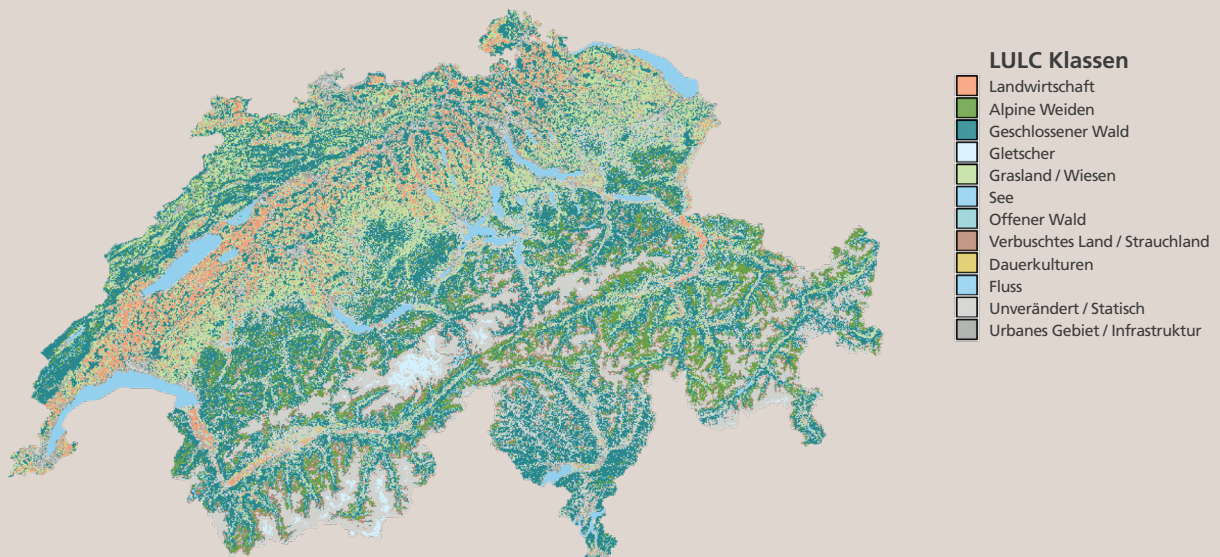
Das Modell berechnet die Übergangswahrscheinlichkeiten von einer Landnutzungsklasse in eine andere für verschiedene Zeitschritte. Dazu werden zunächst die Flächenanteile jeder Landnutzungsklasse im letzten Jahr der Simulation anhand der Szenario-parameter festgelegt (Zielbild) und dann rückwärts berechnet. Anschliessend werden unter Berücksichtigung räumlicher Restriktionen (u.a. Umweltfaktoren, Infrastrukturen, regionale Gegebenheiten und Regulierungen) die lokalen Interaktionen zwischen den Zellen und die sich daraus ergebende Art der Zustandsänderungen berechnet.

Die Modellierung zeigt die Änderung der Landnutzung von 2020 bis 2100 auf, unter anderem in Form von Rasterkarten (siehe Beispielkarte unten), Sankey-Diagrammen sowie Change-Maps (Rasterkarten mit Zu- und Abgängen einzelner Landnutzungsklassen) in 5-Jahresschritten.⁷

6 Der Entwickler des Modells Evoland, Benjamin Black, führte die Modellberechnungen im Rahmen des NCCS-Projekts zu den sozioökonomischen Szenarien (SSP-CH) durch.

7 Eine detaillierte Darstellung der genutzten Inputs sowie die vollständigen Ergebnisse finden sich auf der [Projektseite](#) und unter <https://doi.org/10.5281/zenodo.17108008>.

Abb. 14: SSP1-CH – Verteilung der Landnutzungsklassen in der Schweiz im Jahr 2100.



FAZIT UND MÖGLICHE ANWENDUNGEN

Die im Projekt erarbeiteten sozioökonomischen Szenarien für die Schweiz (SSP-CH) und Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA) sind angelehnt an das globale SSP-Rahmenwerk, welches unter dem Weltklimarat IPCC entwickelt wurde. Sie beschreiben konsistente und plausible Entwicklungen der Schweiz bis ins Jahr 2100, ohne ihnen Eintrittswahrscheinlichkeiten zuzuschreiben. Sie decken ein breites Spektrum gesellschaftlicher, wirtschaftlicher und technologischer Veränderungen ab und ergänzen damit die bestehenden prospektiven Arbeiten der Bundesverwaltung. Die SPA ermöglichen es, die Wirkungen von Klimapolitiken vor dem Hintergrund verschiedener sozioökonomischer Entwicklungen zu analysieren. Alle untersuchten Szenarien sind explorativ: Sie beschreiben «Wenn-Dann-Zusammenhänge» und dienen nicht dazu, vorgegebene Zielwerte zu erreichen.

FAZIT: DIE KOMBINATION VON SOZIOÖKONOMISCHEN ENTWICKLUNGEN UND KLIMAPOLITISCHEN INSTRUMENTEN IST ENTSCHEIDEND FÜR DIE TREIBHAUSGASEMISSIONEN

Die Resultate der Modellierungen illustrieren die Auswirkungen sehr verschiedener Annahmen zu zukünftigen sozioökonomischen Entwicklungen und Klimapolitiken auf Endenergieverbrauch und Treibhausgasemissionen:

- Die bisherigen Entwicklungen in Bezug auf Umweltbewusstsein, Technologie und Effizienz und die bisherige Klimapolitik wirken als robuste Treiber für die Reduktion von Emissionen in diesem Jahrhundert. Unter den Annahmen der Szenarien SSP1-CH *Effiziente Schweiz* und SSP0-CH *Genügsame Schweiz* sinken die Emissionen im Zeitverlauf bereits ohne weitere politische Eingriffe deutlich: insbesondere wegen des hohen Umweltbewusstseins in der Bevölkerung, gekoppelt mit hoher Effizienz (SSP1-CH) oder bewusst reduziertem Konsum (SSP0-CH). Das Netto-Null-Ziel wird in beiden SSP-CH aber trotzdem nur mit zusätzlichen klimapolitischen Instrumenten erreicht.
- Auch negative wirtschaftliche Entwicklung, eine Reduktion der internationalen Beziehungen und Wohlstandsverlust, wie im SSP3-CH *Konfliktreiche Schweiz* angenommen, führen langfristig zu einer Reduktion der Treibhausgasemissionen in der Schweiz.
- Im Szenario SSP5-CH *Ressourcenintensive Schweiz* steigen die Emissionen aufgrund des starken, ressourcenintensiven Wachstums und der weitgehenden Aufhebung klimapolitischer Instrumente stark an. Langfristig kehren sie wegen der wirtschaftlichen Kontraktion auf das heutige Niveau zurück.

Grundsätzlich hat das in den sozioökonomischen Szenarien (SSP-CH) abgebildete «gesellschaftliche Klima» einen grossen Einfluss auf die Entwicklung der Emissionen: Es umfasst die Weiterführung des heute schon bestehenden klimapolitischen Rahmens, wie auch gesellschaftliche Entwicklungen und Politiken, die nicht direkt ein Klimaschutzpolitisches Ziel verfolgen.⁸ Diese können die Emissionen indirekt beeinflussen, etwa indem sie Entwicklungen in anderen gesellschaftlichen Bereichen anstossen, die klimawirksam sind, zum Beispiel dem Umweltbewusstsein der Gesellschaft oder der technischen Innovation.

⁸ Und daher in den SSP-CH und nicht den zusätzlichen klimapolitischen Instrumenten SPA berücksichtigt werden.

In allen Szenarien (SSP-CH) ist eine ambitionierte und lenkende Klimapolitik notwendig, um das Netto-Null-Ziel zu erreichen beziehungsweise um teils sogar netto-negativ zu werden, wie es das Übereinkommen von Paris verlangt. Netto-Null-Emissionen lassen sich nur dann erreichen, wenn schwer vermeidbare Emissionen (etwa aus Industrie und Landwirtschaft) mittels Carbon Capture (CCS) abgeschieden und gespeichert beziehungsweise mit Negativemissionstechnologien (NET) kompensiert werden. Hierfür sind in allen Szenarien (SSP-CH) zusätzliche Pakete klimapolitischer Instrumente (SPA) erforderlich.

MÖGLICHE ANWENDUNGEN DES IM PROJEKT ERARBEITETEN SZENARIEN- UND MODELLIERUNGSRAHMENS

Der im Projekt erarbeitete Rahmen von sozioökonomischen Szenarien für die Schweiz (SSP-CH), Paketen von Klimapolitiken (SPA) und einem vereinfachten Emissionsmodell ist geeignet, um in weiteren Anwendungen genutzt zu werden:

- **Erweiterte Szenarioarbeiten:** SSP-CH und SPA können auch für andere Szenarioarbeiten verwendet werden, bei denen lange Zeiträume und breitere Spektren möglicher zukünftiger Entwicklungen betrachtet werden sollen. Mögliche Anwendungsbeispiele sind etwa integrierte Risikoanalysen, Szenarioarbeiten im Rahmen der SWEET-Programme, erweiterte Energieperspektiven oder Szenarien zur Klimaanpassung.
- **Sektorvertiefungen:** Eine Anwendung der hier vorgestellten Methode könnte auch für bestimmte Sektoren vertieft werden, zum Beispiel bei Szenarioarbeiten zur Interaktion von Energiesystem und neuen digitalen Entwicklungen wie einem massiven Hochfahren von KI-Anwendungen.
- **Weiterentwicklung der Modellierungsansätze:** Die Annahmen, Parametrisierungen, Module und Resultate des Modells könnten weiter verfeinert werden. Beispielsweise ist das Modul zu Emissionen aus Import- und Export-Aktivitäten der Schweizer Wirtschaft sehr vereinfacht und könnte weiter ausgebaut werden.
- **Breite Anwendung der Emissionsmodellierung:** Das Modell könnte die Grundlage für andere Studien zu möglichen Emissionstrajektorien bilden, zum Beispiel mit einer verstärkten Betrachtung von Negativemissionstechnologien oder der Wechselwirkung mit Landnutzungsemissionen (im vorliegenden Projekt werden die separat modellierten Landnutzungsänderungen nicht als CO₂-Flüsse berücksichtigt).