

Versorgungssicherheit und Klimaschutz

Wie die Schweiz mit einem raschen Ausbau der Photovoltaik eine sichere und klimaverträgliche Energieversorgung gewährleisten kann.





Im Jahr 2013 präsentierte Greenpeace Schweiz erstmals ein Gesamtenergieszenario für die Schweiz. Dieses Szenario zeigte, wie die Schweiz zugleich aus der Nutzung der Atomenergie aussteigen und bis 2050 die Treibhausgasemissionen auf netto null absenken kann, ohne das damals noch verfügbare CO₂-Budget zu überschreiten. Der vorliegende Bericht ist ein Update des Gesamtenergieszenarios aus 2013 unter Berücksichtigung des neuesten Wissensstandes.



Eine Publikation von Greenpeace Schweiz, Januar 2022

Die deutsche Kurzfassung basiert auf der englischen Originalstudie «Energy [R]evolution: 100% Renewable Energy for Switzerland», die von Dr. Sven Teske, Dr. Jihane Assaf und Yohan Kim des Institute for Sustainable Futures der University of Technology Sydney im Auftrag von Greenpeace Schweiz erarbeitet wurde.

Der englische Bericht ist auf der Webseite von Greenpeace Schweiz verfügbar: www.greenpeace.ch/energieversorgung

Wissenschaftliche Expertise:

Dr. Sven Teske ist ausserordentlicher Professor und Energie-Bereichsleiter am Institute for Sustainable Futures (UTS-ISF) an der University of Technology Sydney. Das Modellierungsteam des ISF wird von Dr. Sven Teske geleitet und ist weltweit führend in der Modellierung von

Energieszenarien mit 100 % erneuerbaren Energien. Dr. Sven Teske verfügt über mehr als 20 Jahre Erfahrung in der technischen Analyse von erneuerbaren Energiesystemen, der Marktforschung für erneuerbare Energien und Integrationskonzepten für hohe Anteile von variablen erneuerbarem Strom in Stromnetzen. www.uts.edu.au/isf

Dr. Sven Teske und sein Team haben in Kollaboration mit anderen Forschungseinrichtungen auch das **One Earth Climate** Model entwickelt, mit dem sie aufzeigen, wie die im Übereinkommen von Paris vereinbarte Begrenzung des globalen Temperaturanstiegs auf 1,5 Grad Celsius global erreicht werden kann.

Das Konzept wurde im Springer Verlag 2019 veröffentlicht:
<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-05843-2>

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	6
Einleitung	11
Rahmensetzungen und Annahmen: So wurde gerechnet	12
Ergebnisse: So werden fossile Energieträger in der Schweiz obsolet	16
Entwicklung der CO ₂ -Emissionen: max. 1.5°C ist noch möglich	16
Das globale Emissionsbudget	16
Das Emissionsbudget der Schweiz	18
Klimaschutz im Verkehrssektor	21
Massnahmen für den Umbau des Verkehrssektors	23
Klimaschutz und Atomausstieg in der Elektrizitätsproduktion	24
Stromnetze	25
Versorgungssicherheit	26
Massnahmen für den Umbau des Elektrizitätssektors mit Gewährleistung der Versorgungssicherheit	33
Klimaschutz in der Wärmebildung	34
Massnahmen für den Umbau der Wärmebildung	35
Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf	36
Investitionen und Arbeitsplätze	38
Umgang mit anderen Treibhausgasemissionen	40
Emissionen anderer Treibhausgase in der Schweiz	40
Emissionen des Flugverkehrs	41
Emissionen des Konsums	42
Weitere durch die Schweiz verantwortete Emissionen	43
Sozialer Wandel statt technologische Lösungen?	44
Anhang	46
Glossar	46
Monatsbilanzen der Stromversorgung im ADV-E[R]-Szenario	56
Annahmen zum Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung	58
Annahmen zu Energie- und Technologiekosten	59
Weitere Annahmen sind im englischen Grundlagenbericht dokumentiert	60

Zusammenfassung

Im Jahr 2013 präsentierte Greenpeace Schweiz ein Gesamtenergieszenario für die Schweiz. Dieses Szenario zeigte, wie die Schweiz zugleich aus der Nutzung der Atomenergie aussteigen und bis 2050 die Treibhausgasemissionen auf netto null absenken kann, ohne das damals noch verfügbare CO₂-Budget zu überschreiten. Ebenso zeigten wir, welche Investitionen es braucht und wie damit inländische Jobs und Versorgungssicherheit geschaffen werden.

Damals war es für viele noch undenkbar, dass dereinst sämtliche CO₂-Emissionen eliminiert werden müssen. Mittlerweile ist das Netto-null-Ziel zum Common Sense geworden. Im Übereinkommen von Paris von 2015 ist explizit davon die Rede, und im Jahr 2019 hat der Bundesrat offiziell verkündet, dass er bis 2050 eine «klimaneutrale» Schweiz will. Im Jahr 2020 folgten dann die Energieperspektiven 2050+ des Bundes, die Wege aufzeigen, wie die Schweiz dieses Ziel erreichen kann. Im Januar 2021 hat der Bundesrat schliesslich die auf diesen Perspektiven aufbauende langfristige Klimastrategie der Schweiz verabschiedet.

**Der zentrale Schwachpunkt der bundesrätlichen Klimastrategie:
Die Menge an Treibhausgasemissionen, welche bei der Umsetzung dieser Strategie bis 2050 innerhalb der Schweiz noch verursacht wird, ist viel zu hoch.**

Die Einhaltung der in Paris vereinbarten und für die Sicherung unserer Lebensgrundlagen wichtige 1.5°C-Grenze ist damit nicht möglich. Würden alle Länder die gleichen Klimaschutz-Ambitionen verfolgen wie die Schweiz, droht uns eine globale Erwärmung von bis zu 3°C, das besagt die Analyse des klimawissenschaftlichen Thinktanks Climate Action Tracker.¹ Auf einer um 3°C erhiitzten Welt droht ein Massenaussterben mit dem Ende der Zivilisation, wie wir sie heute kennen.

Darum hat Greenpeace Schweiz von unabhängigen Expert:innen des Institute for Sustainable Futures (ISF) an der technologischen Universität von Sydney (University of Technology Sydney, UTS) ein Update ihrer Energy [R]evolution erstellen lassen. Zwei neue Energy-[R]evolution-Szenarien, «Energy [R]evolution» (E[R]) und «ADVANCED Energy [R]evolution» (ADV-E[R]), veranschaulichen die Möglichkeiten einer beschleunigten Dekarbonisierung und eines früheren Ausstiegs aus der Nutzung der Atomkraft auf. Sie berücksichtigen den neuesten Wissensstand des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) mit dem heute noch für die Schweiz verfügbaren CO₂-Budget für die Einhaltung einer globalen Erderwärmung von maximal 1.5°C.

Die Greenpeace-Szenarien zeigen, dass eine atomstrom- und CO₂-freie Energieversorgung hierzulande möglich und erschwinglich ist. Die entscheidenden Elemente sind:

- ein stark beschleunigter Ausbau der Photovoltaik und
- eine Steigerung der Energieeffizienz inklusive Einsparungen durch Verhaltensänderungen

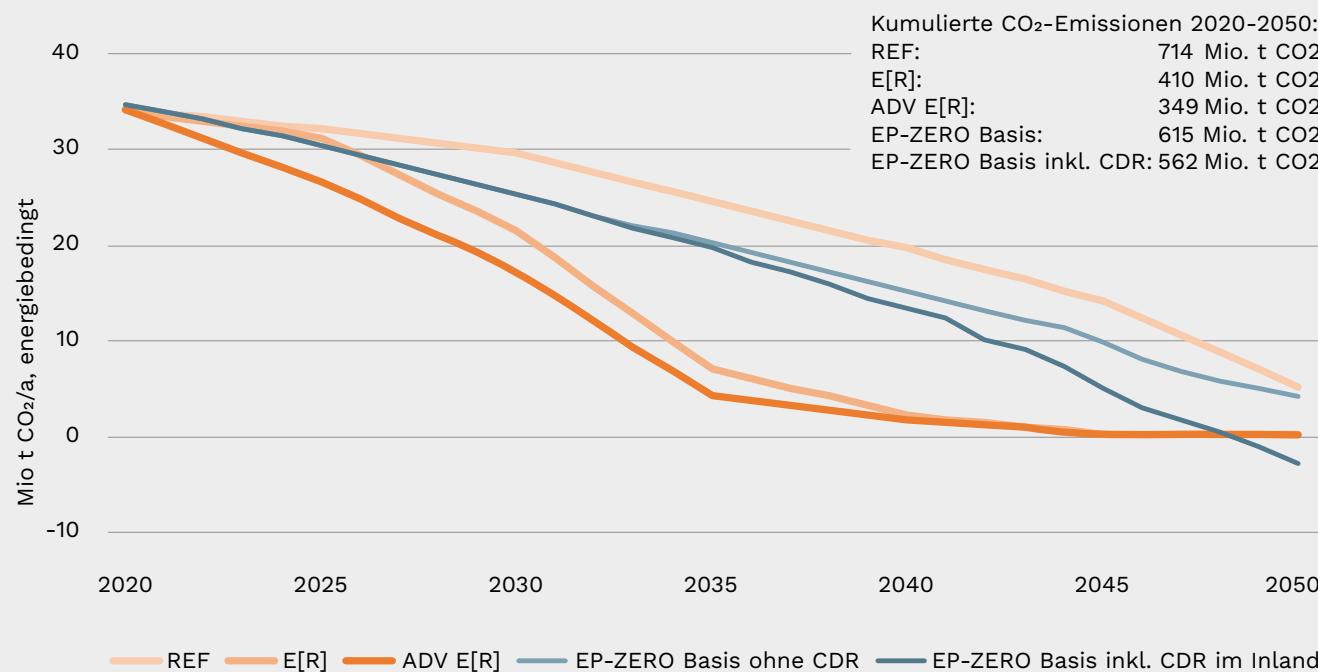
Die Photovoltaik wird zur Schlüsselenergie für die Dekarbonisierung von Verkehr, Gebäuden und Industrie. **Um das verbleibende Emissionsbudget für 1.5°C einzuhalten und die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, muss bis 2025 (!) der Ausbau der Photovoltaik massiv auf über 12 TWh/a beschleunigt werden. Bis 2035 ist der Beitrag der neuen erneuerbaren**

¹ Siehe Analyse auf <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/> (Stand 3.1.2022)

Energien (ohne Wasserkraft) auf über 38 TWh/a zu steigern, wovon 30 TWh/a von der Photovoltaik kommen werden. So lassen sich bis 2030 die energiebedingten CO₂-Emissionen der Schweiz um 60% und bis 2035 um 90% im Vergleich zu 1990 senken. **Die verbleibenden CO₂-Emissionen können durch negative Emissionen, also durch die Entfernung von Kohlenstoff aus der Atmosphäre, ausgeglichen werden, so dass 2035 netto null CO₂-Emissionen erreicht werden können.** Dafür muss die Schweiz bereits heute Vorkehrungen treffen.

Der gezeigte beschleunigte Umbau des Energiesystems macht die Schweiz unabhängiger, sicherer und klimafreundlicher. Die Schweiz ist weder auf Atomkraftwerke noch auf neue Gaskraftwerke angewiesen.

Abbildung Z1: Verlauf der energiebedingten CO₂-Emissionen (ohne Zement) und Angabe kumulierte Emissionen bis 2050 für die Energy-[R]evolution-Szenarien REF, E[R] und ADV-E[R] sowie das Szenario EP-ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ mit und ohne Carbon Dioxide Removal (CDR). (Quelle: Eigene Berechnungen und Energieperspektiven 2050+ (Variante EP-ZERO Basis, Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre)).



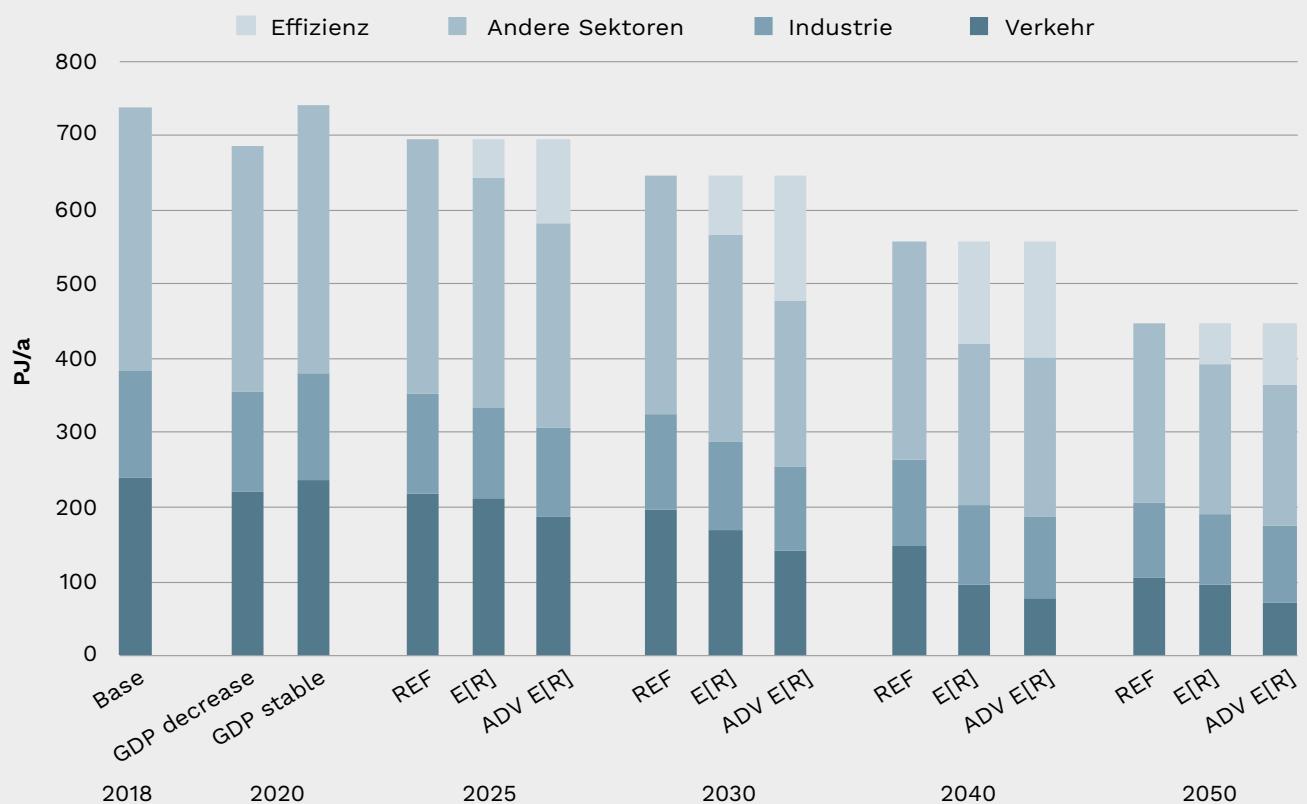
Der Endenergieverbrauch sinkt, die Stromproduktion im Inland steigt stark an

Die beiden Energy-[R]evolution-Szenarien zeigen einen deutlich schnelleren und stärkeren Rückgang des Endenergieverbrauches als das Referenz-Szenario (REF), welches die Klimaschutzpläne des Bundes abbildet (wobei diese Pläne derzeit nicht umgesetzt werden,

vielmehr befindet sich die Schweiz auf einem Weiter-Wie-Bisher-Kurs). Die Greenpeace-Szenarien gehen unter anderem davon aus, dass das Potenzial zur effizienteren Energienutzung ausgeschöpft wird (z.B. Vermeidung des Standby-Verbrauchs, Ersatz alter Beleuchtungen und Elektromotoren, Elektrifizierung des gesamten Verkehrs).

Zusammenfassung

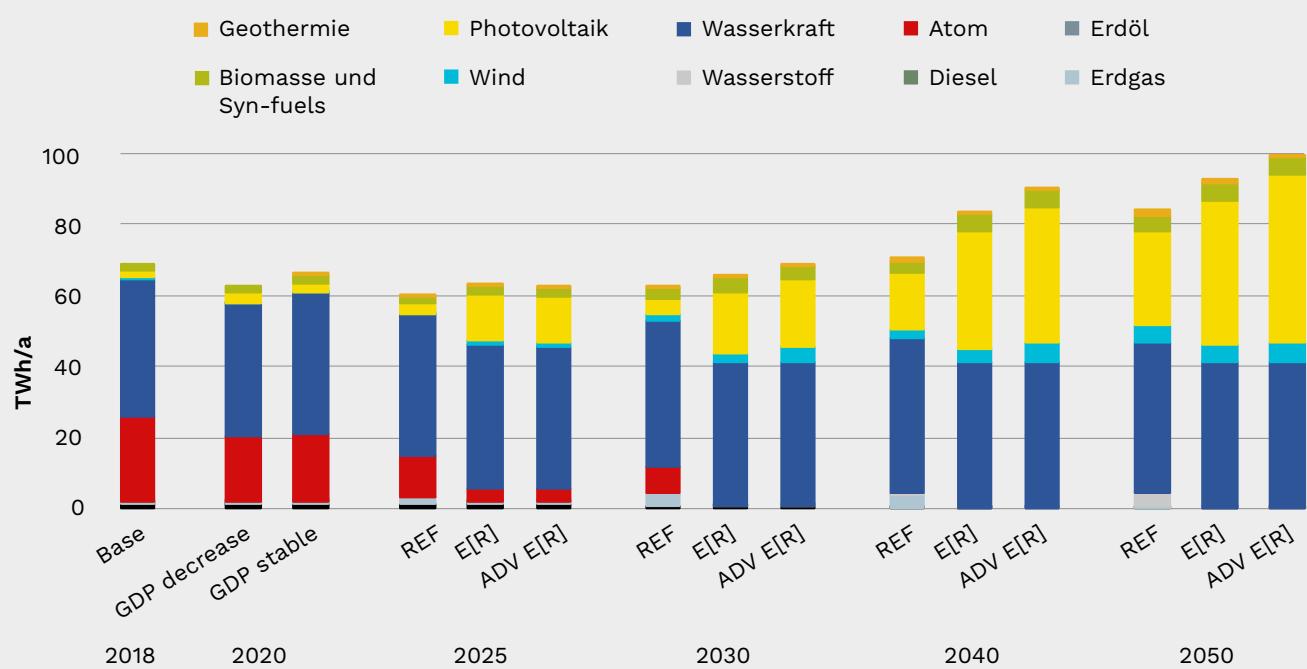
Abbildung Z2: Entwicklung des Endenergiebedarfs (ohne nicht-energetische Nutzungen).



Aufgrund der konsequenten Elektrifizierung von Anwendungen, die heute noch mit fossilen Energieträgern betrieben werden, und des Bedarfs an erneuerbarem Strom zur Herstellung von Brenn- und Treibstoffen für die Dekarbonisierung von schweren Geräten und Hochtempe-

raturprozessen, steigt in den Energy-[R]evolution-Szenarien die Stromproduktion innerhalb der Schweiz um rund 25 bis 30 TWh bis im Jahr 2050. **Die Photovoltaik wird im Endausbau mehr zur Energieversorgung beitragen als die Wasserkraft.**

Abbildung Z3: Entwicklung der Stromproduktion für die verschiedenen Technologien.



Statt wie die Energieperspektiven des Bundes mit 50 Jahren Laufzeit der Atomkraftwerke zu rechnen (und in Varianten sogar mit 60 Jahren), zeigt Greenpeace Schweiz in den Energy-[R]evolution-Szenarien, wie der Umbau des Energiesektors mit einer maximalen Laufzeit von 45 Jahren gelingen kann.² In den Szenarien werden auch die Energie aus Windkraft und Biomasse ausgebaut, nicht aber die Wasserkraft. Für die Wasserkraft wird angenommen, dass Systemoptimierungen und die in Realisierung neuer Kraftwerke den Minderertrag durch die Einhaltung der gelgenden Gewässerschutzgesetze ausgleichen werden. Die Wasserkraftproduktion bleibt daher auf dem aktuellen Niveau.

Die Stromversorgungssicherheit ist gewährleistet

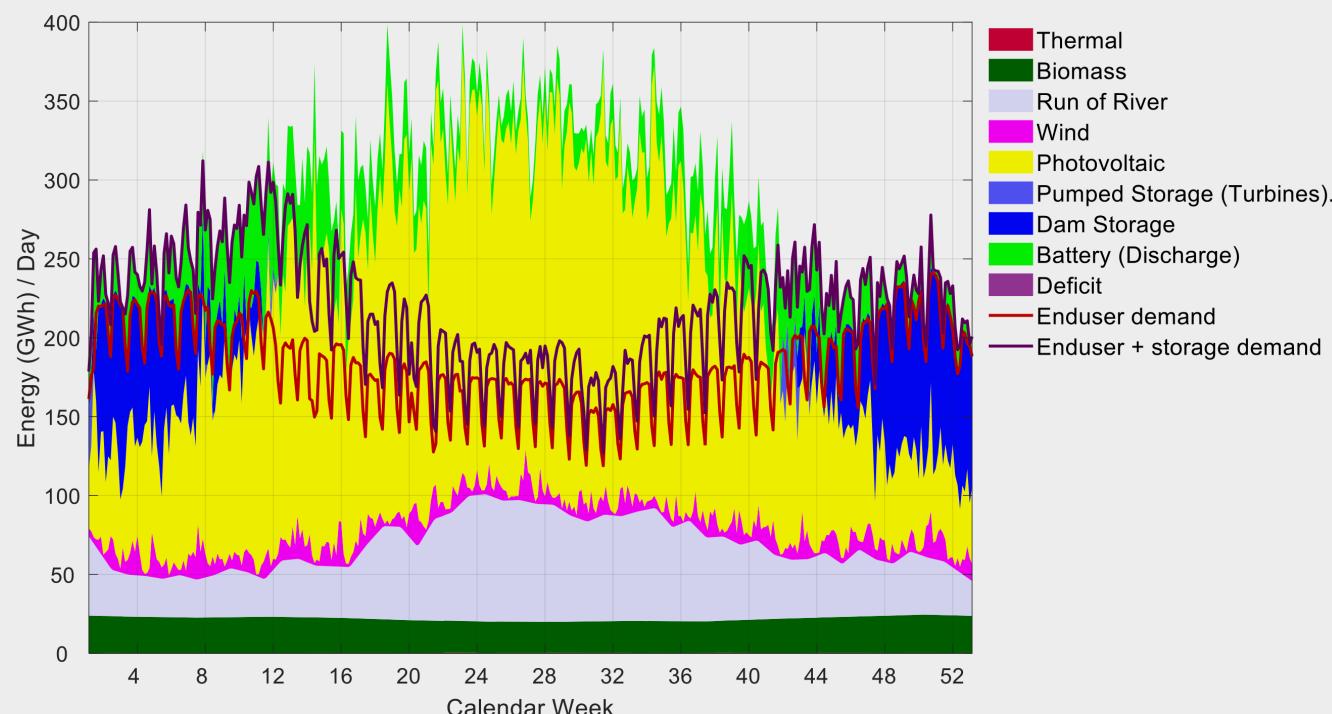
Mit dem in den Energy-[R]evolution-Szenarien angestrebten Strommix ist die Versorgungs-

sicherheit in der Schweiz gewährleistet. Das unterstreichen die Analysen zur Stromnetzstabilität und die realitätsgerechte Modellierung der Stromversorgungssituation für die Jahre 2025, 2030, 2040 und 2050. **Dabei wird deutlich: Je schneller der Ausbau der Photovoltaik gelingt, desto geringer fallen die Winterdefizite aus.**

Mit dem Ausbautempo der Energy-[R]evolution-Szenarien wird das inländische Stromversorgungsdefizit nie grösser, als es heute schon ist. Die 5 TWh/a, die in den letzten fünf Jahren durchschnittlich jeweils im Winter importiert wurden, werden auch im Worst-Case-Wetterszenario nicht überschritten. Bei einem **Vollausbau der Photovoltaik im Jahr 2050 besteht kein Winterdefizit mehr, was die Energieversorgung der Schweiz im Vergleich zur heutigen Situation sicherer und unabhängiger macht.**

Abbildung Z4: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2050 für das ADV-E[R]-Szenario. Es besteht zu keiner Zeit im Jahr ein Versorgungsdefizit.

(Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)



Der Ausbau der Photovoltaik sichert somit die Versorgung im Winter und führt im Sommer zu enormen Überschüssen, die es erlauben, in der Schweiz Energieträger herzustellen (power-to-X), welche heute vollständig importiert werden. **Im Jahr 2050 sind es rund 23 TWh/a,**

die für die Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Brenn- oder Treibstoffen (Methan/Methanol) gebraucht werden. Damit können schwer elektrifizierbare Anwendungen in der Industrie und im Verkehr dekarbonisiert werden.

² Annahme: Beznau 1+2 laufen schon 2022 nicht mehr, Gösgen wird Ende 2024, Leibstadt Ende 2029 abgestellt.

Mit dem neuen Energiegesetz Weichen stellen

Die Energy-[R]evolution-Szenarien zeigen, dass die Schweiz sehr gut positioniert ist, um im Zusammenspiel von sparsamer Energienutzung, Photovoltaik und Wasserkraft die Dekarbonisierung des gesamten Energiesektors zu ermöglichen.

Weil der Ausbau der Photovoltaik in der Vergangenheit sehr schleppend voran ging, besteht ein grosser Nachholbedarf, der nun von Bund und Kantonen gezielt angegangen werden muss. Derzeit wird das Schweizer Energiegesetz überarbeitet. Dieses ist so anzupassen, dass bis 2035 mindestens 38 TWh (statt der vorgesehenen 17 TWh) aus neuen erneuerbaren Energien (ohne Wasserkraft) stammen. Damit dieses Ziel erreicht werden kann, gilt es insbesondere ein Umfeld zu schaffen, das massive Investitionen in den Ausbau der Photovoltaik in der Schweiz ermöglicht.

Greenpeace-Energiewende schafft Arbeitsplätze und Wertschöpfung

Im Vergleich zu den ohnehin nötigen Investitionen für die Erneuerung und den Erhalt der gegenwärtigen Energieinfrastruktur von rund 1'400 Milliarden CHF bis 2050 verlangen die präsentierten Energy-[R]evolution-Szenarien Mehrinvestitionen von rund 7.5% – oder 105 Milliarden CHF bis 2050. Das sind rund 3.5 Milliarden CHF pro Jahr und entspricht nicht einmal der Hälfte des Betrags, der in den letzten zehn Jahren jährlich für Erdöl- und Erdgas ausgegeben wurde.

Das für eine klimafreundliche und sichere Energiewende eingesetzte Geld schafft grossen Mehrwert für die Schweiz. Zu nennen sind:

- Schaffung von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung in der Schweiz: Die Investitionen werden bis 2030 bis zu 30'000 neue Arbeitsplätze im Cleantech-Bereich schaffen, fast die Hälfte davon in der Photovoltaik-Branche. Der dadurch gesamtwirtschaftlich ausgelöste Arbeitsplatzeffekt führt insgesamt zu rund 60'000 neuen Arbeitsplätzen. Vom in der Energy [R]evolution vorgeschlagenen Schweizer Klimaschutzprogramm profitieren Firmen in der Schweiz statt Erdöl- und Erdgasländer.

- Stärkung der inländischen Versorgung und Erhöhung der Unabhängigkeit von ausländischen Energielieferanten und Preiskartellen.

- Reduktion der externen Kosten aus der Verbrennung fossiler Energieträger – vor allem im Gesundheitsbereich.

- Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass die Klimakrise kollektiv gelöst werden kann und damit Schadenskosten in Milliardenhöhe vermieden werden können: Wenn reiche Länder bei der Dekarbonisierung mit den notwendigen Investitionen vorangehen, werden die Lösungen günstiger. Mit jedem Zehntelgrad Erderwärmung, das dadurch verhindert werden kann, können die Schadenskosten tiefer gehalten werden.

Um gravierende Auswirkungen der Klimakrise abwenden zu können, ist ein Umbau der Energieversorgung notwendig. Gleichzeitig sind auch die Treibhausgase zu eliminieren, die durch die Landwirtschaft, die Abfallverwertung, die Industrie (synthetische Gase und geogene Emissionen), den Flugverkehr, den inländischen Konsum sowie den Schweizer Finanzplatz und die in der Schweiz domizilierten multinationalen Konzerne verantwortet werden.

Und zwar rasch. Weil wirkungsvolle Klimaschutzmassnahmen jahrzehntelang aufgeschoben wurden, wird die Aufgabe immer schwieriger. Die heutigen Klimaschutzpläne der Schweiz reichen nicht aus, um die globale Erderwärmung auf 1.5°C zu begrenzen. Damit verletzt die Schweiz die Solidarität zwischen den Menschen weltweit und den Generationenvertrag mit unseren Kindern. Mit ihrer derzeitigen Klimapolitik bürdet die Schweiz die Last unserer Versäumnisse den nach uns lebenden Menschen auf. Und sie verschärft die Situation für jene Menschen, die bereits heute übermäßig unter den Folgen der Klimaerhitzung leiden.

Die Klimakrise ist auch darauf zurückzuführen, dass partout an der gegenwärtigen Logik des ständigen Wirtschaftswachstums festgehalten wird. Der Konsum der Schweizer:innen basiert auf dem Glauben an einen Planeten ohne Grenzen, Wirtschaftswachstum ist das oberste Ziel staatlichen Handelns. Die dadurch geschaffenen Probleme nehmen mittlerweile ein gewaltiges Ausmass an, womit die Frage, wie ein gutes Leben mit weniger Wirtschaftsleistung möglich ist, unweigerlich ins Zentrum gerückt wird. Neben dem Engagement für den in den Energy-[R]evolution-Szenarien beschriebenen technologischen Umbau des Energiesystems setzt sich Greenpeace Schweiz daher für eine sozio-ökonomische Transformation ein.

Einleitung

Für das vorliegende Update des Gesamtenergieszenarios Energy [R]evolution spielen das verbleibende CO₂-Emissionsbudget für die Einhaltung von 1.5°C und eine auf 45 Jahre begrenzte Laufzeit für Atomkraftwerke eine zentrale Rolle. Es wird ausgeführt, wie die Schweiz doch noch ihren Beitrag zur Lösung der Klimakrise leisten kann, ohne die Atomrisiken zu steigern. «Doch noch», weil wichtige Klimaschutzmassnahmen mit dem notwendigen Umbau der Energieversorgung seit Jahrzehnten aufgeschoben werden.

Mit den Energy-[R]evolution-Szenarien zeigen wir von Greenpeace Schweiz Wege zu einer klimaverträglichen und sicheren Energieversorgung in der Schweiz auf. Wir möchten mit den von unabhängigen Expert:innen erarbeiteten Szenarien einen Beitrag zum Klimadialog leisten und veranschaulichen, dass das Feld des Möglichen viel grösser ist, als Parlament, Regierung und grosse Teile der Gesellschaft glauben.

Denn oftmals entsteht in der Berichterstattung über die bundesrätliche Klima- und Energiestrategie der Eindruck, dass damit höchstmögliche Ziele angestrebt würden. So wurde und wird eine Erzählung geprägt, die glauben macht, dass die Schweiz als eines der reichsten Länder auf dieser Erde nicht mehr zur Lösung der Klimakrise beitragen könnte. **Es ist dieses Narrativ, welches sich ändern muss, damit wir uns als Gesellschaft aufmachen können, die Klimakrise zu lösen. Nach Jahrzehnten des Abwartens müssen wir endlich klima-klug handeln. Denn zu wenig zu leisten, um das Problem zu lösen, ist gefährlich und unklug.**

Der gesellschaftliche Wille und Rückhalt für klima-klügeres Handeln hängt nicht zuletzt auch davon ab, dass darüber debattiert wird, was wirklich möglich ist und was auf dem Spiel steht. Mit dem gegenwärtigen Kurs riskiert die Schweiz ganz konkret unsere Lebensgrundlagen. Das zeigen die heute schon beobachtbaren Auswirkungen einer globalen Erwärmung von rund 1.1°C und zunehmende Hinweise, die nahelegen, dass gewisse Kippunkte im Klimasystem ausgelöst werden könnten. Solche selbst-verstärkenden Effekte können dazu führen, dass die Kontrolle über die globale Erhitzung vollends verloren geht. Als Folge droht ein Massenaussterben und das Ende der Zivilisation, wie wir sie heute kennen.

Doch bei allen Blicken auf die drohenden Katastrophen aufgrund des andauernden Aufschiebens von Klimaschutzmassnahmen darf nicht vergessen werden, dass die Lösung der Krise enorme Chancen mit sich bringt.

Mit einer Umstellung auf erneuerbare Energien wird die Schweiz unabhängig von den aktuell enormen Energieimporten. Damit bleiben Milliarden Franken im Land, statt nach Libyen, Kasachstan und Russland zu fliessen. Diese Milliarden werden dem einheimischen Gewerbe für erneuerbare Energien und Energieeffizienz zukommen. Die Randregionen werden besonders von der Wertschöpfung profitieren: Die Energiewende schafft gegenüber einem «Weiter wie bisher» unvergleichlich mehr Arbeitsplätze sowie langfristig bezahlbare Energiekosten ohne Erdölkartelle, welche die Preise diktieren. Dezentrale Solaranlagen verbreitern die volkswirtschaftliche Bedeutung des Energieversorgungssektors. Hunderttausende Bürger:innen tragen zur Landesversorgung bei, Landwirt:innen werden zu Energiewirt:innen, Fachleute aus dem Bau- und Haustechniksektor zu Spezialist:innen für energetische Sanierungen und durch den Umbau von Dächern und Fassaden werden diese zu Stromproduktionsanlagen.

Zu den Chancen gehören auch Quartiere mit deutlich mehr Grünräumen, weniger Motorlärm und fast keinen Abgasen mehr. Die enormen externen Kosten unseres aktuellen Energiesystems werden durch den Umbau verringert und sorgen im Zeithorizont von 30 Jahren für ein positives Saldo.

Rahmensetzungen und Annahmen: So wurde gerechnet

Szenarien sind mögliche Entwicklungsverläufe und werden benötigt, um Entscheidungsträger:innen einen umfassenderen Überblick zu verschaffen und um die Gestaltungsmöglichkeiten künftiger Energiesysteme aufzuzeigen. Im vorliegenden Bericht wird anhand von drei Szenarien gezeigt, wie weit das Schweizer Energiesystem umgebaut werden kann:

- **Unser Referenz-Szenario (REF) entspricht ungefähr dem Szenario ZERO Basis aus den Energieperspektiven 2050+.**
- **Die Energy-[R]evolution-Szenarien «Energy [R]evolution» (E[R]) und «ADVANCED Energy [R]evolution» (ADV-E[R]), zeigen die Möglichkeiten einer beschleunigten Dekarbonisierung und eines früheren Ausstiegs aus der Nutzung der Atomkraft auf.**

Auf die Berechnung eines Weiter-Wie-Bisher-Szenarios (WWB) wurde verzichtet, da das Übereinkommen von Paris und die bundesrätliche Klimastrategie ein solches gar nicht mehr zulassen. In den Energieperspektiven 2050+ des Bundes finden sich jedoch Angaben zu einem WWB-Szenario, die bei Interesse zum Vergleich herbeigezogen werden können.

Die beiden ER-Szenarien wurden von Fachleuten des Instituts for Sustainable Futures (ISF) an der technologischen Universität von Sydney (University of Technology Sydney, UTS) entwickelt. Die Forschungsgruppe verfügt über ein grosses Wissen zu Modellierungen von Energiesystemen und hat unter anderem mit dem «One Earth Climate Model» auch global aufgezeigt, wie die 1.5°C-Grenze eingehalten werden kann. Die detaillierten Angaben zur Methodik und den Berechnungen für die Schweiz werden in einem separaten englischen Bericht publiziert.

Der Umbau des Schweizer Energiesystems wurde ausgehend von den nachhaltigen Ausbaupotenzialen und den strukturellen Möglichkeiten festgelegt. Wichtig war dabei, einen 100 % erneuerbaren Elektrizitätsmix zu entwickeln, der die Versorgungssicherheit rund um die Uhr zu jeder Zeit sicherstellen kann und der wirtschaftlich tragbar ist.

Die Berechnung der Investitionskosten für beide Szenarien umfasst den Anlagenersatz

nach Ablauf der Lebensdauer, woraus dann die Gestehungskosten vollkostenbasiert ermittelt werden. Die Nachfrageentwicklung wird anhand der angenommenen Wirtschafts- (BIP) und der Bevölkerungsentwicklung (welche wiederum mit untergeordneten Treibergrössen wie Verkehrsleistungen und beheizten Flächen verknüpft sind) und anhand von Annahmen zur Entwicklung der Energieintensitäten von Anwendungen und von ganzen Sektoren (Industrie, Verkehr, Haushalte und Dienstleistungen) bestimmt.

Um die Ergebnisse unserer Szenarien mit den Energieperspektiven 2050+ des Bundes vergleichen zu können, haben auch wir für sämtliche Berechnungen wie der Bund ein weiteres Wirtschafts- und Bevölkerungswachstum angenommen. Praktisch alle Szenarien für Klimaschutz im Gesamtenergiesystem setzen auf ein weiteres Wirtschaftswachstum. Dadurch wird die Energiewende immer anspruchsvoller, schwieriger und teurer. Dabei ist unbestritten, dass eine Gesellschaft mit einem Wirtschaftssystem, das von Sinn und Genügsamkeit geprägt ist und sich an den wichtigsten Grundbedürfnissen der Menschen orientiert, enorm zur Lösung der Klimakrise beitragen würde. Welche Rolle daher Transformationsansätze bei der Energiewende spielen können, beschreiben wir daher in einem eigenen Kapitel.

Folgende Rahmenbedingungen bzw. Daten wurden als Input für die Berechnungen der beiden Energy-[R]evolution-Szenarien verwendet:

- Die Annahmen zur **Bevölkerungsentwicklung und zur Entwicklung des Bruttoinlandprodukts** (BIP) bis 2050 wurden von den Energieperspektiven 2050+ des Bundes übernommen, die 2020 und 2021 veröffentlicht wurden. Darin wird davon ausgegangen, dass die Schweizer Bevölkerung bis 2050 10.3 Millionen Menschen zählen wird und dass das BIP von 633 Milliar-

den im Jahr 2018 auf 880 Milliarden im Jahr 2050 ansteigen wird. Beide Annahmen haben einen grossen Einfluss auf die Entwicklung des Energiebedarfs in der Schweiz. **Das ständige Wachstum erschwert den Umbau des Energiesystems.** Die genannten Rahmendaten wurden dennoch verwendet, um die Vergleichbarkeit mit den Bundesszenarien zu gewährleisten.

- Für die **Kostenentwicklung der erneuerbaren Energien** wurden die jüngsten Entwicklungen und Prognosen der schnelllebigen Märkte im Strom- und im Wärmesektor berücksichtigt.
- Für die Berechnungen mit einem **CO₂-Preis** wurde angenommen, dass dieser von aktuell 96 CHF pro Tonne auf bis zu 350 CHF pro Tonne im Jahr 2050 ansteigen wird.
- Die **Energiebedarfsentwicklung** wurde für die Sektoren einzeln ermittelt und mit Untersuchungen der Schweizerischen Agentur für Energieeffizienz sowie den Energieperspektiven 2050+ des Bundes abgeglichen. Zu den wichtigsten Annahmen für den Energiebedarf im Wärmebereich zählen die Senkung des Energiebedarfs durch energetische Sanierungen, eine rasche Ausweitung der Nutzung von Solar- und Fernwärme sowie eine grössere Nutzung von Strom für Wärmezwecke. Weil Strom auch für den wachsenden Anteil der Elektrofahrzeuge im Verkehrssektor benötigt wird, steigt der Stromverbrauch trotz massiver Effizienzsteigerungen bis 2050 an.
- Für den **Ausbau der erneuerbaren Energien** wurden folgende Rahmenbedingungen für die langfristig nachhaltige Nutzung gesetzt:
 - Das **Biomassepotenzial** der E[R]-Szenarien beschränkt sich auf das vom Schweizerischen Energiekompetenzzentrum SCCER BIOSWEET ermittelte nachhaltige Potenzial für die energetische Nutzung. Der Primärenergieinhalt dieses Potenzials wird auf insgesamt rund 97 PJ/a beziffert (50 PJ/a aus der Nutzung holziger Biomasse, 27 PJ/a aus Hofdünger und 20 PJ/a aus der restlichen Biomasse). Das Potenzial liegt damit etwas tiefer als in der Energy Revolution 2013 (126 PJ/a).
 - Das **Potenzial der Windenergie** wurde analog zum 2013 veröffentlichten E[R]-Szenario auf den jährlichen Stromertrag von rund 400 Windkraftanlagen (WKA) begrenzt. Dies entspricht dem von den Organisationen der Umweltallianz unterstützten nachhaltig nutzbaren Potenzial in der Schweiz. Der Stromertrag der WKA wurde den neusten

Anlagentechnologien angepasst und beträgt im Jahr 2050 max. 5.8 TWh/a.

- Das **Potenzial zur Nutzung der tiefen Geothermie** für die Stromproduktion wurde aufgrund der weiterhin unsicheren Ausgangslage auf weniger als 1 TWh/a geschätzt. Damit liegt der Beitrag der Geothermie in einem Bereich, der durch andere Massnahmen ersetzt werden kann, falls die Technologie keine vermehrte Anwendung findet.
 - Das **Potenzial der Erdwärmemutzung** mittels Wärmepumpen wurde im E[R]-Szenario an das verfügbare erneuerbare Stromangebot gekoppelt.
 - Das **Gesamtpotenzial der Wasserkraft** wurde gemeinsam mit den anderen Umweltorganisationen der Umweltallianz wegen der heute schon sehr starken Nutzung der Wasserläufe in der Schweiz als konstant angenommen. D.h. Produktionsgewinne durch die Erneuerung von Anlagen werden durch den Minderertrag aus der Erfüllung der Anforderungen des Gewässerschutzes neutralisiert. Die Wasserkraft leistet damit auch in Zukunft einen zentralen Beitrag an die Stromversorgung.
 - Das **Potenzial der Photovoltaik (PV)** in der Schweiz ist enorm. Das Bundesamt für Energie hat das theoretisch nutzbare Potenzial auf Gebäudedächern auf rund 50 TWh pro Jahr geschätzt. Mit weiteren rund 17 TWh/a, die durch die Nutzung von Fassaden hinzukommen könnten. Zusätzlich schätzt der Branchenverband Swissolar das umweltverträgliche Potenzial auf weiteren Infrastruktur anlagen, wie Staumauern, Lärmschutzwänden usw. auf rund 15 TWh/a.
- In den E[R]-Szenarien spielt der Ausbau der Photovoltaikanlagen eine zentrale Rolle und wird knapp 48 TWh/a erreichen, was immer noch weit unter der Ausschöpfung des Gesamtpotenzials bleibt.
- Weil steil montierte Photovoltaikanlagen im Alpenraum im Winter fast gleich viel produzieren wie im Sommer (während Anlagen im Mittelland im Sommer doppelt so viel liefern wie im Winter), gehen wir davon aus, dass rund ein Fünftel der Solaranlagen auf Dächern und Infrastrukturen (z.B. Parkplätzen, Stauseen, Schneesportanlagen, Lawinenverbauungen) in den Alpen installiert werden kann.
- Das **Potenzial der Solarthermie** wurde gemäss dem Masterplan Solarthermie des

Branchenverbands Swissolar für 2050 auf höchstens 40 PJ/a beschränkt, die sich nachhaltig nutzen lassen. Das entspricht etwa 2 m² Sonnenkollektoren pro Kopf. Im E[R]-Szenario wird dieses Potenzial mit rund 35 PJ/a im Jahr 2050 nicht ganz ausgereizt.

- Die **Möglichkeit von Stromimporten** wurde im Szenario weiterhin zugelassen, sollte aber den Rahmen der heutigen Import-Export-Bilanz nicht sprengen. Die maximale Importmenge wird daher auf 5 TWh/a beschränkt. Wegen des fortschreitenden Umbaus des Energiesystems in den umliegenden Ländern und der Investitionen von Schweizer Stromversorgern in erneuerbare Energien im Ausland (vor allem Windkraft und Solarstrom) wurde unterstellt, dass die Stromimporte zunehmend auf erneuerbarem Strom beruhen.
- Für die Modellierung der **Netzbelastung** wurde mittels Geoinformationen der Zubau erneuerbarer Energien und die Stromnachfrage lokalisiert. Die Analysen werden im englischen Grundlagenbericht präsentiert.

Als Neuerung im Energiesystem werden in allen Szenarien **Wasserstoff** und die Folgeprodukte Methan und Methanol eingeführt. Wasserstoff wird durch Elektrolyse mit erneuerbarem Strom erzeugt und kommt schon ab 2030 vor allem im Verkehrs- und teilweise im Industriesektor zum Einsatz. Erstens werden im Sommer Stromüberschüsse anfallen und zweitens kann

aus heutiger Sicht nicht von einer vollständigen Elektrifizierung aller Verkehrsträger und Prozessanwendungen in der Industrie ausgegangen werden. Die Wasserstoffherstellung und die weitere Umwandlung in Methan oder Methanol sind aktuell zwar mit Energieverlusten verbunden, aufgrund des begrenzten Potenzials von Biomasse und auch von elektrischen Anwendungen sind zusätzliche erneuerbare Energieträger jedoch notwendig.

Im Anhang sind sämtliche Grundannahmen im Detail aufgeführt. Die Grundlagen und Quellen hinter den Annahmen werden im englischen Grundlagenbericht im Detail erläutert. Dazu gehören:

- Annahmen zur Bevölkerungsentwicklung und Wirtschaftswachstum bis 2050
- Annahmen zur Entwicklung der Öl- und Gaspreise
- Annahmen zu den künftigen Kosten von CO₂-Emissionen (inkl. Techniken zur Abscheidung undendlagerung von CO₂-Emissionen im Untergrund)
- Annahmen zur Kostenentwicklung der erneuerbaren Technologien im Strom-, Wärme- und Kältesektor (Wasser, Wind, Sonne, tiefe und untiefe Geothermie, Wärmepumpen und Biomasse).



Ergebnisse: So werden fossile Energieträger in der Schweiz obsolet

Verschiedene Energieszenarien zeigen schon heute, dass es möglich ist, fossile Energieträger in der Schweiz loszuwerden. Teilweise werden jedoch gefährlich lange Laufzeiten für die verbleibenden Atomkraftwerke angenommen und oft fehlt eine fundierte Analyse, ob die kumulierten Treibhausgasemissionen bis zur vollständigen Dekarbonisierung der Schweiz innerhalb der für die globale 1.5°C-Grenze noch tolerierbaren Menge liegen.

Das vorliegende Energieszenario zeigt, wie beides – Klimaschutz und der Schutz vor Atomrisiken – machbar ist.

Entwicklung der CO₂-Emissionen: max. 1.5°C ist noch möglich

Das globale Emissionsbudget

Die Bestimmung der Menge an CO₂, die noch ausgestossen werden darf, um die 1.5-Grad-Grenze mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit nicht zu überschreiten, ist theoretisch einfach, weil ein nahezu lineares Verhältnis zwischen der kumulierten Menge an CO₂-Emissionen und dem Anstieg der Temperatur besteht. Im ersten Teil des sechsten Sachstandsberichts des Weltklimarates IPCC wird das globale CO₂-Budget, das ab 2020 noch ausgestossen werden kann, ohne eine globale Erwärmung von 1.5°C zu überschreiten, auf 300 bis 900 Gigatonnen (Gt) CO₂ beziffert. Die grosse Bandbreite ergibt sich aus der Wahrscheinlichkeit, mit der die Grenze von maximal 1.5°C eingehalten werden soll: bei einem CO₂-Budget von 300 Gt beziffern die Forscher:innen die Wahrscheinlichkeit der Einhaltung der 1.5-Grad-Grenze mit 83%, bei 400 Gt mit 67%, bei 500 Gt mit 50% und bei 900 Gt lediglich noch mit 17%.³ Je mehr Emissionen verursacht werden, desto kleiner wird also die Wahrscheinlichkeit, dass die 1.5°C noch eingehalten werden können. Auch interessant: Eine 100-prozentige Wahrscheinlichkeit gibt es nicht (mehr).

Zur Einordnung der Mengen: Weltweit werden gegenwärtig jährlich etwas mehr als 40 Gigatonnen CO₂ ausgestossen. **Beim derzeitigen Emissionslevel wäre also das kleinste CO₂-Budget (83%-Wahrscheinlichkeit) im Jahr 2027 aufgebraucht.**

Das CO₂-Budget gilt nicht für die anderen Treibhausgasemissionen wie z.B. Methan und Lachgas. Um das CO₂-Budget für die Einhaltung der 1.5°C-Grenze berechnen zu können, wurden Annahmen zur Entwicklung der anderen Treibhausgase getroffen. Wenn diese langsamer reduziert werden als angenommen, verkleinert sich das CO₂-Budget (und umgekehrt – im Umfang von plus-minus 220 Gt CO₂e).

Ausgehend von diesen Erkenntnissen muss die zentrale Frage in der Klimapolitik sein: Mit welcher Wahrscheinlichkeit soll eine maximale globale Erwärmung von 1.5°C erreicht werden – konkret, mit welcher Wahrscheinlichkeit soll die Welt vor irreparablen Klimaschäden bewahrt werden? Vor dieser Frage drückt sich jedoch die Politik, und viele Menschen haben noch nie vom CO₂-Budget gehört. Eigentlich ist die Frage eine rhetorische, wird sie für andere Lebensbereiche übersetzt: Würden Sie in einen Zug steigen, der mit 67% Wahrscheinlichkeit am Zielort ankommt? Anders gefragt: Würden Sie eine Zugfahrt antreten, die

³ IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M. I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T. K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press. Table SPM.2, S.38,

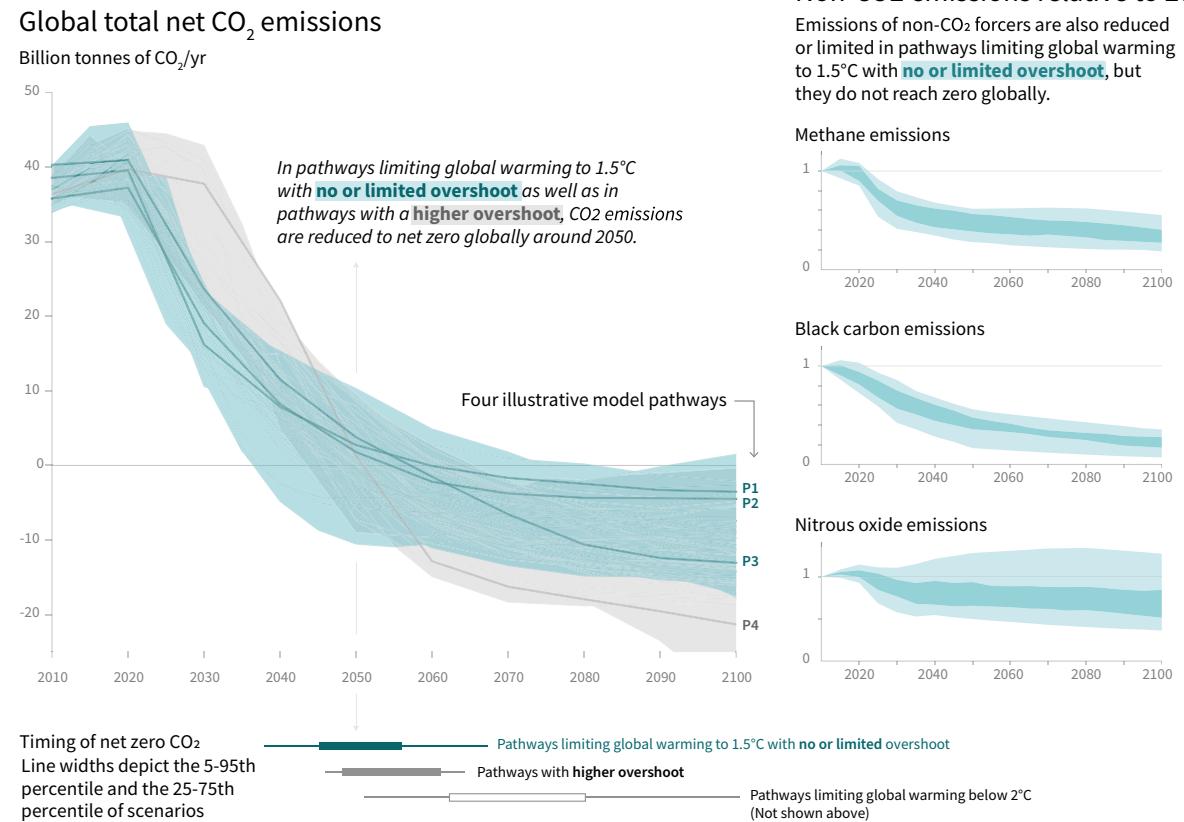
mit 33% Wahrscheinlichkeit in einer Katastrophe mündet?

Das Fass überläuft schon fast und es überrascht nicht, dass sämtliche Berechnungen, die zeigen, wie weltweit die 1.5°C-Grenze nicht überschritten werden kann, von einer sofortigen und steilen Reduktion der CO₂-Emissionen ausgehen.

Die nachfolgende Abbildung aus dem Spezialbericht des Weltklimarates IPCC zur Einhaltung von 1.5°C zeigt die möglichen globalen Absenkpfade zur Einhaltung der 1.5°C-Grenze.⁴

Abbildung 1: Mögliche Entwicklungen der globalen menschengemachten CO₂-Emissionen, um die Grenze von 1.5°C noch einhalten zu können.

(Quelle: IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C, Full-Report, Figure 2.5, S. 113)



Die Kurven zeigen nicht nur, dass die CO₂-Emissionen sofort steil abgesenkt werden müssen, sondern auch, dass verpasste Reduktionen später wieder aus der Atmosphäre entfernt werden müssen (der sogenannte Overshoot muss mit «netto negativen Emissionen» bzw. der Entfernung und Einlagerung von CO₂- aus der Atmosphäre wieder wettgemacht werden).

Der Zeitpunkt, bis zu dem netto null Emissionen erreicht werden sollten, liegt global bei 2050. Wenn auf dem Weg zur Erreichung der Netto-null-Grenze möglichst keine Emissionsschulden angehäuft werden sollen, dann verschiebt sich die Netto-null-Grenze um etwa 10 Jahre nach vorne. Umgekehrt kann die Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre theoretisch ein paar Jahre mehr Zeit verschaffen. Doch die Technik zur CO₂-Abscheidung und -Speicherung (Carbon Capture and Storage CCS) ist nach wie vor sehr teuer und wenig erprobt.

Darum: Eine Halbierung der menschengemachten globalen CO₂-Emissionen bis 2030 und die Erreichung von netto null CO₂ im Jahr 2050 wird als globale Minimalanforderung für die Einhaltung der 1.5°C-Grenze gesehen.

⁴IPCC, 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.)]. In Press.

Das Emissionsbudget der Schweiz

Wie viel des globalen CO₂-Budgets darf die Schweiz für sich beanspruchen? Das ist eine weitere Frage, die politisch beantwortet werden muss. Auch darüber wird erstaunlich wenig gesprochen.

Würde das gesamte CO₂-Budget seit Beginn der Industrialisierung gleichmäßig auf die Weltbevölkerung aufgeteilt, hätte die Schweiz den ihr zustehenden Anteil schon aufgebraucht. Die Schweiz würde also heute schon auf Pump leben.

Wenn vergangene Emissionen ausser Acht gelassen und das verbleibende Budget ab 2020 gleichmäßig verteilt würden, stünden der Schweiz gemäss ihres Bevölkerungsanteils (ca. 0.11% der globalen Bevölkerung) noch rund 330 bis 990 Millionen Tonnen CO₂-Emissionen zu. Bei einer Wahrscheinlichkeit von 83%, die 1.5°C-Grenze nicht zu überschreiten, wäre das für die Schweiz verbleibende CO₂-Budget im Jahr 2029 aufgebraucht, bei einer 67%-Wahrscheinlichkeit im Jahr 2032 – wenn die energiebedingten CO₂-Emissionen unverändert auf dem Stand von 2019 (34.6 Mio. Tonnen CO₂) bleiben. Konkret heisst das: Wenn Gerechtigkeitsüberlegungen (siehe unten) zur Verteilung der noch möglichen Emissionen unter den Ländern komplett ausgeblendet werden, verbleiben theoretisch für die Schweiz maximal 440 Millionen Tonnen CO₂ (67-prozentige Wahrscheinlichkeit, die 1.5°C-Grenze nicht zu überschreiten).

Mehr als 440 Millionen Tonnen CO₂ darf die Schweiz auf keinen Fall aussossen, wenn es ihr mit der 1.5°C-Grenze ernst ist. Denn genau genommen ist das verbleibende Budget noch deutlich geringer. Aus drei Gründen:

- Die Schweiz hat in Vergangenheit im Vergleich zu anderen Ländern bereits übermässig hohe Emissionen verursacht und damit erheblich zur Klimakrise beigetragen (historische Emissionen).

- Durch ihren übermässigen Konsum hierzulande verursachen die Schweizer:innen in anderen Ländern ein Mehrfaches der Inlandsemissionen. Die Gesamtsumme der Pro-Kopf-CO₂-Emissionen hat in den letzten Jahren gar zugenommen.⁵ Im globalen Vergleich gehört die Schweiz zu den 15 Ländern mit den höchsten Pro-Kopf-CO₂-Emissionen.⁶

- Die Schweiz hat als eines der reichsten Länder dieser Welt deutlich mehr Möglichkeiten, die Emissionen rasch abzusenken als andere Länder.

Das alles sind Gründe, warum die Schweiz klar weniger als das maximale Budget von 440 Mio. Tonnen CO₂ nutzen sollte, um einen fairen Beitrag zur Lösung der Klimakrise zu leisten. Ein Blick auf die Energieszenarien des Bundes zeigt jedoch: Es gibt kein Szenario, dass die Einhaltung des grösstmöglichen CO₂-Budgets von 440 Millionen Tonnen bis 2050 gewährleistet.

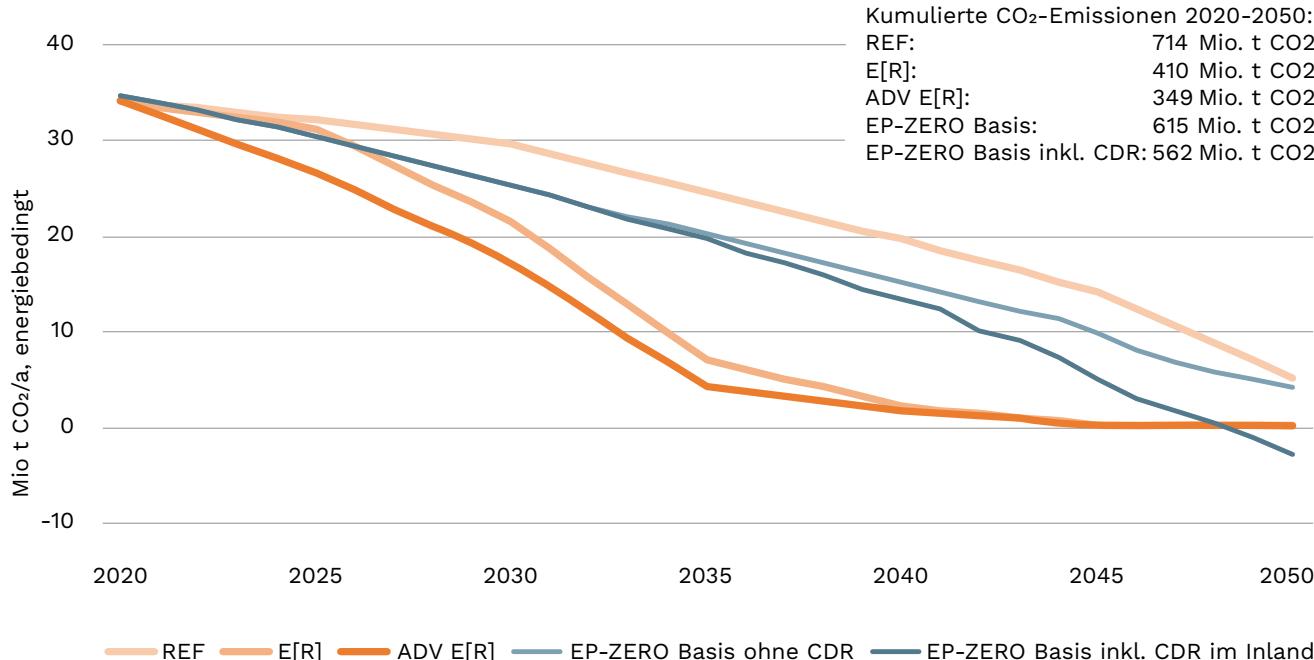
Die folgende Abbildung des Verlaufs der energiebedingten CO₂-Emissionen in der Schweiz in den für die Energy [R]evolution berechneten Szenarien (REF, E[R] und ADV E[R]) sowie im Bundesszenario ZERO Basis (EP-ZERO Basis) zeigt, dass beide Energy-[R]evolution-Szenarien innerhalb des grösstmöglichen CO₂-Budgets verbleiben. **Das E[R]-Szenario liegt 30 Mio. Tonnen und das ADV-E[R]-Szenario rund 90 Mio. Tonnen unter dem maximal noch verbleibenden Emissionsbudget von 440 Mio. Tonnen CO₂. Beide Szenarien kommen schon 2035 der Netto-null-Linie sehr nahe.**

Das Bundesszenario EP-ZERO Basis hingegen führt auch mit der in der Klimastrategie geplanten Entfernung von Emissionen (CDR = Carbon Dioxide Removal) ab dem Jahr 2040 zu einer deutlichen Übernutzung des ab 2020 maximal vorhandenen Schweizer Anteils am globalen CO₂-Budget. Um bis 2100 dennoch im Budget zu bleiben, müssten also nach 2050 grosse Mengen an Kohlenstoff aus der Atmosphäre wieder entfernt werden. Dies komplett ohne Berücksichtigung der historischen Verantwortung und der Handlungsmöglichkeiten der Schweiz als eines der reichsten Länder der Welt.

⁵ Le Quéré, C., Korsbakken, J.I., Wilson, C. et al. Drivers of declining CO₂ emissions in 18 developed economies. Nat. Clim. Chang. 9, 213–217 (2019). <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0419-7>

⁶ carbonatlas.org

Abbildung 2: Verlauf der energiebedingten CO₂-Emissionen (ohne Zement) und Angabe kumulierte Emissionen bis 2050 für die Energy-[R]evolution-Szenarien REF, E[R] und ADV-E[R] sowie das Szenario EP-ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ mit und ohne Carbon Dioxide Removal (CDR). (Quelle: Eigene Berechnungen und Energieperspektiven 2050+ (Variante EP-ZERO Basis, Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre)).



Der ab 2040 eingerechnete späte Einsatz von CDR-Technologien im Bundesszenario spiegelt die vorherrschende gesellschaftliche Hoffnung auf technologische Lösungen zu möglichst tiefen Preisen wider. Der Bund verkennt damit, dass die Schweiz ein Ambitionsniveau wählt, dass zu einer extrem gefährlichen Erhitzung

der Welt führt. Die dann anfallenden Schadenskosten übersteigen die zusätzlichen Kosten, die wir aufbringen müssen, um die Emissionen heute stärker zu reduzieren, um eine Vielfaches. Dabei ist nicht zu vergessen, dass solch abstrakte Schadenskosten mit unvorstellbarem Leid für die heute lebenden Kinder verbunden ist.

Der faire Beitrag der Schweiz zum globalen Klimaschutz

Würden alle Länder das heutige Klimaschutzniveau der Schweiz übernehmen, würde sich die Erde bis 2100 um etwa 3 Grad erwärmen. Das zeigt die Analyse des klimawissenschaftlichen Thinktanks Climate Action Tracker.⁷ Gleichzeitig haben die Wissenschaftler:innen ausgerechnet, was die Schweiz denn machen muss, um einen fairen Beitrag zum Klimaschutz und damit zur Einhaltung der 1.5°C-Grenze zu leisten. Bei seinen Analysen berücksichtigt Climate Action Tracker den Reichtum und die Kapazität eines Landes sowie wie viele historische Emissionen es verantwortet.

Konkret muss die Schweiz ihre Treibhausgasemissionen im eigenen Land bis 2030 um rund 60% gegenüber dem Niveau von 1990 senken. Die CO₂-Emissionen in beiden E[R]-Szenarien

von Greenpeace Schweiz erreichen bis 2030 in etwa eine 60%-Reduktion gegenüber 1990. Ferner hat die Schweiz durch zusätzliche Klimaschutzmaßnahmen im Ausland dafür zu sorgen, dass in anderen Ländern bis 2030 jährlich mindestens so viele Emissionen vermieden werden können, wie die Schweiz heute aussösst (rund 50 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente pro Jahr). **Unter dem Strich muss die Schweizer Bilanz der Treibhausgasemissionen bis 2030 im Vergleich zu 1990 also negativ ausfallen (Reduktion um mindestens 167%), um eine Begrenzung auf 1.5°C noch möglich zu machen.**

⁷ Analyse auf <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/> (Zugriff am 3.1.2022, Update vom 15.9.2021). Siehe auch Climate Analytics (2021). A 1.5°C compatible Switzerland

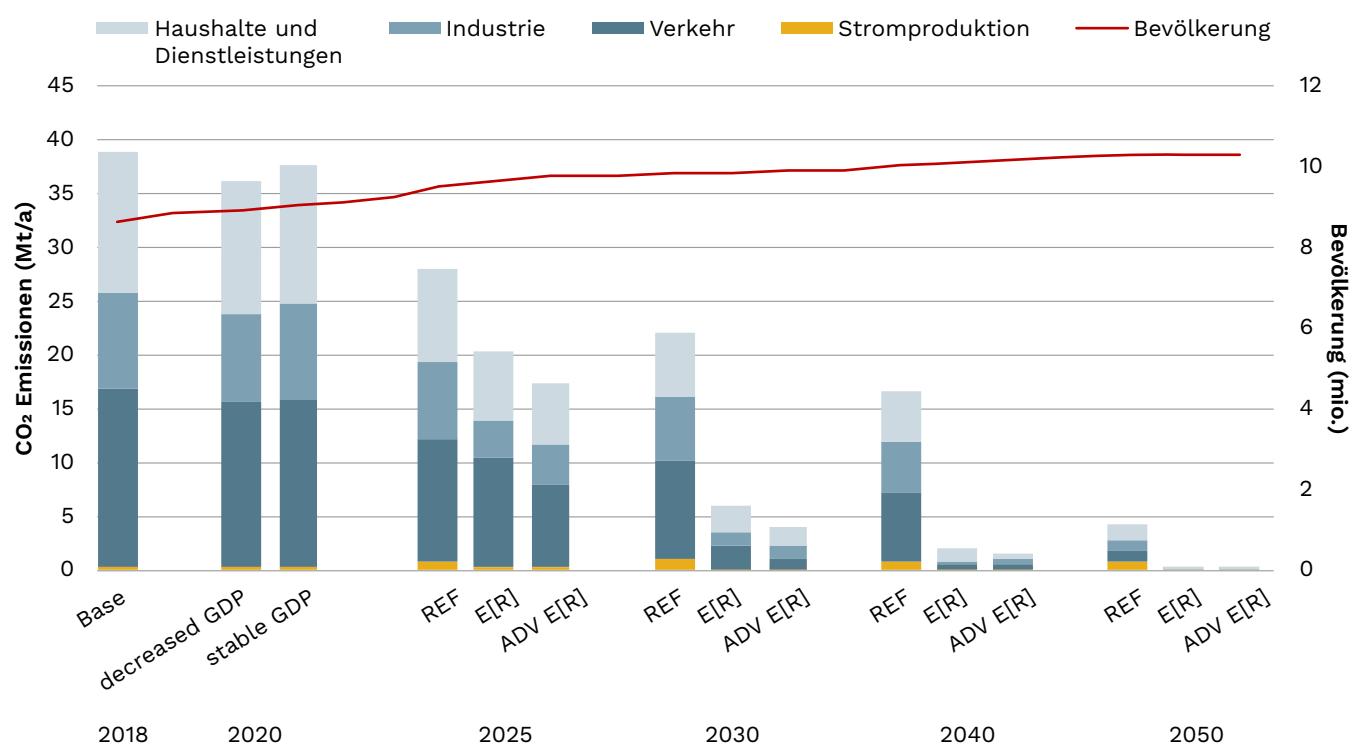
Die Wiederentfernung von Emissionen aus der Atmosphäre kann auch im E[R]- und ADV-E[R]-Szenario zum Einsatz kommen. Dies insbesondere um die Überbeanspruchung des globalen Emissionsbudget durch die reiche Schweiz noch weiter zu reduzieren.

Für Greenpeace stehen hier der dauerhafte Schutz und der Wiederaufbau von klimarelevanten Ökosystemen wie Primärwälder, Moore, Mangroven und Meeresgebiete im Vordergrund. Die grossflächige Wiederbegrünung von degenerierten Ökosystemen bietet enormes Potenzial, Kohlenstoff zu binden und die Biodiversität zu fördern. Negative Emissionen durch Ökosysteme funktionieren aber nur, wenn die wieder aufgebauten Ökosysteme langfristig bestehen bleiben, was eine faire Mitbestimmung der dort lebenden Menschen bedingt. Zudem muss sichergestellt werden, dass die durch den Wiederaufbau abgelösten schädlichen Nutzungen nicht auf andere Gebiete ausweichen (Verhinde-

rung eines Leakage Effekts). Zusätzlich zu den natürlichen Senken wird es auch technische Verfahren zur Entfernung von CO₂ aus Abgasen oder aus der Luft mit anschliessender sicherer Einlagerung im Untergrund brauchen. Darauf gilt es sich jetzt vorzubereiten, auch wenn diese Verfahren noch wenig erprobt und im Vergleich zum Schutz und Wiederaufbau von Ökosystemen um einiges teurer sind.

Die gezeigte steile Emissionsminderung in den Energy-[R]evolution-Szenarien, die es ermöglicht, innerhalb eines Emissionsbudgets von 1.5°C zu bleiben, verlangt den raschen Umbau sämtlicher Sektoren. Die folgende Figur veranschaulicht den Verlauf der Emissionen insgesamt und für die einzelnen Sektoren. Hauptverantwortlich für die energiebedingten CO₂-Emissionen ist der Verkehrssektor, gefolgt vom Sektor Haushalte und Dienstleistungen, der vor allem wegen des Heizöl- und Erdgasverbrauchs hohe Emissionen aufweist.

Abbildung 3: Verlauf der CO₂-Emissionen in den Sektoren für die berechneten Greenpeace-Szenarien.



Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse und Massnahmen für den Umbau je Sektor aufgeführt.

Klimaschutz im Verkehrssektor

Die verstärkte Verlagerung der Mobilität auf effiziente Verkehrsträger wie Bahn, Tram, Busse, Fahrräder und Füsse ist für die Emissionsreduktionen entscheidend. Insgesamt werden in den E[R]-Szenarien weniger Autos verkauft und die noch verbleibenden Autos werden aufgrund des elektrischen Antriebs und verkleinerter Fahrzeuggrößen deutlich effizienter sein als die heutigen.

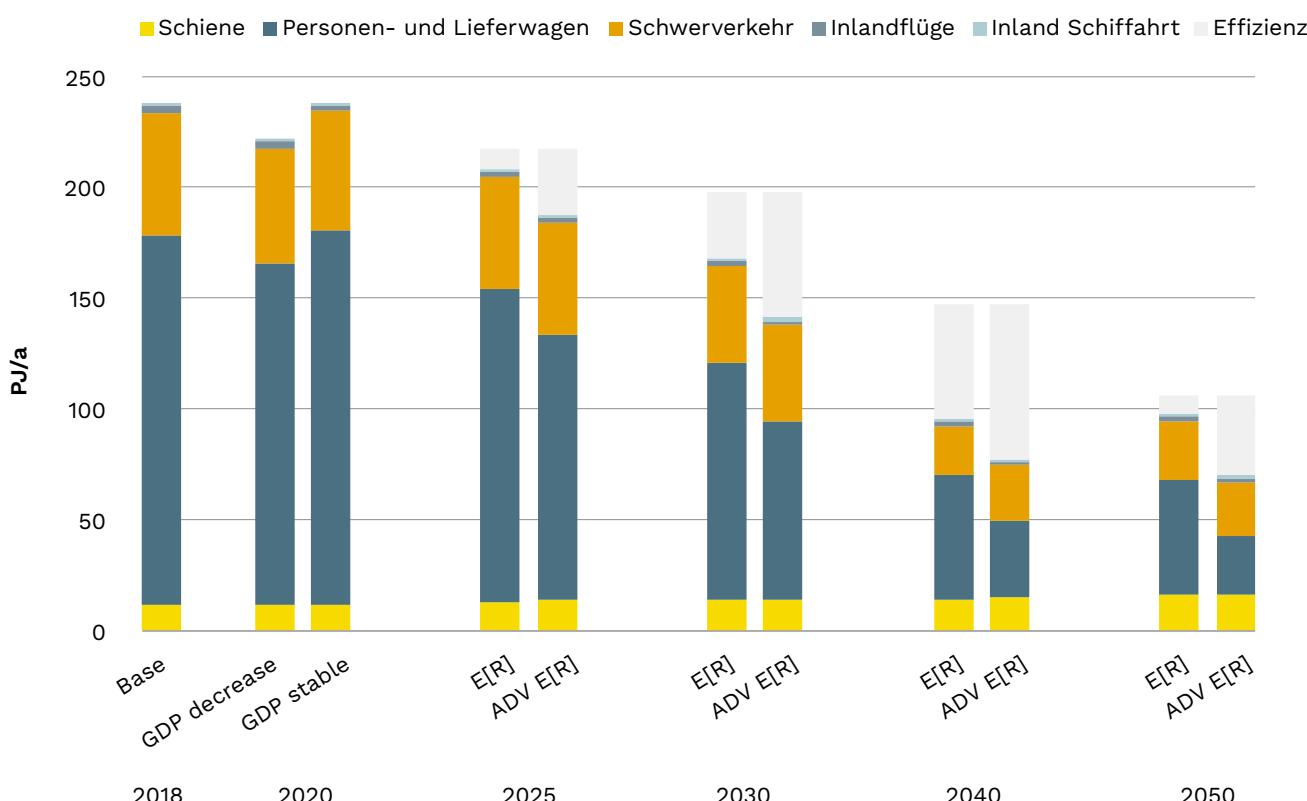
Der Energiebedarf des Verkehrs geht in den Greenpeace-Szenarien trotz Bevölkerungs- und BIP-Wachstum zurück. Im REF-Szenario um etwa 56% auf 105 PJ/a im Jahr 2050, im E[R]-Szenario werden durch zusätzliche Effizienzmassnahmen und Verkehrsverlagerungen im Jahr 2050 weitere 11 PJ/a eingespart. Im ADV-E[R]-Szenario betragen die Einsparungen gegenüber der Referenz 35 PJ/a. Diese werden durch verstärkte Verkehrsverlagerungen von privaten

Automobilen hin zum öffentlichen Verkehr, geteilte Fahrzeuge sowie vermehrter Fahrrad- und Fussverkehr erreicht.

Für die Erreichung der Einsparungen spielt die Elektrifizierung eine entscheidende Rolle: 87% des Sektorbedarfs werden in den beiden E[R]-Szenarien 2050 elektrisch gedeckt. Wasserstoff und andere synthetische Kraftstoffe, die mit erneuerbarem Strom erzeugt werden, sind ergänzende Optionen für schwer zu elektrifizierende Anwendungen. Im Jahr 2050 werden unter beiden E[R]-Szenarien bis zu 5 PJ/a Wasserstoff eingesetzt.

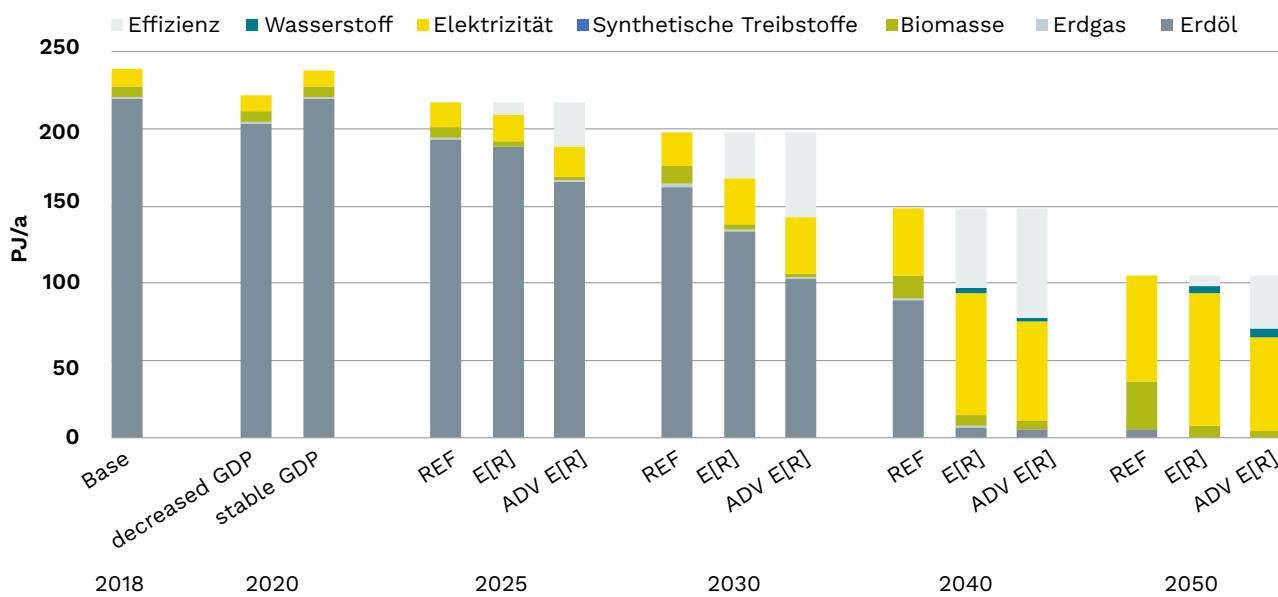
Die folgenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Endenergiennachfrage der verschiedenen Verkehrsarten (Abbildung 4) und der eingesetzten Energieträger (Abbildung 5) im Transportsektor.

**Abbildung 4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für die verschiedenen Verkehrsträger.
Der Effizienz-Balken zeigt die Differenz zum Referenz-Szenario.**



Ergebnisse

Abbildung 5: Entwicklung der eingesetzten Energieträger im Verkehr.
Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario.



Massnahmen für den Umbau des Verkehrssektors

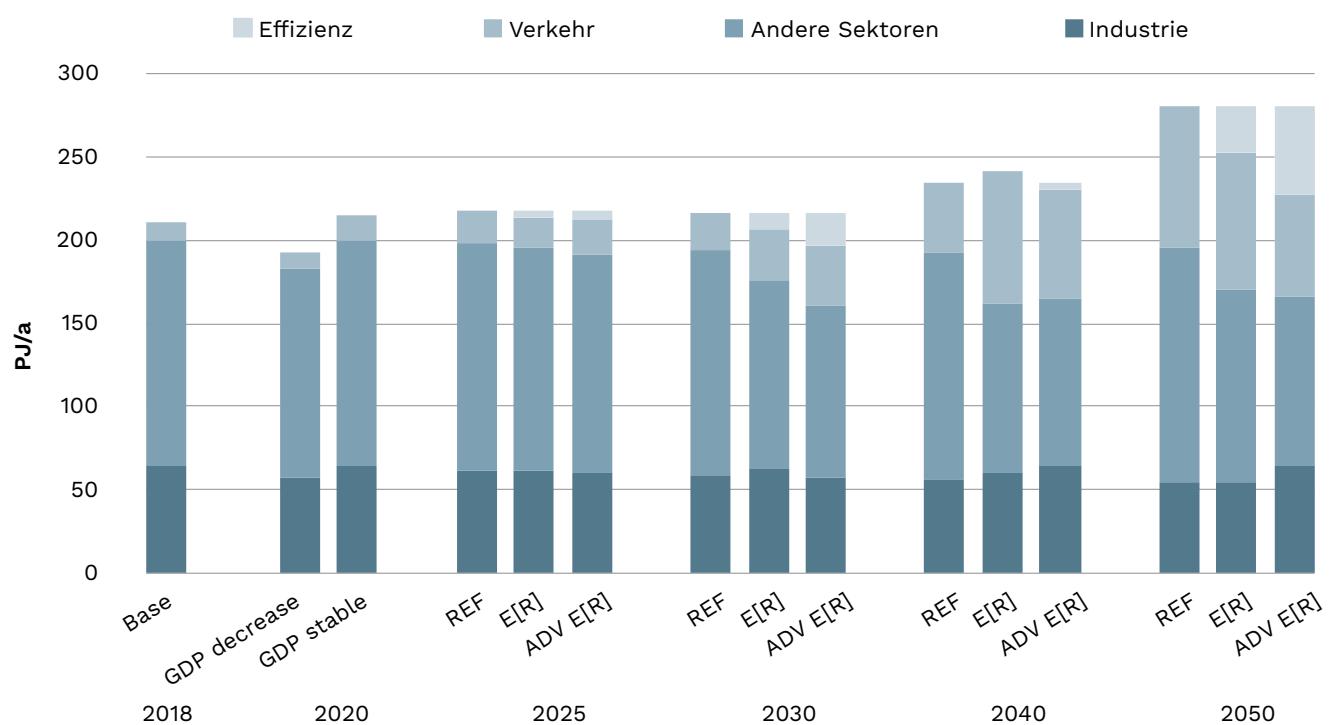
- Verschärfte Grenzwerte mit Verbot der Inverkehrsetzung fossiler Neuwagen ab 2025.
- Einführung von Kostenwahrheit für die Nutzung fossiler Energien sowie für die Flächenbeanspruchung der Verkehrsträger (Internalisierung der Kosten der Luftverschmutzung, der Lärmverschmutzung, der Flächenbeanspruchung und der Klimaschäden). Über eine Strassennutzungsgebühr werden Anreize für kleine und leichte Fahrzeuge geschaffen.
- Kein weiterer Ausbau von Strassenkapazitäten für den motorisierten Individualverkehr.
- Ermöglichung und Ausweitung von auto- und parkplatzfreien Zonen in allen grossen Städten, in Quartieren und auch in Siedlungen auf dem Land, kombiniert mit einer generellen Tempo-30-Logik und einer Politik der kurzen Wege. Letztere ermöglicht, dass bei jeder Siedlung alles Notwendige in kurzen Fuss- oder Fahrrad-Distanzen erreichbar ist (vgl. dazu 15-Minuten Policy von Paris). Vorgaben mit Parkplatzerstellungspflichten sind zu Gunsten neuer Modelle aufzuheben. Mittels regelmässigen autofreien Tagen, die für das gesamte Siedlungsgebiet gelten, werden die Möglichkeiten einer neuen Raumnutzung in den Städten und Quartieren erlebbar gemacht.
- Ausbau sicherer und durchgehender Infrastrukturen für Fahrräder und den Fussverkehr. Die klimafreundlichsten Verkehrsarten müssen bei der Raumnutzung klar priorisiert werden.
- Verstärkung von Massnahmen, um den täglichen Arbeitsverkehr und die damit verbundenen täglichen Staus zu verringern. Einführung eines Rechts auf Homeoffice und von flexibleren Präsenzmodellen an Universitäten und Hochschulen, Abschaffung des Steuerabzuges für den Arbeitsweg sowie raumplanerische Massnahmen zum Ausgleich der ungleichen Arbeitsplatzverteilung. Die im Zuge der Coronavirus-Pandemie eingeführte Homeoffice-Pflicht zeigte, wie stark sich Verkehrsströme durch ein Neudenken von Wohnen und Arbeiten verringern lassen.
- Verstärkung von Massnahmen, um den motorisierten Freizeit- und Einkaufsverkehr zu reduzieren. Bessere Ausrichtung des öffentlichen Verkehrs auf das Freizeitverhalten, um auch am Abend und am Wochenend die Bedürfnisse abzudecken. Optimierter Tür-zu-Tür-Service mit Rufbus- oder Mietoptionen für die Feinverteilung sowie vereinfachter Gepäcktransport inklusive Velo, Sportausrüstungen und Kinderwagen. Verkehrserzeugende Infrastrukturen müssen mit dem öffentlichen Verkehr gut erschlossen sein und eine Heimlieferung von Einkäufen anbieten.
- Ausbau des öffentlichen Verkehrs inklusive verbessertem Streckenmanagement durch eine forcierte Digitalisierung. Dazu gehört auch eine optimierte Multimodalität: Mittels engmaschiger Knotenpunkte und einfacher Umsteigemöglichkeiten mit Sharing-Angeboten wird der Wechsel auf den öffentlichen Verkehr erleichtert und die zurückgelegten Strecken des motorisierten Individualverkehrs verkürzt.
- Erhöhung der Auslastung der verbleibenden Personenwagen: Ausbau und steuerliche Begünstigung von Sharing-Angeboten und Pooling-Lösungen.
- Ausbau der Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität insbesondere auch für Mieter:innen und Stockwerkeigentum.

Klimaschutz und Atomausstieg in der Elektrizitätsproduktion

Die zunehmende Elektrifizierung der Anwendungen im Verkehrs- und Wärmesektor führen zu einem steigenden Strombedarf auch dann, wenn sehr ambitionierte Effizienzmassnahmen

umgesetzt werden. Strom aus erneuerbaren Energieträgern wird zur Schlüsselenergie für den Klimaschutz.

Abbildung 6: Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage nach Sektoren ohne Verluste, Eigenverbrauch (für die Beladung von Speichern) und Wasserstoffproduktion. Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario.

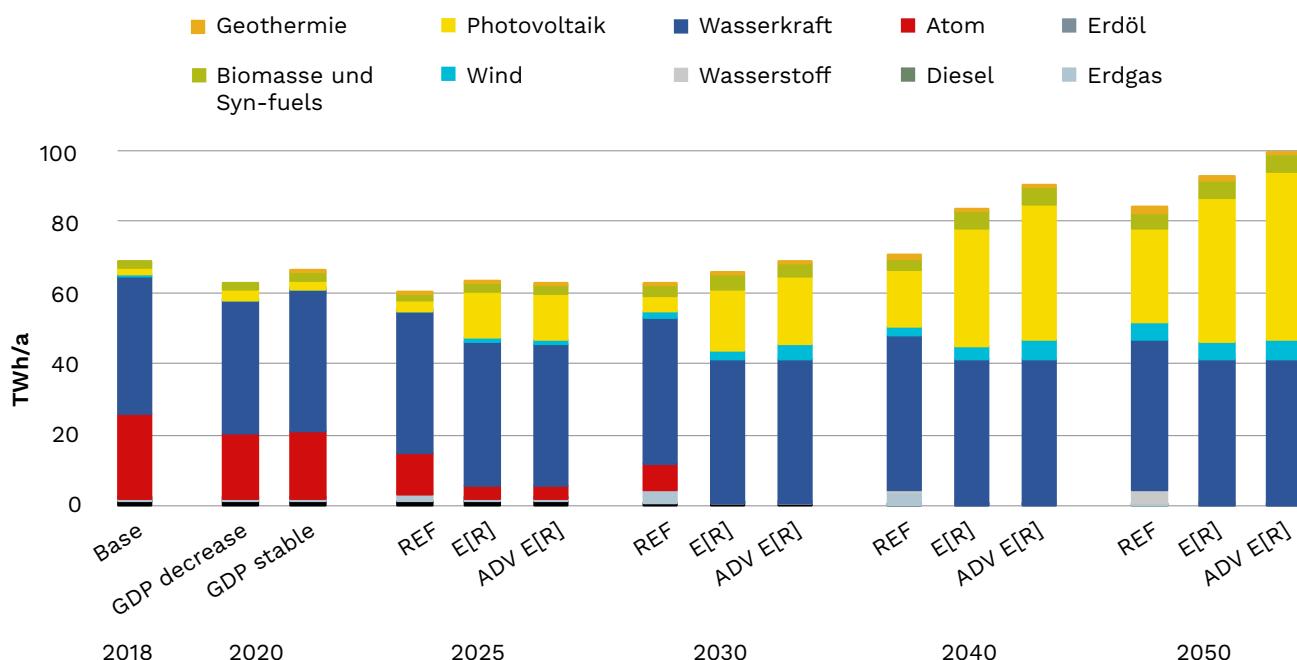


Die Entwicklung der Stromproduktion ist gekennzeichnet durch einen dynamisch wachsenden Markt für Effizienz-Dienstleistungen und für erneuerbare Energien, insbesondere für Solarenergie. Für die Greenpeace-Gesamtenergieszenarien wurde mit einer 45-Jahre-Laufzeit der Atomkraftwerke (AKW) gerechnet, d.h. das letzte Atomkraftwerk der Schweiz wird für die Modellierung im Jahr 2029 vom Netz genommen.⁸

Der Anteil der Stromerzeugung aus neuen erneuerbaren Energien wird in beiden E[R]-Szenarien bis 2025 (!) deutlich ansteigen und im Jahr 2030 schon 100% betragen. Die installierte Kapazität der neuen erneuerbaren Energien wird 2030 etwas über 31 GW und 2050 über 50 GW erreichen. Wasserkraft und Photovoltaik werden zu den wichtigsten erneuerbaren Stromquellen in der Schweiz. Die durch den Solarausbau anfallenden Sommerüberschüsse tragen ganz entscheidend dazu bei, dass die Dekarbonisierung gelingen kann.

⁸ Annahme: Beznau 1+2 laufen schon 2022 nicht mehr, Gösgen wird Ende 2024, Leibstadt Ende 2029 abgestellt.

Abbildung 7: Entwicklung der Stromproduktion für die verschiedenen Technologien.



Beide Energy-[R]evolution-Szenarien führen zu einem hohen Anteil variabler Stromerzeugungsquellen. Daher müssen intelligente Netze, nachfrageseitiges Management, Energiespeicherkapazitäten und andere Optionen ausgebaut werden, um die Flexibilität des Stromsystems für Netzintegration, Lastausgleich und eine sichere Stromversorgung zu erhöhen.

Wegen des zusätzlichen Bedarfs an Strom steigt die Stromproduktion von gegenwärtig fast 70 TWh/a auf etwas mehr als 95 TWh im Jahr 2050 im ADV-E[R]-Szenario. Dies vor allem durch den Ausbau der Photovoltaik. **Wie es gelingen kann, die enormen Mengen an Solarstrom sicher in unser Stromsystem zu integrieren, wird daher zur Schlüsselfrage für die Energiewende.**

Stromnetze

Die detaillierten Berechnungen von Swissgrid aus dem Jahr 2015 für den Bericht zum Strategischen Netz 2025 zeigten, dass grosse Mengen an Solarstrom ohne Anpassung des Übertragungsnetzes integriert werden können. Bei einer Integration von rund 15.5 TWh/a Solarstrom treten im Übertragungsnetz an den drei Orten Grynau, Lachmatt und Mühleberg Unstimmigkeiten auf, die mit zusätzlichen Speichern mit einer Dimensionierung von 440 MW, 260 MW und 505 MW und einer Energieaufnahme von insgesamt 231 GWh/a abgedeckt werden können.⁹

Die in den Energy-[R]evolution-Szenarien vorgesehenen Solarstrommengen übersteigen

nun die von Swissgrid modellierten Mengen um mehr als das Doppelte. Um zu erfahren, wie sich das auf das Stromnetz auswirkt, liess Greenpeace Schweiz eine Modellierung der Stromnetzbelastung mitsamt stundengenauer Abbildung der Stromproduktion auf Basis von realen Wetterdaten vornehmen.

Die Analyse der Netzelastung in der Schweiz zeigt, dass bei gleichbleibenden Kapazitäten der heute bestehenden Pumpspeicherkraftwerke in allen Netzregionen zusätzliche Speicherkapazitäten vorhanden sein müssen, um die Netze nicht zu überlasten. Insgesamt gehen wir bei einem vollständigen Photovoltaik-Vollausbau im Jahr 2050 von zusätzlich benötigten 13 GW (E[R]) bis 19 GW (ADV-E[R]) Speicherkapazitäten aus, wenn das Netz auf dem Ausbaustand des Strategischen Netzes 2025 bleibt. Mit einer gut überlegten Platzierung von möglichst produktionsnahen Elektrolyseuren sowie einer netzdienlichen Integration der Batterien von Elektrofahrzeugen (damit der Strom in beide Richtungen fliessen kann) kann der Bedarf an zusätzlichen Batteriespeichern reduziert werden. Die Batteriekapazität der Elektromobilflotte übersteigt den zusätzlichen Stromspeicherbedarf bei Weitem. Ausgediente Batterien aus Elektrofahrzeugen können zudem in Zukunft günstig stationär verwendet werden.

⁹ Bericht zum Strategischen Netz 2025 aus dem Jahr 2015, S. 130. Abrufbar unter: <https://www.swissgrid.ch/dam/swissgrid/projects/strategic-grid/sg2025-technical-report-de.pdf>

Für den Aufbau der benötigten Kapazitäten bei den Photovoltaikanlagen müssen bis 2050 im E[R]-Szenario ein Drittel und im ADV-E[R]-Szenario die Hälfte aller Photovoltaikanlagen mit Speichern ausgerüstet werden. Solche Speicher müssen in der Lage sein, die gesamte Produktion einer Anlage während vier Stunden aufzunehmen und später wieder abzugeben. Der effektive zusätzliche Speicherbedarf wird wohl etwas geringer ausfallen, weil derzeit in der Schweiz ein weiterer Ausbau von Pumpspeicherwerken geplant ist, womit die Leistung von aktuell 3.6 GW auf über 5 GW erhöht werden kann.

Versorgungssicherheit

Jüngst ist die Stromversorgungssicherheit der Schweiz wieder intensiv diskutiert worden. Eine Strommangellage hätte tatsächlich enorme Folgen für Wirtschaft und Gesellschaft. Um darzulegen, wie die Stromversorgung im ADV-E[R]-Szenario gewährleistet ist, liess Greenpeace Schweiz mit dem Stromsimulationsmodell der Zürcher Firma Supercomputing Systems SCS eine genaue Analyse des im ADV-E[R]-Szenario vorgeschlagenen Umbaus vornehmen.

LStromverbrauch und Stromproduktion wurden viertelstundengenau für 365 Tage im Jahr für die Jahre 2025, 2030, 2040 und 2050 berechnet, um kritische Situationen eruieren zu können.

Das SCS-Modell verwendet der Realität entsprechende Daten für den Stromverbrauch als Grundlage für die Verbrauchssimulation. Die Verbrauchsentwicklung wird vereinfacht durch Skalierung abgebildet. Für die Bestimmung der effektiven Produktion von Solar- und Windenergie werden synthetische Wetterdaten von Meteonorm verwendet. Synthetische Daten bilden einen Durchschnitt der Wetterphänomene von mehreren Jahren ab. Um Aussagen über Sensitivitäten von verschiedenen Wetterphasen machen zu können, wird im Modell auch ein Worst-Case-Szenario mit lang anhaltenden Schlechtwetterphasen berechnet.

Für die anderen Produktionsanlagen werden Produktionsdurchschnitte mehrerer Jahre verwendet und Annahmen zu deren Ausbau getroffen. Die folgende Tabelle zeigt die Annahmen für die modellierten Jahre. Die Prioritäten bei der Speichernutzung werden so gesetzt, dass im Winter die maximale Leistung der grossen Wasserspeicher zur Verfügung steht. Wenn die Stromnachfrage gross ist, die Produktionsanlagen diese Nachfrage aber nicht decken können, werden zuerst Batterien und dann Pumpspeicherwerke angezapft. Erst wenn diese beiden leer sind oder nicht genügend Leistung haben, wird auf Speicherkraftwerke (Dam Storage) ausgewichen.

Tabelle 1: Inputgrössen für die Modellierung der Versorgungssituation in den Jahren 2025, 2030, 2040 und 2050 gemäss ADV-E[R]-Szenario.

		2020	2025	2030	2040	2050
Wind	GW	0.09	0.63	1.89	2.33	2.41
Photovoltaik	GW	2.50	11.83	17.78	36.26	44.25
Biomasse	GW	0.37	0.47	0.73	0.91	1.01
Thermische Kraftwerke	GW	0.46	0.45	0.20	0.05	0.02
Geothermal		0.00	0.00	0.01	0.01	0.02
Fossil+Waste		0.46	0.45	0.19	0.04	0.00
Nuklear	GW	3.34	1.22	0.00	0.00	0.00
Wasser TOTAL	TWh	36.74	37.00	37.00	37.00	37.00
Flusskraftwerke Leistung	GW	4.13	4.13	4.13	4.13	4.13
Flusskraftwerke Produktion	TWh	17.89	18.00	18.00	18.00	18.00
Pumpspeicherwerk Laden/Entladen Leistung	GW	3.60	3.60	4.20	5.20	5.20
Pumpspeicher Produktion	TWh	1.58	1.60	1.60	1.60	1.60
Speicherseen Leistung	GW	8.10	8.10	8.10	8.10	8.10
Speicherseen max. Inhalt	TWh	8.70	8.70	8.70	8.70	8.70
Speicherseen Produktion	TWh	17.27	17.40	17.40	17.40	17.40
Batterie Laden/Entladen Leistung	GW	0.02	3.20	6.50	13.00	19.50
Batterie gespeicherte Energie	TWh	0.00	0.01	0.03	0.05	0.08
Endverbrauch	TWh	59.00	59.00	54.50	63.80	63.20
Verteilungsverluste	TWh	4.60	4.60	4.20	5.00	4.90
Eigener Verbrauch (z.B. Pumpen)	TWh	6.80	7.80	8.40	9.60	11.10
Strom für H ₂ -Produktion	TWh	0.00	0.00	1.40	4.00	5.20
Strom für synthetische Treibstoffe	TWh	0.00	0.00	1.70	7.70	10.90
TOTAL Verbrauch	TWh	70.40	71.40	70.20	90.10	95.30

Ergebnisse

Abbildung 8: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2025 für das ADV-E[R]-Szenario. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)

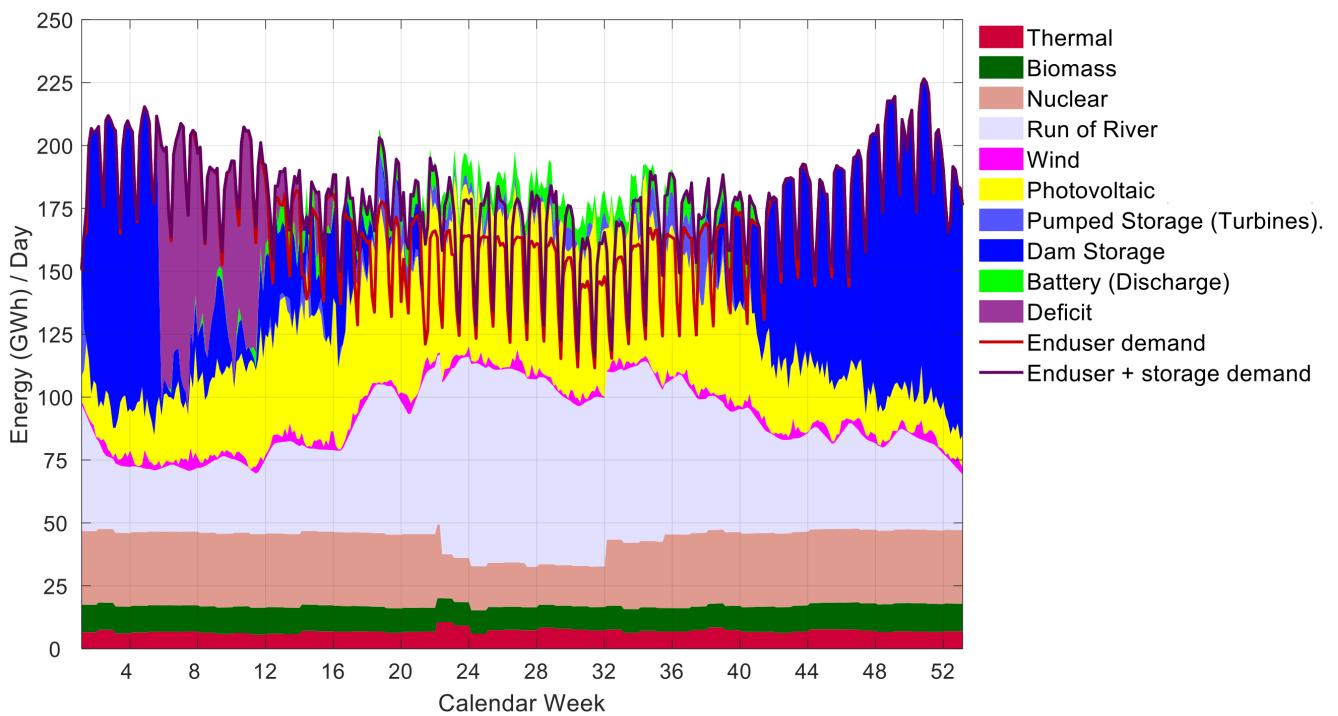


Abbildung 9: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2030 für das ADV-E[R]-Szenario. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)

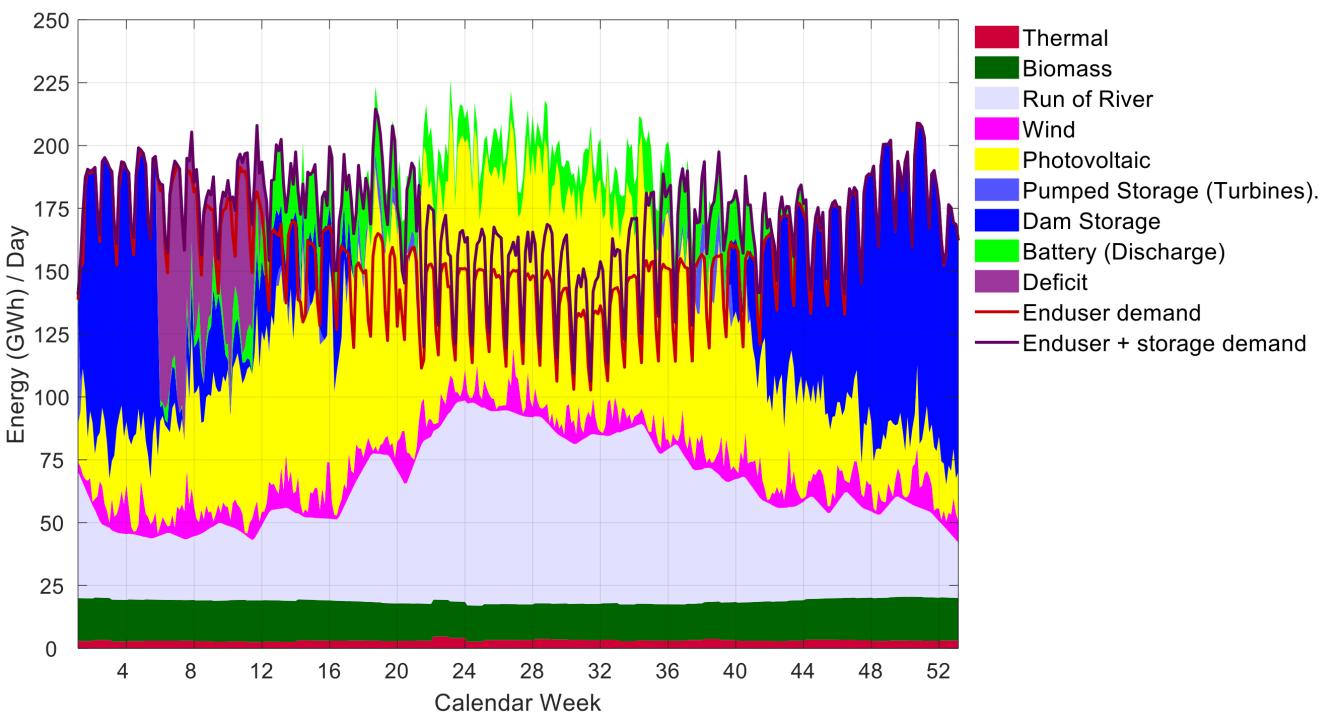


Abbildung 10: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2040 für das ADV-E[R]-Szenario. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)

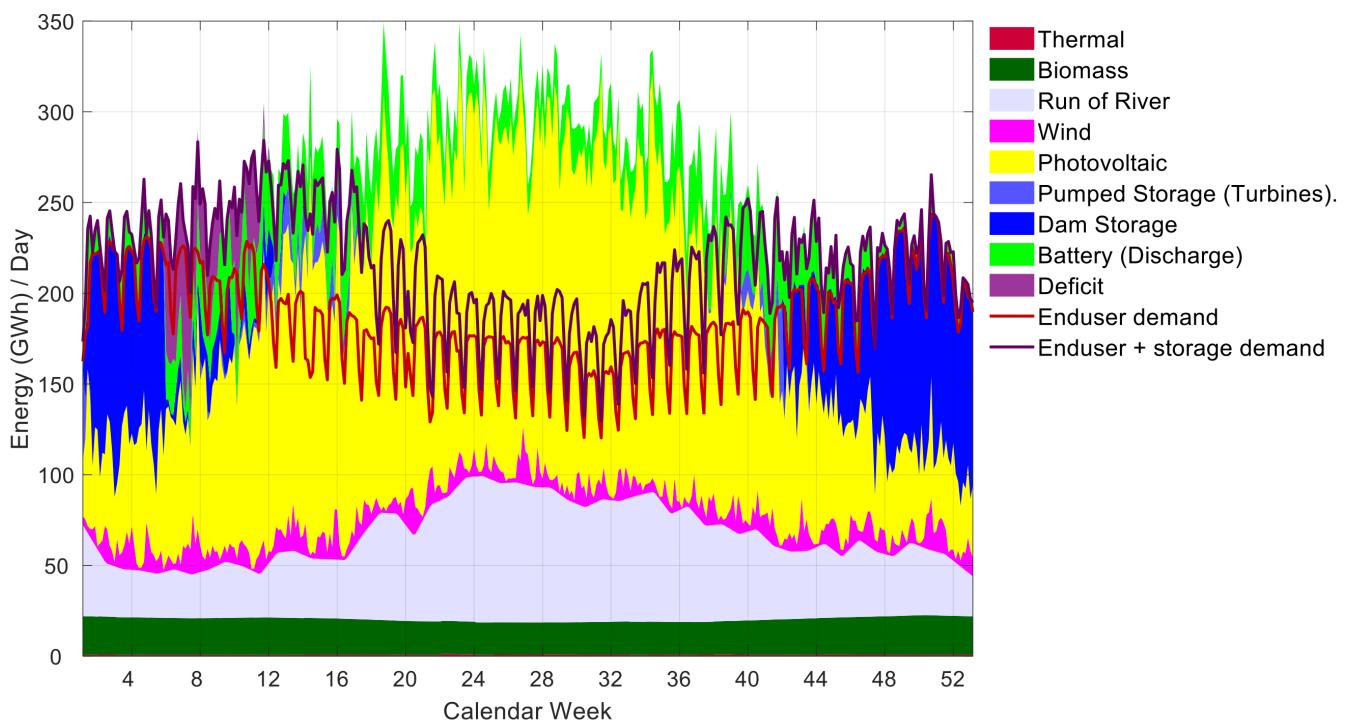
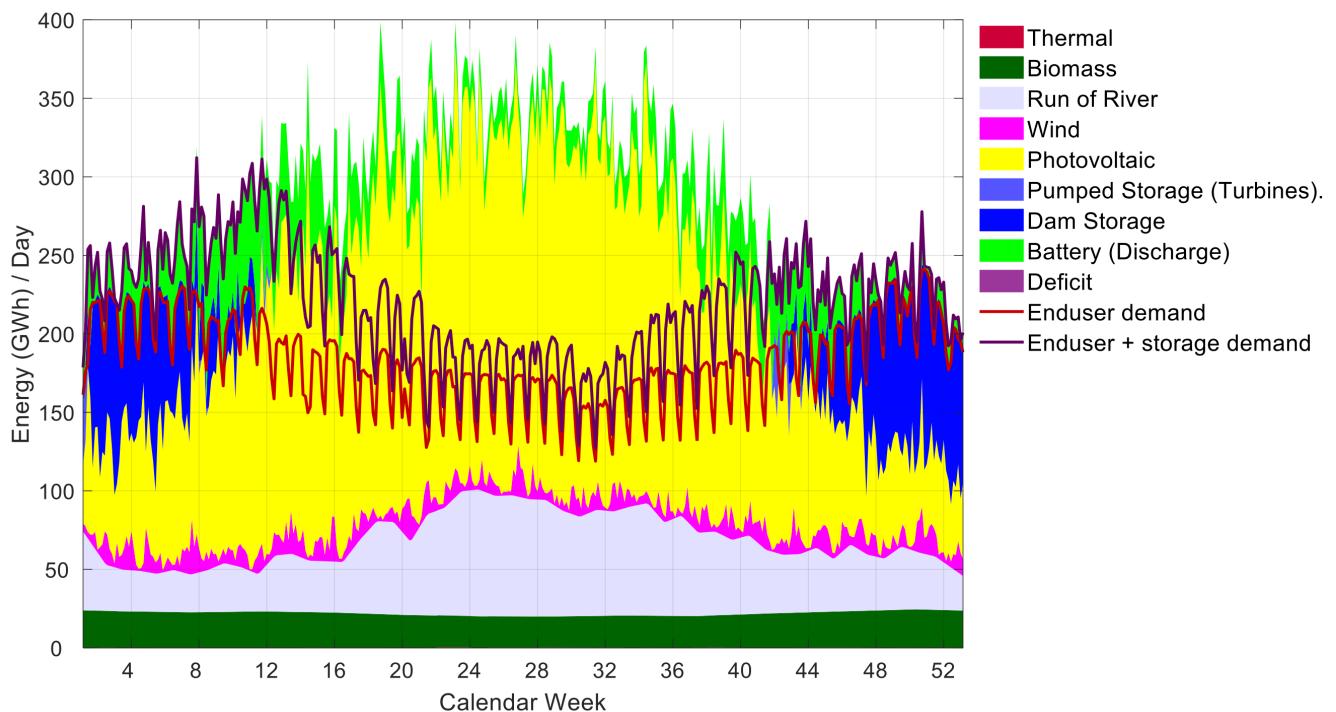


Abbildung 11: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2050 für das ADV-ER-Szenario. Es besteht zu keiner Zeit im Jahr ein Versorgungsdefizit.
(Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)



Die Situation der Stromversorgung im Jahr 2025 zeigt, dass in der Schweiz bei einer AKW-Laufzeit von 45 Jahren (Abschaltung von Gösgen im Jahr 2024) und einem Turbo-Solarzubau auf über 11 GW (das ist die Menge, die ohne grössere Anpassungen am Stromnetz integriert werden kann¹⁰) ohne Stromimporte ab Februar bis im Mai Versorgungsdefizite auftreten können. Die Defizite belaufen sich auf rund 3.3 TWh/a. Wie heute schon müssten diese Defizite durch die üblichen Winterstromimporte ausgeglichen werden.¹¹

In einem Worst-Case-Wetterszenario würden sich die Versorgungsdefizite im Jahr 2025 auf 4.9 TWh/a steigern. Auch das ist, wenn Importe im heutigen Ausmass weiterhin möglich sind, ohne Probleme überbrückbar.

Im unwahrscheinlichen Fall, dass die EU ab 2025 keine oder zu geringe Stromimporte in die Schweiz zulässt, müssten verbleibende Defizite durch Einsparungen kompensiert oder durch eine zusätzliche CO₂-freie inländische Produktion abgedeckt werden. Wir erachten es als unwahrscheinlich, dass es einen abrupten Stopp der Importe geben wird – trotz des gescheiterten Rahmenabkommens mit der EU. Weil erstens eine Strommangellage in der Schweiz aufgrund der engmaschigen Vernetzungen mit den Nachbarregionen auch verheerende Folgen für die angrenzenden Länder hätte. Und zweitens treten durch den Ausbau der Windenergie in EU Ländern schon heute Winter-Überschüsse auf, die abgenommen werden müssen (der Ausbau der Netzinfrastruktur für die Durchleitung grosser Mengen von Norden in Schweiz ist im Gange).

Die Situation der Stromversorgung im Jahr 2030 präsentiert sich wie folgt: Bei einer AKW-Laufzeit von 45 Jahren mit Abschaltung von Leibstadt im Jahr 2029 und einem Solarausbau gemäss ADV-E[R]-Szenario auf 17.8 GW Leistung, resultiert im Zeitraum von Februar bis April ein Defizit von 2.5 TWh/a. In den Sommermonaten hingegen werden Überschüsse verzeichnet, die für die Produktion von Wasserstoff und Synfuels verwendet werden können. Gegebenenfalls kann davon ein Teil für die Stromproduktion im Winter verwendet werden.

In einem Worst-Case-Wetterszenario würden sich die Versorgungsdefizite im Jahr 2030 auf 4.4 TWh/a steigern. Eine solche Situation liesse sich mit Stromimporten gut meistern.

Die Stromversorgung für 2040 und 2050 weist in beiden Wetter-Varianten nur noch kleine Versorgungsdefizite auf: 1.75 TWh/a im Jahr 2040 und null im Jahr 2050 im Normalwetterszenario. Im Worst-Case-Wetterszenario betragen die Defizite 4 TWh/a im Jahr 2040 sowie 2 TWh/a im Jahr 2050.

Die Solarstrom-Überschüsse im Sommer steigen mit dem Zubau der Photovoltaik über die Jahre stark an und ermöglichen so eine wachsende Produktion von erneuerbaren Brenn- und Treibstoffen. Im Jahr 2025 betragen die Sommerproduktionsüberschüsse 1.82 TWh/a, 2030 sind es 5.03 TWh/a, 2040 schon 15.76 TWh/a und im Jahr 2050 sind es 23.51 TWh/a. 2040 und 2050 werden auch im Winter Überschüsse in der Höhe von 0.35 TWh/a bzw. 0.9 TWh/a produziert. Etwa 90% dieser Überschüsse werden für die Produktion von Wasserstoff und Folgeprodukten verwendet, rund 10% werden abreguliert, um extreme Produktionsspitzen zu brechen und damit das Stromsystem zu entlasten.

Im Anhang sind die Monatsbilanzen für die Jahre 2025, 2030, 2040 und 2050 aufgeführt. Sie zeigen nochmals übersichtlich, wie die Winterdefizite der inländischen Produktion mit zunehmendem Ausbau der Photovoltaik kleiner werden, während die Sommerüberschüsse anwachsen.

Um die **Integration der grossen Solarstrommengen** besser zu verstehen, zeigen wir in den nachfolgenden Grafiken auch den Verlauf von Produktion und Verbrauch im ADV-E[R]-Szenario während vier exemplarischer Wochen im Frühling, Sommer, Herbst und Winter im Jahr 2050. Die Grafiken machen nochmals deutlich, wie Produktions- und Speicheranlagen für eine optimale Integration grosser Mengen an Solarstrom zusammenspielen müssen. Die Prioritäten bei der Speichernutzung werden so gesetzt, dass im Winter die maximale Leistung der grossen Wasserspeicher zur Verfügung steht. Die Wasserspeicher werden während des Rests des Jahres nur dann genutzt, wenn die anderen Systeme nicht ausreichen.

¹⁰ Faktenblatt Versorgungssicherheit UWA: https://umweltallianz.ch/wp-content/uploads/2019/10/Faktenblatt_Versorgungssicherheit.pdf

¹¹ In den letzten fünf Jahren (2015-2020) hat die Schweiz gemäss der Schweizerischen Elektrizitätsstatistik des Bundesamts für Energie im Durchschnitt jährlich netto rund 5 TWh im Winter importiert.

Abbildung 12: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Frühlingswoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)

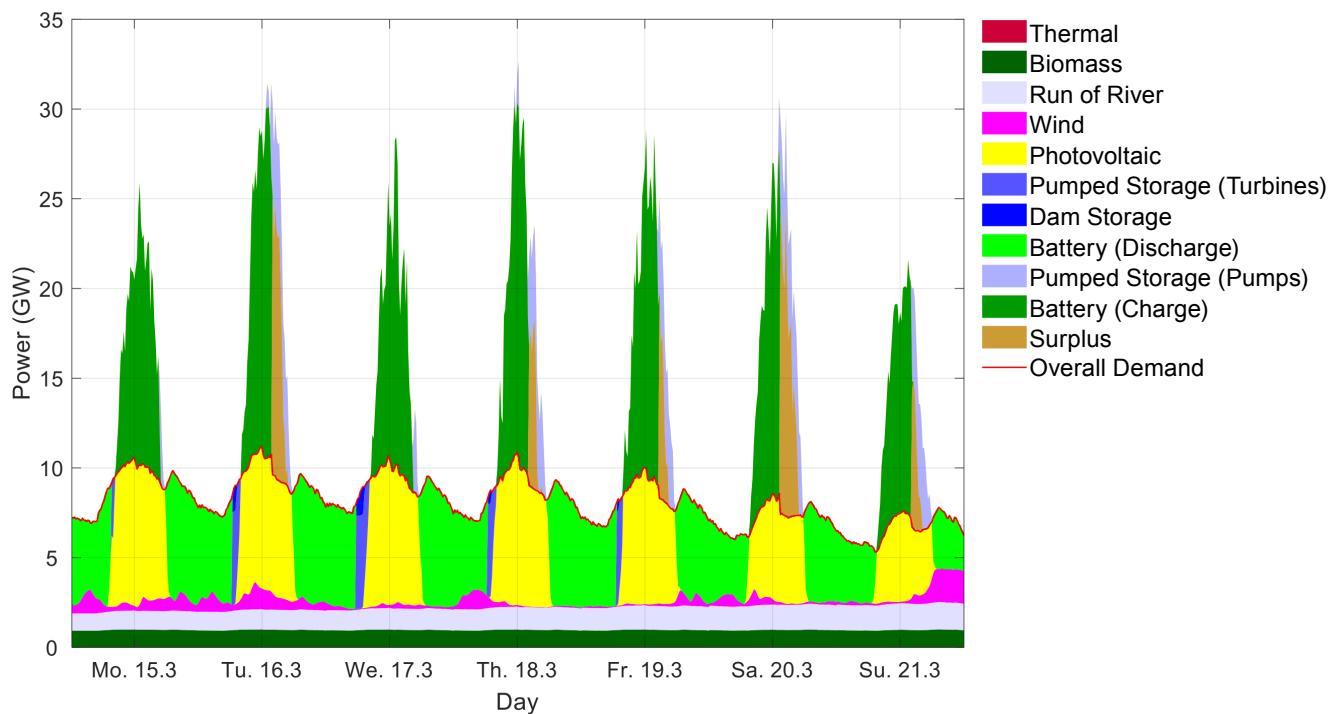
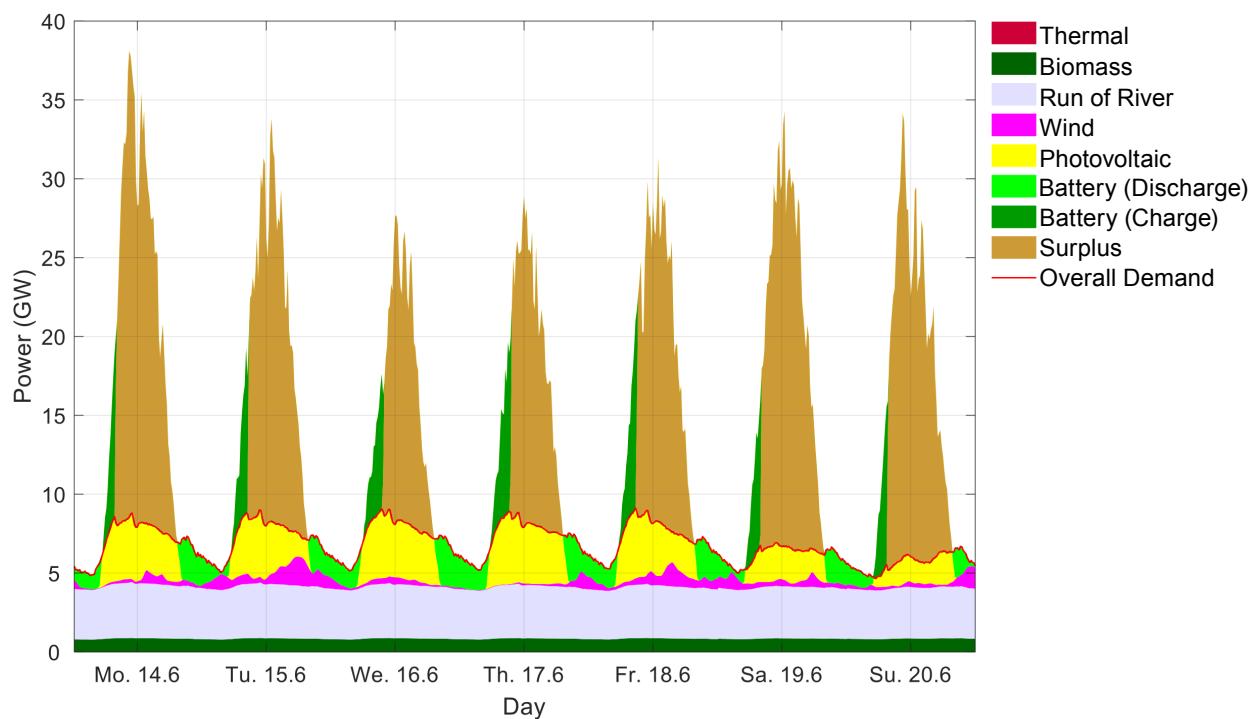


Abbildung 13: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Sommerwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)



Ergebnisse

Abbildung 14: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Herbstwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)

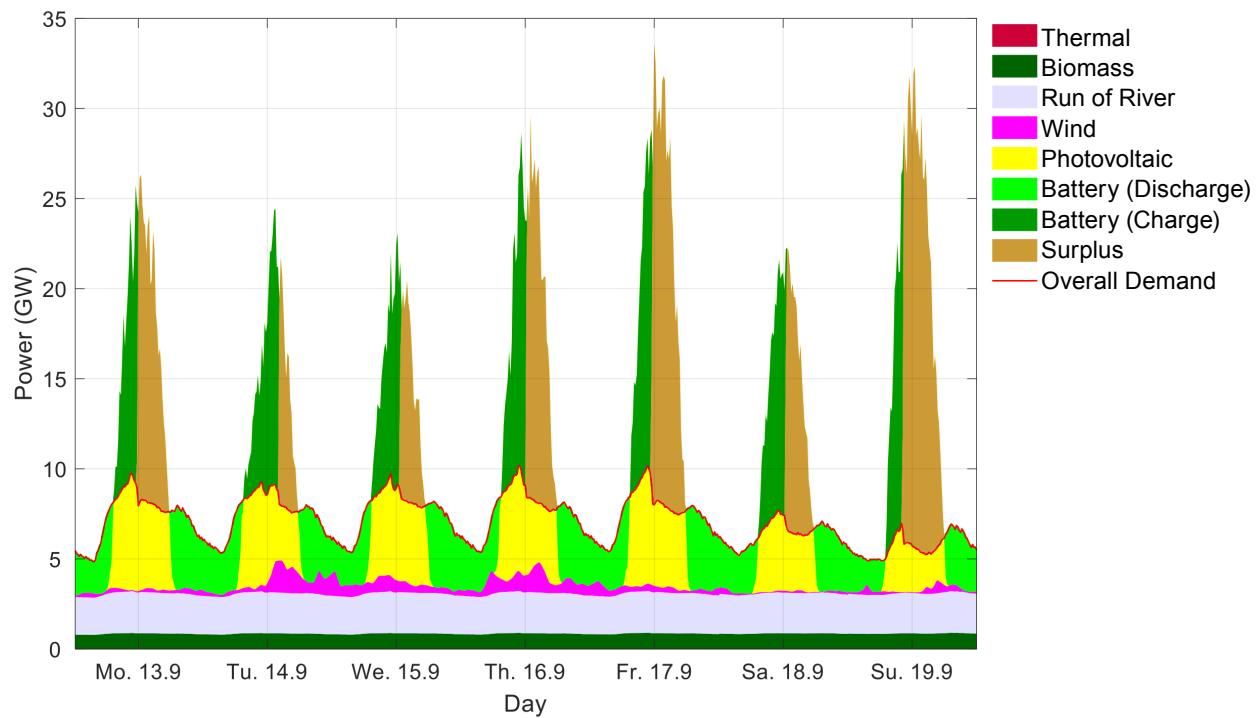
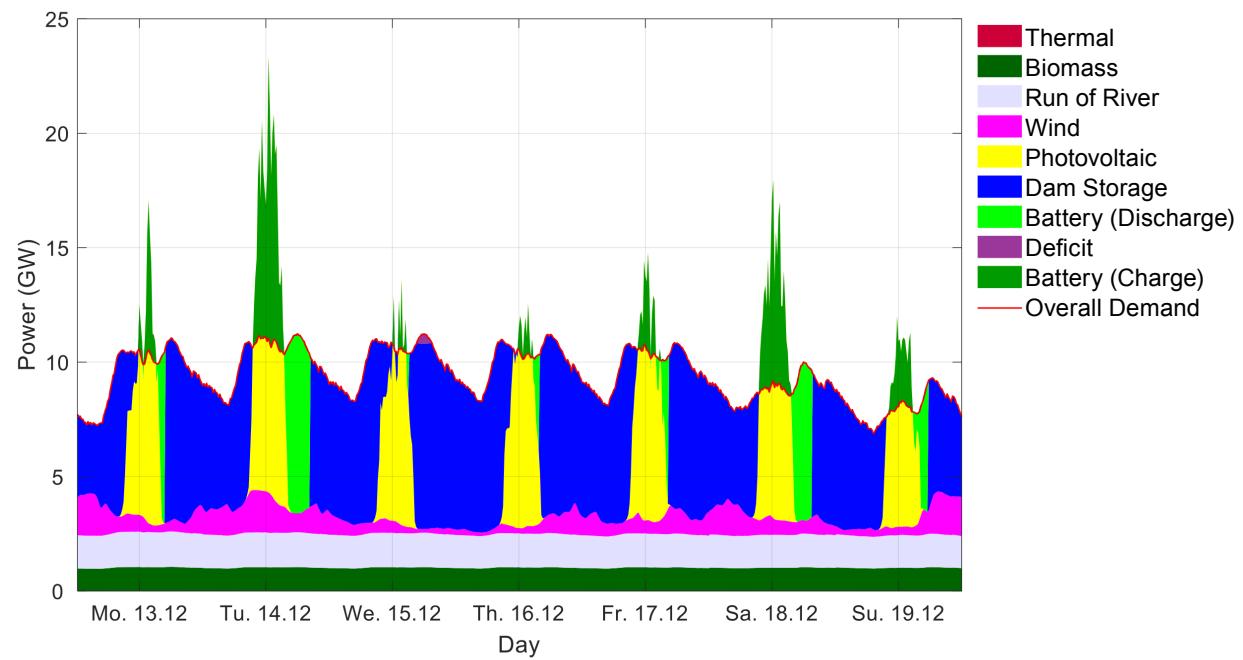


Abbildung 15: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Winterwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)



Massnahmen für den Umbau des Elektrizitätssektors mit Gewährleistung der Versorgungssicherheit

- Anpassung der Richtwerte für den Ausbau der erneuerbaren Energien (ausser Wasserkraft) auf 38 TWh/a bis 2035 im Schweizer Energiegesetz (EnG) und Einführung eines Impulsprogramms für einen beschleunigten Ausbau der Solarenergie mitsamt Organisation von Umschulungen, um einen Fachkräftemangel zu verhindern.
- Höhere Anforderungen an die effiziente Energienutzung mit Fokus auf die Wintereffizienz und mit dem Ziel, die heute brachliegenden Effizienzpotenziale von etwa einem Drittel des Stromverbrauchs zu nutzen: Auf ineffiziente Anwendungen wie elektrische Direktheizungen sowie auf unnötige Anwendungen und Betriebe ohne Nutzen wie nächtelange Schaufensterbeleuchtungen und Standby-Verbräuche sind zu verzichten. Ältere ineffiziente Geräte, Elektromotoren und Beleuchtungsanlagen, die weiterhin benötigt werden, sind zu ersetzen.
- Gezielte Förderung¹² von PV-Anlagen mit Fokus auf Winterertrag (Anlagen auf Dächern und Infrastrukturbauten in den Alpen und an geeigneten Fassaden) und Verteilung der Produktionsspitzen auf den ganzen Tag (Ost-West-Ausrichtung).
- Gezielte Förderung von PV-Anlagen auf landwirtschaftlichen sowie Verkehrsinfrastrukturen inkl. Überdachung von Parkplätzen.
- Gezielte Förderung von PV-Anlagen auf geeigneten Freiflächen möglichst an schon durch Infrastrukturen belasteten Gebieten ohne zusätzliche Beeinträchtigung der Fruchfolgeflächen, der Biodiversität und der Landschaft.
- Ausrüstung aller Anlagen mit technischen Voraussetzungen für die Netzentlastung. Ganz zentral ist die Möglichkeit, Produktionsspitzen bei einer drohenden Netzüberlastung zu regulieren (Peak-Shaving). Wenn 25% der maximalen Leistung abgeregelt wird, kann das Netz stark entlastet werden. Gleichzeitig gehen dadurch lediglich 2-3% der Jahresproduktion verloren.
- Förderung des Ausbaus der zusätzlich notwendigen Speichertechnologien. Aufhebung der Netzgebühren für netzdienlich eingesetzte Speicher.
- Anpassung der Stromtarife für eine bessere Abbildung des neuen Stromsystems. Diese sind variabler auf die tatsächlich auftretenden Produktionsmuster anzupassen. Zudem sind die Speicherseen in den Dienst der Versorgungssicherheit zu stellen. Die Reservierung des Wasserinhaltes für die kritischen Monate muss entsprechend vergütet werden. Ebenso sind tarifliche Anreize für ein verstärktes Lastmanagement bei Verbraucher:innen zu setzen, um kurzfristige Schwankungen ausgleichen zu können.
- Aufbau eines Netzes von Anlagen, die aus Strom Kraftstoff herstellen können – und gegebenenfalls auch aus Kraftstoff wiederum Strom, um als Backup bei allfälligen Versorgungsgängen eingesetzt werden zu können. Der mit Elektrolyseuren oder Brennstoffzellen hergestellte Wasserstoff (oder Methan/Methanol als Folgeprodukte) kann im Hochtemperaturbereich sowie im Schwer- und Flugverkehr als Ersatz für fossile Energieträger dienen. Wenn nötig, kann synthetisches Methan auch für die Rückverstromung im Winter gespeichert werden.
- 45 Jahre Laufzeit für die Atomkraftwerke: Reduktion der zunehmenden Risiken des Langzeitbetriebs und Schaffung von Investitions sicherheit.

¹² Bei der PV-Förderung sind verschiedene Ansätze denkbar: Die gegenwärtigen Rückliefertarife für die Einspeisung von Solarstrom ins Stromnetz hemmen derzeit einen schnellen PV-Ausbau enorm. Wenn der ohne zusätzlichen Netzausbau einspeisbare Solarstrom zum jeweiligen ortsbüchlichen Tarif für den Bezug von Strom vergütet würde, wäre die Finanzierung für einen ersten Ausbauschub gesichert. Dafür würde es reichen, das sogenannte Net-Metering (=Rückwärtslaufen des Stromzählers) zuzulassen. Für grössere Anlagen kann mit Ausschreibungen gearbeitet werden. Elektrizitätswerke und Netzbetreiber müssen Mehrkosten auf ihre Kund:innen überwälzen dürfen – für Härtefälle sind Entlastungsmöglichkeiten vorzusehen.

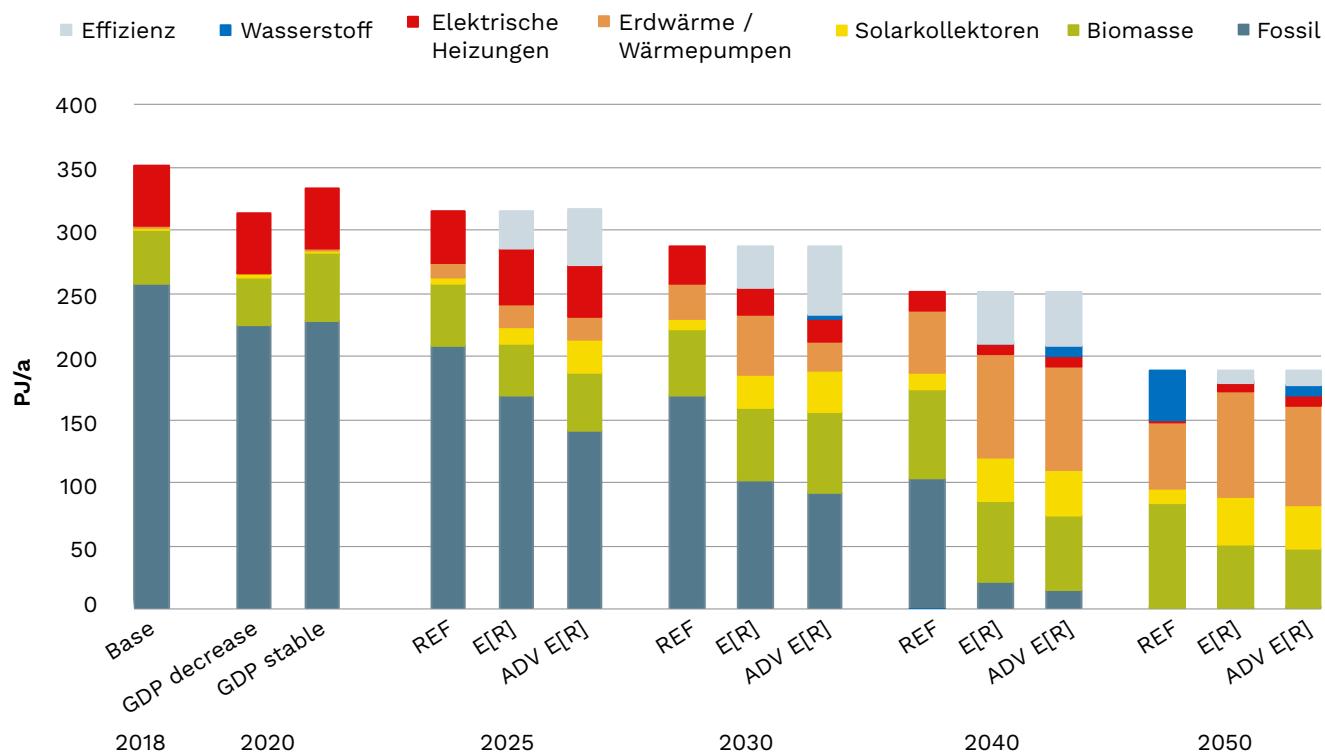
Klimaschutz in der Wärmeproduktion

Erneuerbare Energien decken heute rund 22% des Wärmeenergiebedarfs der Schweiz, wobei der Hauptbeitrag aus Biomasse stammt. Im E[R]-Szenario werden erneuerbare Energien im Jahr 2030 bereits 60% und im Jahr 2050 100% des gesamten Wärmebedarfs der Schweiz decken.

Energieeffizienzmassnahmen werden dazu beitragen, den Energiebedarf für Wärme trotz des angenommenen Wirtschaftswachstums bis im

Jahr 2050 um weitere 7% zu reduzieren (im Vergleich zum REF-Szenario). Im Industriesektor werden Solarkollektoren, Geothermie (einschliesslich Wärmepumpen) sowie Strom und Wasserstoff (oder Folgeprodukte) aus erneuerbaren Quellen die mit fossilen Brennstoffen betriebenen Systeme ersetzen. Eine Verlagerung von Erdgas hin zu Bioenergie, Wasserstoff sowie synthetischem Methan für verbleibende Verbrennungsprozesse wird zu einer weiteren Reduktion der CO₂-Emissionen führen.

Abbildung 16: Entwicklung der Wärmeproduktion für die verschiedenen Produktionstechnologien.



Biomasse wird weiterhin einen wichtigen Beitrag leisten, jedoch nicht weiter ausgebaut, um Schäden an den Waldökosystemen zu vermeiden. Nach 2030 werden ein massiver Zuwachs an Solarkollektoren, ein wachsender Anteil an Geothermie und Umweltwärme sowie Wärme aus erneuerbarem Wasserstoff (oder Folgeprodukten) die Abhängigkeit von fossilen Brenn-

stoffen reduzieren. Das ADV-E[R]-Szenario führt zu einer vollständigen Substitution des verbleibenden Gasverbrauchs durch Wasserstoff und synthetischem Methan, die aus erneuerbarem Strom erzeugt werden. Außerdem werden Ölheizungen, die in der Schweiz sehr verbreitet sind, im ADV-E[R]-Szenario bis 2030 durch erneuerbare Heizsysteme ersetzt.

Massnahmen für den Umbau der Wärmeproduktion

- Förderung energetischer Sanierungen von Gebäuden hin zu Null-Emissions-Gebäuden. Aufgrund der langen Ersatzzyklen muss ab sofort jede Gesamtsanierung die Null-Emissions-Anforderung erfüllen. Für gemietete Gebäude und Hüllensanierungen müssen zusätzliche Sanierungsanreize geschaffen werden. Um das geforderte Finanzierungsvolumen zu stemmen, sind neue Finanzierungsmodelle einzuführen mit staatlich abgesicherten Krediten, wenn eine klassische Hypotheken-Aufstockung nicht in Frage kommt.
- Neubauten müssen ab sofort mindestens den Null-Emissions-Standard erfüllen. Geeignete Flächen auf Dächern und Fassaden müssen für die Wärme- und Stromproduktion genutzt werden (Plusenergiebauten). Auch bei der Wahl der Baumaterialien ist die Klimawirkung zu minimieren.
- Sofortiges Verbot der Installation von neuen Ölheizungen in Neubauten und bestehenden Gebäuden.
- Programm für den schnellen Ersatz bestehender Ölheizungen. Um 2030 den gesamten

Bestand an Ölheizungen ersetzt zu haben, müssen Restwertentschädigungen für den vorzeitigen Ersatz vorgesehen werden.

- Programm für einen schnellen Ersatz elektrischer Direktheizungen durch die heute verfügbaren deutlich effizienteren Systeme.
- Programm für den Ersatz bestehender Gasheizungen.
- Programm für eine verstärkte Nutzung von Sonnenkollektoren mit einheitlichen Förderbeiträgen in allen Kantonen inkl. Förderung von Solarthermie als Ergänzung zu Holzwärmeverbünden sowie als Regeneration von Erdsonden. Die direkte Nutzung der Sonnenenergie mittels Kollektoren ist die umweltfreundlichste Wärmequelle.
- Anreize zur Reduktion von Emissionen aus Hochtemperaturprozessen durch alternative Verfahren oder Brennstoffe.
- Investitionen in Anlagen zur Herstellung von Wasserstoff (und den Folgeprodukten Methan/Methanol) aus erneuerbaren Quellen.

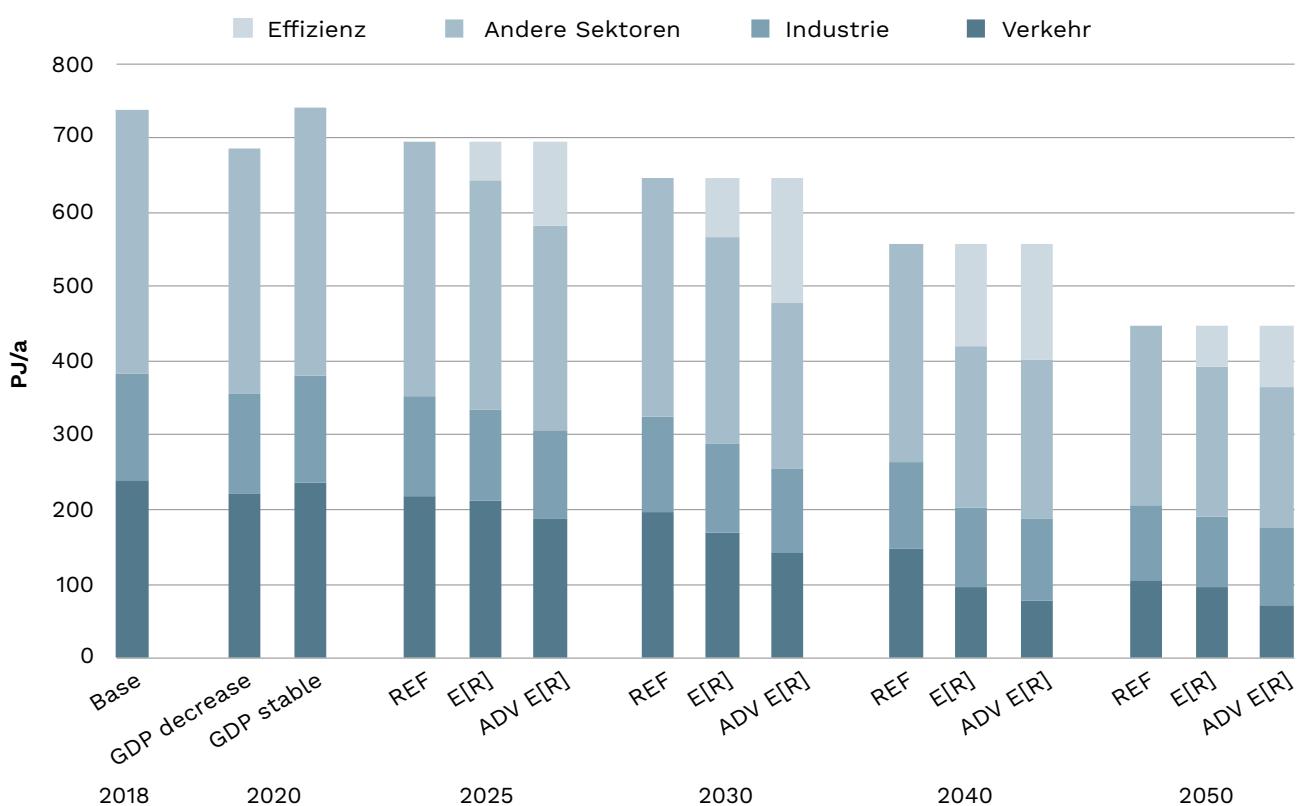


Entwicklung von End- und Primärenergiebedarf

Der **Endenergiebedarf** sinkt in allen Greenpeace-Szenarien trotz des angenommenen Wirtschafts- und Bevölkerungswachstums. Im REF-Szenario um 40%, von derzeit über 700 PJ/a auf 450 PJ/a im Jahr 2050. Unter dem E[R]-Szenario wird der Endenergiebedarf um 47 % im Vergleich zum aktuellen Verbrauch sinken und bis 2050 voraussichtlich 394 PJ/a erreichen. Das ADV-E[R]-Szenario führt aufgrund des höheren Anteils von Elektroautos und des schnelleren Ersatzes fossiler Heizungen zu einer weiteren Reduzierung.

Die Stromnachfrage wird in allen Szenarien wachsen, trotz ambitionierter Massnahmen zur Steigerung der Effizienz. Dies, weil Strom zur Schlüsselenergie im Wärme- und Verkehrs bereich wird. Da erneuerbarer Strom auch verstärkt zur Herstellung von Wasserstoff und synthetischen Brenn- und Treibstoffen eingesetzt wird, steigt der Bedarf im ADV-E[R]-Szenario stärker an.

Abbildung 17: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Sektoren (ohne nicht-energetische Nutzungen; Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario).



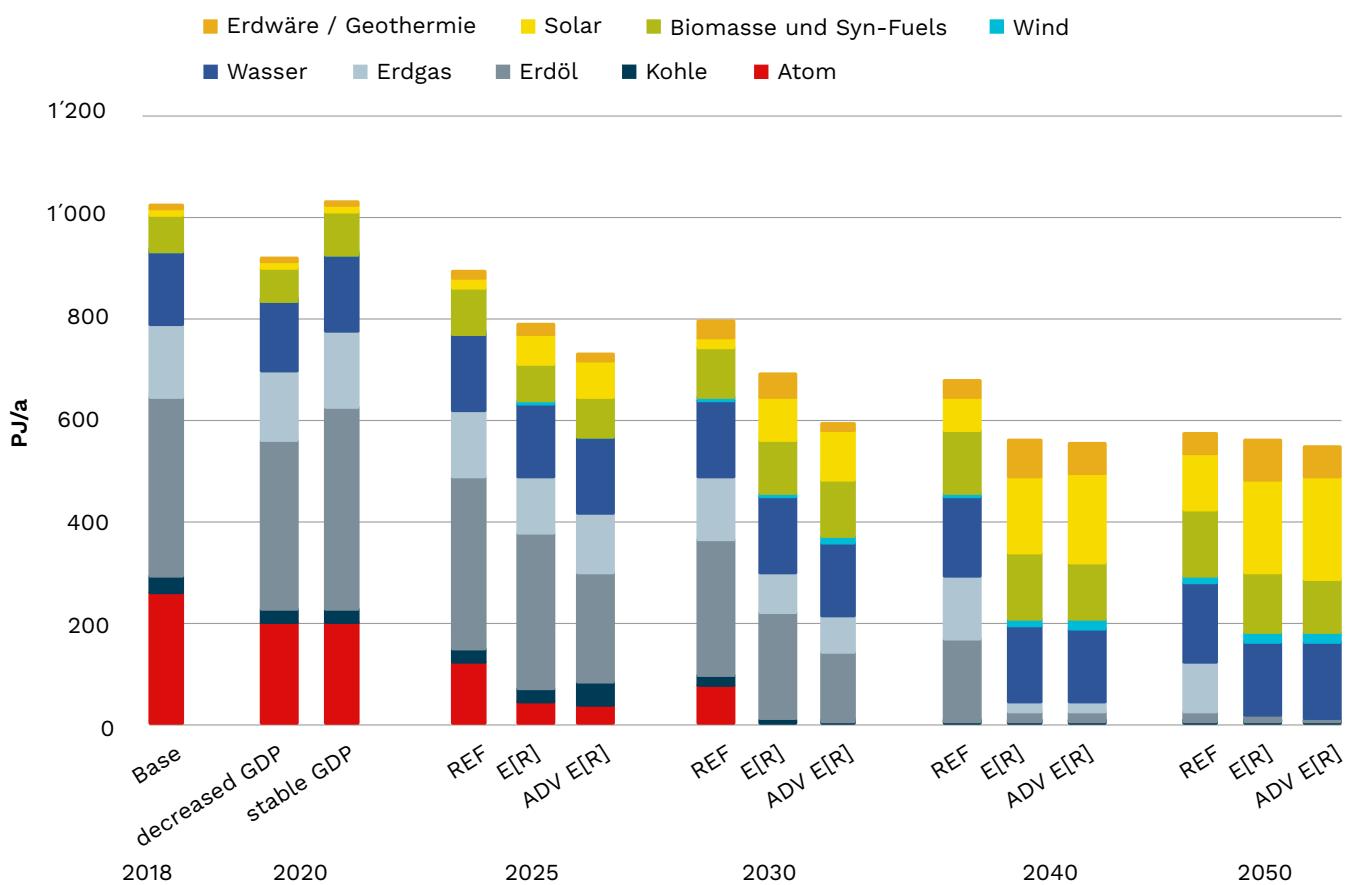
Die Effizienzgewinne werden im Wärmesektor noch grösser sein als im Stromsektor. In den E[R]-Szenarien wird bis 2050 im Vergleich zum REF-Szenario ein Verbrauch in Höhe von etwa 10 PJ/a durch Effizienzgewinne vermieden. Bei gleichem Komfort und gleichen Energiedienstleistungen wird durch die energetische Sanierung des Wohngebäudebestands, die Einführung von Niedrigenergiestandards und die «passive Klimatisierung» von Neubauten sowie dank hocheffizienter Klimaanlagen ein deutlich geringerer Energiebedarf entstehen.

Beim **Primärenergiebedarf** sieht die Entwicklung ähnlich aus wie beim Endenergiebedarf. Unter dem REF-Szenario sinkt der Primärenergiebedarf um 44% von heute 1010 PJ/a auf 571 PJ/a. Im E[R]-Szenario sinkt der Gesamtprimärenergiebedarf im Jahr 2050 um weitere 12 PJ/a und im ADV-E[R]-Szenario um 26 PJ/a.

Die E[R]-Szenarien zielen auf einen möglichst schnellen Ausstieg aus fossilen Energieträgern durch den Ausbau der erneuerbaren Energien und durch die schnelle Einführung sehr effizienter Fahrzeugkonzepte im Verkehrssektor, um fossil betriebene Verbrennungsmotoren zu

ersetzen. Dies führt zu Gesamtanteilen erneuerbarer Primärenergie von 54% im Jahr 2030 und 100% im Jahr 2050 unter dem E[R]-Szenario und gegen 100% im Jahr 2050 unter den beiden E[R]-Szenarien.

Abbildung 18: Entwicklung des Primärenergiebedarfs nach Energieträger.



Investitionen und Arbeitsplätze

Der Umbau des gesamten Energiesystems, wie er in den beiden Energy-[R]evolution-Szenarien vorgesehen ist, verlangt zusätzliche Investitionen von rund 70 Milliarden CHF im Stromsektor und etwa 30 Milliarden CHF im Wärmesektor. Nicht eingerechnet sind hier die Kosten für zusätzliche Stromspeichersysteme und für die Wiederentfernung sowie Einlagerung von CO₂ aus der Atmosphäre. Die angegebenen Kosten umfassen alle Baukosten für neue Kraftwerke, die durchschnittlichen Standardbetriebs- und -wartungskosten für jede Technologie sowie die Brennstoffkosten. Die Annahmen zur Entwicklung der Kosten sind im Anhang dokumentiert.

Wenn der ermittelte Speicherbedarf zur Netzentlastung mit zusätzlichen Batteriespeichern realisiert würde, dann sind für den Maximalausbau auf rund 19 GW im ADV-E[R]-Szenario mit nochmals rund 4 Milliarden CHF zu rechnen. Auch der Ausbau der Infrastruktur für die Produktion von Treib- und Brennstoffen mittels erneuerbarem Strom verlangt nach zusätzlichen Investitionen. Dieser verringert den notwendigen Maximalausbau von Batteriespeicherkapazitäten ein wenig. Die netzdienliche Einbindung der Elektrofahrzeuge sowie deren ausgedienten Batterien verringern den Investitionsbedarf hingegen massgeblich. Wir schätzen, dass mit Gesamtinvestitionen von rund 5 Milliarden CHF die notwendige Infrastruktur für die Nutzung der Überschüsse im Sommer und die Netzentlastung erstellt werden kann.

Insgesamt rechnen wir also mit zusätzlich rund 105 Milliarden CHF bis 2050 für die Energiewende in der Schweiz.

Gemäss der Energieperspektiven 2050+ des Bundes besteht für die ohnehin fälligen Erneuerungen der Energieinfrastruktur in allen Bereichen bis 2050 ein Investitionsbedarf von

insgesamt 1'400 Milliarden CHF. Die Summe der zusätzlichen notwendigen Investitionen für die Dekarbonisierung der Energieversorgung schätzen die Autoren der Energieperspektiven 2050+ auf rund 109 Milliarden CHF bis 2050. Dass bei den Energy-[R]evolutions-Szenarien ein etwas geringerer Investitionsbedarf resultiert, obwohl deutlich schneller umgebaut wird, ist hauptsächlich auf unterschiedliche Annahmen bezüglich der Kostenentwicklungen bei der Photovoltaik und den Speichersystemen zurückzuführen (die Annahmen sind im Anhang und im englischen Grundlagenbericht dokumentiert).

Wenn von einer Gesamtsumme von zusätzlich rund 105 Milliarden CHF ausgegangen wird, dann entspricht das auf 30 Jahre verteilt rund 3.5 Milliarden CHF pro Jahr oder 35 Milliarden CHF pro Dekade, die für die Dekarbonisierung der Energieversorgung benötigt werden. So eingesetztes Geld schafft grossen Mehrwert für die Schweiz. Zu nennen sind:

- Schaffung von Arbeitsplätzen und Wertschöpfung in der Schweiz: Das Geld fliesst zu einem grossen Teil in Schweizer Firmen, welche den Umbau umsetzen.
- Erhöhung der Unabhängigkeit von ausländischen Energielieferanten und Preiskartellen sowie massive Verringerung des Geldabflusses durch den Einkauf von Energie im Ausland. Gemäss der Energieperspektiven 2050+ können durch die Dekarbonisierung bis 2050 Energiekosten in der Höhe von 50 Milliarden CHF eingespart werden.
- Reduktion der externen Kosten verursacht durch die Nutzung fossiler Energieträger vor allem im Gesundheitsbereich.
- Erhöhung der Wahrscheinlichkeit, dass die Klimakrise kollektiv gelöst werden kann und damit Schadenskosten in Milliardenhöhe vermieden werden können. Wenn reiche Länder bei der Dekarbonisierung mit den notwendigen Investitionen vorangehen, werden die Lösungen günstiger. Mit jedem Zehntelgrad Erderwärmung, das dadurch verhindert werden kann, können die Schadenskosten tiefer gehalten werden.

Der Umbau der Energieversorgung wird dazu führen, dass Geld, welches heute für den Import von Erdöl und Erdgas in andere Länder wie Libyen, Kasachstan, Nigeria oder Russland abfliesst, in Zukunft in der Schweiz investiert wird. In den letzten zehn Jahren hat die Schweiz durchschnittlich 8 Milliarden CHF pro Jahr für den Einkauf von fossilen Energien aus dem Ausland eingesetzt. Statt wenige Importeure und Händler werden künftig viele handwerkliche Berufsgattungen profitieren.

Aufgrund von vorhandenen Arbeitsplatzanalysen¹³ schätzen wir, dass **durch die vorgesetzten Investitionen für den Umbau der Energieversorgung bis im Jahr 2030 25'000 bis 30'000 neue Arbeitsplätze geschaffen werden.**

Wird der Multiplikatoreneffekt berücksichtigt, also der Effekt von solch neu geschaffenen Arbeitsplätzen auf andere Bereiche der Wirtschaft, dann schafft die Energiewende bis zu 60'000 neue Arbeitsplätze.

- Beim Umbau des Verkehrssektors gehen wir von etwa 6'000 direkten neuen Arbeitsplätzen bis 2030 aus, die hauptsächlich auf den Ausbau von Ladestationen, auf neue Mobilitätsangebote und die Digitalisierung sowie auf den Umbau der Infrastruktur zurückzuführen sind.
- Hauptbeschäftigungsmotor ist der Ausbau der Photovoltaik inklusive Implementierung von Speichersystemen. In diesem Bereich können 13'000 bis 14'000 neue Arbeitsplätze geschaffen werden, davon ein Grossteil in der Montage, rund 2'000 in der Planung.
- Beim Umbau der Wärmeproduktion gehen wir aufgrund höherer Sanierungsquoten und eines forcierten Ersatzes fossiler Heizungen von rund 3'700 neuen Arbeitsplätzen aus.
- Durch Massnahmen in der Industrie inklusive Abfallwirtschaft werden schätzungsweise 3'000 bis 5'000 neue Arbeitsplätze geschaffen.

Umgekehrt wird es Bereiche geben, in denen Arbeitsplätze wegfallen, wie z.B. im Heizöl- und Erdgasmarkt und wohl auch in der Flugindustrie. Mittels Umschulungen und forcierten Ausbildungsprogrammen soll gewährleistet werden, dass niemand auf der Strasse landet und der Zuwachs an Beschäftigung in den neuen Bereichen möglichst reibungslos ablaufen kann. Vorübergehend ist auch der Einbezug von Fachkräften aus angrenzenden Ländern denkbar, denn diese sind beim Ausbau der erneuerbaren Energien schon deutlich weiter als die Schweiz.

¹³ - R. Meier und W.Ott, 2020: COVID-19 - Klimakrise. Impulsprogramm 2020/2030. Für Beschäftigung und Nachhaltige Entwicklung. Studie im Auftrag von energie-wende-ja und Greenpeace Schweiz.
- J. Rohrer, 2020: Ausbau der Stromproduktion aus Photovoltaik in der Schweiz. Bedarf, Potenzial und Umsetzung. Schriftenreihe Erneuerbare Energien, Bodenökologie und Ökotechnologie, Herausgeber: ZHAW Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften

Umgang mit anderen Treibhausgasemissionen

Für die Erfüllung des Klimaabkommens von Paris sind die Treibhausgasemissionen bis 2050 weltweit auf netto null abzusenken. Die energiebedingten CO₂-Emissionen machen rund 75% der inländischen Emissionen der Schweiz aus. In diesem Kapitel folgt eine kurze Betrachtung aller **Emissionen, die mit dem vorliegenden Energieszenario nicht abgedeckt sind**. Es sind dies erstens die Emissionen anderer Treibhausgase in der Schweiz gemäss Treibhausgasinventar, zweitens die Emissionen des Flugverkehrs, drittens die durch den inländischen Konsum verursachten Emissionen insgesamt und viertens die durch wirtschaftliche Tätigkeiten der Schweiz weltweit verantworteten Emissionen.

Emissionen anderer Treibhausgase in der Schweiz

In den vorangegangenen Kapiteln zum Energiesystem und zur Einhaltung des verbleibenden Emissionsbudgets lag der Fokus auf den energiebedingten CO₂-Emissionen. Diese machten im Jahr 2019 mit 34.59 Mio. Tonnen rund 75% der gesamten Treibhausgasemissionen im Schweizer Inventar aus. Zählt man die nicht-energetischen CO₂-Emissionen aus industriellen Prozessen (2.2), Landwirtschaft (0.05) sowie Abfall und Andere (0.02) dazu, dann steigen die CO₂-Emissionen im Jahr 2019 geringfügig auf 36.86 Mio. Tonnen an, was knapp 80% der gesamten Treibhausgasemissionen von 2019 ausmacht (ohne Emissionen des Flugverkehrs und auch ohne Effekte von Landnutzungsänderungen, Waldbewirtschaftung und Holznutzung).

Die gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz von 46.22 Mio. Tonnen CO₂e setzen sich aus 35.11 Mio. Tonnen aus der Energienutzung in allen Sektoren, 4.48 Mio. Tonnen aus industriellen Prozessen, 5.86 Mio. Tonnen aus der Landwirtschaft, 0.76 Mio Tonnen aus der Abfallverwertung (ohne Kehrichtverbrennung, die der Energienutzung zugeordnet wird) und 0.01 Mio. Tonnen aus anderen Quellen zusammen. Ein Grossteil der Emissionen der Nicht-Energie-Sektoren gehen auf andere Treibhausgase als CO₂ zurück.

Da zur Eindämmung der Erderwärmung sämtliche Treibhausgasemissionen auf netto null gesenkt werden müssen, braucht es weitere Massnahmen für die Reduktion der Emissionen

in **industriellen Prozessen** (dabei vor allem der Zementherstellung), in der **Landwirtschaft** (hier entstammt der Grossteil der Emissionen aus der Tierhaltung) sowie in der **Abfallverwertung** (mit Fokus auf Deponien und Abwasserreinigung):

- Entwicklung und Nutzung von biogenen und klimapositiven Baustoffen, die Zement vollwertig ersetzen können.
- Verbot und Ersatz von technischen Gasen mit hohem Erhitzungspotenzial. Nicht substituierbare Anwendungen werden durch eine Klimaabgabe belastet, um die Suche nach Substituten zu beschleunigen und verbleibende Emissionen durch die Entfernung aus der Atmosphäre auszugleichen.
- Massnahmen für ein klimapositives Ernährungssystem mit reduziertem und auf einheimische Grasflächen beschränktem Tierbestand (ohne Futtermittelimporte)¹⁴, Praktiken

¹⁴ Wenn einheimische Äcker wieder für die direkte Nahrungsproduktion statt für die Tierfutterproduktion verwendet werden, könnte der Selbstversorgungsgrad der Schweizer Landwirtschaft substanzial gesteigert werden und es würden wegen der Produktivitätsgewinne Flächen frei für die Bindung von Treibhausgasemissionen (z.B. durch die Wiedervernässung von Mooren oder die Wiederbewaldung von ehemaligen Waldflächen). Damit diese Massnahmen tatsächlich dazu führen, dass die Treibhausgasemissionen der Landwirtschaft sinken, muss gleichzeitig das Ernährungssystem auf eine mehrheitlich pflanzliche Kost umgestellt werden.

für den Bodenaufbau und die erhöhte Kohlenstoffbindung im Boden. Inklusive Aushandlung von strikten Klimabedingungen in internationalen Handelsverträgen zum Schutze der hiesigen Bauernhöfe.

- Nutzung der Gärgase aus der Abwasserreinigung und den Deponien in Biogasanlagen.

Emissionen des Flugverkehrs

Die Emissionen des internationalen **Flugverkehrs** sind im Schweizer Treibhausgasinventar auch aufgeführt, werden aber dem Total von 46.22 Mio. Tonnen CO₂e nicht angerechnet (Kyoto-Systemgrenze). 2019 beliefen sich die Emissionen des in der Schweiz betankten Flugverkehrs¹⁵ auf 5.74 Mio. Tonnen CO₂e (5.69 Mio. Tonnen CO₂).

Die negative Klimawirkung des Flugverkehrs ist aber deutlich grösser als aufgrund des CO₂-Ausstosses angenommen werden könnte. Wegen der Verbrennung in grosser Höhe haben Wasserdampf, Stickoxide, Schwefeldioxid und Russ eine verheerende Wirkung auf unser Klima. Die Schweizerische Akademie der Naturwissenschaften schätzt die Klimawirkung des Flugverkehrs im neuesten Faktenblatt auf dreimal höher als die reinen CO₂-Emissionen.¹⁶ Wäre der Luftverkehr also ein eigener Sektor und würde die Klimawirkung des Flugverkehrs berücksichtigt, würden die CO₂-Emissionen dementsprechend verdreifacht und zu den gesamten Treibhausgasemissionen der Schweiz hinzugezählt, so würde im Jahr 2019 der Anteil des Flugverkehrs 27 Prozent an den Gesamtemissionen der Schweiz betragen.¹⁷

Beim Flugverkehr ist zu berücksichtigen, dass alternative Treibstoffe primär die Klimawirkung des CO₂ zu verhindern vermögen. Ob dies auch eine Reduktion der anderen Klimawirkungen zur Folge hat, z.B. ob die veränderte Russbildung hilft, dass weniger Zirruswolken entstehen, wird aktuell untersucht. Solange in grosser Höhe weiterhin Wasserdampf ausgestossen wird und weitere Emissionen verursacht werden, verbleibt eine erhebliche negative Klimawirkung, die neutralisiert werden muss.

- Wo immer möglich sind daher Flugverbindungen durch Zugverbindungen zu ersetzen. Bei längeren Strecken spielen Nachtzüge eine entscheidende Rolle. Wo es eine Reisemöglichkeit

per Zug gibt, sollten Flugverbindungen nur noch für Notfälle verfügbar sein.

- Aufhebung der indirekten Subventionierung des Flugverkehrs durch die Befreiung von der Mehrwert- und der Treibstoffsteuer sowie durch die Standortförderung von Flughäfen.
- Kostenwahrheit beim Fliegen: Internalisierung der externen Kosten der gesamten Umweltwirkungen des Fliegens.
- Verstärkte Aufklärung über die Klimawirkung des Fliegens.
- Ersatz fossiler Treibstoffe durch erneuerbare Treibstoffe mit begleitender Forschung zur Klimawirkung der Alternativen.
- Falls die beschriebenen Massnahmen nicht ausreichen, braucht es zusätzliche Massnahmen mit Effekt auf das Mengengerüst: Eine Ausweitung des Nachtflugverbots und eine Einführung von persönlichen CO₂-Budgets, die dem Dekarbonisierungspfad für die Einhaltung der 1.5-Grad-Erderwärmungsgrenze folgen.

¹⁵ Treibstoffabsatz an Schweizer Flughäfen ohne Euroairport Basel Mulhouse Freiburg (nicht auf dem Territorium der Schweiz).

¹⁶ Swiss academies communications Vol. 16, No. 3, 2021: Die Auswirkungen der Flugverkehrsemissionen auf das Klima. Über längere Zeiträume betrachtet, nimmt die Wirkung der Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen ab, weil diese nicht so langlebig sind wie CO₂ (Faktor 3 bis 30 Jahre, Faktor 2.3 bei 50 Jahren und Faktor 1.7 bei 100 Jahren).

¹⁷ Berechnung des Bundes: <https://www.parlement.ch/de/ratsbetrieb/suche-curia-vista/geschaeft?AffairId=20214259>

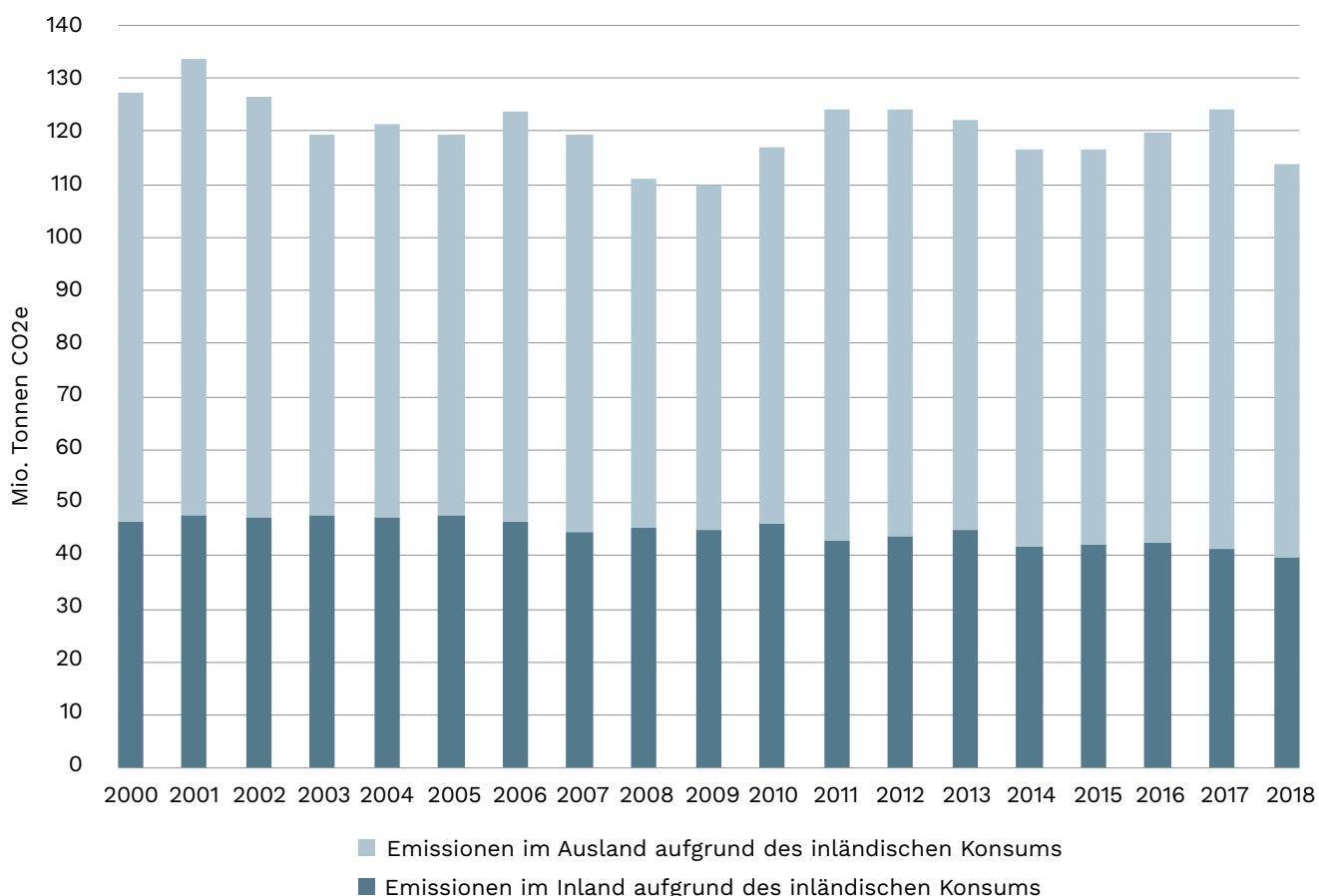
Emissionen des Konsums

Die nachfolgende Abbildung zeigt die **Treibhausgase, die durch den inländischen Konsum, also den Konsum innerhalb der Schweiz, verursacht werden: den Treibhausgas-Fussabdruck**. Die Tatsache, dass im Ausland deutlich mehr Emissionen verursacht werden als im Inland, ist damit zu erklären, dass der Grossteil der hierzulande nachgefragten Konsumgüter aus Ländern mit hohen Emissionen importiert werden. Im Zuge des Strukturwandels hin zur Dienstleistungsgesellschaft sind zudem emis-

sionsintensive Industrien in andere Länder abgewandert.

Der Pro-Kopf-Treibhausgas-Fussabdruck liegt bei 13.3 Tonnen CO₂e und damit gemäss Bundesamt für Umwelt deutlich über dem Durchschnitt der europäischen Länder.¹⁸ Von allen europäischen Ländern haben nur Belgien und Luxemburg gemäss den Daten des Global Carbon Atlas einen höheren Pro-Kopf-Fussabdruck als die Schweiz.¹⁹

Abbildung 19: Entwicklung der Treibhausgasemissionen, die durch den inländischen Konsum von Gütern und Dienstleistungen verursacht werden – in der Schweiz und im Ausland.
(Quelle BFS, Indikator GW016, Treibhausgas-Fussabdruck der Schweiz).



Beim Konsum sind Massnahmen zu treffen, um die Klimawirkungen der hierzulande konsumierten Güter über die gesamte Lieferkette stark zu reduzieren. Dazu gehören die Transparenz und die Kostenwahrheit in Bezug auf die Klimawirkung der erhältlichen Güter. Einheimische biogene Materialien würden so wieder attraktiver als erdölbasierte Materialien, was ein Vorteil ist für das inländische Handwerk. Das Ziel muss sein, die Auswirkungen des Kon-

sums wieder auf ein Level zu bringen, welches insgesamt mit der Einhaltung der planetaren Grenzen vereinbar ist. Damit muss auch eine generelle Reduktion unseres Konsums einhergehen. Genügsamkeit lautet hier das Stichwort.

¹⁸ Angabe beim Indikator Treibhausgas-Fussabdruck auf der Webseite des Bundesamts für Umwelt BAFU.

¹⁹ [http://cms2018a.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions - Angaben in t CO2/person \(15.12.2021\)](http://cms2018a.globalcarbonatlas.org/en/CO2-emissions - Angaben in t CO2/person (15.12.2021))

Weitere durch die Schweiz verantwortete Emissionen

Den grössten Hebel für den globalen Klimaschutz hat die Schweiz mit ihrem Finanzplatz. Der Schweizer Finanzplatz spielt als einer der grössten Finanzplätze der Welt eine wichtige Rolle für die Bekämpfung der Klimakrise. X-Billionen von Franken fliessen über ihn als Fremd- oder Eigenkapital in die weltweite Wirtschaft und verursachen durch die wirtschaftlichen Aktivitäten, die sie finanzieren, ein Vielfaches der Treibhausgase, welche die Schweiz im Inland ausstössst. Die neueste Analyse des Bundes zur Klimaschutzleistung des Schweizer Finanzplatzes zeigt²⁰, dass dieser im Schnitt einen weiteren Ausbau der Kohle- und Erdölförderung stützt und aktuell viermal mehr Mittel in Firmen investiert, die Strom aus fossilen Quellen wie Kohle und Gas erzeugen, als in Produzenten von erneuerbarem Strom. Vier von fünf Instituten halten zudem Firmen in ihren Portfolios, die Kohle abbauen. Solche Finanzierungen sind nicht vereinbar mit der Einhaltung der 1.5-Grad-Grenze, sie leisten einer gefährlichen globalen Erhitzung von 4°C und mehr Vorschub.²¹

Die Umleitung der Finanzmittelflüsse für die Reduzierung der Emissionen auf netto null ist daher explizit als Zweck des von der Schweiz ratifizierten Übereinkommens von Paris genannt und eine der wichtigsten Aufgaben der Finanzwirtschaft – und des Gesetzgebers.

Auch einzelne in der Schweiz domizilierte multinationalen Konzerne haben eine grosse Einfluss auf unser Klima. Da sämtliche Emissionen auf netto null abgesenkt werden müssen, müssen alle **Schweizer Unternehmen** die von ihnen mitverantworteten Emissionen in der gesamten Lieferkette bis zur Entsorgung verbindlich reduzieren. Solche Emissionsreduktionspläne müssen sich an den noch vorhandenen Emissionsbudgets der Länder, in denen die Emissionen entstehen, orientieren und daher teilweise deutlich vor Mitte Jahrhundert die Netto-null-Marke erreichen.

²⁰ Vgl. Medienmitteilung des Bundesamtes für Umwelt «Schweizer Finanzmarkt auf dem Klimaprüfstand» vom 9.11.2020 <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/dokumentation/medienmitteilungen/anzeige-nhb-unter-medienmitteilungen.msg-id-81034.html>

²¹ Vgl. dazu auch die Analyse von Climate Action Tracker, die die Performanz des Schweizer Finanzplatzes als «critically insufficient» einstufen (28.12.2021): <https://climateactiontracker.org/countries/switzerland/>

Sozialer Wandel statt technologische Lösungen?

Praktisch alle Klimaschutz-Szenarien gehen von einem weiteren Wirtschaftswachstum aus und setzen auf technologische Massnahmen zur Reduktion der Emissionen (z.B. Entfernung von CO₂ aus der Atmosphäre). Das führt dazu, dass immer verrücktere Emissionsabsenkpfade bewältigt und immer risikoreichere Technologien dafür angewendet werden müssen. Die meisten Szenarien rechnen heute schon standardmäßig mit ein, dass die angestrebte Grenze der Erderwärmung von 1.5°C temporär überschritten und dann bis 2100 durch die Entfernung grosser Mengen an Kohlenstoff aus der Atmosphäre doch noch erreicht wird.

So rechnet auch der Bundesrat, dass die Schweiz das ihr noch zustehende Emissionsbudget stark übernutzen und später irgendwie ausgleichen wird. Solche Annahmen sind rechtlich fragwürdig, weil sie die Freiheiten der nach uns lebenden Menschen einschränken. Sie sind auch extrem risikoreich, denn kein Mensch weiß, ob es nicht zu unkontrollierbaren Entwicklungen kommt. Sogenannte Kippunkte im Klimasystem (Tipping Points) weisen darauf hin, dass kritische Ökosysteme, Eis- und Permafrostsysteme sowie auch die globalen Strömungssysteme in unumkehrbare Entwicklungen mit verheerenden Folgen geraten könnten, wenn die Erwärmung der Erde zu stark wird.²²

LEin stetiges Wirtschaftswachstum ist darum ein kritischer Punkt in der Bekämpfung der Klimakrise.

Denn bisher führt dies zu einer Pro-Kopf-Zunahme (oder Stagnation auf zu hohem Niveau) des Land- und Flugverkehrs, der beanspruchten Flächen, der konsumierten Güter und Anzahl Geräte sowie der Ernährung mit Fleisch- und Milchprodukten – allesamt Haupttreiber der ansteigenden Klimabelastung.

Trotzdem gibt es nur wenige Energieszenarien, welche eine Transformation von Wirtschaft und Gesellschaft miteinbeziehen. Wohl weil die dafür notwendigen Veränderungen als zu umfassend erscheinen. Denn es geht dabei um nichts weniger als die Korrektur des gegenwärtigen Weltbildes eines grenzenlosen Plane-

ten. Ein Weltbild, das uns Menschen als von der Natur getrennt sieht und darum die Fakten, die zeigen, dass die Menschheit ihre natürlichen Lebensgrundlagen gefährdet, systematisch ausblendet.

Energieszenarien, welche eine Transformation einbeziehen, haben zudem die Schwierigkeit, die Folgen eines grundlegenden Wandels für Modellrechnungen genau zu beziffern. Was passiert, wenn die Menschen viel weniger konsumieren und ein Leben innerhalb der planetaren Grenzen führen? Kuhnhenn et al. haben ein mögliches Transformations-Szenario für die Einhaltung der 1.5°C-Grenze beschrieben und weisen darauf hin, dass es Veränderungen der gesellschaftlichen Rahmenbedingungen braucht, um überhaupt ein Leben ohne ständiges Wirtschaftswachstum möglich zu machen:²³

- Besteuerung von Ressourcen und ökologisch schädlichen Praktiken anstelle von Arbeit. Die dafür nötige Steuerreform wird einen Preis für Treibhausgase und für den Verbrauch von anderen, nicht erneuerbaren Ressourcen einführen. Um ärmeren Menschen dadurch nicht zu benachteiligen, muss die Steuerreform auch die enorme Ungleichverteilung

²² Vgl. dazu z.B. Rahmstorf et al, 2019: Kippunkte im Klimasystem. Eine kurze Übersicht. <http://www.pik-potsdam.de/~stefan/Publications/Kippunkte%20im%20Klimasystem%20-%20Update%202019.pdf>

²³ Kai Kuhnhenn, Luis Costa, Eva Mahnke, Linda Schneider und Steffen Lange, 2020: A Societal Transformation Scenario for Staying Below 1.5°C, edited by the Heinrich Böll Foundation and Konzeptwerk Neue Ökonomie



finanzieller Ressourcen anpacken, um eine Ausgleichsfinanzierung sichern zu können. Kapital- und Erbschaftssteuern wären Instrumente hierfür.

- Wachstumsunabhängige Bereitstellung der Sozialleistungen inklusive Altersvorsorge.** Das ist eine der wichtigsten Aufgaben, um überhaupt neue Modelle ohne Wachstumszwang möglich zu machen.
- Verkürzung der Arbeitszeit mit Einführung eines Grundeinkommens**, um Arbeits- und Lebensmodelle zu ermöglichen, die mit deutlich weniger Ressourcenverbrauch auskommen.
- Entschleunigung des Lebens mit einem Fokus auf Zeit-Wohlstand.**
- Demokratisierung der (wirtschaftlichen) Entscheidungsfindung.**

Die genannten Punkte verdeutlichen, dass es um eine Transformation hin zu einer neuen Gesellschaftsordnung geht und nicht einfach um

Verhaltensänderungen innerhalb der heutigen Ordnung. Auch wenn die vorliegenden Energy-[R]evolution-Szenarien zugunsten einer Vergleichbarkeit mit den für die Politik relevanten Bundesszenarien einer Wachstumslogik folgen, haben sie Anknüpfungspunkte zu den beschriebenen grundlegenden Veränderungen. Gerade im Verkehrssektor ist klar, dass die notwendigen Veränderungen, die zu einer Abnahme der übermässigen Energie- und Raumnutzung führen, nicht rein technologischer Natur sein können.

Neben dem Engagement für den in den Energy-[R]evolution-Szenarien beschriebenen schnellen Umbau des Energiesystems setzt sich Greenpeace auch dafür ein, gangbare Wege für eine Transformation zu finden – eine Transformation hin zu einem neuen sozio-ökonomischen System, das mit weniger Wirtschaftsleistung auskommt und sich am Gemeinwohl misst.

Anhang

Glossar

Energieeinheiten

J	Joule, ein Mass für Energie
kJ (Kilojoule)	1000 Joules
MJ (Megajoule)	1 Million Joules
GJ (Gigajoule)	1 Milliarde Joules
PJ (Petajoule)	10^{15} Joules
EJ (Exajoule)	10^{18} Joules
kWh	Kilowattstunde, ein Mass für Energie
kWh	1000 Wattstunden
TWh (Terrawatt-Stunden)	1012 Wattstunden oder 1 Milliarde kWh

Umrechnung von PJ und TWh

W	Watt, ein Mass für Leistung
kW (Kilowatt)	1000 Watt
MW (Megawatt)	1 Million Watt
GW (Gigawatt)	1 Milliarde Watt

Weitere Abkürzungen

IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
E[R]	Energy [R]evolution
ADV E[R]	Advanced Energy [R]evolution
REF	Referenz-Szenario
THG	Treibhausgas(e)
CO₂e	Kohlenstoffdioxid Äquivalente. Die Klimawirkung anderer Treibhausgase wird in diejenige von CO ₂ , dem wichtigsten Treibhausgas, umgerechnet
GDP / BIP	Gross Domestic Product / Bruttoinlandprodukt
H₂	Wasserstoff
Synthetische Brenn- oder Treibstoffe (synfuel) / power-to-x	Steht für flüssige oder gasförmige Energieträger, die aus erneuerbarem Strom hergestellt werden (Wasserstoff, Methan, Methanol)



Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung Z1: Verlauf der energiebedingten CO ₂ -Emissionen (ohne Zement) und Angabe kumulierte Emissionen bis 2050 für die Energy-[R]evolution-Szenarien REF, E[R] und ADV-E[R] sowie das Szenario EP-ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ mit und ohne Carbon Dioxide Removal (CDR). (Quelle: Eigene Berechnungen und Energieperspektiven 2050+ (Variante EP-ZERO Basis, Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre)).	7
Abbildung Z2: Entwicklung des Endenergiebedarfs (ohne nicht-energetische Nutzungen).	8
Abbildung Z3: Entwicklung der Stromproduktion für die verschiedenen Technologien.	8
Abbildung Z4: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2050 für das ADV-E[R]-Szenario. Es besteht zu keiner Zeit im Jahr ein Versorgungsdefizit. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)	9
Abbildung 1: Mögliche Entwicklungen der globalen menschengemachten CO ₂ -Emissionen, um die Grenze von 1.5°C noch einhalten zu können. (Quelle: IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C, Full-Report, Figure 2.5, S. 113).	17
Abbildung 2: Verlauf der energiebedingten CO ₂ -Emissionen (ohne Zement) und Angabe kumulierte Emissionen bis 2050 für die Energy-[R]evolution-Szenarien REF, E[R] und ADV-E[R] sowie das Szenario EP-ZERO Basis der Energieperspektiven 2050+ mit und ohne Carbon Dioxide Removal (CDR). (Quelle: Eigene Berechnungen und Energieperspektiven 2050+ (Variante EP-ZERO Basis, Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre)).	19
Abbildung 3: Verlauf der CO ₂ -Emissionen in den Sektoren für die berechneten Greenpeace-Szenarien.	20
Abbildung 4: Entwicklung des Endenergieverbrauchs für die verschiedenen Verkehrsträger. Der Effizienz-Balken zeigt die Differenz zum Referenz-Szenario.	21
Abbildung 5: Entwicklung der eingesetzten Energieträger im Verkehr. Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario.	22
Abbildung 6: Entwicklung der Elektrizitätsnachfrage nach Sektoren (ohne Verluste, Eigenverbrauch (für die Beladung von Speichern) und Wasserstoffproduktion. Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario.	24
Abbildung 7: Entwicklung der Stromproduktion für die verschiedenen Technologien.	25
Abbildung 8: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2025 für das ADV-E[R]-Szenario.(Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)	28
Abbildung 9: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2030 für das ADV-E[R]-Szenario. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)	28
Abbildung 10: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2040 für das ADV-E[R]-Szenario.(Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)	29
Abbildung 11: Modellierung der inländischen Stromversorgung im Jahr 2050 für das ADV-ER-Szenario. Es besteht zu keiner Zeit im Jahr ein Versorgungsdefizit. (Quelle: SCS-Energiemodell, tagesgenaue Auflösung, eigene Berechnungen)	29
Abbildung 12: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Frühlingswoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)	31
Abbildung 13: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Sommerwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)	31
Abbildung 14: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Herbstwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)	32
Abbildung 15: Viertelstundengenaue Aufschlüsselung von Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario für eine Winterwoche im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)	32
Abbildung 16: Entwicklung der Wärmeproduktion für die verschiedenen Produktionstechnologien.	34
Abbildung 17: Entwicklung des Endenergiebedarfs in den Sektoren (ohne nicht-energetische Nutzungen; Effizienz = Differenz zum Referenz-Szenario).	36
Abbildung 18: Entwicklung des Primärenergiebedarfs nach Energieträger.	37
Abbildung 19: Entwicklung der Treibhausgasemissionen, die durch den inländischen Konsum von Gütern und Dienstleistungen verursacht werden – in der Schweiz und im Ausland. (Quelle BFS, Indikator GW016, Treibhausgas-Fussabdruck der Schweiz).	42
Abbildung A1: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2025. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)	56

Abbildung A2: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2030. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen) **56**

Abbildung A3: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2040. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen) **57**

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1: Inputgrössen für die Modellierung der Versorgungssituation in den Jahren 2025, 2030, 2040 und 2050 gemäss ADV-E[R]-Szenario. **27**

Tabelle 2: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Electricity generation **50**

Tabelle 3: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Installed Capacity **50**

Tabelle 4: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Heat supply and air conditioning **50**

Tabelle 5: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Transport - Final Energy **51**

Tabelle 6: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Energy-Related CO₂ Emissions **51**

Tabelle 7: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Primary Energy Demand **51**

Tabelle 8: Ergebnistabellen Referenz-Szenario (REF): Final Energy Demand **51**

Tabelle 9: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Electricity generation **52**

Tabelle 10: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Installed Capacity **52**

Tabelle 11: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Heat supply and air conditioning **52**

Tabelle 12: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Transport - Final Energy **53**

Tabelle 13: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Energy-Related CO₂ Emissions **53**

Tabelle 14: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Primary Energy Demand **53**

Tabelle 15: Ergebnistabellen Energy-[R]evolution-Szenario (E[R]): Final Energy Demand **53**

Abbildung A4: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen) **57**

Tabelle 16: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Electricity generation **54**

Tabelle 17: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Installed Capacity **54**

Tabelle 18: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Heat supply and air conditioning **54**

Tabelle 19: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Transport - Final Energy **55**

Tabelle 20: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Energy-Related CO₂ Emissions **55**

Tabelle 21: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Primary Energy Demand **55**

Tabelle 22: Ergebnistabellen Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R]): Final Energy Demand **55**

Tabelle 23: Switzerland—Population and GDP projections **58**

Tabelle 24: Switzerland: Development of GDP shares by industry sector and province (canton) (2018) **58**

Tabelle 25: Angenommene Entwicklung der Energiekosten in allen Szenarien **59**

Tabelle 26: Specific investment cost assumptions (in Swiss francs) for heating technologies in the scenarios until 2050 **59**

Tabelle 27: Investment cost assumptions for power generation plants (in CHF/kW) until 2050 **59**

Ergebnistabellen

Referenz-Szenario (REF)

Tabelle 2: Electricity generation [TWh/a]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	65.5	59.2	62.1	58.3	58.2	55.8	65.4	72.3	78.2
- Hard coal (& non-renewable waste)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.0	0.0	0.0	1.0	1.7	1.8	1.6	1.4	1.3
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	1.0
- Oil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
of which wind offshore	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	3.7	3.5	4.1	4.4	4.8	5.2	5.6	6.1	6.7
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	1.0	1.6	2.3	2.5	2.7	2.9
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	1.2	2.9
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.4	3.8
- Geothermal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHP by producer									
- Main activity producers	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3.1	3.0	3.5	3.8	4.2	4.6	5.0	5.5	6.1
Total generation	69.2	62.8	66.2	62.7	63.0	61.0	71.0	78.5	84.8
- Fossil	1.9	1.8	2.1	3.2	4.0	4.2	3.8	2.6	0.3
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.2	1.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	2.0	3.3	4.0	3.7	2.6	0.3
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	11.7	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.6	3.9
of which renewable H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	1.5	3.7
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43.2	42.2	45.4	47.8	51.5	56.7	66.8	74.2	80.6
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	41.7	42.0	43.8	44.2	42.7
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.0	1.5	2.0	2.6	3.5	4.7
- PV	2.2	2.7	2.7	3.3	4.8	8.9	15.9	21.3	27.1
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.2	2.4	2.6	2.9	3.2	3.6	4.0
- Geothermal	0.0	0.0	0.2	0.4	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl. hydro pumpstorage)	4.2	3.9	4.7	4.6	4.7	4.9	5.1	5.4	5.6
Own consumption electricity	6.8	7.0	7.0	7.5	8.0	8.4	8.8	8.8	8.8
Domestic Electricity for hydrogen production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.1	2.8
Electricity for synfuel production	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Final energy consumption (electricity)	56.6	53.2	60.5	59.8	59.9	62.4	65.4	69.7	73.1
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2.4	2.8	2.8	4.3	6.3	10.8	18.5	24.7	31.8
Share of variable RES	3%	4%	4%	7%	10%	18%	26%	32%	37%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	76%	82%	93%	95%	97%	99%

Tabelle 3: Installed Capacity [GW]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	21	22	25	33	38	44
- Fossil	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	1	1	1	1	1
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	2	1	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	18	20	24	32	38	43
- Hydro	13	13	13	14	14	14	15	15	14
- Wind	0	0	0	1	1	1	2	3	
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	3	5	8	15	20	25
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.444	0.478	0.533	0.589	0.653	0.7	0.8
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	4	5	9	16	22	28
Share of variable RES	11%	13%	13%	18%	24%	37%	50%	57%	63%
RES share (domestic generation)	81%	82%	82%	87%	90%	96%	97%	97%	98%

Tabelle 4: Heat supply and air conditioning [PJ/a]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
District heating plants	19	17	21	23	26	25	24	23	22
- Fossil fuels	19	17	21	20	20	12	6	3	0
- Biomass	0	0	0	3	5	12	18	20	22
- Solar collectors	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	19	20	20	20	22	26	34
- Fossil fuels	7	7	5	7	6	4	1	1	0
- Biomass	10	9	14	13	14	16	21	25	31
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Direct heating	298	280	304	268	238	215	200	154	138
- Fossil fuels	215	200	218	185	160	140	128	88	0
- Biomass	33	30	35	34	34	33	33	32	31
- Solar collectors	3	2	5	6	7	8	8	9	9
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	1
- Heat pumps 2)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
- Electric direct heating	48	48	47	42	36	33	29	25	22
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	74
Total heat supply3)	333	313	344	311	283	259	246	204	194
- Fossil fuels	241	225	244	212	186	156	136	92	0
- Biomass	42	39	49	51	53	62	72	77	84
- Solar collectors	3	2	5	6	7	8	8	9	9
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	1
- Heat pumps 2)	0	0	0	0	0	0	1	1	1
- Electric direct heating	48	48	47	42	36	33	29	25	22
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	77
RES share (including RES electricity)	22%	23%	25%	28%	32%	39%	44%	54%	99%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2

Tabelle 5: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	222	200	180	158	129	110	85
- fossil fuels	215	199	215	189	160	126	85	54	0
- biofuels	7	6	6	7	12	13	15	16	16
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	0	0	1	4	9	18	29	40	68
rail	12	11	12	13	14	14	15	15	16
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	11	13	13	14	14	15	16
navigation	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- fossil fuels	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	2	3	3	3	3	3	3
- fossil fuels	3	3	2	3	3	3	3	3	3
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	238	217	198	176	148	129	105
- fossil fuels	220	204	220	194	164	131	90	59	5
- biofuels (incl. biogas)	7	6	6	7	12	13	15	16	16
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	12	17	22	32	43	54	84
total RES	14	13	15	19	30	43	57	80	268
RES share	14%	35%	6%	9%	14%	23%	35%	45%	99%

Tabelle 6: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	1	1	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	1	1	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	2	1	1	1	2
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	1	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	2	2	2	2	2
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	2	1	1	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	1	1	2	2	2	1
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	974	736	569	470	470	470	470
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	31	38	36	33	26	22	18
CO₂ emissions by sector	39	36	40	35	29	24	19	14	5
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	95%	84%	70%	58%	46%	32%	1%
- Industry 1)	6	6	6	5	5	4	3	3	1
- Other sectors 1)	13	12	14	12	10	8	8	4	2
- Transport	17	15	16	14	11	9	6	5	1
- Power generation 2)	0	0	0	1	1	1	1	1	1
- Other conversion 3)	2	2	4	3	3	2	2	1	0
Population (Mill.)	9	9	9	9	9	10	10	10	10
CO ₂ emissions per capita (t/capita)	5	4	5	4	3	2	2	1	0

Tabelle 7: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	1015	892	788	681	672	633	570
- Fossil	532	495	565	496	408	343	288	217	121
- Hard coal	28	27	28	24	16	7	2	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	141	134	126	117	122	114	100
- Crude oil	355	330	396	338	266	219	164	103	21
- Nuclear	256	198	197	122	77	0	0	0	0
- Renewables	224	215	253	274	304	338	384	416	449
- Hydro	140	136	145	147	150	151	158	159	154
- Wind	0	0	1	3	5	7	9	13	17
- Solar	11	12	14	18	25	40	66	86	107
- Biomass	72	67	86	92	97	109	120	124	131
- Geothermal	0	0	7	15	27	31	32	34	41
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
of which non-energy use	19	18	20	21	21	21	21	21	21
Total RES	227	215	253	274	304	338	384	416	449
RES share	23%	24%	25%	31%	40%	51%	59%	68%	82%

Tabelle 8: Final Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-Energy use)	759	705	779	719	669	623	580	512	469
Total Energy use 1)	740	687	758	698	648	602	559	491	448
Transport	238	221	238	217	198	176	148	129	105
- Oil products	220	204	220	194	164	131	90	59	5
- Natural gas	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	6	6	7	12	13	15	16	16
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Electricity	11	10	12	17	22	32	43	54	84
RES electricity	7	7	9	13	18	30	43	54	84
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Transport	6%	6%	7%	9%	15%	24%	39%	54%	96%
Industry	145	134	146	137	129	124	116	110	101
- Electricity	62	58	66	62	59	58	56	55	54
RES electricity	39	39	45	48	48	54	53	55	54
- Public district heat	7	7	7	7	7	7	7	7	7
RES district heat	1	1	1	1	1	1	2	2	2
- Hard coal & lignite	14	13	11	9	7	5	2	0	0
- Oil products	12	11	14	11	8	6	4	2	1
- Gas	39	37	36	36	35	34	33	32	25
- Solar	0	0	1	1	1	1	1	1	1
- Biomass	10	9	11	11	11	11	12	12	11
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	1	2
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Industry	34%	36%	39%	44%	48%	55%	59%	62%	69%
Other Sectors	357	332	374	343	321	301	295	251	242
- Electricity	134	125	139	136	135	136	136	139	142
RES electricity	84	84	95	104	110	126	130	134	142
- Public district heat	13	12	15	16	19	18	17	17	16
RES district heat	2	2	2	3	4	4	4	5	5
- Hard coal & lignite	2	2	0	0	0	0	0	0	0
- Oil products	104	97	114	89	71	58	47	6	0
- Gas	72	67	72	67	62	56	61	56	51
- Solar	2	2	4	5	6	7	7	8	8
- Biomass	29	27	31	30	29	28	27	26	25
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	35%	41%	46%	55%	57%	69%	74%
Total RES	181	177	205	222	241	275	294	313	351
RES share	24%	26%	27%	32%	37%	46%	53%	64%	78%
Non energy use	19	18	20	21	21	21	21	21	21
- Oil	19	18	20	21	21	21	21	21	21
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ergebnistabellen

Energy-[R]evolution-Szenario (E[R])

Tabelle 9: Electricity generation [TWh/a]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	65.5	59.2	62.1	59.4	62.0	77.0	79.8	84.6	88.6
- Hard coal (& non-renewable waste)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0
- Oil	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0.0	0.0	0.2	0.6	1.2	1.0	1.0	0.9	1.0
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.7	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.2	2.4	3.1	3.9	4.8	5.1
of which wind offshore	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2.2	2.7	2.7	12.9	17.2	31.3	32.9	36.4	40.0
- Geothermal	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.1	1.2
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	3.7	3.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.1	1.0	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.6	0.6	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	1.9	2.1	3.0	3.6	3.7	3.7	3.7
- Geothermal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
CHP by producer									
- Main activity producers	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3.1	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Total generation	69.2	62.8	65.8	63.2	65.8	80.8	83.5	88.4	92.4
- Fossil	1.9	1.8	1.9	1.7	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
- Hard coal (& non-renewable waste)	1.1	1.1	1.1	1.0	0.4	0.1	0.1	0.0	0.0
- Lignite	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0.6	0.6	0.7	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24.2	18.7	18.7	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
of which renewable H2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43.2	42.2	45.2	57.6	64.9	80.5	83.3	88.3	92.2
- Hydro	39.0	37.7	40.2	40.6	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0.1	0.1	0.2	1.2	2.4	3.1	3.9	4.8	5.1
- PV	2.2	2.7	2.7	12.9	17.2	31.3	32.9	36.4	40.0
- Biomass (& renewable waste)	1.8	1.7	2.1	2.7	4.2	4.7	4.7	4.7	4.7
- Geothermal	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	1.1	1.2
- Solar thermal power plants	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl. hydro pumpstorage)	4	4	5	5	5	5	5	6	6
Own consumption electricity	7	7	7	7	8	8	9	10	11
Domestic Electricity for hydrogen production	0	0	0	0	1	1	2	2	3
Electricity for synfuel production	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Final energy consumption (electricity)	57	53	60	59	59	68	69	71	72
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	14	20	34	37	41	45
Share of variable RES	3%	4%	4%	22%	30%	43%	44%	47%	49%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	91%	99%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 10: Installed Capacity [GW]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	28	32	46	48	52	55
- Fossil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	1	0	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	27	32	46	48	52	55
- Hydro	13	13	13	14	14	14	14	14	14
- Wind	0	0	1	1	2	2	3	2.8	2.8
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	12	16	29	31	34	37.4
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.371	0.484	0.755	0.839	0.844	0.9	0.9
- Geothermal	0	0	0.02	0.03	0.05	0.08	0.13	0.18	0.19
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	13	17	31	33	37	40
Share of variable RES	11%	13%	13%	46%	54%	68%	69%	71%	73%
RES share (domestic generation)	81%	82%	81%	96%	99%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 11: Heat supply and air conditioning [PJ/a]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
District heating plants	19	17	17	19	18	17	16	15	13
- Fossil fuels	19	17	17	17	6	0	0	0	0
- Biomass	0	0	0	1	11	15	14	12	10
- Solar collectors	0	0	0	1	2	2	3	3	3
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	24	25	25	27	27	26	26
- Fossil fuels	7	7	3	10	4	0	1	0	0
- Biomass	10	9	22	15	22	27	25	0	0
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Direct heating	298	280	291	242	210	185	169	150	141
- Fossil fuels	215	200	209	143	92	41	20	0	0
- Biomass	33	30	32	24	24	26	26	23	15
- Solar collectors	3	2	3	13	26	25	31	30	35
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	47	80	82	88	82
- Electric direct heating	48	48	48	43	20	13	9	8	8
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total heat supply3)	333	313	333	285	254	229	211	191	180
- Fossil fuels	241	225	228	170	102	41	21	1	0
- Biomass	42	39	54	40	57	68	65	61	50
- Solar collectors	3	2	3	14	27	27	34	32	38
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	47	80	82	88	82
- Electric direct heating 2)	48	48	48	43	20	13	9	8	8
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share (including RES electricity)	22%	23%	27%	39%	60%	82%	90%	100%	100%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.2	1.0	4.3	5.8	6.1	5.8	5.3

Tabelle 12: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	222	192	151	103	77	76	75
- fossil fuels	215	199	215	184	130	40	5	0	0
- biofuels	7	6	6	4	4	4	4	4	4
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	3	4	3
- electricity	0	0	1	5	17	58	65	68	68
rail	12	11	12	13	13	14	14	14	15
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	12	13	13	14	14	14	15
navigation	2	1	2	2	2	2	2	2	2
- fossil fuels	2	1	2	1	1	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	1	1	2	2	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	3	2	2	2	2	2	2
- fossil fuels	3	3	2	2	2	2	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	2	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	238	209	168	121	95	94	93
- fossil fuels	219	204	219	188	134	42	5	0	0
- biofuels (incl. biogas)	7	6	6	5	5	6	8	8	8
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	3	4	3
- electricity	11	10	13	18	31	72	79	82	83
total RES	14	13	11	19	35	81	97	106	112
RES share	6%	35%	5%	10%	20%	66%	93%	99%	100%

Tabelle 13: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	967	1'002	855	1'108	1'031	533	402
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	29	28	11	4	3	1	1
CO₂ emissions by sector	39	36	38	31	21	7	2	0	0
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	90%	74%	51%	16%	5%	0%	0%
- Industry 1)	6	6	5	5	2	1	0	0	0
- Other sectors 1)	13	12	13	9	6	2	1	0	0
- Transport	17	15	16	14	11	3	1	0	0
- Power generation 2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Other conversion 3)	2	2	3	3	2	1	0	0	0
Population (Mill.)	9	9	9	9	9	10	10	10	10
CO ₂ emissions per capita (t/capita)	5	4	4	3	2	1	0	0	0

Tabelle 14: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	976	782	699	602	562	554	559
- Fossil	532	495	541	443	311	115	46	15	13
- Hard coal (& non-renewable waste)	28	27	22	26	6	2	2	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	150	110	77	45	23	1	0
- Crude oil	355	330	369	307	228	68	21	14	13
- Nuclear	256	198	204	42	0	0	0	0	0
- Renewables	224	215	231	298	387	487	516	539	545
- Hydro	140	136	145	146	147	148	148	148	148
- Wind	0	0	1	4	9	11	14	17	18
- Solar	11	12	12	60	88	138	150	161	180
- Biomass (& renewable waste)	72	67	70	70	103	123	128	126	116
- Geothermal	0	0	3	17	41	68	76	86	83
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- of which non-energy use	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Total RES	220	219	231	298	387	487	516	539	545
- RES share	22%	24%	23%	37%	54%	80%	91%	97%	98%

Tabelle 15: Final Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-energy use)	759	705	748	662	598	491	446	428	428
Total energy use 1)	740	688	738	646	568	473	422	402	395
Transport	238	221	239	211	169	120	95	94	94
- Oil products	219	204	219	188	134	42	5	0	0
- Natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	7	6	5	5	6	8	8	8
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Electricity	11	10	13	18	31	72	79	82	83
- RES electricity	7	7	9	16	30	72	79	82	83
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	3	4	3
RES share Transport	6%	6%	5%	10%	20%	66%	93%	99%	100%
Industry	145	134	140	125	120	112	108	102	97
- Electricity	62	58	65	61	63	60	60	57	54
- RES electricity	39	39	45	56	62	60	60	57	54
- Public district heat	7	7	6	6	5	5	4	4	4
- RES district heat	1	1	1	1	1	3	4	4	4
- Hard coal & lignite	14	13	5	12	1	0	0	0	0
- Oil products	12	11	17	12	9	5	0	0	0
- Gas	39	37	37	20	11	6	3	0	0
- Solar	0	0	0	3	9	3	5	6	6
- Biomass	10	9	9	9	11	18	20	19	17
- Geothermal	0	0	0	2	11	15	16	16	15
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Industry	34%	36%	40%	57%	80%	88%	96%	99%	100%
Other Sectors	357	332	359	310	279	241	219	206	204
- Electricity	134	125	138	134	118	112	107	111	116
- RES electricity	84	84	95	122	117	112	106	111	116
- Public district heat	13	12	13	14	15	14	13	12	11
- RES district heat	2	2	4	6	7	10	10	11	11
- Hard coal & lignite	2	2	2	0	1	0	1	0	0
- Oil products	104	97	103	72	46	5	0	0	0
- Gas	72	67	72	50	42	30	17	0	0
- Solar	2	2	2	10	17	22	27	24	30
- Biomass	29	27	29	20	17	14	11	9	1
- Geothermal	0	0	0	11	23	42	44	49	46
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	36%	54%	65%	83%	91%	99%	100%
Total RES	181	178	201	261	312	377	392	399	394
RES share	24%	26%	27%	40%	55%	80%	93%	99%	100%
Non energy use	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Oil	19	18	16	14	14	14	13	13	13
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Ergebnistabellen

Advanced-Energy-[R]evolution-Szenario (ADV-E[R])

Tabelle 16: Electricity generation [TWh/a]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Power plants	66	59.2	61.8	58.6	64.8	77.5	86.5	90.4	96.0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0.0	0.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24	18.7	18.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	0	0.0	0.0	0.5	0.8	0.7	1.0	1.5	1.5
- Hydro	39	37.7	40.2	40.6	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0	0.1	0.2	1.3	4.0	5.1	5.6	5.7	5.8
of which wind offshore	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- PV	2	2.7	2.7	12.7	19.0	30.6	38.8	41.8	47.3
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
- Solar thermal power plants	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Combined heat and power plants	4	3.5	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8	3.8
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1.1	1.1	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	1	0.6	0.6	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
of which from H2	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Biomass (& renewable waste)	2	1.7	1.9	2.0	3.1	3.6	3.8	3.8	3.8
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CHP by producer									
- Main activity producers	1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6
- Autoproducers	3	3.0	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2	3.2
Total generation	69	62.8	65.6	62.4	68.6	81.3	90.3	94.1	99.8
- Fossil	2	1.8	1.9	2.1	0.7	0.2	0.0	0.0	0.0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1.1	1.1	1.4	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
- Lignite	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Gas	1	0.6	0.7	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0
- Oil	0	0.1	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Diesel	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Nuclear	24	18.7	18.7	3.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Hydrogen	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
of which renewable H2	0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
- Renewables (w/o renewable hydrogen)	43	42.2	45.0	57.0	67.8	81.1	90.2	94.1	99.7
- Hydro	39	37.7	40.2	40.6	40.8	41.0	41.0	41.2	41.2
- Wind	0	0.1	0.2	1.3	4.0	5.1	5.6	5.7	5.8
- PV	2	2.7	2.7	12.7	19.0	30.6	38.8	41.8	47.3
- Biomass (& renewable waste)	2	1.7	1.9	2.5	3.9	4.3	4.8	5.2	5.2
- Geothermal	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
- Solar thermal power plants	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Ocean energy	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Distribution losses (incl.hydro pumpstorage)	4	3.9	4.6	4.6	4.2	5.0	5.0	4.7	4.9
Own consumption electricity	7	7.0	6.8	7.8	8.4	9.0	9.6	10.3	11.1
Domestic Electricity for hydrogen production	0	0.0	0.0	0.0	1.4	3.0	4.0	4.9	5.2
Electricity for synfuel production	0	0.0	0.0	0.0	1.7	3.7	7.7	8.8	10.9
Final energy consumption (electricity)	57	53.2	59.6	59.0	54.5	63.9	63.8	60.7	63.2
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	2.8	2.8	13.9	23.0	35.7	44.4	47.5	53.1
Share of variable RES	3%	4%	4%	22%	34%	44%	49%	50%	53%
RES share (domestic generation)	62%	67%	69%	91%	99%	100%	100%	100%	100%

Tabelle 17: Installed Capacity [GW]¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total generation	20	20	20	28	34	45	53	56	61
- Fossil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas (w/o H2)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Nuclear	3	3	3	1	0	0	0	0	0
- Hydrogen (fuel cells, gas power plants, gas CHP)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Renewables	16	16	16	26	34	45	53	56	61
- Hydro	13	13	13	14	14	14	14	14	14
- Wind	0	0	0	0.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4
of which wind offshore	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- PV	2	2	2	12	18	29	36	39	44
- Biomass (& renewable waste)	0.4	0.3	0.366	0.472	0.735	0.819	0.905	1.015	1.015
- Geothermal	0.0	0	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
- Solar thermal power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Variable RES (PV, Wind, Ocean)	2	3	3	12	20	31	39	41	47
Share of variable RES	11%	13%	13%	45%	58%	68%	73%	74%	76%
RES share (domestic generation)	81%	82%	81%	96%	99%	100%	100%	100%	100%
Heat supply and air conditioning [PJ/a]	298	280	291	230	188	178	164	144	133
District heating plants	19	17	18	17	17	15	11	10	10
- Fossil fuels	19	17	17	16	6	0	0	0	0
- Biomass	0	0	0	1	10	13	9	8	8
- Solar collectors	0	0	0	0	1	2	2	2	2
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Heat from CHP 1)	17	16	24	25	26	26	27	26	26
- Fossil fuels	7	7	2	11	3	0	0	0	0
- Biomass	10	9	22	13	23	26	26	26	26
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Direct heating	298	280	291	230	188	178	164	144	133
- Fossil fuels	215	200	211	114	84	34	15	1	0
- Biomass	33	30	31	32	31	22	24	23	14
- Solar collectors	3	2	3	26	31	34	34	33	33
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	23	78	81	83	78
- Electric direct heating	48	48	45	41	18	10	9	4	8
- Hydrogen	0	0	0	0	3	7	8	9	9
Total heat supply3)	333	313	333	272	233	226	209	189	178
- Fossil fuels	241	225	230	141	92	34	15	1	0
- Biomass	42	39	54	47	64	62	59	57	48
- Solar collectors	3	2	3	26	33	36	35	34	35
- Geothermal	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Heat pumps 2)	0	0	1	18	23	78	81	83	78
- Electric direct heating 2)	48	48	45	41	18	10	9	4	8
- Hydrogen	0	0	0	0	3	7	8	9	9
RES share (including RES electricity)	22%	23%	27%	47%	60%	85%	93%	99%	100%
electricity consumption heat pumps (TWh/a)	0.0	0.0	0.2	0.9	1.3	5.6	5.9	5.7	5.1

Tabelle 19: Transport - Final Energy [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
road	222	206	222	171	124	68	60	54	51
- fossil fuels	215	199	215	161	100	11	5	0	0
- biofuels	7	6	6	2	2	3	2	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
- electricity	0	0	1	7	22	55	50	48	45
rail	12	11	13	14	14	15	15	16	16
- fossil fuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- electricity	11	10	13	14	14	15	15	16	16
navigation	2	1	1	1	1	1	1	2	2
- fossil fuels	2	1	1	1	1	1	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	1	2	2
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
aviation	3	3	2	2	2	1	1	1	1
- fossil fuels	3	3	2	2	1	1	0	0	0
- biofuels	0	0	0	0	0	1	1	1	1
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
total (incl. pipelines)	238	221	239	188	141	85	78	72	71
- fossil fuels	219	204	219	165	102	12	5	0	0
- biofuels (incl. biogas)	7	6	6	2	3	4	5	5	5
- synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
- electricity	11	10	14	21	36	69	65	64	61
total RES	14	13	12	21	39	73	73	72	70
RES share	6%	35%	5%	11%	27%	84%	91%	100%	100%

Tabelle 20: Energy-Related CO₂ Emissions [Million tons/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Condensation power plants	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & Diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Combined heat and power plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	1	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ emissions power and CHP plants	2	2	2	2	1	0	0	0	0
- Hard coal (& non-renewable waste)	1	1	1	2	0	0	0	0	0
- Lignite	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Oil & diesel	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CO₂ intensity (g/kWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
without credit for CHP heat	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- CO ₂ intensity fossil electr. generation	988	987	981	989	771	464	357	352	168
- CO ₂ intensity total electr. generation	27	28	29	33	9	1	0	0	0
CO₂ emissions by sector	39	36	39	26	17	4	2	0	0
- % of 1990 emissions (Mill t)	92%	86%	93%	63%	41%	10%	4%	0%	0%
- Industry 1)	6	6	6	4	2	1	0	0	0
- Other sectors 1)	13	12	13	7	6	2	1	0	0
- Transport	17	15	16	12	8	1	1	0	0
- Power generation 2)	0	0	0	1	0	0	0	0	0
- Other conversion 3)	2	2	3	2	1	0	0	0	0
Population (Mill.)	9	9	9	9	9	10	10	10	10
CO ₂ emissions per capita (t/capita)	5	4	4	3	2	0	0	0	0

Tabelle 21: Primary Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total	1012	909	983	728	631	548	552	541	545
- Fossil	532	495	553	380	247	76	39	13	11
- Hard coal (& non-renewable waste)	28	27	33	48	39	1	0	0	0
- Lignite	3	2	0	0	0	0	0	0	0
- Natural gas	146	136	137	118	66	39	19	1	0
- Crude oil	355	330	383	214	141	36	20	12	11
- Nuclear	256	198	204	36	0	0	0	0	0
- Renewables	224	215	227	312	384	473	513	528	534
- Hydro	140	136	145	146	147	148	148	148	148
- Wind	0	0	1	5	14	18	20	21	21
- Solar	11	12	12	71	100	144	174	183	204
- Biomass (& renewable waste)	72	67	68	77	106	106	111	113	101
- Geothermal	0	0	1	13	17	56	60	63	60
- Ocean energy	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- of which non-energy use	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Total RES	220	219	227	312	384	473	513	528	531
- RES share	22%	24%	23%	43%	61%	86%	93%	98%	97%

Tabelle 22: Final Energy Demand [PJ/a]

¹Estimation GDP decrease ²No GDP decrease

	2018	2020 ¹	2020 ²	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Total (incl. non-energy use)	759	705	747	599	494	442	417	383	378
Total energy use 1)	740	687	740	583	479	427	402	371	367
Transport	238	221	240	188	141	85	78	72	71
- Oil products	219	204	219	165	102	12	5	0	0
- Natural gas	1	1	1	0	0	0	0	0	0
- Biofuels	7	6	6	2	3	4	5	5	5
- Synfuels	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Electricity	11	10	14	21	36	69	65	64	61
RES electricity	7	7	10	19	36	69	65	64	61
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	2	4	5
RES share Transport	6%	6%	5%	11%	27%	84%	91%	100%	100%
Industry	145	134	139	120	115	114	110	104	103
- Electricity	62	58	64	61	57	65	65	61	64
RES electricity	39	39	44	56	56	65	65	61	64
- Public district heat	7	7	6	5	5	3	0	0	0
RES district heat	1	1	1	1	1	1	0	0	0
- Hard coal & lignite	14	13	18	9	6	0	0	0	0
- Oil products	12	11	17	11	9	5	0	0	0
- Gas	39	37	25	21	18	14	13	10	9
- Solar	0	0	0	3	9	3	4	6	6
- Biomass	10	9	9	7	7	10	12	11	10
- Geothermal	0	0	0	2	3	15	16	15	14
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	3	7	8
RES share Industry	34%	36%	39%	57%	67%	84%	94%	98%	100%
Other Sectors	357	332	361	275	223	228	214	195	193
- Electricity	134	125	136	131	103	96	100	94	103
RES electricity	84	84	93	119	102	96	100	94	103
- Public district heat	13	12	12	13	13	14	13	12	12
RES district heat	2	2	4	7	7	11	11	11	12
- Hard coal & lignite	2	2	2	0	1	0	1	0	0
- Oil products	104	97	108	11	11	5	0	0	0
- Gas	72	67	72	56	29	23	10	0	0
- Solar	2	2	2	23	23	31	29	27	28
- Biomass	29	27	29	31	30	17	16	16	6
- Geothermal	0	0	0	10	13	41	44	46	44
- Hydrogen	0	0	0	0	0	0	0	0	0
RES share Other Sectors	33%	35%	36%	69%	78%	86%	94%	99%	100%
Total RES	181	177	198	281	290	364	377	367	366
RES share	24%	26%	27%	48%	61%	85%	94%	99%	100%
Non energy use	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Oil	19	18	16	14	14	13	12	12	11
- Gas	0	0	0	0	0	0	0	0	0
- Coal	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Monatsbilanzen der Stromversorgung im ADV-E[R]-Szenario

Abbildung A1: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2025. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)

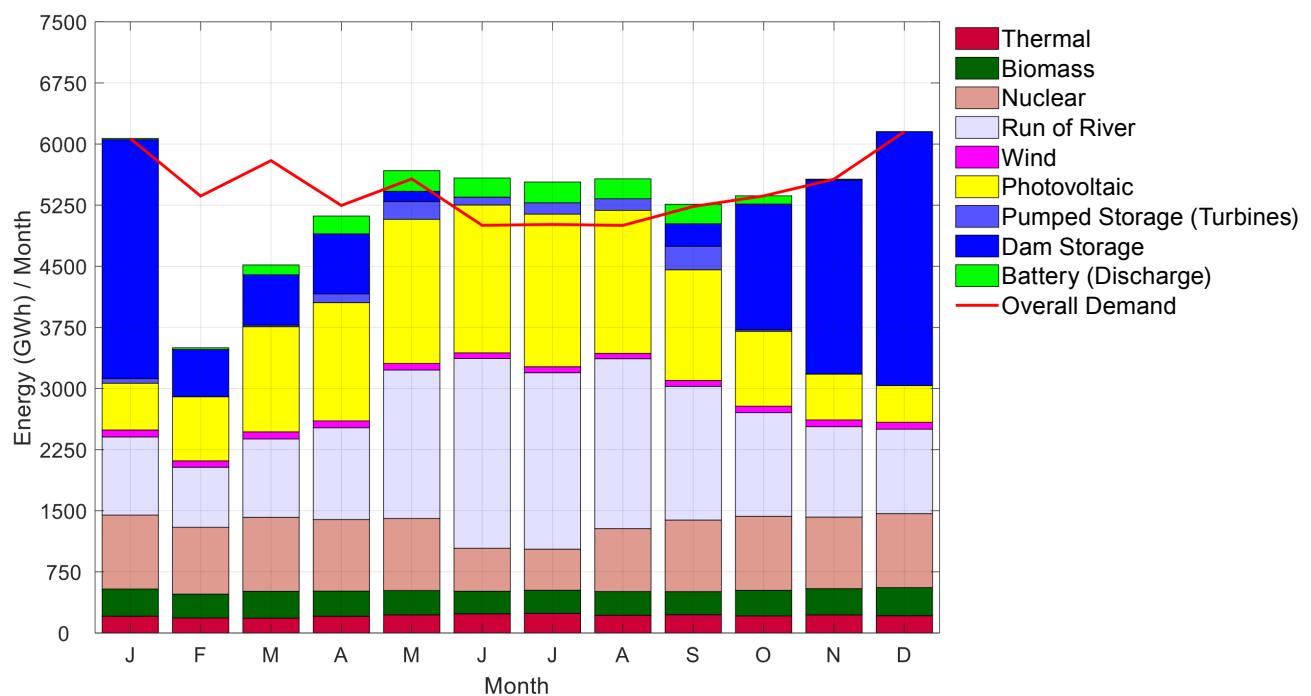


Abbildung A2: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2030. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)

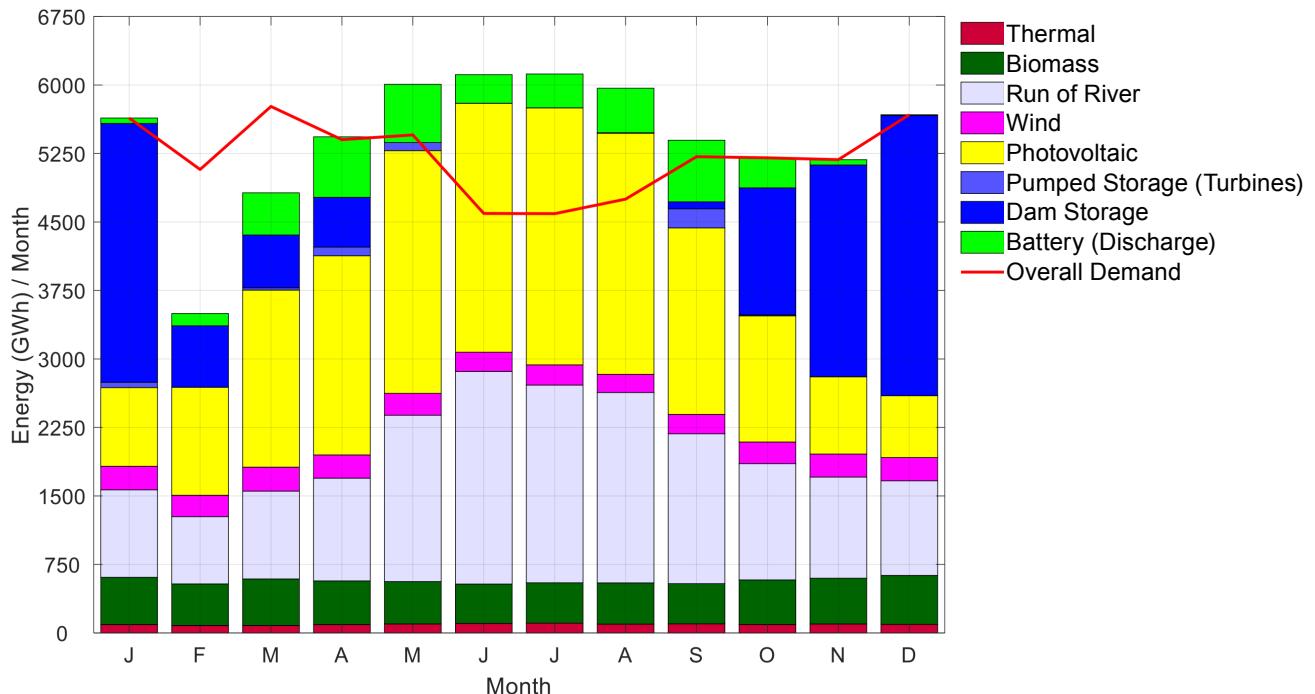


Abbildung A3: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2040. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)

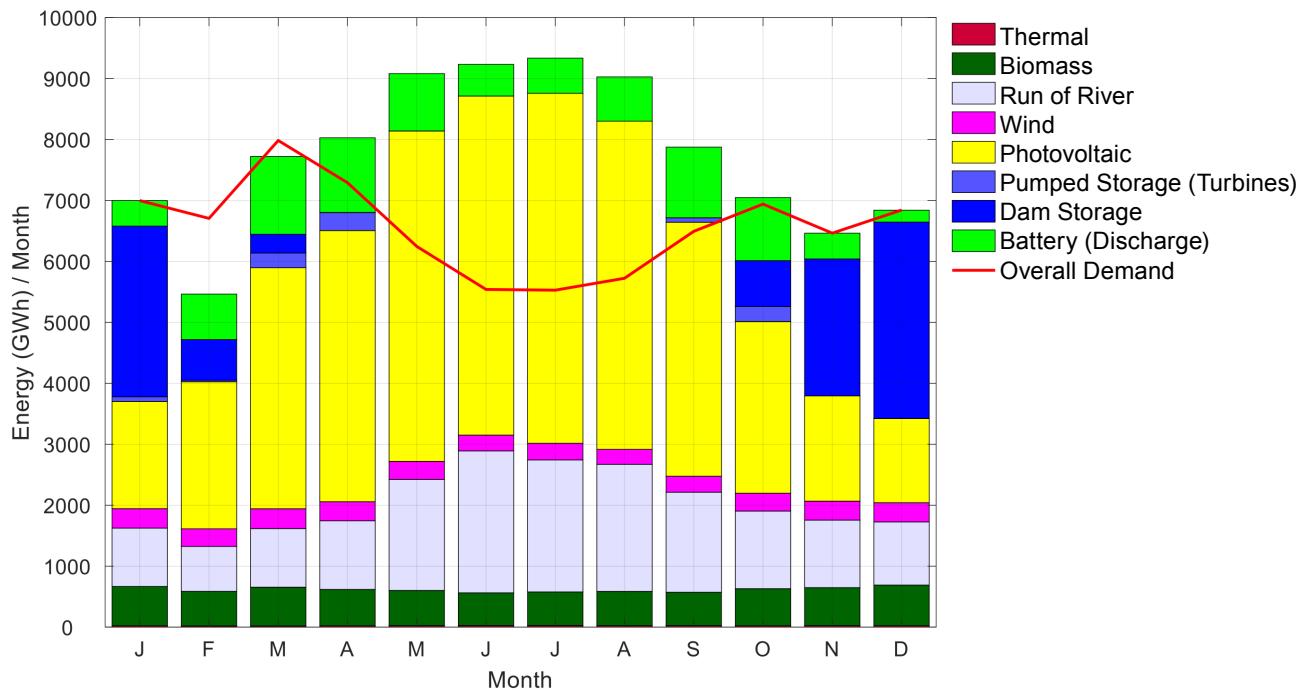
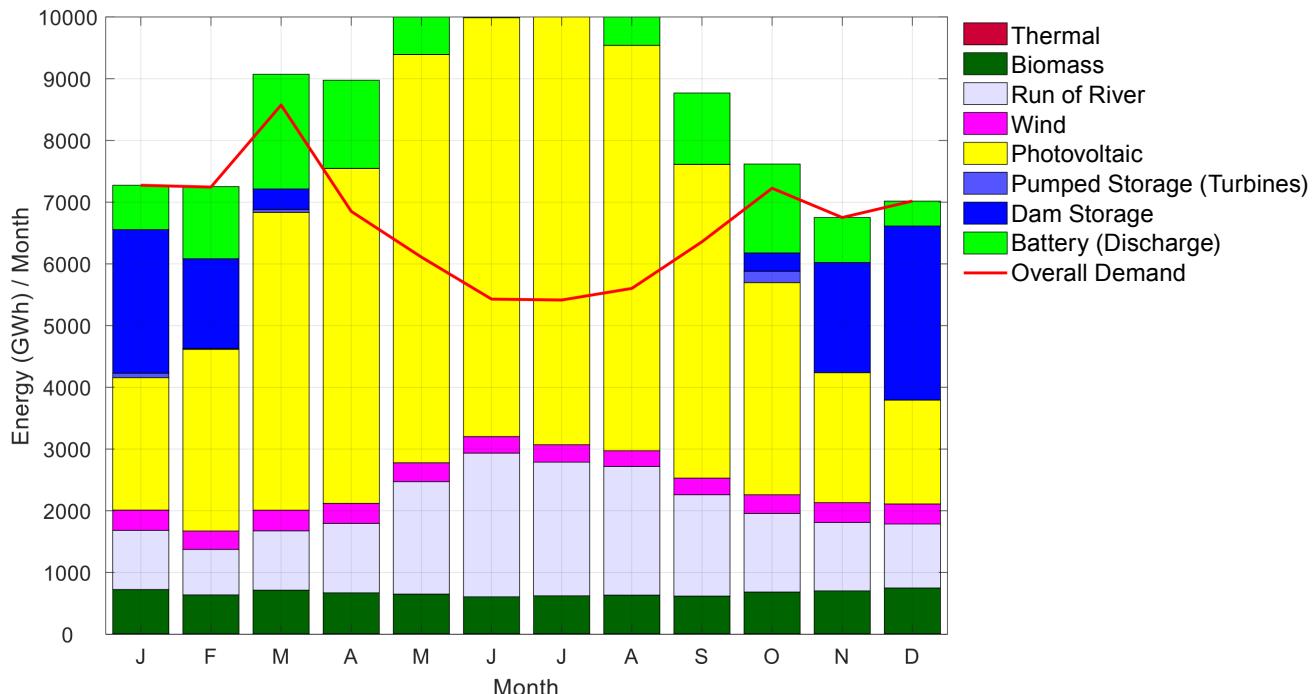


Abbildung A4: Monatsbilanzen für Produktion und Verbrauch für das ADV-E[R]-Szenario im Jahr 2050. (Quelle: SCS-Energiemodell, eigene Berechnungen)



Annahmen zum Wachstum von Wirtschaft und Bevölkerung

Tabelle 23: Switzerland—Population and GDP projections

	2018	2020		2025	2030	2035	2040	2045	2050
		Reduced	Stable						
GDP [billion CHF/a]	633	590	652	691	731	772	814	846	880
GDP/Person [CHF/capita]	73,472	66,636	73,613	75,272	77,045	78,682	81,464	83,578	85,836
Population [million]	8.6	8.7	9.2	9.5	9.8	10.0	10.1	10.3	
		2020		2020 – 2025	2025 – 2030	2030 – 2035	2035 – 2040	2040 – 2045	2045 – 2050
Economic growth [%/a]		-7.7%	+1.00%	1.15%	1.15%	1.10%	1.05%	0.78%	0.80%
Population growth [%/a]		0.60%		0.70%	0.68%	0.68%	0.35%	0.27%	0.26%

Tabelle 24: Switzerland: Development of GDP shares by industry sector and province (canton) (2018)

Cluster Name	Canton	GDP 2017 [Million CHF]	Landwirtschaft, Forstwirtschaft und Fischerei		Bergbau und Gewinnung von Steinen und Erden, Herstellung von Waren, Bau		Gesundheitswesen, Finanzdienstleistungen Kunst, Kultur, Öffentliche Verwaltung, private Haushalte als Hersteller	
			Agriculture	Agriculture [%]	Industry	Industry [%]	Service	Service [%]
West (1)	Freiburg	18,154	293	1.6%	5,230	29%	12,632	70%
West (1)	Waadt	52,207	552	1.1%	9,730	19%	41,925	80%
West (1)	Neuenburg	14,993	88	0.6%	7,060	47%	7,844	52%
West (1)	Genf	47,970	122	0.3%	6,619	14%	41,230	86%
Wallis (South West) (2)	Wallis	17,907	262	1.5%	4,444	25%	13,201	74%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Bern	75,920	657	0.9%	16,752	22%	58,511	77%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Solothurn	17,223	80	0.5%	4,917	29%	12,227	71%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Basel-Stadt	34,584	4	0.0%	17,094	49%	17,486	51%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Basel-Landschaft	19,808	70	0.4%	4,613	23%	15,124	76%
Bern-Basel (Centre West) (3)	Jura	4,509	57	1.3%	1,998	44%	2,454	54%
Centre North (4)	Luzern	26,153	407	1.6%	7,423	28%	18,323	70%
Centre North (4)	Uri	1,861	6	0.3%	605	33%	1,250	67%
Centre North (4)	Schwyz	9,150	51	0.6%	2,446	27%	6,654	73%
Centre North (4)	Obwalden	2,434	29	1.2%	1,003	41%	1,402	58%
Centre North (4)	Nidwalden	2,952	18	0.6%	1,127	38%	1,806	61%
Centre North (4)	Zug	18,160	44	0.2%	4,651	26%	13,466	74%
Centre North (4)	Aargau	40,316	303	0.8%	10,702	27%	29,312	73%
Tessin (South) (5)	Tessin	27,614	80	0.3%	6,872	25%	20,662	75%
Graubünden (South) (6)	Graubünden	13,589	85	0.6%	3,137	23%	10,366	76%
Zürich & Centre North East (7)	Zürich	138,168	392	0.3%	18,888	14%	118,888	86%
Zürich & Centre North East (7)	Glarus	2,681	12	0.5%	1,033	39%	1,635	61%
Zürich & Centre North East (7)	Schaffhausen	6,723	62	0.9%	2,822	42%	3,839	57%
Zürich & Centre North East (7)	Appenzell I. Rh.	960	21	2.2%	341	35%	598	62%
Zürich & Centre North East (7)	Appenzell A. Rh.	3,010	33	1.1%	1,113	37%	1,864	62%
Zürich & Centre North East (7)	St. Gallen	35,676	274	0.8%	12,364	35%	23,038	65%
Zürich & Centre North East (7)	Thurgau	15,901	389	2.4%	5,585	35%	9,927	62%

Annahmen zu Energie- und Technologiekosten

Tabelle 25: Angenommene Entwicklung der Energiekosten in allen Szenarien

Development projections for fuel prices		2017	2020	2030	2040	2050
All Scenarios						
Biomass	\$/GJ	7.70	13.65	20.00	26.00	30.00
Synthetic Fuels	\$/GJ	-	-	20.00	26.00	30.00
Oil	\$/GJ	8.5	12.3	21.5	24.2	35.1
Gas	\$/GJ	2.5	3.3	5.5	6.2	8.9
Coal	\$/GJ	2.9	3.3	4.2	4.4	5.3

Tabelle 26: Specific investment cost assumptions (in Swiss francs) for heating technologies in the scenarios until 2050

Investment costs for heat generation plants		2017	2020	2030	2040	2050
Geothermal	CHF/kW	2533	2406	2152	1908	1685
Heat pumps	CHF/kW	1897	1844	1738	1632	1537
Biomass heat plants	CHF/kW	636	615	583	541	509
Residential biomass stoves, ovens	Industrialized countries	CHF/kW	890	859	806	763
	Industry	CHF/kW	901	869	774	689
Solar collectors	In heat grids	CHF/kW	1028	1028	1028	1028
	Residential	CHF/kW	1124	1071	965	848

Tabelle 27: Investment cost assumptions for power generation plants (in CHF/kW) until 2050

Assumed Investment Costs for Power Generation Plants		2017	2020	2030	2040	2050
CHP Coal	CHF/kW	2650	2650	2650	2650	2650
CHP Gas	CHF/kW	1060	1060	1060	1060	1060
CHP Lignite	CHF/kW	2650	2650	2650	2650	2650
CHP Oil	CHF/kW	1389	1367	1314	1251	1198
Coal power plant	CHF/kW	2120	2120	2120	2120	2120
Diesel generator	CHF/kW	954	954	954	954	954
Gas power plant	CHF/kW	638	530	530	530	710
Lignite power plant	CHF/kW	2332	2332	2332	2332	2332
Nuclear power plants	CHF/kW	6996	6360	5406	4770	4770
Oil power plant	CHF/kW	1007	986	943	912	869
Renewables						
CHP Biomass***	CHF/kW	2703	2650	2597	2491	2385
CHP Fuel cell	CHF/kW	5300	5300	2650	2650	1187
CHP Geothermal	CHF/kW	13992	11861	9423	7908	6848
Biomass power plant	CHF/kW	2544	2491	2438	2332	2237
Geothermal power plant****	CHF/kW	7004	6867	6297	5726	5156
Hydro power plant**	CHF/kW	2809	2809	2809	2809	2809
Ocean energy power plant	CHF/kW	7367	7049	4664	3286	2237
PV power plant	CHF/kW	1378	1039	774	594	498
CSP power plant*	CHF/kW	6042	5300	3922	3233	2904
Wind turbine offshore	CHF/kW	4240	3911	3381	3000	2767
Wind turbine onshore	CHF/kW	1738	1675	1601	1537	1484
Hydrogen production	CHF/kW	1463	1293	975	742	604

Costs for a system with a solar multiple of two and thermal storage for 8 h of turbine operation

**Values apply to both run-of-the-river and reservoir hydro power

*** In this research, bio-energy and synthetic fuels are considered to be interchangeable fuels for power plants, combined heat and power plants (CHP), and heating plants. Synthetic fuels produced by renewable electricity—mainly solar and wind power—will either be added to bio-energy supply or replace it.

**** IRENA (2017), Geothermal Power: Technology Brief, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, page 13, CAPEX for binary plants—low projection

Weitere Annahmen sind im englischen Grundlagenbericht dokumentiert

Der englische Bericht ist auf der Webseite von Greenpeace Schweiz verfügbar:
www.greenpeace.ch/energieversorgung

Herausgeberin:
Greenpeace Schweiz

Projektleitung:
Georg Klingler Heiligtag, Greenpeace Schweiz

Design und Layout:
Rebel Communication, www.rebelcom.ch

Bezug:
www.greenpeace.ch/energieversorgung

Kontakt:
schweiz@greenpeace.org

Klimaneutraler Druck auf 100%
Recyclingpapier

Bildnachweis:
Nicolas Fojtu / Greenpeace (S.1, 4, 15, 35), Jonas
Scheu / Greenpeace (S.22), Roengchai Kongmuang
/ Greenpeace (S.45), Paul Langrock / Greenpeace
(S.47), OFC Pictures / Shutterstock (S.61)



GREENPEACE

Greenpeace Schweiz
Badenerstrasse 171
Postfach
8036 Zürich
+41 44 447 41 41
schweiz@greenpeace.org