

Schweizer Energiesystem 2050: Wege zu netto null CO₂ und Versorgungssicherheit

Kurzfassung

Inhalt

Das Wichtigste in Kürze.....	3
1 Einleitung.....	4
2 Wo stehen wir?.....	4
3 Wie geht es weiter?.....	8
4 Was können wir tun und wie? [4-13].....	13

IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN UND KONTAKT

Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+)
Erweiterte Energiekommission
Haus der Akademien • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern • Schweiz
+41 31 306 93 52 • urs.neu@scnat.ch • energie.akademien-schweiz.ch

ZITIERVORSCHLAG

Boulouchos K, Neu U et al. (2022) Schweizer Energiesystem 2050: Wege zu netto null CO₂ und Versorgungssicherheit. Kurzfassung. Swiss Academies Reports 17 (3)

AUTOREN UND AUTORINNEN

Konstantinos Boulouchos, ETH Zürich • Urs Neu, ProClim (SCNAT) • Andrea Baranzini, HEG Genève, HES-SO • Oliver Kröcher, Paul Scherrer Institut • Nicole Mathys, Bundesamt für Raumentwicklung ARE • Joëlle Noilly, Centre for International Environmental Studies Genf • Jean-Louis Scartezzini, EPF Lausanne • Rolf Schmitz, Bundesamt für Energie • René Schwarzenbach, SCNAT • Michael Stauffacher, ETH Zürich • Evelina Trutnevyte, Universität Genf

KONZEPT UND TEXTENTWURF

Wissdoc, St. Gallen

REDAKTION

Urs Neu, SCNAT

LAYOUT

Olivia Zwygart, SCNAT

TITELBILD

Gion Huonder/Movemedia GmbH

Die vorliegende Kurzfassung basiert auf einem Grundlagenbericht der Akademien der Wissenschaften Schweiz, der ausführlichere Informationen und Literaturangaben enthält. Am Schluss der Abschnitte ist in eckigen Klammern jeweils das entsprechende Kapitel aus dem Grundlagenbericht angegeben.

1. Auflage, 2022

Der Grundlagenbericht und die Kurzfassung sind in elektronischer Form verfügbar unter energie.akademien-schweiz.ch/publikationen/factsheets-und-reports

ISSN (print) 2297-1564
ISSN (online) 2297-1572

DOI: doi.org/10.5281/zenodo.6967086



Mit dieser Publikation leisten die Akademien der Wissenschaften einen Beitrag zu den SDGs 7, 12 und 13.

> un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals

> eda.admin.ch/agenda2030/de/home/agenda-2030/die-17-ziele-fuer-eine-nachhaltige-entwicklung.html

Das Wichtigste in Kürze

1. Das Ziel einer netto **CO₂-freien Energieversorgung** erreichen wir nur, wenn alle folgenden **fünf Faktoren** greifen: Energiedienstleistungen weniger beanspruchen, Effizienz steigern, Ersatz fossiler durch erneuerbare Energie, erneute Verwendung von Materialien, Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre (siehe Kap. 4).
2. Effizienz kommt (zeitlich) vor dem Ersatz («**Effizienz first**»). Zum Beispiel: Zuerst die Gebäudehülle isolieren, dann eine Wärmepumpe einbauen. Oder zuerst die Übermotorisierung und Übergrösse der Autos eindämmen (z. B. Bonus-/Malus-System), dann elektrifizieren (siehe Kap. 4).
3. Die wesentlichen Pfeiler für die zukünftige Stromversorgung sind **Wasserkraft und Photovoltaik**, unterstützt von Strom- und Wärmeproduktion aus erneuerbaren Brennstoffen. Das Angebot an Strom, namentlich durch **Photovoltaik**, müsste massiv beschleunigt werden auf **mindestens 1 GW Zubau pro Jahr**. Dazu kommen Windenergie und allenfalls auch Tiefengeothermie in kleineren Mengen. Die (Weiter-)Entwicklung neuer Kernkrafttechnologien sollte verfolgt werden, nennenswerte Beiträge an die Stromversorgung sind vor 2050 jedoch unwahrscheinlich (siehe Kap. 4).
4. Die **Kopplung verschiedener Energiequellen** und Energienetze wird immer wichtiger. Strom, Wärme und Treibstoff müssen zusammen gedacht werden. Energiespeicher, Winterstromangebot und Produktionskapazitäten auf Abruf sind essenziell für die Energiewende. Chemische Langzeitspeicher in Form von Wasserstoff, Methan etc., produziert mit Strom, werden sehr wichtig für die künftige Energieversorgung sein (siehe Kap. 3 Sektorkopplung).
5. Nur eine verstärkte Einbindung der Schweiz in den internationalen Energiemarkt (**vor allem Stromabkommen mit der EU**) ist kosteneffizient. Eine Stromversorgung ohne Importabhängigkeit im Winter wäre zwar möglich, aber teuer. Synthetische Treibstoffe, die für Flug- und Schwerverkehr unabdingbar sind, können in der Schweiz nicht in den erforderlichen Mengen produziert werden. Deshalb sind **Kooperationen** mit einzelnen Staaten für **künftige Lieferungen von Wasserstoff und synthetischen Brenn- und Treibstoffen** schon heute anzugehen (siehe Kap. 3 Energieszenarien und Box Synthetische Treibstoffe).
6. Trotz Import grosser Mengen erneuerbarer synthetischer Energieträger **nimmt die Auslandsabhängigkeit im Energiebereich** bei einer CO₂-armen Versorgung um etwa die Hälfte bis zwei Drittel ab und ist auf mehr Länder verteilt als heute. Die **Versorgungssicherheit wird grösser**, die importierte Energie ist speicherbar (siehe Kap. 3 Energieszenarien).
7. Ein **CO₂-Preis-Mechanismus** für alle Energiesektoren ist ein wichtiger Schritt für die Transformation. Ein geeignetes Instrument dafür ist **das Europäische Emissionshandelssystem ETS**. Nachteile für Haushalte mit niedrigem Einkommen und für ländliche Gebiete sollten verhindert werden (z. B. mit einer Lenkungsabgaben mit Rückverteilung) (siehe Kap. 4).
8. Für die Wirtschaft, Investoren und HauseigentümerInnen **ist bei politischen Massnahmen langfristige Planungssicherheit wichtig**. Es sollte soweit möglich langfristig definiert sein, welche Massnahmen zu welcher Zeit getroffen werden, allenfalls unter welchen Bedingungen (z. B. beim Verfehlen von Zwischenzielen). Gleichzeitig sollte die Möglichkeit bestehen, die Massnahmen dem Stand der Entwicklung in den Sektoren, bspw. dem Reifegrad der Technologien, anzupassen.
9. Grundsätzlich sind (**Emissions-**)**Grenzfade**, die regelmässig der technischen Entwicklung angepasst werden, einem Verbot bestimmter Techniken vorzuziehen. Verbote können sinnvoll sein, wenn gute Substitute (finanziell und technisch) zur Verfügung stehen (wie beispielsweise bei Heizungen) und so das Verbot ohne grössere wirtschaftliche Kosten zu einer nachhaltigen Emissionsreduktion führt.
10. Einzelne Branchen und Berufe werden praktisch verschwinden oder sich stark ändern, andere müssen sehr rasch aufgebaut werden, inklusive Fachkräfte. Diese Umstellungen sollten unterstützt werden (siehe Kap. 4).
11. Ein **raumplanerisches Gesamtkonzept** wird empfohlen, das sowohl Gebiete definiert, wo der Bau von Energieanlagen hohe Priorität genießt als auch Gebiete, wo die Interessen von Biodiversität und Landschaft hohe Priorität haben.
12. Der Bedarf an – grösstenteils importierten **Rohstoffen und Materialien** muss durch Minimierung von Abfall, flächendeckendes Recycling, Wiederverwendung und Diversifikation begrenzt werden.
13. Die **Forschung** zu CO₂-armen und Negativ-Emissionstechnologien muss weiter **intensiviert** werden (inkl. Förderung von Pilotanlagen), insbesondere zu Langfristspeicherung, Aufskalierung neuer Techniken und Lösungen für die energieintensive Zement- und Stahlindustrie. Wichtig ist auch ein besseres Verständnis der **gesellschaftlichen und ökonomischen Prozesse** (Preise, Akzeptanz, Verhaltensänderungen) und Möglichkeiten der Beeinflussung.

1 Einleitung

Dieser Bericht basiert auf einem Grundlagenbericht der Akademien der Wissenschaften Schweiz. Am Schluss der Abschnitte ist in eckigen Klammern jeweils das entsprechende Kapitel aus dem Grundlagenbericht mit zusätzlichen Informationen und Referenzen angegeben.

Der Bericht der Erweiterten Energiekommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz zeigt den Ist-Zustand der Schweizer Energieversorgung auf und formuliert Empfehlungen wie das Energiesystem bis 2050 netto CO₂-frei funktionieren kann. Dieses Ziel hat der Bundesrat gemäss dem von der Schweiz ratifizierten Pariser Klimaabkommen festgesetzt. Netto null CO₂ heisst: Emissionen, die nicht verhindert werden können, müssen kompensiert werden, indem das Treibhausgas technisch oder natürlich durch Aufforstung aus der Atmosphäre entzogen wird. Hinzu kommt, dass die Schweizer Bevölkerung 2017 beschlossen hat, aus der Nuklearenergie schrittweise auszusteigen.

Der Bericht fokussiert sich auf den Klimaschutz, weil dieser die grosse Herausforderung bei der Transformation der Energieversorgung (Energiewende) ist. Schnittstellen mit anderen UN-Nachhaltigkeitszielen (SDGs) werden teilweise erwähnt, aber nicht diskutiert, da dies den Rahmen des Berichts sprengen würde. Mehr als 98% der Treibhausgasemissionen, die das Energiesystem verursacht, bestehen aus CO₂. Andere Treibhausgase wie Methan oder Lachgas entstehen nicht durch Verbrennung fossiler Brenn- und Treibstoffe und wurden deshalb nicht berücksichtigt. Der Bericht konzentriert sich auf die inländischen Emissionen, gemäss dem Inventar der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen. Die grosse Menge der im Ausland verursachten Emissionen für unsere Importprodukte sind erwähnt, aber nicht Gegenstand des Berichts. Einbezogen sind jedoch die Emissionen des Flugverkehrs, auch wenn sie bisher in der Klimarahmenkonvention nicht berücksichtigt sind. [1]

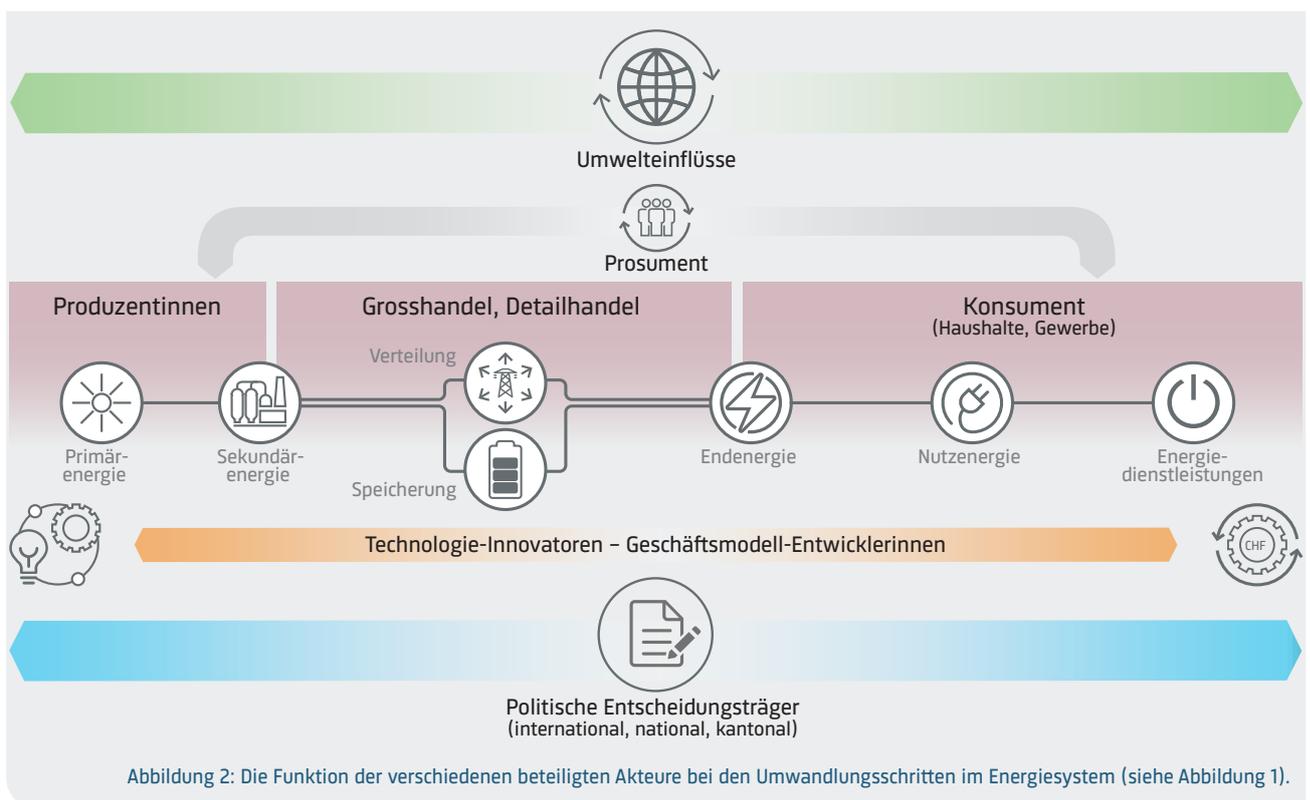
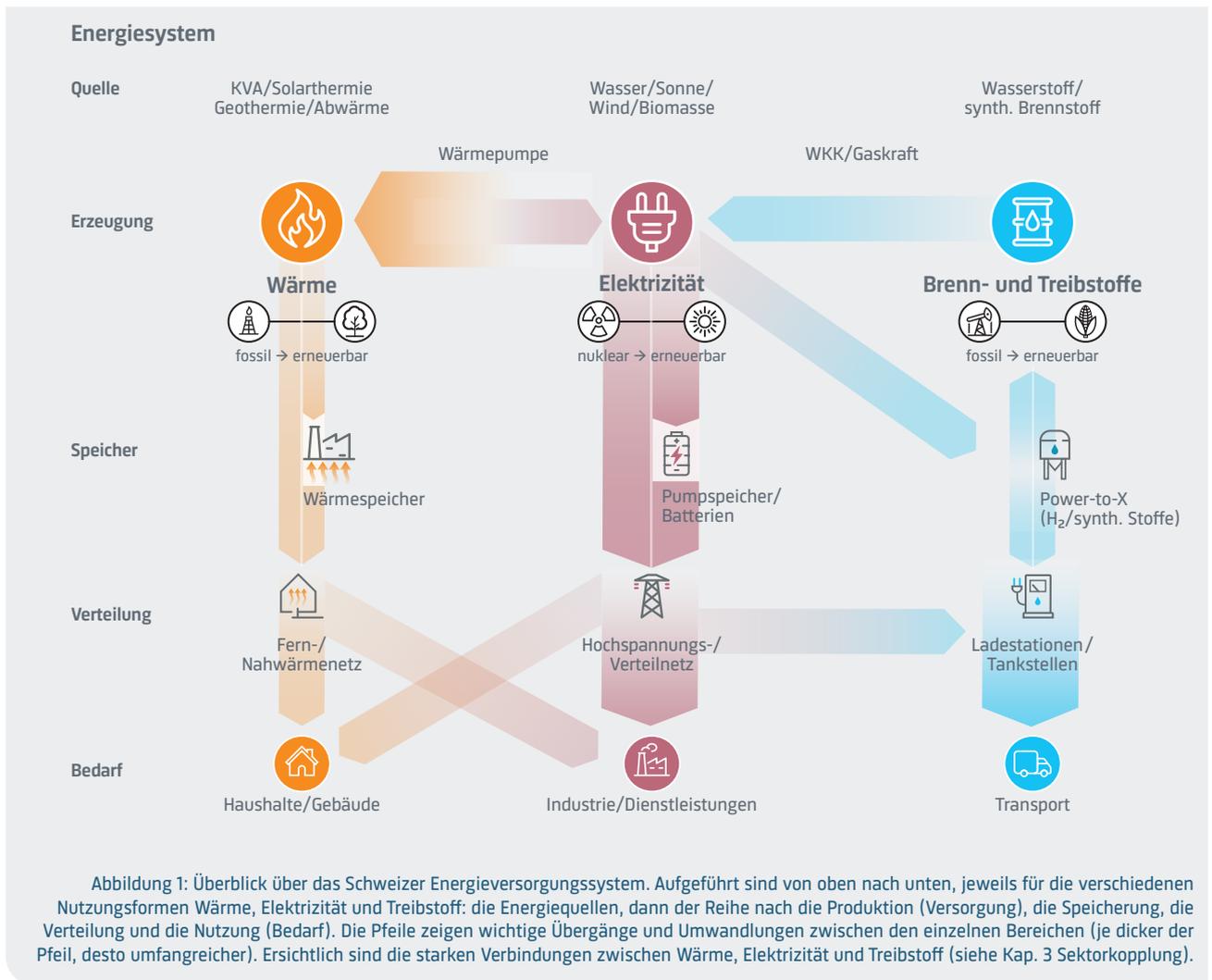
2 Wo stehen wir?

Während Bevölkerung und Bruttoinlandprodukt in den letzten 30 Jahren stark gewachsen sind, ist der Energiekonsum praktisch stabil geblieben und die CO₂-Emissionen sind in den letzten 10 Jahren um über 10% gesunken (Tabelle 1, Abbildung 3). [1]

Tabelle 1: Indikatoren für die Entwicklung der Schweiz (1990–2019)

Bevölkerung	+26%
Bruttoinlandprodukt	+61% (pro Kopf: +28%)
Konsum Endenergie	~0% (225 TWh pro Jahr; seit 20 Jahren ungefähr stabil)/pro Kopf: -21%
CO ₂ -Emissionen	-12% (ungefähr stabil bis ca. 2010; dann Rückgang bis 2019 um ca. 12%)/pro Kopf -33%

Das Schweizer Energiesystem funktioniert durch eine Kaskade verschiedener Umsetzungsschritte: Primärquellen (Erdöl, Kohle, Erdgas, Erneuerbare) werden zu Sekundärenergie (Strom, Heizöl, Biogas) umgewandelt und gelangen schliesslich über ein Verteil- und Speichersystem (Strom-, Wärme- und Gasnetze, Pumpspeicher, Batterie u. a.) zu den Endverbrauchern in den Haushalten, in der Industrie und im Verkehr (Abbildungen 1 und 2). Auf diese Weise ist Energie zu jedem Zeitpunkt und an jedem Ort zugänglich. [2]



Der Energiebedarf der vier Sektoren Haushalt, Industrie, Dienstleistung und Transport ist für fast alle CO₂-Emissionen verantwortlich (Tabelle 2). Abbildung 3 zeigt die

Entwicklung der Emissionen dieser Sektoren in den letzten 30 Jahren sowie einen möglichen Entwicklungspfad bis 2050. [4]

Tabelle 2: Anteile der energierelevanten Sektoren an Gesamtenergie- und Stromverbrauch sowie CO₂-Emissionen (in Klammern Absolutwerte) und die Entwicklung der CO₂-Emissionen 1990–2019 (Angaben gerundet)

Stand 2019	Haushalte	Industrie	Dienstleistungen	Transport Strasse/Schiene	Flugverkehr
Anteil am totalen Endverbrauch an Energie	27% (64 TWh)	18% (42 TWh)	16% (38 TWh)	27% (64 TWh)	10% (23 TWh)
Anteil am totalen Stromverbrauch	33% (19 TWh)	30% (17 TWh)	30% (17 TWh)	5% (3 TWh)	–
Anteil an totalen CO ₂ -Emissionen (inkl. Flugverkehr) pro Jahr	18% (7,6 Mt)	27% (11,3 Mt) ¹	8% (3,5 Mt)	35% (14,7 Mt) ²	13% (5,7 Mt)
Entwicklung der CO ₂ -Emissionen von 1990 bis 2019	–35%	–30%	–30%	~0% ³	⁴

- 1 11% (4,7 Mt) aus dem Energieverbrauch (Rest aus industriellen Prozessen und Abfallverbrennung)
- 2 25% (10,8 Mt) von Personenwagen
- 3 Anstieg von 1990 bis ca. 2008, dann Rückgang auf ca. das Niveau von 1990
- 4 1990–2000 Anstieg um 50%, dann leichter Rückgang bis 2010 (aufgrund «9/11» und Finanzkrise), 2010–2019 Anstieg um 35%

Im Folgenden werden die wichtigsten Veränderungen und Trends in den Sektoren kurz skizziert:

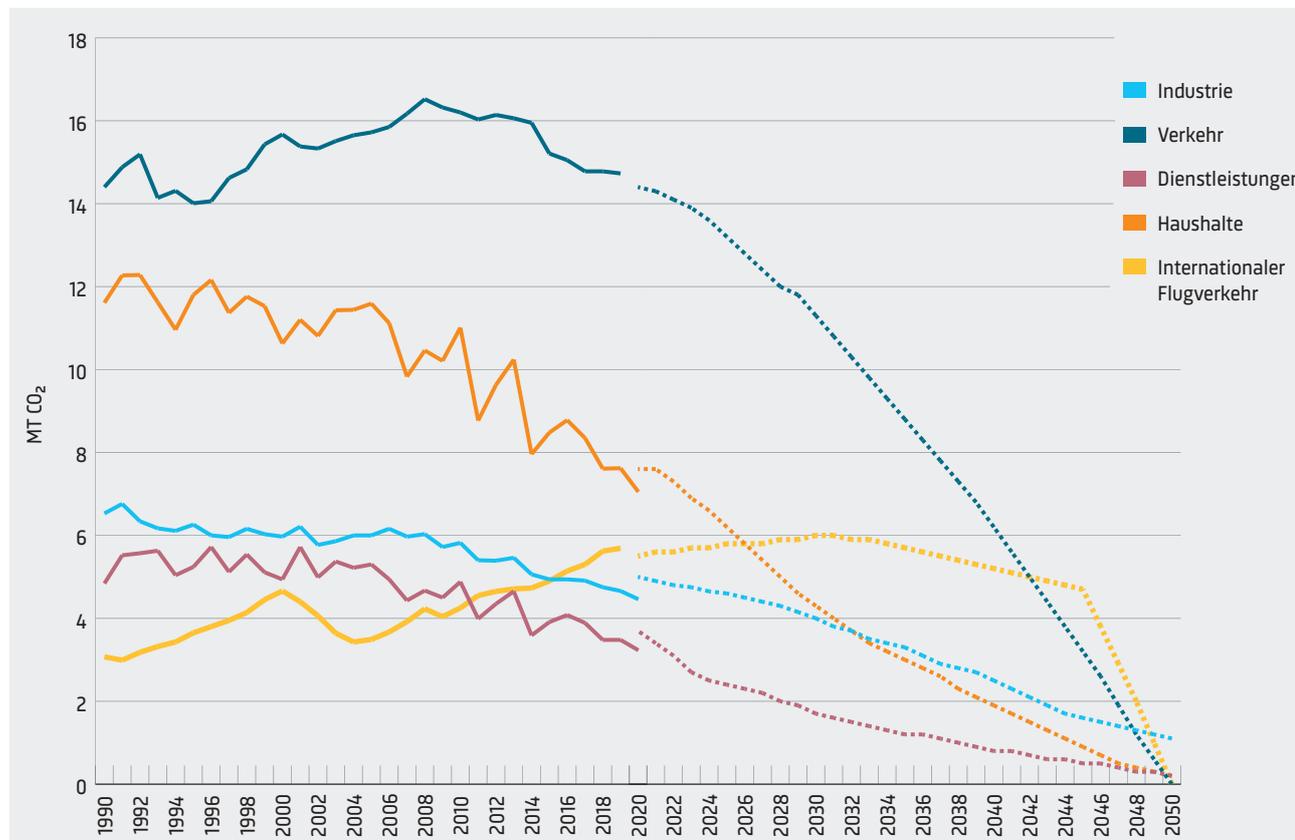


Abbildung 3: Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Energienutzung (ohne zum Beispiel Emissionen aus industriellen Prozessen) nach Sektoren gemäss Treibhausgasinventar (durchgezogene Linien) und eine mögliche Entwicklung bis zum Erreichen des Null-THG-Emissionsziels gemäss den Energieperspektiven 2050+ (Szenario «ZERO A»)⁵

⁵ Entwicklung der Emissionen aus dem internationalen Luftverkehr gemäss den Energieperspektiven 2050+, wobei jedoch entweder von einer allmählicheren Substitution von fossilem Kerosin oder vom Erreichen von null Emissionen viel später als 2050 auszugehen ist. Beobachtete Werte für den Verkehr und den internationalen Luftverkehr aus dem Jahr 2020 wurden aufgrund des starken Einflusses der Pandemie weggelassen.

Haushalt und Gebäude

Die beheizten Flächen in Gebäuden haben in den letzten Jahrzehnten durch das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum zugenommen (+48%), der Zuwachs flacht nun ab. Die Energieeffizienz und die CO₂-Bilanz haben sich vor allem in neuen Gebäuden deutlich verbessert dank den aktuellen Normen für eine moderne Gebäudedämmung und effizienteren Wärmepumpen, die mit erneuerbarem Strom laufen. Aber grundsätzlich ist diese Technik noch nicht Standard im Schweizer Gebäudepark. Die Sanierungsrate bei den Gebäuden ist noch viel zu tief (zurzeit ca. 1% pro Jahr) und müsste stark erhöht werden, um die Klimaziele zu erreichen. Durch den Klimawandel ist zwar mit einer Abnahme des Heizbedarfs im Winter zu rechnen, dafür mit einem massiv zunehmenden Energiebedarf für die Kühlung im Sommer. Andererseits wird der Strombedarf im Winter durch die Verbreitung von Wärmepumpen deutlich steigen. [4.1]

Industrie

Die Produktion der Prozesswärme ist für den Löwenanteil der direkten CO₂-Emissionen der Industrie verantwortlich. Dazu kommt die Energie für die Beheizung der Industriegebäude. Die Industrie hat zwar dank Modernisierungen den CO₂-Ausstoss zwischen 1990 und 2015 stetig senken können. Die Reduktionsrate ist aber deutlich langsamer als bei den Haushalten (Abbildung 3). Der steigende CO₂-Preis für Brennstoffe war für die Industrie ein Anreiz, verstärkte Massnahmen zu ergreifen. Energieintensive Branchen wie etwa die Zement- und Stahlindustrie sind teilweise von Erdöl auf Erdgas umgestiegen. Das hat die Emissionen gesenkt. [4.2]

Dienstleistung

Die zunehmende Effizienz der Raumbeheizung ist durch die Expansion des Dienstleistungssektors in den letzten 30 Jahren teilweise kompensiert worden. Der aktuelle Trend zu vermehrter Telearbeit könnte jedoch zukünftig den Flächenbedarf wieder verringern. Die Fläche der beheizten Räume nahm seit 1990 um 32% zu, die CO₂-Emissionen sind hingegen kontinuierlich gesunken (Abbildung 3). Die elektrische Energie spielt eine immer grössere Rolle, allerdings etwas weniger stark wie in den Haushalten. [4.2]

Transport und Mobilität

Der Güter- und Personenverkehr nimmt kontinuierlich zu und wird auch in Zukunft ansteigen. Der Energiebedarf pro Kilometer des Individualverkehrs hat sich in den letzten 25 Jahren zwar verringert (effizientere Motoren, leichtere Bauweise), doch die wachsende Nachfrage und das grosse Interesse an übermotorisierten Autos haben den Effekt kompensiert. Die Konsequenz: Die CO₂-Emissionen beginnen zwar allmählich zu sinken, aber sehr langsam.

Der Schwerverkehr ist um ca. 50% angestiegen, dessen CO₂-Emissionen weniger stark (+23%). Das Potenzial der Energieeffizienz ist aber fast ausgeschöpft. Die LSVA hat bis heute zu einem effizienteren Strassengüterverkehr und einem teilweisen Wechsel von der Strasse auf die Bahn geführt. Der Treibstoff macht einen beträchtlichen Teil der Betriebskosten aus. [4.3]

Box: Digitalisierung

Die Digitalisierung nimmt eine Sonderrolle in der Energieversorgung ein. Einerseits steigt der Strombedarf für Infrastruktur zur Datenspeicherung und zum Datenaustausch, für neue digitale Anwendungen und für Geldtransaktionen (Stichwort: digitale Währung) jährlich. Andererseits macht die Digitalisierung eine moderne, effiziente Energieversorgung (intelligentes Energiemanagement) erst möglich. Wie gross die Stromnachfrage in Zukunft sein wird, ist ungewiss. Es gibt dazu nur wenige Studien. Die Steigerung der Energieeffizienz in Datenzentren (Kühlung) wird in Zukunft eine wichtige Rolle spielen. Dazu braucht es entsprechende Regelungen und ökonomische Anreize. [10]

3 Wie geht es weiter?

Sektorkopplung

Die Dekarbonisierung der Energieversorgung verlangt einerseits die Elektrifizierung von Heizungen (via Wärmepumpen), Verkehr und Industrieprozessen, andererseits ein flexibles Wechselspiel zwischen Strom und chemischen Energieträgern wie Wasserstoff und Methan. Erst die Kopplung von Strom-, Antriebsenergie und Wärme-Produktion bringt die Flexibilität für eine stabile Energieversorgung. So lassen sich beispielsweise mit überschüssigem Solarstrom im Sommer zur Entlastung des Stromnetzes Tieftemperatur-Wärmepumpen oder Kühlanlagen betreiben. Bei Produktionsspitzen von Photovoltaik um die Mittagszeit können Batterien von stehenden Elektroautos geladen werden. Dazu braucht es allerdings die entsprechende Infrastruktur und Logistik.

Die Herstellung synthetischer Treibstoffe ist unabdingbar, weil es für die Luftfahrt und den Schwerkverkehr Treib-

stoff mit hoher Energiedichte braucht. Batterien sind zu schwer, um Flugzeuge und schwere Lastwagen zu bewegen. Allerdings verlangt die Produktion synthetischer Treibstoffe grosse Mengen an erneuerbarem Strom, die in der Schweiz und in Zentraleuropa aus klimatischen Gründen kaum allein im Inland produziert werden können. Dafür sind Länder mit hoher Sonneneinstrahlung oder mit viel Wind deutlich besser geeignet, weil die Volllaststunden um ein Mehrfaches höher liegen und die Elektrolyseure ausgelastet sind. In Regionen wie Nordafrika, dem mittleren Osten oder Südamerika können synthetische Brenn- und Treibstoffe viel kostengünstiger hergestellt werden. Zudem lassen sich diese über längere Strecken transportieren. Pipelines und Schiffe gibt es dafür teilweise bereits. Sie müssten nur reaktiviert werden. Neben der Sektorkopplung ist daher die internationale Vernetzung mit möglichen Produktionsländern von grosser Bedeutung.

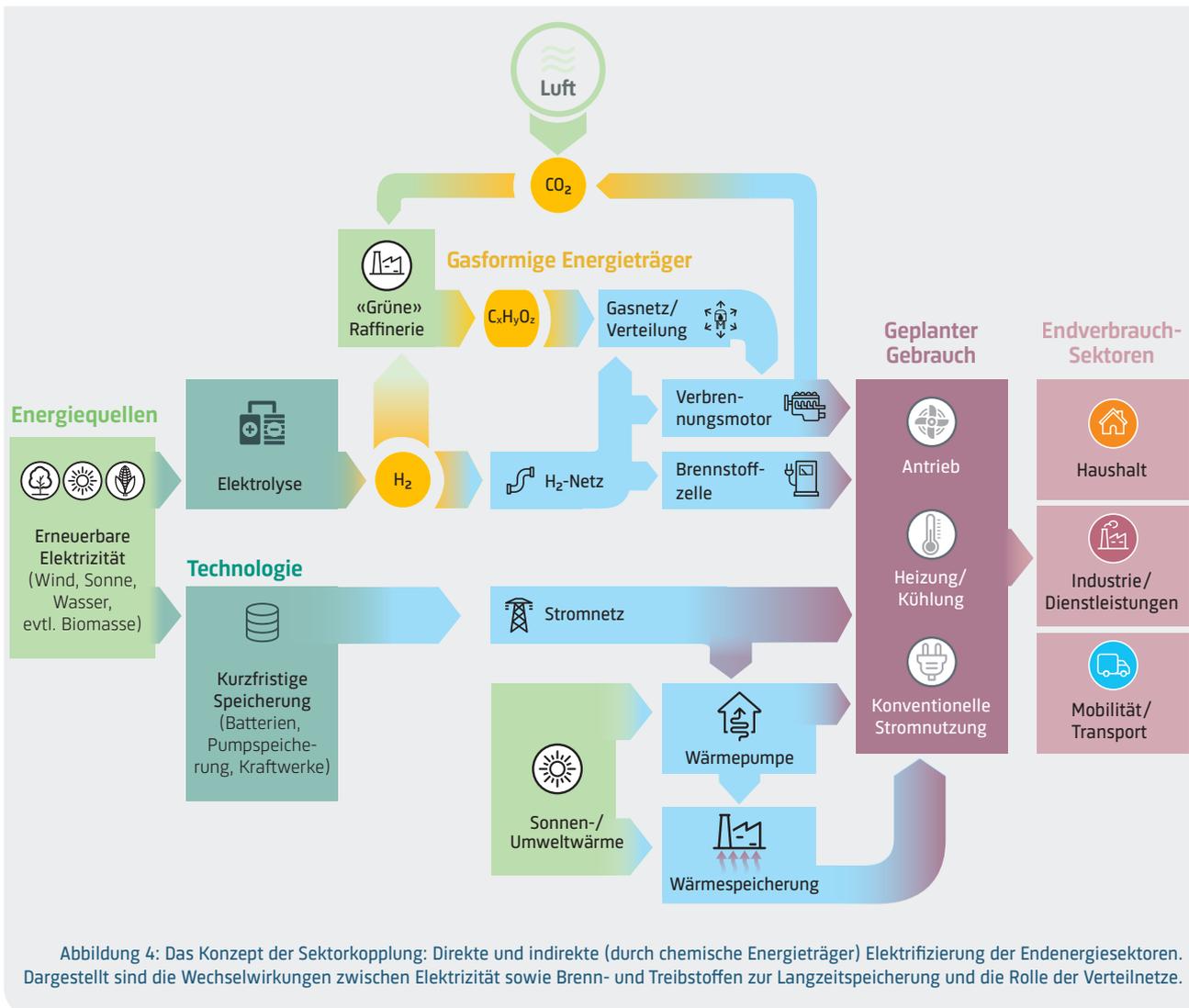


Abbildung 4: Das Konzept der Sektorkopplung: Direkte und indirekte (durch chemische Energieträger) Elektrifizierung der Endenergiesektoren. Dargestellt sind die Wechselwirkungen zwischen Elektrizität sowie Brenn- und Treibstoffen zur Langzeitspeicherung und die Rolle der Verteilnetze.

Die Sektorkopplung ist ein komplexes System. Sie bedingt eine enge Zusammenarbeit zwischen Behörden, der Industrie, dem Gewerbe und Privateigentümerinnen. Zudem braucht es technische Fortschritte, damit Elektrolyseure, Methanisierungsanlagen, Raffinerien für synthetische Energieträger und grosse Brennstoffzellen von grosser Kapazität marktreif werden. Dabei können regionale Energieversorger eine besonders wichtige Rolle spielen.

In der Folge werden die Optionen für die Stromproduktion, die Herstellung erneuerbarer Brenn- und Treibstoffe sowie der Auf- und Ausbau von Speichern und Verteilnetzen diskutiert. [7]

Stromproduktion

Die Nachfrage nach elektrischem Strom ist aufgrund des starken Wirtschaftswachstums in der Schweiz zwischen 1970 und 2004 um den Faktor 2,2 gestiegen. Seither ist sie mehr oder weniger stabil. Der Grund: Dank der stark verbesserten Energieeffizienz bei elektrischen Geräten und Motoren konnte die wachsende Nachfrage kompensiert werden.

Die Stromnachfrage wird jedoch in den nächsten Jahrzehnten deutlich steigen, weil

- die Bevölkerung und Wirtschaft weiterwachsen,
- der Verkehr und die Wärmeproduktion weitgehend elektrifiziert werden müssen, um die CO₂-Emissionen gemäss dem Netto-Null-Ziel bis 2050 des Bundesrates massiv zu reduzieren,
- die Digitalisierung (Betrieb und Kühlung von Rechenzentren) weiter fortschreitet.

Die Dekarbonisierung der Energieversorgung und der beschlossene Ausstieg aus der Kernkraft wird die Struktur der Energieversorgung verändern:

- Die Kernkraft wird mengenmässig hauptsächlich durch Solarenergie abgelöst. Dieser Wandel innerhalb der nächsten 10 bis 25 Jahre wird die Kapazität der Stromproduktion im Winterhalbjahr reduzieren. Bisher floss nuklearer Strom zu 57% im Winter- und zu 43% im Sommerhalbjahr. Die Solarenergie ist aufgrund der saisonalen Wetterabhängigkeit anders verteilt: Zwei Drittel im Sommer, ein Drittel im Winter. Das heisst: Das Stromangebot aus erneuerbarer Energie wird im Winter geringer sein – es gibt ein saisonales Ungleichgewicht. Das Defizit könnte mit einem erhöhten Import beispielsweise von Windstrom aus der EU gedeckt werden. Es gibt aber auch eine – wenngleich ziemlich teure – Option, ohne Stromimport auszukommen (siehe Energieszenarien).
- Der Stromimport im Winter betrug in den letzten Jahren etwa 6 TWh_{el}. Wieviel Strom in Zukunft importiert werden kann, ist ungewiss, weil es bis heute kein Stromabkommen mit der EU gibt, das den Strommarkt und die technische Zusammenarbeit (Einbindung ins europäische Stromnetz) regelt. Und weil die EU den Export bei Mangellagen stark einschränkt. Das kann zum Risiko für

die Schweizer Stromversorgung in Form einer Strommangellage werden.

- Das bevorstehende Stromdefizit im Winter könnte etwas gemildert werden durch den Ausbau der Windkraft und eventuell der Geothermie. Speicherkraftwerke werden in diesem Zusammenhang im Winter eine grössere Rolle spielen als bisher. Bedeutsam wird die chemische Speicherung von überschüssigem Solarstrom im Sommer für den Winter sein (siehe Kap. 3 Sektorkopplung/Energieszenarien).
- Stromangebot- und -nachfrage müssen im Netz stets im Gleichgewicht sein. Die Wasserkraft bleibt deshalb nicht nur die wichtigste Stromquelle für die Bandenergie, sondern auch bedeutsam als flexible Stromquelle für die Stabilität des Stromnetzes (Pumpspeicherkraftwerke). In Zukunft wird dies umso wichtiger sein, weil die Sonnenenergie – wetterabhängig – starken Schwankungen ausgesetzt ist. So kann zum Beispiel überschüssiger Solarstrom am Mittag durch Pumpspeicherkraftwerke für die Nacht gespeichert werden.
- Eine weitere Option für eine sichere Stromversorgung sind Gaskombikraftwerke und Blockheizkraftwerke. Diese Energiequellen können jedoch auf dem Weg zur postfossilen Energieversorgung nur als Übergangslösung betrachtet werden, solange sie mit Erdgas laufen. Beide Kraftwerkstypen könnten jedoch auch mit Biogas oder Wasserstoff betrieben werden (siehe Kap. 3 Sektorkopplung). Diese beiden Optionen kommen zum Einsatz, wenn der Zubau an Solarenergie und Stromspeicher in den nächsten Jahrzehnten nicht genügend beschleunigt wird.
- Technologieentwicklungen im Bereich der Kernkraft sollen verfolgt werden, aus verschiedenen Gründen (fehlende Investoren, steigende Kosten, unsichere gesellschaftliche Akzeptanz, neue Techniken noch nicht etabliert) ist ein nennenswerter Beitrag der Kernenergie bis 2050 jedoch unwahrscheinlich.

Heute beträgt die jährliche Schweizer Stromproduktion durchschnittlich etwa knapp 60 TWh (57 TWh 2020). 2050 wird sie gemäss verschiedenen Szenarien etwa bei 64 bis 97 TWh liegen (siehe Energieszenarien). Wasser- und Solarenergie werden die Hauptquellen der künftigen Stromversorgung sein. Doch letztlich braucht es ein Portfolio verschiedener Produktionsarten, um den enormen zusätzlichen Strombedarf zu decken. Die möglichen Stromquellen verfügen über unterschiedliche Potenziale in der Schweiz sowie Vor- und Nachteile (Tabelle 3). [4.4]

Tabelle 3: Übersicht über die Potenziale sowie Vor- und Nachteile der verschiedenen Stromerzeugungsarten im Schweizer Kontext [4.4]

	Potenzial	Vorteile	Nachteile
Wasserkraft	Heute 35 TWh _{el} +10% möglich	<ul style="list-style-type: none"> – Liefert Bandenergie – Flexibler Einsatz für Stromnetzstabilität – Emissionen: 5–15 g CO₂ pro kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Limitierte Ausbaumöglichkeiten (geringe Akzeptanz für neue Kraftwerke; beschränkte Lernkurve bzgl. Effizienz und Kosten) – Auswirkung auf Ökosystemleistungen
Photovoltaik	25–67 TWh _{el} (abhängig, ob Zubau auch auf Fassaden und grosse Anlagen in den Alpen)	<ul style="list-style-type: none"> – Tiefe Gestehungskosten – Grosse Akzeptanz von PV im Mittelland – Emissionen: 7–71 g CO₂ pro kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Schwankungen in der Produktion (täglich, saisonal), abhängig vom Wetter – Viel Speicher (Batterien) notwendig, um Netzstabilität zu sichern
Wind	Bis 5 TWh _{el}	<ul style="list-style-type: none"> – Liefert Winterstrom (2/3 der Produktion im Winterhalbjahr) – Emissionen: 5–30 g CO₂ pro kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Schwankungen in der Produktion – Speicher notwendig – Geringe Akzeptanz (Lärm, Umwelteffekt)
Geothermie	Weniger als 5 TWh _{el}	<ul style="list-style-type: none"> – Potenzial für Bandenergie – Emissionen: 27–84 g CO₂/kWh_{el} 	<ul style="list-style-type: none"> – Geringe Akzeptanz für Tiefengeothermie – Risiko für kleine Beben – Investitionsrisiko gross
Gaskombikraftwerk	5 TWh pro Kraftwerk	<ul style="list-style-type: none"> – Flexibler Einsatz für Stromnetzstabilität – Einsetzbar bei Spitzennachfrage – Für H₂ und Biogas anpassbar – Emissionen: 70–100 g CO₂ pro kWh_{el}, falls CO₂ abgeschieden und gespeichert wird (CCS) 	<ul style="list-style-type: none"> – Mit Erdgas etwa 360 g CO₂ pro kWh_{el} – Deshalb wenig Akzeptanz in der Schweiz – Betriebskosten abhängig von Gaspreis – Betrieb mit H₂ und synthetischem Methan: erst langfristig genügend Menge vorhanden – Geopolitische Abhängigkeit
Dezentrales Blockheizkraftwerk	Einstelliger TWh-Bereich	<ul style="list-style-type: none"> – Guter und schneller Einsatz für Stromnetzstabilität – Tiefe Investitionskosten – Produziert Strom und Wärme (auch für Industrie) – Tiefe CO₂-Emissionen, wenn mit erneuerbaren Gasen (H₂, Biogas, Methan) betrieben 	<ul style="list-style-type: none"> – Nur sinnvoll nahe an Fern- und Nahwärmenetzen – Betriebskosten abhängig von Brennstoffpreis – Grosse Mengen an erneuerbaren Gasen erst langfristig erhältlich – Mit Erdgas: 340–468 g CO₂ pro kWh_{el}
Kernkraft	Bis 10 TWh _{el} pro grosses Kraftwerk	<ul style="list-style-type: none"> – Liefert Bandenergie – Kraftwerke brauchen wenig Landfläche – Emissionen: 5–40 g CO₂/kWh_{el} – Lastfolgefähigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe Investitionskosten – Neue Generation III+: In westlichen Ländern massive Bauverzögerungen und Budgetüberschreitungen – Produziert radioaktiven Abfall – Neue Technologien noch nicht marktreif – Entspricht nicht dem Volkswillen (Abstimmung 2017)
Import	Heute bis zu 10 TWh _{el}	<ul style="list-style-type: none"> – Grundsätzlich eine gute Option bei Strommangel im Winter – Europäischer Strom künftig erneuerbar und CO₂-arm 	<ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Emissionen der europäischen Stromproduktion derzeit bei 275 g CO₂ pro kWh_{el} – Ungewisser Import ohne Stromabkommen

Energiespeicherung

Energiespeicherung spielte schon immer eine wichtige Rolle. So wurde Bandenergie der Kernkraftwerke und Laufkraftwerke bei geringer Nachfrage in der Nacht mit Hilfe von Pumpspeicherkraftwerken für den grossen Bedarf am Tag zwischengespeichert. Die Aufgabe der Energiespeicherung wird in Zukunft erweitert: Die Stromproduktion durch Photovoltaik und Windanlagen schwankt entsprechend der Wetterlage und ist nur beschränkt vorhersehbar. Das verlangt eine flexible Speicherung der Energie. So sind Speicher dafür da, überschüssigen Strom in «guten Zeiten» für «schlechte Zeiten» zu speichern. Bei Photovoltaik helfen sie, das Tag-Nacht-Ungleichgewicht auszugleichen. Die grösste Herausforderung ist jedoch, solaren Sommerstrom durch Langzeit-Speicherung in den Winter zu überführen. [6]

Je nach Aufgabe gibt es unterschiedliche Speicherformen:

– Elektrische Speicher

Sie sind geeignet für den Tag-Nacht-Ausgleich oder für die Stromspeicherung über mehrere Tage. Sie sind aber auch für die Ausbalancierung des Stromnetzes innert Minuten und Stunden einsetzbar. Etablierte Speicher sind Pumpspeicherkraftwerke (Effizienz 75–80%) und Batterien (Effizienz 80–85%). Erstere können eine Leistung bis zu 1 GWh erbringen. Ihre Investitionskosten können über die lange Laufzeit hinweg amortisiert werden. Standorte für neue Pumpspeicherkraftwerke sind hingegen nur schwer auszumachen. Batterien hingegen haben eine Speicherkapazität von wenigen Kilowatt- bis einige Megawattstunden. Deren Lebenszeit beträgt etwa 10 Jahre, abhängig von der Zahl der Lade- und Entladezyklen. Die spezifischen Kosten sind immer

noch hoch, sind aber in den letzten Jahren stark gesunken und werden weiter sinken. In Zukunft ist auch die Nutzung von Autobatterien als kurzfristige Speichermedien eine Möglichkeit.

– Langzeit-Wärmespeicher

Im Sommer kann Wärme im Untergrund bis zum Winter gespeichert werden. Wärmepumpen, die im Sommer durch ungenutzten erneuerbaren Strom (zur Stabilisierung des Stromnetzes) betrieben werden, bringen Wärme in den Untergrund. Das kann Umgebungswärme oder Abwärme von Kühlungsprozessen sein. Auch See- oder Grundwasser kann als Speicher- bzw. Kühlmedium verwendet werden. Zum Beispiel wärmt oder kühlt Wasser vom Zürichsee schon heute Quartiere der Stadt Zürich. Die im Sommer gespeicherte Wärme wird im Winter wieder an Fern- oder Nahwärmenetze abgegeben. Solche Speicher können im Winter den Stromimport reduzieren, weil sie Wärmepumpen durch Fernwärme ersetzen.

– Chemische Langzeit-Speicher

Diese Form der Energiespeicherung wird für die Energiewende eine wichtige Rolle spielen. Der Ersatz der Nuklearenergie durch Photovoltaik macht eine Strategie für den saisonalen Energieausgleich nötig. Sonnenenergie wird im Mittelland zu etwa zwei Dritteln im Sommer produziert. Grobe Schätzungen zeigen, dass etwa 10–15% der jährlichen Produktion vom Sommer in den Winter überführt werden müssen. Diese Menge könnte einerseits reduziert werden, wenn der Zubau an Windenergie massiv gesteigert wird, das entsprechende Potenzial und die Akzeptanz sind jedoch beschränkt. Andererseits kann durch Power-to-X mit überschüssigem Solarstrom per Elektrolyse Wasserstoff hergestellt werden. Das Gas ist dann Ausgangsstoff für verschiedene gasförmige oder flüssige Brenn- und Treibstoffe wie etwa Methan, synthetische Kohlenwasserstoffe oder Methanol.

Die Schlüsselfrage ist allerdings, von wo das CO₂ stammen wird, das für die Methanisierung gebraucht wird. Möglich wäre eine Direktentnahme aus der Atmosphäre (DAC). Eine mögliche Quelle wären auch KVAs, die bei der Abfallverbrennung CO₂ ausstossen. Das ist allerdings eine Kostenfrage, bei DAC zusätzlich eine Material-, Ressourcen- und Flächenfrage. Die Direktentnahme aus der Atmosphäre kostet heute 600 CHF pro Tonne CO₂ (bei einem aktuellen Preis für EU-ETS-CO₂-Zertifikate von ca. 80 CHF), allerdings sind hier noch starke Kostenreduktionen zu erwarten.

Hinzu kommt, dass die Lagerkapazität für Methan um ein Mehrfaches vergrößert werden müsste für eine saisonale Speicherung. Das Gas könnte im Winter für die Stromherstellung in einem Gaskombikraftwerk verwendet werden. Möglich wäre aber auch die Herstellung von Kohlenwasserstoffen für synthetischen Treibstoff für den Langstreckenverkehr. Letztlich wird

es eine Frage des Marktes sein, für welchen Syntheseweg sich die Energieproduzenten entscheiden.

Box: Synthetischer Treibstoff? Wofür und zu welchem Preis?

Der Bedarf an Wasserstoff und synthetischem Kerosin (für den Flugverkehr) in der «Netto-Null»-Schweiz hängt vom jeweiligen Energieszenario ab (siehe Energieszenarien). Nehmen wir einen Durchschnittswert der zwei Szenarien: die Produktion von 39 TWh synthetischer Treibstoff. Um diese Menge zu produzieren, braucht es einen zusätzlichen Strombedarf von 90 TWh_{el}. Der Stromkonsum wird 2050 in der Schweiz je nach Szenario 64–97 TWh betragen. Das heisst: Die Erzeugung der synthetischen Treibstoffe verlangt zusätzliche elektrische Energie im Ausmass des künftigen Stromkonsums in der Schweiz. Diese Menge lässt sich in der Schweiz aus Kosten- und Platzgründen nicht produzieren. Dafür müssten enorme zusätzliche PV-Flächen geschaffen werden (1300 km²) und Elektrolyseure wären zu wenig ausgelastet, um kostengünstig aus Wasser H₂ zu produzieren. Synthetische Treibstoffe sind nur in Regionen kostengünstig zu produzieren, wo es extrem sonnig ist oder viel Wind hat. Synthetischer Treibstoff wird zwar teurer sein als heutige Treibstoffe, doch brauchen wir viel weniger. Deshalb wird der Import von synthetischem Treibstoff ähnlich viel kosten wie heute der Import von fossilen Treibstoffen für Haushalte und Unternehmen. [7]

Energie-Verteilnetze

Die Energie-Verteilnetze können in einer Netto-Null-Energieversorgung nicht separat betrachtet werden. Sie sind gekoppelt, weil die Speicherung von Strom in Form von synthetischen Gasen oder Wärme in Zukunft eine wichtige Rolle spielen wird (siehe Sektorkopplung). Gas- und Fernwärmenetze erhalten eine zusätzliche Aufgabe. [5]

Stromnetz

Stromnetze transportierten bisher Strom von grossen Kraftwerken über verschiedene Spannungsebenen ins Verteilnetz zu den KonsumentInnen. In Zukunft – mit dem erhöhten Zubau von PV, Wind, Blockheizkraftwerken und Kleinwasserkraftwerken – wird der Strom teilweise auch vom Verteil- ins Hochspannungsnetz fliessen. Das erfordert eine stärkere Koordination der einzelnen Netzbetreiber, um das Stromnetz im Gleichgewicht zu halten. Das Schweizer Stromnetz ist ein Teil des europäischen Verbundes. Ohne Stromabkommen mit der EU hat die Schweiz keinen politischen und technischen Einfluss beim Ausbau des Strommarktes in Europa. Damit wird die Versorgungssicherheit in der Schweiz geschwächt. Ein Abkommen ist deswegen von grosser Bedeutung.

Gasnetz

20% der Haushalte sind heute zum Heizen auf Erdgas angewiesen. Dieses sollte aber in Zukunft durch Wärmepumpen oder Fern- oder Nahwärme ersetzt werden. Das heisst: Das Erdgasverteilnetz wird langfristig kleiner werden. Hingegen kann das Gasübertragungsnetz auch in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, um Biogas oder erneuerbare Gase wie Methan oder Wasserstoff zu transportieren. Das Gasnetz könnte aber auch hilfreich sein für den Transport von gefiltertem CO₂ zum Beispiel aus KVA's für die Speicherung im Untergrund oder für eine Wiederverwendung des Treibhausgases.

Wärmenetz

Wärmenetze machen dort Sinn, wo erneuerbare Wärme, zum Beispiel von KVA's, Biomasse- oder Block-Heizkraftwerken, oder grössere Mengen von Umweltwärme aus solarthermischen Anlagen oder aus dem Boden transportiert werden müssen. Der Ausbau von Fern- und Nahwärmenetzen wird in Zukunft eine wichtige Rolle spielen, vor allem in dichten Siedlungsgebieten wie Städten, wo der Einsatz von dezentralen Wärmepumpen nur begrenzt möglich ist. Es braucht jedoch immer ein ökonomisches Abwägen zwischen dem Energieeffizienzvorteil und dem Bau eines neuen Netzes.

Netto-Null-Energieversorgung – zwei Szenarien ohne direkte Stromimporte

Die folgenden zwei Szenarien zeigen, dass es in einer Netto-Null-Energieversorgung potenziell möglich wäre, ohne Stromimporte über den Winter zu kommen. Dazu braucht es aber enorme Mengen an synthetischen Treibstoffen für die Winterstromproduktion – und die Luftfahrt. Das wenig realistische Autarkie-Szenario (Focus domestic) setzt eine enorme PV-Stromproduktion voraus. Beim realistischeren, aber trotzdem anspruchsvollen Szenario Focus balanced wird mit zwei Dritteln weniger PV-Strom gerechnet, dafür wird die importierte Menge an Wasserstoff und synthetischen Treibstoffen für die Energieversorgung und den Flugverkehr massiv ansteigen. Bei beiden Szenarien nimmt die Energieabhängigkeit vom Ausland gegenüber heute deutlich ab. Die Szenarien gehen von scharfen Effizienzfortschritten aus in den Gebäuden (energetische Sanierungen und Wärmepumpen), in der Industrie (Wärmeeffizienz) und in der Mobilität (Effizienz um Faktor 3 besser durch Elektrifizierung). Die Szenarien dokumentieren aber auch den enormen Strombedarf, der im Ausland nötig sein wird, um die Produktion von synthetischen Treibstoffen allein für die Schweiz zu gewährleisten.⁶ Die Schlüsselbotschaft ist: Eine sichere Energieversorgung durch internationale Kooperation und eine Diversifikation der Energiequellen im Ausland ist viel realistischer als eine (vollständige) Autarkie. [7]

Tabelle 4: Kenngrössen des Schweizer Energieversorgungssystems im Jahr 2050 und Vergleich zu heute für zwei Eck-Szenarien gemäss vereinfachten Berechnungen.⁷ Dabei wird vom Worst-Case-Szenario ausgegangen, bei welchem 2050 keine Stromimporte aus dem Ausland sicher gewährleistet sind. [7]

Szenario	Heute (2019)	Focus domestic	Focus balanced
		Gesamter Strombedarf der Schweiz wird im Inland (inkl. Winter) produziert, auch Wasserstoff und Methan für Winterstromproduktion via Gaskombikraftwerke und Blockheizkraftwerke. Nur synthetisches Kerosin für die Luftfahrt kommt aus dem Ausland.	Fehlender Winterstrom, Treibstoff für Schwerkverkehr und Wärme für Industrie wird durch importierten erneuerbaren Wasserstoff gedeckt. Dazu kommt der importierte synthetische Treibstoff für die Luftfahrt.
Import Winterstrom	~5 TWh _{el}	0	0
Stromkonsum total	57 TWh _{el}	97 TWh _{el}	69 TWh _{el}
Produktion Photovoltaik	2 TWh _{el}	61 TWh _{el}	21 TWh _{el}
Import Biomasse/Biogas	2,5 TWh	16 TWh	16 TWh
Import synthetischer Treibstoff (H ₂ /e-fuel)	0	22 TWh	55 TWh
Strombedarf im Ausland für Produktion H ₂ /e-fuel	0	59 TWh _{el}	118 TWh _{el}
Import total (∅ Treibstoffe/Biomasse)	232 TWh	38 TWh (-84%)	71 TWh (-70%)
Brutto Energieverbrauch	311 TWh	191 TWh	180 TWh
Importabhängigkeit	75%	20%	40%

⁶ Wären direkte Stromimporte aus den europäischen Nachbarländern gesichert, würde in beiden Szenarien, insbesondere im «Focus domestic», der Aufwand für die inländische Energieinfrastruktur kleiner.

⁷ Siehe Appendix 1 in der Langfassung dieses Berichts (vgl. Impressum).

4 Was können wir tun und wie? [4–13]

Die Transformation weg von der fossilen hin zu einer Netto-Null-Energieversorgung bis 2050 verlangt einen ganzheitlichen Ansatz. Es gibt fünf Felder, wo in den nächsten Jahren dringend Fortschritte erzielt werden müssten. Wir nennen es das 5E-Konzept (Abbildung 5):

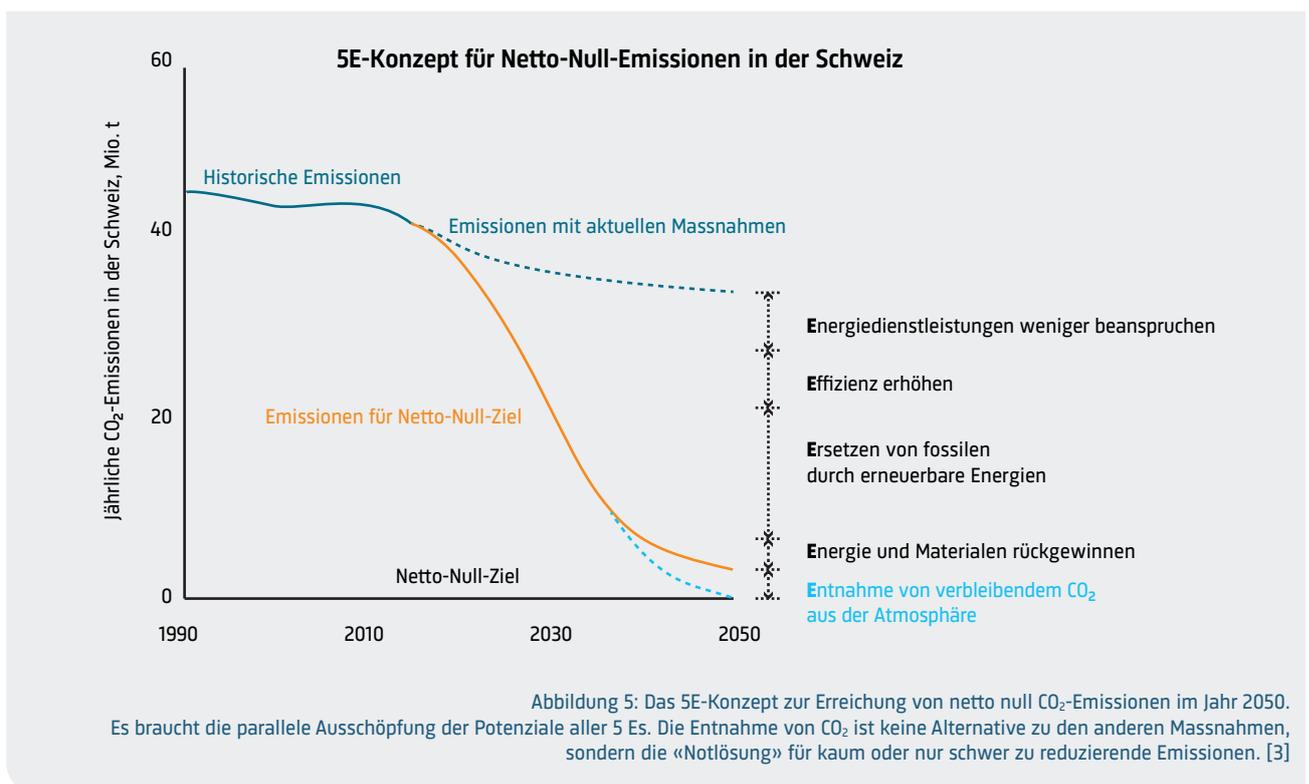
E1: Energiedienstleistungen weniger beanspruchen: Verringerung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen durch die Endverbrauchenden.

E2: Effizienz erhöhen: Steigerung der Energieumwandlungseffizienz von Geräten, Maschinen, Industrieprozessen, Autos usw.

E3: Ersatz fossiler durch erneuerbare Energie: Ersatz kohlenstoffhaltiger fossiler Brennstoffe durch Energiequellen mit keinen oder geringen Netto-THG-Emissionen.

E4: Erneute Verwendung von Materialien: Recycling von Materialien in allen Bereichen; Wiederverwendung von abgetrenntem CO₂.

E5: Entnahme von CO₂ aus der Atmosphäre: Einsatz von Technologien, die CO₂ durch chemische oder biologische Prozesse aus der Atmosphäre entfernen und permanent speichern. [3]



Es folgt eine Auswahl der wichtigsten Massnahmen mit den jeweiligen Ansprechpartnerinnen (in Klammern):

Haushalt und Gebäude [4.1]	
E1	<ul style="list-style-type: none"> – Die Raumtemperatur senken, die beheizten Flächen reduzieren (Bevölkerung) – Vermeidung von Abfällen (z. B. Nahrungsmittel) (Bevölkerung)
E2/E3	<ul style="list-style-type: none"> – Die Rate der energetischen Sanierung von Gebäuden von derzeit 1% pro Jahr ist viel zu niedrig. Sie müsste auf 2 bis 3% pro Jahr erhöht werden. Ein spezieller Fokus sollte dabei auf Miethäuser gerichtet sein, bei denen die Mieter keinen Einfluss auf die Sanierung haben. Die Anreize sollten für den Vermieterinnen einen mittelfristigen Return of investment garantieren, aber nicht auf Kosten der Mieter (Politik) – Die CO₂-Emissionsgrenzwerte für Heizungen und Gebäude (heute u.a. in den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE) festgelegt) sollen entsprechend dem technischen Fortschritt laufend angepasst werden. Das ist einem Technologie-Verbot vorzuziehen. (Politik, Architektur/SIA-Normen) – Erhöhung der CO₂-Abgabe für fossile Brennstoffe (Politik) – Klarere Regelung der Prioritäten-Abwägung zwischen Umwelt-/Denkmalschutz, Energieversorgung und Klimaschutz (Politik)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Geregelte Wiederverwendung von Baumaterialien (Politik, Baunormen)
Industrie und Dienstleistung [4.2]	
E2/E3	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der CO₂-Abgabe für fossile Brennstoffe (Politik) – Verbesserung des Wissenstransfers bzgl. Energieeffizienzsteigerung in der Industrie (Industrieverbände) – Optimierung der Kühlprozesse und Nutzung der Abwärme für die Raumbeheizung in Datacentern (Architektur/SIA-Normen) – Fossile Energie für Industriewärme durch erneuerbare ersetzen (etwa durch Biomasse) (Industrie) – Umsetzung vorantreiben von Filterung und Speicherung von CO₂ im Untergrund (Carbon Capture and Storage CCS) (Politik, Industrie, Forschung) – Förderung der Ausbildung von Fachkräften für aufkommende Techniken; Umschulung von Arbeitskräften aus schwindenden Branchen (z. B. Erdölindustrie, Automechanik) (Wirtschaft, Berufsausbildung)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Vermeidung von Abfällen (Forschung, Entwicklung) – Design von Techniken, welche das Recycling erleichtern (Forschung, Innovation) – Verbreitung von Technologien, um industrielle Abwärme wieder zu verwenden (Wirtschaft)
Transport und Mobilität [4.3]	
E1	<ul style="list-style-type: none"> – Förderung des Langsamverkehrs, Homeworking und Telekonferenzen (Bevölkerung, Arbeitgebende) – (Moderate Treibstoffabgaben haben nur einen beschränkten Lenkungseffekt, da die Zahlungsbereitschaft für Mobilität relativ hoch ist. Für hohe Abgaben fehlt die Akzeptanz).
E2/E3	<ul style="list-style-type: none"> – Kauf-Attraktivität für leichte Fahrzeuge mit geringem Treibstoffverbrauch steigern, auch bei Elektrofahrzeugen (z. B. Bonus-/Malussystem, Lenkungsabgabe) (Politik) – Auslastung des Güterverkehrs optimieren (Transportverbände) – LSWA weiterentwickeln: Anpassung der Berechnungsgrundlage bei schweren Lastwagen (auch auf CO₂-Emission basieren); Möglichkeit zur Erhöhung des Satzes; Ausweitung auf Lieferwagen (Politik) – Beschleunigung der Elektrifizierung des Individualverkehrs durch die Förderung des Baus von Ladestationen bei Gebäuden (Politik, Hauseigentümerinnen) – Förderung der Entwicklung von synthetischem Treibstoff für schwere Lastwagen, Flugzeuge und Schiffe (z. B. durch Beimischquoten). (Politik, Forschung)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Das Recycling von Fahrzeug-Batterien (Technik und Infrastruktur) vorantreiben (Forschung, Politik)
Stromproduktion [4.4]	
E1	<ul style="list-style-type: none"> – Internalisierung der externen Kosten bei Energie-Produktion, -Speicherung und -Verteilung (Politik)
E2	<ul style="list-style-type: none"> – Struktur des Strommarkts schaffen, das den Bau von Speicherkapazität (zum Beispiel von Wasserkraft) belohnt (Politik) – Abstimmung verbessern zwischen Energienachfrage und -angebot von erneuerbarer Energie durch ein intelligentes Energiemanagement (Energieunternehmen, Wirtschaft)
E3	<ul style="list-style-type: none"> – Der Zubau von PV muss massiv erhöht werden, auf mindestens 1 GW_{el} pro Jahr (Politik, Wirtschaft, Hauseigentümer) – Information verbessern für Konsumierende und Prosumers bzgl. Benefits bei der Installation von PV (Energieunternehmen, Politik) – Absehbare Regeln und politische Massnahmen hinsichtlich europäischer Politik entwickeln, um Investoren politische Sicherheit zu garantieren (Politik) – Der Bau grosser Solar-, teilweise auch von Offshore-Windanlagen, ist zwar pro kWh kostengünstiger als teure inländische Lösungen, jedoch nur unter der Bedingung, dass die Schweiz technisch und politisch in die europäische Energieversorgung integriert ist (Politik)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Planung des Recyclings von Energieanlagen (PV, Wind)

Energiespeicherung [6]	
E3	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der Kurzzeitspeicherkapazität (Batterien) bei Energieversorgern und Netzbetreiberinnen, aber auch im häuslichen Gebrauch (Energieunternehmen, Hauseigentümer, Swissgrid). – Entwicklung von Langzeit-Speichersystemen für die saisonale Energiespeicherung (Forschung) – Das Speichervolumen der Staudämme sollte von 9 auf mindestens 11 TWh erhöht werden (Energieunternehmen, Politik, Forschung) – Anreize schaffen, um mehr saisonale Wärmespeicher zu bauen. Damit erhöht sich der Anteil der erneuerbaren Energie im Wärmesektor und entlastet die Stromproduktion (Politik)
E4	<ul style="list-style-type: none"> – Recycling (auch) von stationären Batterien
Energie-Verteilnetze [5]	
E2	<ul style="list-style-type: none"> – Basis-Gasnetzinfrastruktur (Übertragungsnetz) bewahren (oder für Wasserstoff umwidmen), soweit geeignet für künftigen Transport von Biogas, synthetischem Gas, Wasserstoff oder auch CO₂ für die Speicherung im Untergrund oder Wiederverwendung (Energieunternehmen) – Verbesserte Koordination zwischen Betreibern des Übertragungsnetzes und der Verteilungsnetze (Swissgrid, regionale Energieunternehmen)
E3	<ul style="list-style-type: none"> – Ausbau von Fern-/Nahwärmenetze vorantreiben (Energieunternehmen). – Stärkere Integration ins Energiesystem der EU (Politik)
Sektorkopplung [7]	
E2	<ul style="list-style-type: none"> – Anreize schaffen, dass Energieversorger aus verschiedenen Branchen (Gas, Elektrizität etc.) zusammenarbeiten (Politik)
E3	<ul style="list-style-type: none"> – Neue Geschäftsmodelle für regionale Energieversorger (z. B. Contracting) entwickeln und unterstützen (Politik). – Internationale Zusammenarbeit fördern bzgl. Produktion von Wasserstoff und synthetischen Treibstoffen sowie Betrieb von Langzeit-Speichern (Politik, Energieunternehmen) – Die Wirtschaft und Investoren müssen so schnell wie möglich Signale erhalten, welche Technologien und Infrastrukturen im Zusammenhang mit einer Netto-Null-Versorgung nicht mehr unterstützt bzw. ersetzt werden müssen (Verhinderung von Stranded assets) (Politik)
Negative Emissionen [8]	
E5	<ul style="list-style-type: none"> – CO₂-Emissionen können nicht in allen Energiesektoren auf null gesenkt werden. Um die verbleibenden Emissionen zu kompensieren, muss CO₂ aus der Atmosphäre gefiltert werden, entweder technisch oder natürlich etwa durch Aufforstung. Entsprechende Techniken sowie deren Governance (national und international) müssen entwickelt werden (Forschung, Politik)

Wer sind wir?

Die **Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+)** sind ein Verbund der fünf wissenschaftlichen Akademien der Schweiz: der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW), der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW), der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW) und der Jungen Akademie Schweiz (JAS). Sie umfassen nebst den Akademien die Kompetenzzentren TA-SWISS und Science et Cité sowie weitere wissenschaftliche Netzwerke. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz vernetzen die Wissenschaften regional, national und international. Sie vertreten die Wissenschaftsgemeinschaften disziplinar, interdisziplinär und unabhängig von Institutionen und Fächern. Ihr Netzwerk ist langfristig orientiert und der wissenschaftlichen Exzellenz verpflichtet. Sie beraten Politik und Gesellschaft in wissenschaftsbasierten und gesellschaftsrelevanten Fragen.

Die **Erweiterte Energiekommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz** fördert und koordiniert die Diskussion und den Wissensaustausch zu den Themen Energie und nachhaltige Nutzung von Ressourcen innerhalb der Forschungsgemeinschaft und pflegt den Dialog mit Politik und Gesellschaft. Sie sucht die Zusammenarbeit mit Schweizer Hochschulen und Fachhochschulen und unterhält ein Netzwerk der Schweizer Forschungsgemeinschaft zum Thema Energie.

