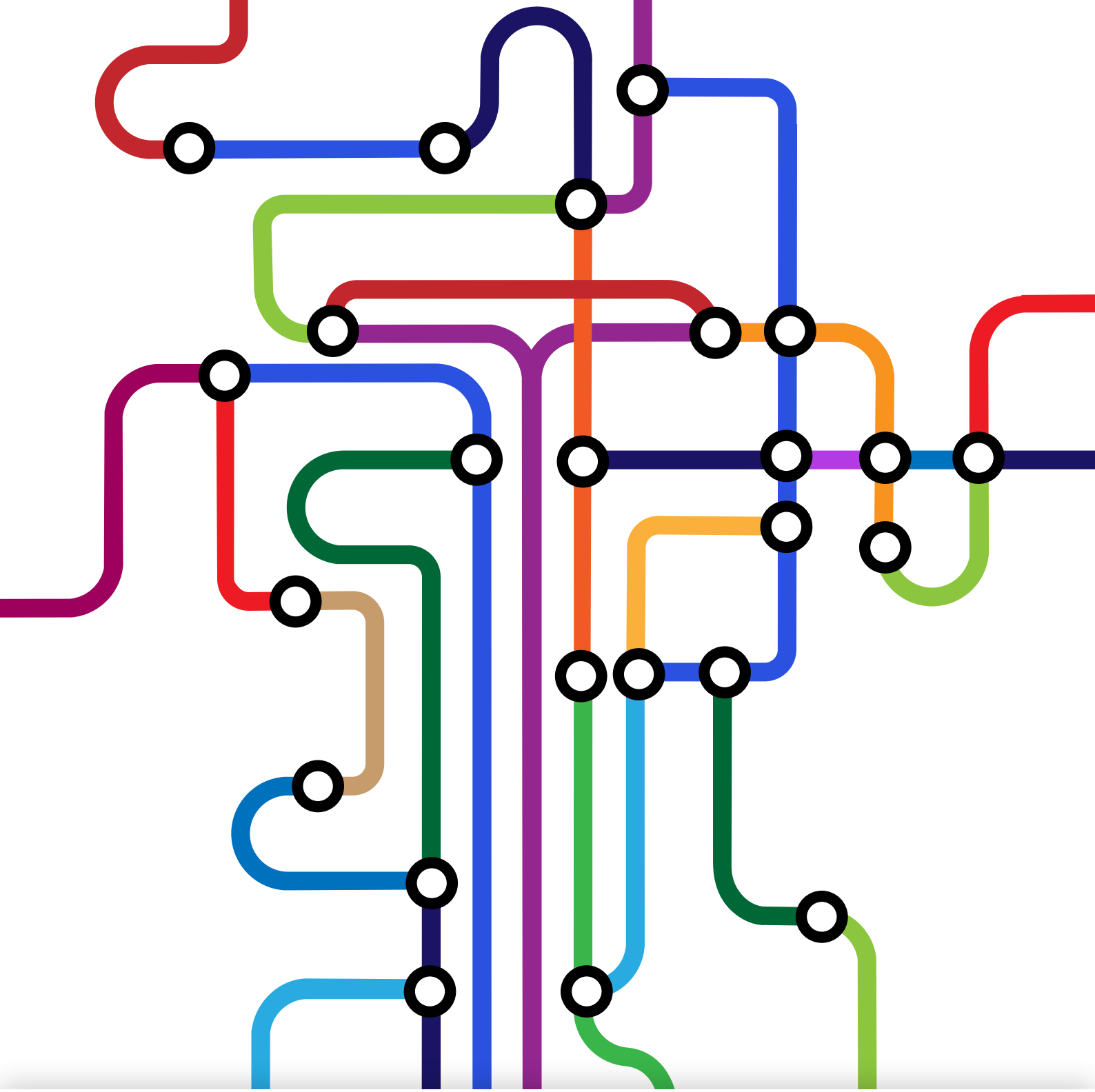


ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+

ZUSAMMENFASSUNG DER WICHTIGSTEN ERGEBNISSE

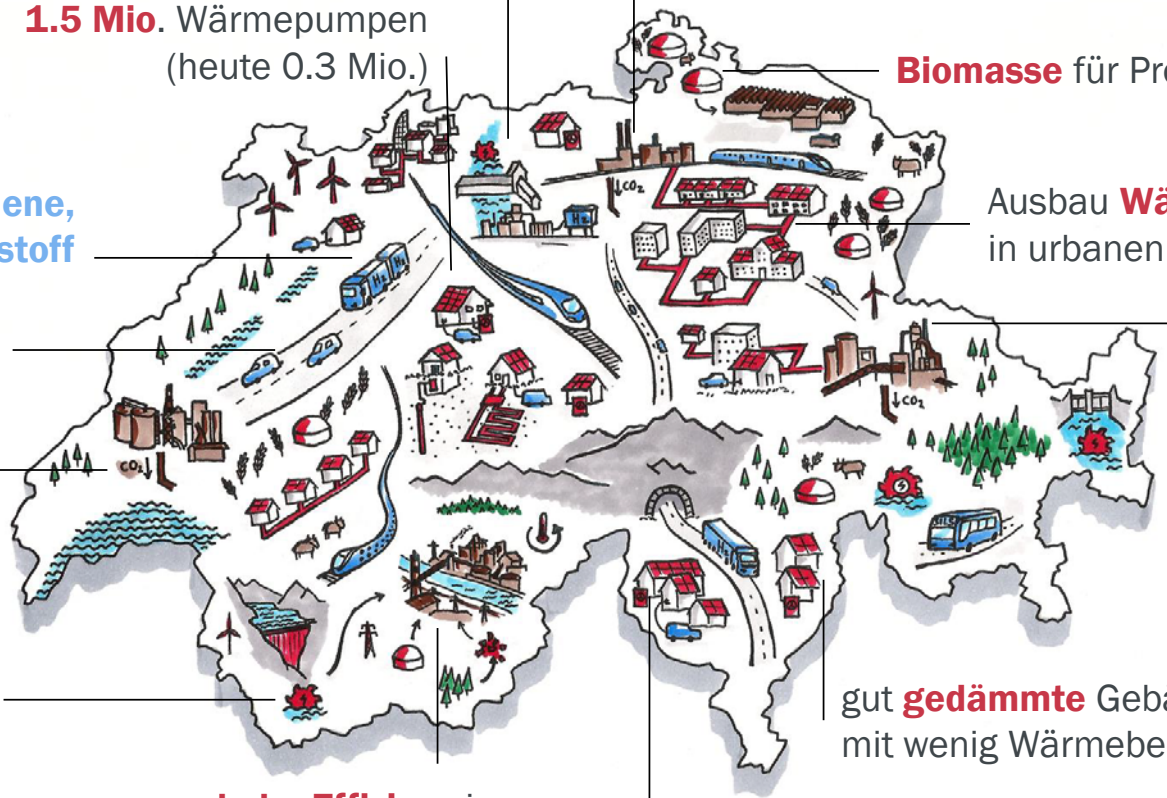
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE

WICHTIGSTE ERKENNTNISSE DER ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+

- Die Schweiz kann ihre Energieversorgung bis 2050 klimaneutral umbauen: Sie wird sicher, sauber, schweizerisch und bezahlbar sein. Die dafür nötigen Technologien sind vorhanden oder in Entwicklung. Sie müssen sich in den kommenden 30 Jahren rasch und umfassend verbreiten.
- Wir gehen weg von den fossilen Energien, werden dafür aber mehr Strom brauchen. Insgesamt können wir aber den Pro-Kopf-Energieverbrauch senken. Dies, weil wir dank Effizienzmassnahmen weniger Energie verschwenden und weil elektrische Anwendungen effizienter sind als fossile.
- Die Energieversorgung 2050 besteht fast vollständig aus inländisch produzierter, erneuerbarer Energie. Es gibt dadurch im Energiebereich mehr Investitionen in der Schweiz. So sind die Arbeitsplätze im Umwelt- und Cleantechsektor in der Schweiz in den letzten 20 Jahren bereits stark angestiegen und liegen heute schon bei rund 5 Prozent der Arbeitskräfte. Gleichzeitig wird weniger Energie importiert. Damit fliesst auch weniger Geld ins Ausland ab. Allein in den letzten 10 Jahren flossen 80 Milliarden Franken für fossile Energien ins Ausland.
- Für die Erneuerung, Modernisierung und den Ersatz bestehender Energieinfrastrukturen, Gebäude, Anlagen, Geräte oder Fahrzeuge fallen bis 2050 ohnehin Investitionen in der Höhe von rund 1'400 Milliarden Franken an. Mit dem Netto-Null-Ziel bis 2050 erhöht sich der Investitionsbedarf um 109 Milliarden Franken oder 8 Prozent. Gleichzeitig ermöglicht es aber Einsparungen an Energiekosten von 50 Milliarden Franken.
- Die zusätzlichen Investitionen zahlen sich gleich doppelt aus: Erstens können so drohende Schäden in Milliardenhöhe reduziert werden. Denn wenn die Klimaerwärmung weiterhin ungebremst fortschreitet, muss die Schweiz mit sehr hohen Folgekosten rechnen. Zweitens können wir die Abhängigkeit vom Ausland bei der Energieversorgung senken.

ZIELBILD KLIMANEUTRALE SCHWEIZ 2050



Wasserstoffproduktion an Laufwasserkraft-Standorten (7 PJ)

1.5 Mio. Wärmepumpen (heute 0.3 Mio.)

Kehrrichtverwertung mit **CCS** (3.6 Mt CO_2/a)

Biomasse für Prozesswärme

Schwerverkehr mit **Schiene, Bioenergie** und **Wasserstoff**

Ausbau **Wärmenetze** in urbanen Regionen

3.6 Mio. batterieelektrische PW

Zement- und Chemiewerke mit **CCS** (2.9 Mt CO_2/a)

Negativemissions-technologien: Speicherung im Inland (3 Mt CO_2/a)

45 TWh aus Wasserkraft (53 % der Erzeugung)

gut **gedämmte** Gebäude mit wenig Wärmebedarf

hohe Effizienz in industriellen Prozessen

34 TWh aus PV-Anlagen, 40 % der Erzeugung (heute 2 TWh)

Grafik: Dina Tschumi. Konsortium Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infras AG, Ecoplan AG

KLIMASTRATEGIE UND ENERGIESTRATEGIE 2050: ZWEI STRATEGIEN, EIN ZIEL

Die Schweiz will bis 2050 klimaneutral sein. Konkretisiert wird dieser Plan mit der «langfristigen Klimastrategie der Schweiz». Parallel dazu will die Schweiz die bestehende «Energiestrategie 2050» umsetzen. Sie führt in eine Zukunft ohne Kernenergie und fossile Energien. Dennoch soll 2050 eine sichere, saubere, bezahlbare und weitgehend inländisch produzierte Energieversorgung gewährleistet sein. Die Ziele der Energie- und der Klimapolitik sind also eng verknüpft.

LANGFRISTIGE KLIMASTRATEGIE DER SCHWEIZ

Die Schweiz hat sich 2015 im «Übereinkommen von Paris» verpflichtet, ihren Treibhausgasausstoss bis 2030 gegenüber dem Stand von 1990 zu halbieren. 2019 hat der Bundesrat zudem beschlossen, dass die Schweiz bis 2050 unter dem Strich keine Treibhausgasemissionen mehr ausstossen soll (Netto-Null-Ziel). Damit will die Schweiz zusammen mit den anderen Staaten der Welt die globale Erwärmung auf maximal 1,5 °C gegenüber der vorindustriellen Zeit begrenzen. Der Bundesrat konkretisiert den Weg zu diesem Ziel in der «langfristigen Klimastrategie der Schweiz». Eine wichtige Grundlage dafür bilden die Energieperspektiven 2050+.

ENERGIESTRATEGIE 2050

2013 hatte der Bundesrat die «Energiestrategie 2050» vorgelegt. 2017 stimmte die Schweizer Stimmbevölkerung der Umsetzung eines ersten Massnahmenpakets dieser Strategie zu. Dazu gehört das Verbot neuer Kernkraftwerke in der Schweiz, schärfere Massnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs und der CO_2-Emissionen, sowie der deutliche Ausbau der erneuerbaren Energien in der Schweiz. Mit der bevorstehenden Revision des Energiegesetzes und des Stromversorgungsgesetzes sollen diese Massnahmen noch zielgerichteter ausgestaltet werden. Auch dafür bilden die Energieperspektiven 2050+ eine wichtige Grundlage.

GEHT DAS ÜBERHAUPT?

Können die Ziele der Energie- und der Klimastrategie überhaupt gleichzeitig bis 2050 erreicht werden? Ist das technisch möglich? Und ist es bezahlbar? Diesen Fragen gehen die Energieperspektiven 2050+ nach. Sie liefern erstmals Szenarien, welche die Zielsetzungen der Energie- und der Klimapolitik gemeinsam abbilden. Sie zeigen mögliche technologische Entwicklungen, mit denen beide Ziele bis 2050 erreicht werden können.

ENERGIEPERSPEKTIVEN

Nach der Erdölkrise von 1973 zeigte sich, dass die Schweiz eine nationale Energiepolitik braucht. Die Grundlagen wurden in der Gesamtenergiekonzeption erarbeitet. Dazu gehörten erstmals auch Energieperspektiven, die einen Blick in die Energiezukunft ermöglichten. Seither werden Energieperspektiven periodisch erstellt und aktualisiert. Die letzte Version aus dem Jahr 2012 («Energieperspektiven 2050») war die Grundlage zur Überarbeitung der Schweizerischen Energiepolitik nach dem Reaktorunfall von Fukushima. Daraus entstand die «Energiestrategie 2050» und das am 1. Januar 2018 in Kraft gesetzte neue Energiegesetz. Für die Energieperspektiven 2050+ wurden aktuelle Rahmendaten und Technologieentwicklungen verwendet und das Netto-Null-Ziel bis 2050 vorgegeben.

WAS SIND DIE ENERGIE-PERSPEKTIVEN 2050+?

Vereinfacht gesagt, entwerfen die Energieperspektiven Szenarien zum Energieangebot und zur Energienachfrage der Schweiz bis zum Jahr 2050. Diese erfüllen das Netto-Null Ziel. Und sie gewährleisten zudem eine sichere, saubere, bezahlbare und weitgehend inländisch produzierte Energieversorgung.

ENERGIEPERSPEKTIVEN SIND KEINE KRISTALLKUGEL

Die Energieperspektiven 2050+ können die Zukunft nicht vorhersagen. Sie arbeiten mit Szenarien. Ein Szenario beschreibt eine zukünftige Situation, in diesem Fall das Netto-Null-Ziel bis 2050. Weiter zeigt das Szenario einen oder mehrere plausible Wege, die zu dieser Situation, zu diesem Ziel führen. Das Szenario bildet also eine von vielen möglichen zukünftigen Realitäten ab.

Die Energieperspektiven 2050+ sagen nichts aus über die Wahrscheinlichkeit, ob ein Szenario genauso eintreffen wird oder ob ein Entwicklungspfad wahrscheinlicher ist als der andere. Es sind also auch andere technologische Entwicklungspfade denkbar, nicht nur die der Energieperspektiven 2050+.

Hinzu kommt: Je weiter wir in die Zukunft blicken, desto grösser werden die Unsicherheiten zu künftigen technologischen, wirtschaftlichen oder gesellschaftlichen Entwicklungen. Dennoch: Die Politik braucht Grundlagen, um über künftige Massnahmen und Ziele zu entscheiden. Das ist gerade im Energiesektor wichtig, weil es hier teils sehr lange Investitionszyklen gibt. Die Energieperspektiven 2050+ liefern diese Grundlagen.

ÜBER POLITISCHE INSTRUMENTE MUSS DEMOKRATISCH ENTSCHIEDEN WERDEN

Die Energieperspektiven 2050+ zeigen, welche technischen Massnahmen zum Erfolg bei den Klima- und Energiezielen führen können. Sie sagen aber nichts aus über die nötigen politischen Massnahmen, beispielsweise gesetzliche Regelungen, die es für die Umsetzung dieser oder anderer geeigneter technische Massnahmen braucht.

Solche politischen Massnahmen werden in den jeweiligen Gesetzgebungen festgelegt. Über sie muss also in den bewährten demokratischen Prozessen der Schweiz diskutiert und entschieden werden.

DIE SZENARIEN DER ENERGIE-PERSPEKTIVEN 2050+

Die Energieperspektiven 2050+ haben zwei Grundszenarien: Das Szenario «Netto-Null» (ZERO) und das Szenario «Weiter wie bisher» (WWB).

SZENARIO ZERO

Im Zentrum steht die Basisvariante des Szenarios ZERO. Daneben gibt es drei weitere Varianten mit unterschiedlichen technologischen Schwerpunkten. Alle vier ZERO-Varianten erreichen das Netto-Null-Ziel bis 2050. Zum Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion werden zudem unterschiedliche Ausbaugeschwindigkeit betrachtet.

ZERO-Basisvariante: Die Energieeffizienz wird rasch und umfassend gesteigert. Zudem wird das Energiesystem stark elektrifiziert. Fahrzeuge mit Verbrennungsmotoren werden durch Elektrofahrzeuge ersetzt und fossile Heizungen durch elektrische Wärmepumpen und Wärmenetze mit erneuerbaren Energien. Die Nutzung von Biomasse nimmt deutlich zu. Zunehmend werden auch strombasierte Energieträger (synthetische Brenn- und Treibstoffe und Wasserstoff) genutzt, spielen aber erst ab 2045 eine bedeutendere Rolle. Die Stromproduktion aus inländischen erneuerbaren Energien wird so schnell ausgebaut, dass bis 2050 eine ausgeglichene Jahresbilanz erreicht wird (Variante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»). Das heisst, dass die Schweiz ihren Stromverbrauch übers Jahr gesehen mit der inländischen Stromproduktion decken kann. Restemissionen von Treibhausgasen in der Industrie, in der Abfallverwertung und in der Landwirtschaft werden mit CO_2-Abscheidungs- und -Einlagerungstechnologien sowie mit Negativemissionstechnologien im In- und Ausland ausgeglichen.

ZERO-Variante A: Gleich wie die Basisvariante, aber mit einer noch stärkeren Elektrifizierung des Energiesystems.

ZERO-Variante B: Gleich wie die Basisvariante, aber mit einer schwächeren Elektrifizierung des Energiesystems. Stattdessen spielen Biogas und synthetische Gase sowie Wasserstoff eine stärkere Rolle als in der Basisvariante.

ZERO-Variante C: Gleich wie die Basisvariante, aber mit einer schwächeren Elektrifizierung des Energiesystems. Stattdessen spielen Wärmenetze sowie flüssige biogene und synthetische Brenn- und Treibstoffe eine stärkere Rolle als in der Basisvariante.

In allen Szenarien werden zudem neben der Hauptvariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050» zwei weitere Geschwindigkeiten für den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion (ohne Wasserkraft) untersucht:

Variante «aktuelle Rahmenbedingungen»: Der Ausbau erfolgt so rasch, wie das die heute geltenden Gesetzes- und Marktbedingungen zulassen.

Variante «Richtwerte/Ausbauziele»: Der Ausbau erfolgt so rasch, dass die derzeit geltenden Richtwerte im Energiegesetz und in der Botschaft von 2013 zum ersten Massnahmenpaket der Energiestrategie 2050 erreicht werden.

SZENARIO WWB

Im Szenario «Weiter wie bisher» WWB gelten alle bis Ende 2018 in Kraft gesetzten Massnahmen und Instrumente der Energie- und Klimapolitik weiter. Das totalrevidierte CO_2-Gesetz, sowie neue Instrumente aus der bevorstehenden Revision des Stromversorgungs- und des Energiegesetzes werden nicht berücksichtigt. Es gibt in diesem Szenario also keine zusätzlichen oder strengeren Massnahmen. Die Entwicklung der Technologien (Effizienz, Anlagen, Installationen, Fahrzeuge, Geräte, etc.) und ihre Nutzung folgt dem autonomen technischen Fortschritt und den per Ende 2018 bestehenden gesetzlichen Grundlagen.

WWB dient dem Vergleich mit ZERO. So können der zusätzliche Handlungsbedarf und die zusätzlich notwendigen technischen Massnahmen für die Zielerreichung 2050 abgebildet werden. Ebenso können so zusätzlich notwendige Investitionen, sowie weitere Mehr- oder Minderkosten bestimmt werden.

RAHMENDATEN

Die zukünftige Entwicklung des Energieverbrauchs hängt von verschiedenen Rahmendaten ab. In den Szenarien der Energieperspektiven 2050+ müssen deshalb Annahmen dazu getroffen werden.

ANNAHMEN ZUR ENTWICKLUNG DER RAHMENDATEN (IN KLAMMER: QUELLE DER DATEN)

Bevölkerungsentwicklung: 2050 leben in der Schweiz rund 10,3 Millionen Personen. (Bundesamt für Statistik: Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung der Schweiz, 2015).

Wirtschaftsentwicklung: Das Bruttoinlandprodukt (BIP) steigt bis 2050 im Vergleich zu heute (2019) um rund 38% an. (Staatssekretariat für Wirtschaft (SECO), 2018. Langfristszenarien für das BIP, unveröffentlicht)

Verkehrsentwicklung: Die Leistungen im Personenverkehr (Personenkilometer) nehmen bis 2050 im Vergleich zu heute (2019) um rund 17% zu, im Güterverkehr (Tonnenkilometer) um rund 31%. (Bundesamt für Raumentwicklung, Verkehrsperspektiven 2040 - Referenzszenario, 2016)

Entwicklung der Energiebezugsflächen: Die Energiebezugsflächen, das heisst die beheizten oder klimatisierten Flächen von Gebäuden, nehmen bis 2050 im Vergleich zu heute (2019) um rund 17% zu, am stärksten bei den Haushalten und im Dienstleistungssektor.

Entwicklung der Energiepreise: Im Szenario ZERO führt die deutlich kleinere Nachfrage zu sinkenden Preisen für fossile Energien bis 2050. Im Szenario WWB nehmen die Preise der fossilen Energien bis 2050 deutlich zu. (Internationale Energie Agentur IEA, World Energy Outlook 2018 - Szenarien Sustainable Development und New Policy)

Entwicklung der CO_2-Preise: Im Szenario ZERO steigen die CO_2-Preise im europäischen Emissionshandelssystem stark an. Im Szenario WWB gibt es nur eine moderate Zunahme. (Internationale Energie Agentur IEA, World Energy Outlook 2018 - Szenarien Sustainable Development und New Policy sowie Annahmen der Europäischen Kommission von 2019)

Entwicklung Klima: In den Szenarien ZERO und WWB werden verschiedene Klimaentwicklungen angenommen. Im Szenario ZERO nehmen die Heizgradtage im Vergleich zum Mittelwert 2000–2019 um 6% ab, die Kühlgradtage steigen um 18% an. Im Szenario WWB sinken die Heizgradtage um 9%, die Kühlgradtage nehmen deutlich zu (+48%). (eigene Berechnungen basierend auf MeteoSchweiz, Klimaszenarien 2018).

Internationale Abstimmung: Das Szenario ZERO geht davon aus, dass alle Vertragsparteien des Übereinkommens von Paris gleich ambitionierte Zielsetzungen verfolgen wie die Schweiz. Es gibt also keinen Alleingang der Schweiz und damit auch keine Anreize zur Verlagerung von Emissionen ins Ausland. Ausserdem kann die Schweiz so vom internationalen technologischen Fortschritt zur Erreichung der Klimaziele profitieren. Im Stromsektor wird von einer weiterhin guten Einbindung in den EU-Strommarkt ausgegangen.

AUSWAHL DER TECHNOLOGIEN FÜR DIE ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+

Die Erreichung der Klimaziele ist grundsätzlich mit unterschiedlichen Technologien möglich. Zur Auswahl und Priorisierung der Technologien im Szenario ZERO wurden folgende Kriterien verwendet.

KRITERIEN ZUR AUSWAHL DER TECHNOLOGIEN

Möglichst hohe Kosteneffizienz: Es werden Technologien bevorzugt, die im Vergleich zu alternativen Technologieoptionen tiefe Kosten aufweisen.

Keine Wundertechnologien: Grundsätzlich werden nur Technologien einbezogen, die heute schon bekannt sind. Also keine Game-Changer.

Robuste Zielerreichung: Die Ziele müssen möglichst auch unter abweichenden Rahmenbedingungen erreicht werden können.

Versorgungssicherheit: Die Technologien müssen eine möglichst hohe energetische Versorgungssicherheit gewährleisten. Dazu müssen auch allfällige Restriktionen der gewählten Technologien betrachtet werden (beispielsweise für Importe von Biomasse oder strombasierten Energieträgern, oder mögliche Restriktionen beim grenzüberschreitenden Stromaustausch).

Realistische Ersatz- und Sanierungszyklen: Diese Zyklen können nicht beliebig verkürzt werden, ohne dass unnötige Kosten entstehen.

Potenzialbeschränkungen: Mögliche Einschränkungen der Potenziale verschiedener Technologien (z.B. Solar, Wind, Biomasse, strombasierte Energieträger) werden berücksichtigt (beispielsweise aufgrund der beschränkten Flächen für diese Technologien oder aufgrund der gesellschaftlichen Akzeptanz).

Ökologische Verträglichkeit: Neben dem Ausstoss von Treibhausgasen und der nachhaltigen Nutzung von Biomassepotenzialen sind auch weitere Auswirkungen auf Luft, Böden und Gewässer zu berücksichtigen.

WER HAT DIE ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+ ERARBEITET?

Die Energieperspektiven 2050+ wurden im Auftrag des Bundesamts für Energie (BFE) von einem Konsortium bestehend aus den Firmen Prognos AG, TEP Energy GmbH, Infras AG und Ecoplan AG erarbeitet. Die Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen (Stand November 2020). Für eine breite Abstützung sorgt eine externe Begleitgruppe. Darin vertreten sind verschiedene Bundesämter, Kantone und Städte, die Energiewirtschaft, Wirtschafts- und Umweltverbände, Gewerkschaften und der Konsumentenschutz. Auch der Austausch mit Vertretern der Forschung ist sichergestellt.

DIE RESULTATE DER ENERGIEPERSPEKTIVEN 2050+

Die folgende Zusammenfassung der Resultate bezieht sich auf die Szenarien ZERO-Basisvariante mit der Stromvariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050» und mit einer angenommenen Laufzeit der Kernkraftwerke von 50 Jahren. Ergebnisse des Szenarios WWB dienen dem Vergleich mit ZERO.

VERWENDETE ENERGIEEINHEITEN

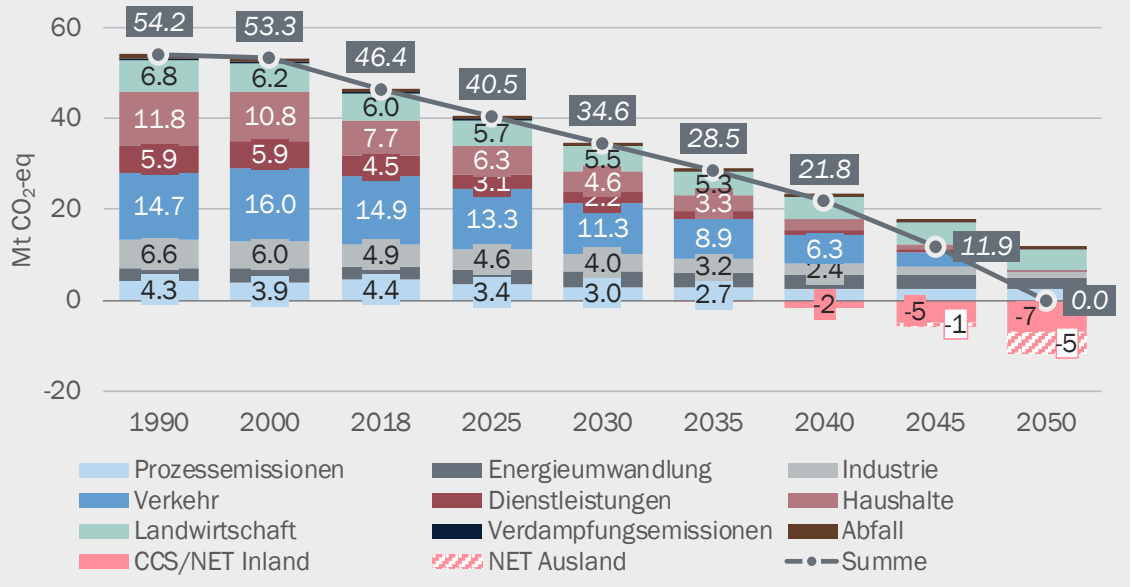
1 Petajoule (PJ) = 0.28 Terawattstunden (TWh)
1 Terawattstunde (TWh) = 1 Milliarde Kilowattstunden (kWh)
1 Gigawattstunde (GWh) = 1 Million Kilowattstunden

MODELLIERTE ZAHLEN AB 2020

Die in den Tabellen angegebenen Zahlen für 2020 (und auch für die späteren Jahre) sind modelliert, entsprechen also nicht dem tatsächlichen statistischen Wert. Sie berücksichtigen daher die möglichen Auswirkungen der Covid19-Pandemie auf den Energieverbrauch nicht. Die statistischen Zahlen für das Jahr 2020 erscheinen im zweiten Quartal 2021.

TREIBHAUSGASE

Abbildung 1: Treibhausgasemissionen
Entwicklung der Treibhausgasemissionen und des Einsatzes von Negativemissionstechnologien im Szenario ZERO Basis, in Mio. t CO_2-eq



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Die Haushalte, der Verkehr und der Dienstleistungssektor senken ihre Treibhausgasemissionen bis 2050 auf praktisch null. Die grösste Reduktion gibt es beim Verkehr. Es verbleiben 2050 aber Restemissionen von rund 12 Millionen Tonnen hauptsächlich in der Landwirtschaft, bei der thermischen Verwertung von Abfällen und bei industriellen Prozessen. Diese müssen durch CO_2-Abscheidungs- und -Einlagerungstechnologien sowie Negativemissionstechnologien (NET) kompensiert werden. Im Szenario WWB werden 2050 immer noch rund 32 Millionen Tonnen ausgestossen, das sind nur rund 30% weniger als heute (2018). Die Entwicklung in WWB verläuft also zu langsam, um das Netto-Null-Ziel bis 2050 zu erreichen.

Die starke Senkung der Treibhausgasemissionen gelingt dank der breiten und konsequenten Nutzung von heute bereits bekannten Technologien. Dazu gehören Energieeffizienztechnologien und die starke Elektrifizierung des Energiesystems. Energieeffizienztechnologien ermöglichen, dass für den gleichen Zweck, beispielsweise fürs Heizen (bessere Gebäudedämmung) oder für die Beleuchtung (bessere Effizienz neuer Leuchtmittel wie LED), weniger Energie verbraucht wird. Die starke Elektrifizierung hat zwei Wirkungen: Sie ersetzt die fossilen Energien und sie vermindert den Endenergieverbrauch, weil die elektrische Alternative energieeffizienter ist als die fossile Anlage oder der mit fossilen Energien betriebene Motor.

2050 ist die Elektromobilität stark verbreitet. Neben Elektrizität werden vor allem im Schwerverkehr zunehmend auch strombasierte Energieträger wie Wasserstoff genutzt. Diese werden teils im Inland hergestellt und teils importiert. Die Wärmeversorgung der Gebäude erfolgt nicht mehr durch fossile Heizungen, sondern vorwiegend durch elektrische Wärmepumpen und Wärmenetze. Die Wärmeenergie stammt aus der direkten Nutzung von Biomasse, aus Abwärme und aus Wärme aus Gewässern und dem Untergrund. Die inländische Stromproduktion ist bereits heute fast CO_2-frei. Bestehende thermische Kraftwerke, wie erdgasbetriebene Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen, werden bis 2050 vom fossilen Betrieb auf den Betrieb mit Biogas umgestellt.

In der Landwirtschaft (Nahrungsmittelproduktion), in der Industrie (Zementherstellung, chemische Industrie) und bei der Kehrichtverbrennung (fossile Teile des Abfalls) verbleiben aber Restemissionen von rund 12 Millionen Tonnen CO_2-eq. Diese Emissionen können durch den Einsatz von Massnahmen wie Effizienz, Substitution und Elektrifizierung nicht vermieden werden. Für diese Restemissionen braucht es den Einsatz von Technologien zur Abscheidung und Einlagerung von CO_2 (CCS) im Inland (rund 7 Millionen Tonnen CO_2-eq) und von Negativemissionstechnologien (NET) im Ausland (rund 5 Millionen Tonnen CO_2-eq), um das Netto-Null-Ziel 2050 zu erreichen. Ab 2035 wird deshalb ein Grossteil der Kehrichtverbrennungsanlagen, Biomassekraftwerke, Zement-, sowie grosse Chemie- und Stahlwerke mit CO_2-Abscheideanlagen ausgerüstet.

VERMEIDUNG VON TREIBHAUSGASEMISSIONEN DURCH ABSCHEIDUNG UND EINLAGERUNG VON CO_2 UND NEGATIVEMISSIONSTECHNOLOGIEN

Vermeidung von Treibhausgasemissionen: Treibhausgasemissionen sollten möglichst vermieden oder vermindert werden bevor sie in die Atmosphäre gelangen. CO_2 kann direkt bei den Emissionsquellen wie Zementwerken oder Kehrichtverbrennungsanlagen abgeschieden und an geeigneten Orten gespeichert oder weiterverwendet werden (Carbon Capture and Storage CCS, Carbon Capture and Utilisation CCU).

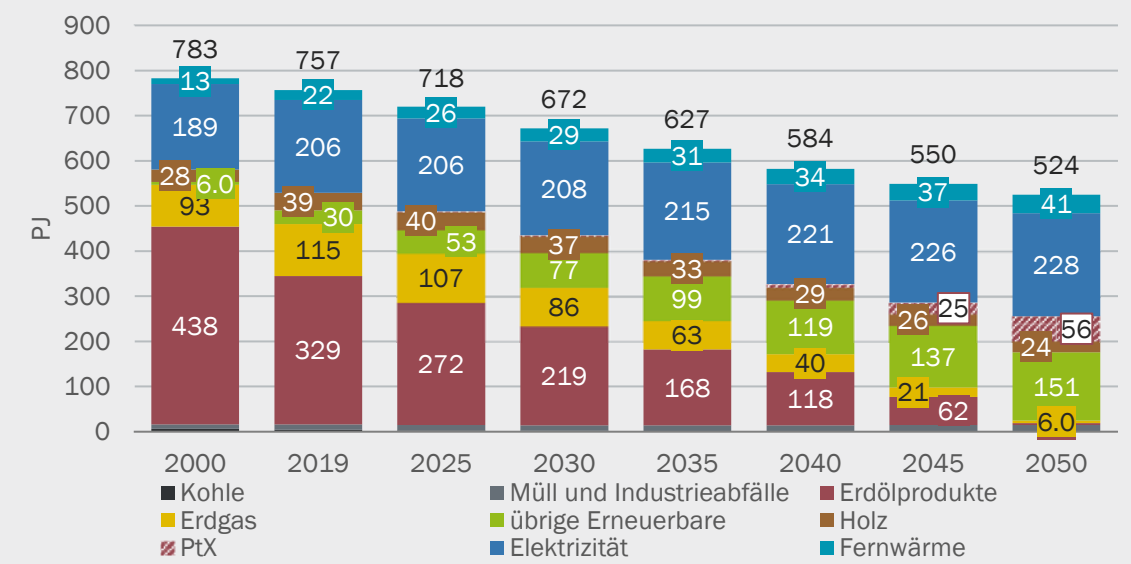
Entfernung von CO_2 aus der Atmosphäre mit Negativemissionstechnologien (NET): NET ist ein Sammelbegriff für verschiedene Technologien, mit denen CO_2 aus der Atmosphäre entzogen und dauerhaft gespeichert wird. Das geschieht mit biologischen oder technischen Verfahren.

Geologische CO_2-Speicherung: Erste Schätzungen zeigen, dass ein Teil des CO_2 im Inland gespeichert werden kann, die Schweiz aber auch auf Lagerkapazitäten im Ausland angewiesen sein könnte. Beispielsweise in der Nordsee, wo es bereits konkrete Projekte für die geologische CO_2-Speicherung gibt. Der Transport des CO_2 zu den Lagern könnte auf der Schiene oder via CO_2-Pipelines erfolgen.

NET ist kein Ersatz für umfassende Emissionsreduktionen:
Die NET-Technologien sind heute noch nicht weit verbreitet und teils auch noch wenig in der Praxis erprobt. Deshalb bestehen noch grosse Unsicherheiten zu den Potenzialen, Kosten und Risiken. NET sind deshalb kein Ersatz für umfassende Emissionsreduktionen im Inland. Sie sollten nur für technisch schwer vermeidbare Emissionen genutzt werden. Weitere Informationen enthält der Bericht des Bundesrats «Von welcher Bedeutung könnten negative CO_2-Emissionen für die künftigen klimapolitischen Massnahmen der Schweiz sein?» (Bericht vom 02.09.2020 in Erfüllung des Postulats 18.4211)

GESAMTENERGIEVERBRAUCH

Abbildung 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern
Inlandverbrauch ohne internationalen Flugverkehr, Szenario ZERO Basis, in PJ



übrige Erneuerbare: Biogas/Biomethan, Biotreibstoffe, Solarwärme, Umweltwärme und Abwärme
© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Der gesamte inländische Endenergieverbrauch (ohne internationalen Flugverkehr) sinkt bis 2050 auf 524 Petajoule (PJ). Das sind rund 31% weniger als heute (2019). Im Verkehrssektor ist der Rückgang des Endenergieverbrauchs mit mehr als 40% gegenüber heute (2019) besonders deutlich. Das liegt am hohen Anteil von Elektrofahrzeugen im Jahr 2050 und der höheren Effizienz der elektrischen Antriebe. Im Schwerverkehr werden neben Biotreibstoffen zunehmend Brennstoffzellenfahrzeuge genutzt, die mit Wasserstoff fahren. In der Schweiz kann Wasserstoff an den Standorten grosser Laufwasserkraftwerke wettbewerbsfähig produziert werden. Weiter werden im Verkehr auch strombasierte Energieträger genutzt, deren Importe ab 2035 zunehmen, da sonst das Netto-Null Ziel nicht erreicht werden kann.

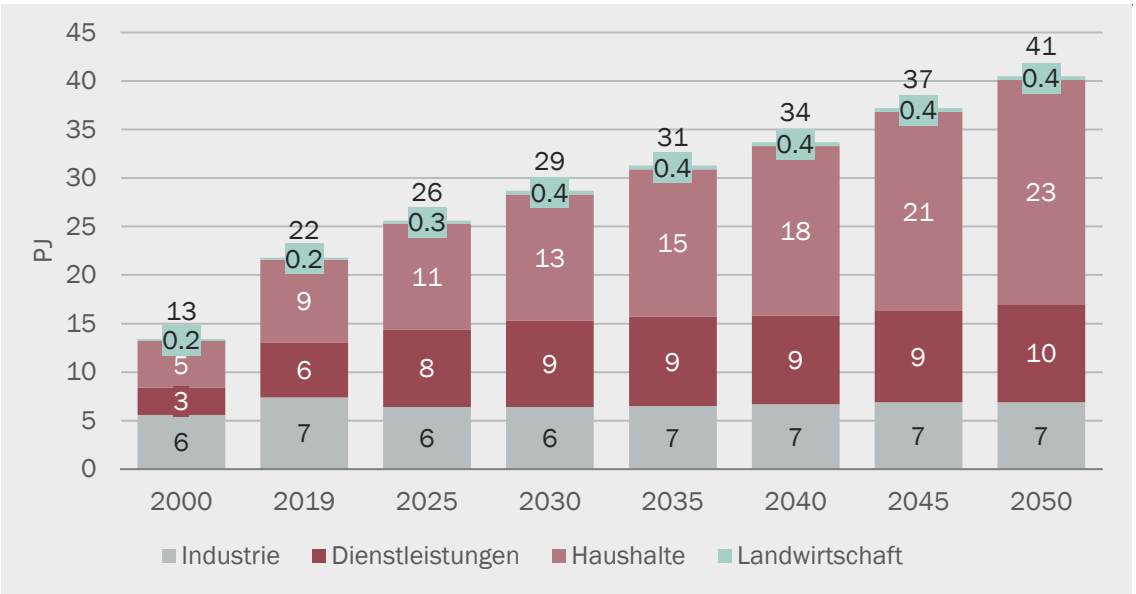
STROMBASIERTE ENERGIETRÄGER

Mit erneuerbarem Strom kann mittels Elektrolyse Wasser in Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) getrennt werden. Wasserstoff kann direkt genutzt werden oder in einem anschliessenden Prozess mit CO_2 zu anderen Energieträgern synthetisiert werden. Man spricht von Power-to-H2, Power-to-Gas und Power-to-Liquid. Im Vergleich zur direkten Verwendung von Strom haben strombasierte Energieträger aufgrund der Umwandlungsprozesse einen schlechteren Wirkungsgrad. Strombasierte Energieträger sind aber gut speicherbar und haben eine höhere Energiedichte als Batteriespeicher.

Der Endenergieverbrauch sinkt auch in den anderen Sektoren durch Effizienzmassnahmen bei Gebäuden, Prozessen, Anlagen und Geräten. Die zunehmende Effizienz ist für das gesamte Energieversorgungssystem von grosser Bedeutung. Dadurch kann trotz Elektrifizierung ein übermässiger Anstieg des Verbrauchs von Elektrizität und Biomasse verhindert werden. Das ist wichtig für die Versorgungssicherheit im Stromsektor und auch für die Nutzung der beschränkten Potenziale der Biomasse.

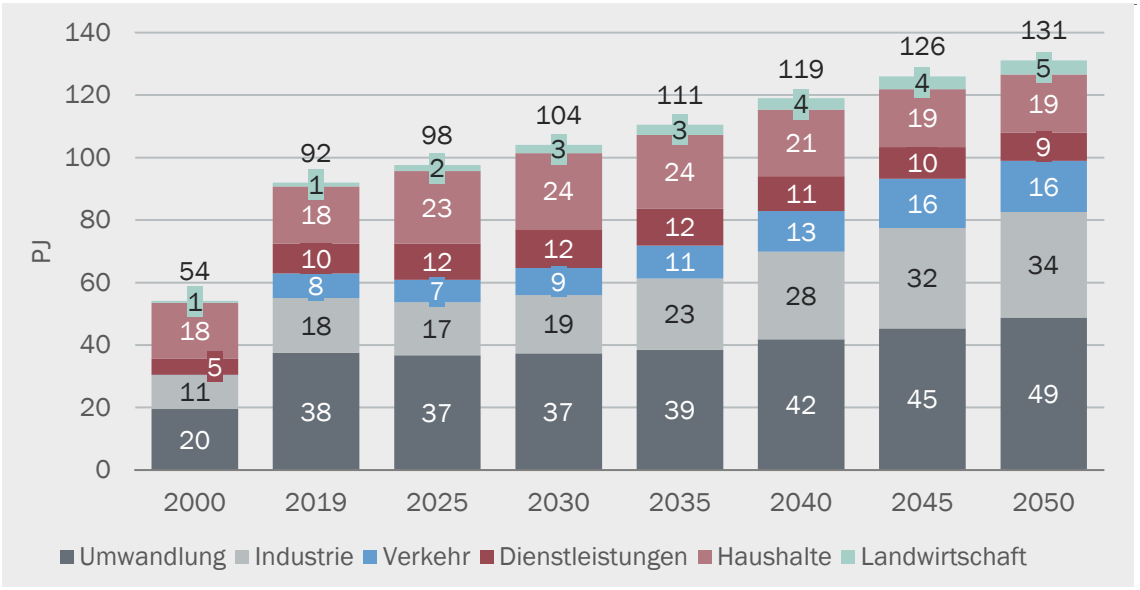
Gebäude werden rascher energetisch saniert als heute. Energieeffiziente neue Gebäude ersetzen schwer sanierbare Altbauten. Zudem verringert die Klimaerwärmung den Raumwärmebedarf langfristig um über 10%. Es gibt ausserdem deutliche Effizienzfortschritte bei Beleuchtung, elektrischen Anlagen und Geräten. Konventionelle Stromdirektheizungen und Elektroboiler werden 2050 nicht mehr verwendet. 2050 ist die Wärmepumpe das wichtigste Heizsystem, was für die Reduktion der Treibhausgasemissionen von hoher Bedeutung ist. Zudem werden die Wärmenetze ausgebaut, so dass für die Versorgung mit Raumwärme und Warmwasser zunehmend Nah- und Fernwärme zum Einsatz kommt. Dafür wird CO_2-freie Energie genutzt. Sie stammt aus Biogas/Biomethan (als Ersatz für Erdgas), aus Wärmequellen wie Gewässern, aus Abwasser von Abwasserreinigungsanlagen, aus der Abwärme von Geothermie-Anlagen zur Stromproduktion, sowie aus Geothermie-Anlagen, die ausschliesslich Wärme produzieren. Strombasierte Energieträger werden in der Fernwärme wegen ihrer hohen Kosten nicht genutzt. Der Fernwärmeverbrauch steigt insbesondere in den privaten Haushalten deutlich an und liegt 2050 fast dreimal so hoch wie heute. Im Dienstleistungssektor verdoppelt sich der Fernwärmeverbrauch beinahe bis 2050. Im Industriesektor bleibt er auf dem heutigen Niveau. Um die Treibhausgasemissionen im Industriesektor zu reduzieren, muss in der Industrie deutlich mehr Biomasse, insbesondere Biogas, für die Prozesswärme mit hohen Temperaturniveaus eingesetzt werden. Für die Bereitstellung dieser hohen Temperaturniveaus sind neben der Biomasse nur wenige CO_2-freie Alternativen vorhanden.

Abbildung 3: Fernwärmeverbrauch pro Sektor
Entwicklung des Verbrauchs für Fernwärme nach Sektoren im Szenario ZERO Basis, in PJ



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Abbildung 4: Biomasse-Einsatz
Entwicklung des Einsatzes von Biomasse nach Sektoren im Szenario ZERO Basis, in PJ

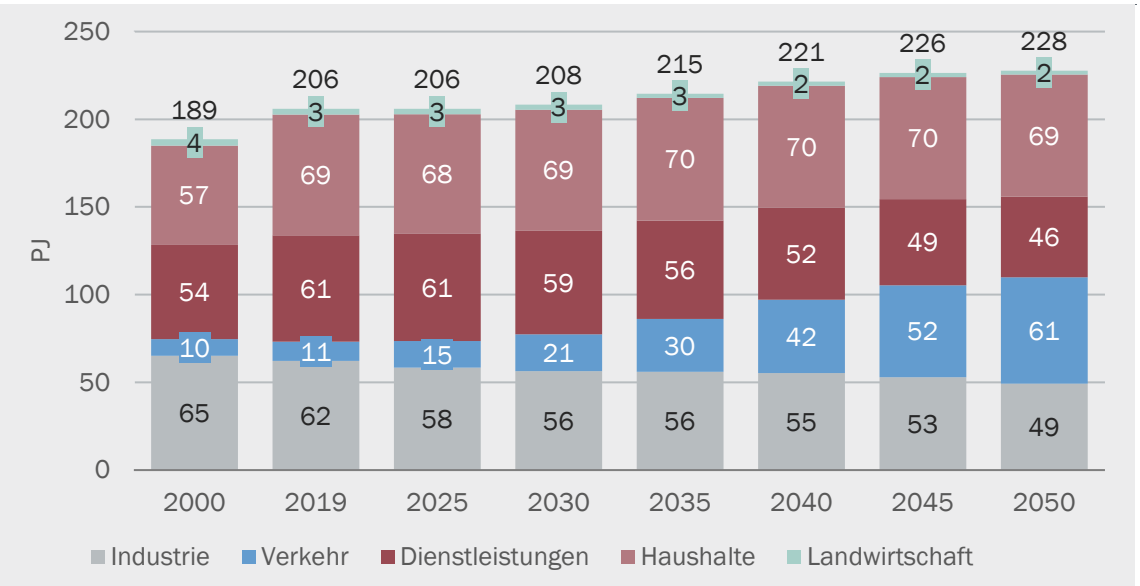


inkl. biogenem Anteil des Mülls und der Industrieabfälle, ohne Biotreibstoffe des internationalen Flugverkehrs

© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

ELEKTRIZITÄTSVERBRAUCH

Abbildung 5: Elektrizitätsverbrauch nach Sektoren
Entwicklung des Endenergieverbrauchs für Elektrizität nach Sektoren im Szenario ZERO Basis, in PJ



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

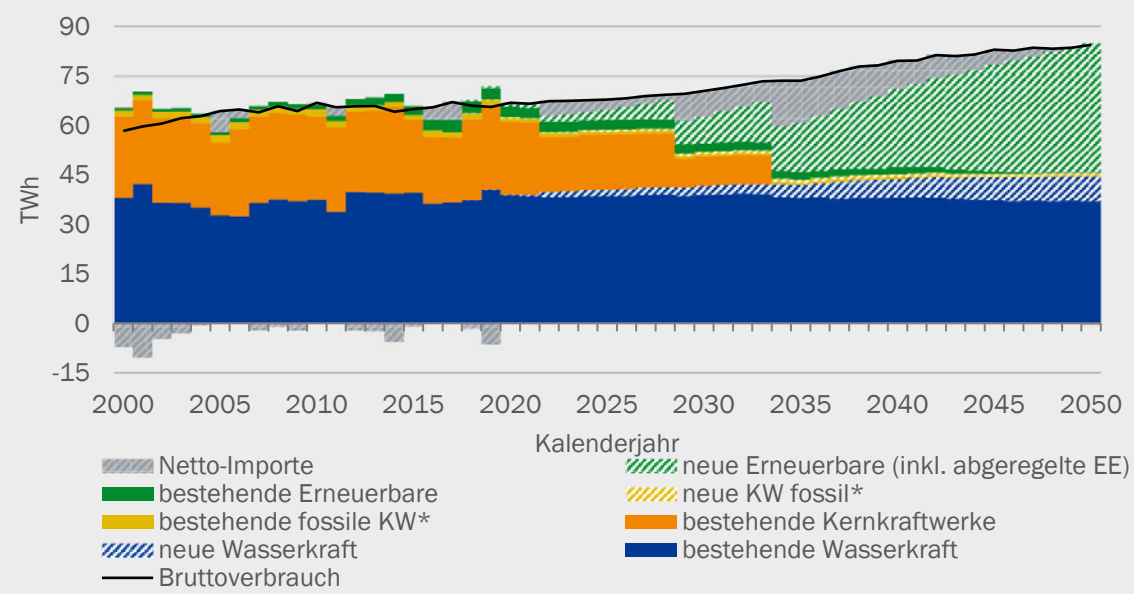
Der Elektrizitätsverbrauch in den Endverbrauchssektoren steigt bis 2050 auf 228 PJ (63.2 TWh). Das sind rund 11% mehr als heute (2019). Der Anteil der Elektrizität am gesamten Endenergieverbrauch liegt 2050 bei rund 43% (heute rund 27%). Die Gründe für den steigenden Elektrizitätsverbrauch sind vor allem die Elektrifizierung im Verkehr (Elektrofahrzeuge) und im Gebäudebereich (Wärmepumpen). Im Verkehrssektor liegt der Elektrizitätsverbrauch 2050 um über fünfmal höher als heute. Dies bei einem Bestand von rund 3.6 Millionen batterieelektrischen Personenwagen. In den Gebäuden stehen 2050 1.5 Millionen Wärmepumpen im Einsatz gegenüber heute rund 300'000. Im Industriesektor nimmt der Elektrizitätsverbrauch bis 2050 hingegen durch verstärkte Effizienzmassnahmen ab. Die Elektrifizierung spielt für die Reduktion der Treibhausgasemissionen im Industriesektor eine geringere Rolle als in den anderen Sektoren.

Neben dem höheren Elektrizitätsverbrauch in den Endverbrauchssektoren wie der Elektromobilität und den Wärmepumpen gibt es auch im Umwandlungssektor einen zunehmenden Elektrizitätsverbrauch: So tragen neben Grosswärmepumpen für die Fernwärmeversorgung auch die zunehmende inländische Produktion von strombasierten Energieträgern und der Einsatz von CCS-Technologien in der Schweiz zum steigenden Landesverbrauch bei (siehe Tabelle 4 im Anhang).

ELEKTRIZITÄTSPRODUKTION

Die inländische Stromproduktion erfolgt 2050 fast ausschliesslich durch Wasserkraftwerke und erneuerbare Energien inklusive Wärme-Kraft-Kopplungs-Anlagen (WKK-Anlagen). Die neuen erneuerbaren Energien liefern 39 TWh oder 46% der Bruttostromerzeugung, die Wasserkraft 45 TWh oder 53%. Die Produktion der Wasserkraft steigt also um 10% gegenüber der heutigen Produktion (2019). Geringe Anteile an fossiler Stromerzeugung verbleiben durch die fossilen Anteile des verbrannten Abfalls in Kehrichtverbrennungsanlagen (siehe Tabellen 6 und 7 im Anhang). Zwar entsteht nach der Ausserbetriebnahme des letzten Kernkraftwerks Leibstadt im Jahr 2034 (Annahme: 50 Jahre Laufzeit) zwischenzeitlich ein Importsaldo von 14 TWh. Der jährliche Importsaldo liegt aber 2050 dennoch bei null, das heisst die Schweiz kann sich 2050 in der Jahresbilanz selbst versorgen. Dies dank Effizienzmassnahmen, dem starken Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion sowie dem Ausbau der Wasserkraftproduktion.

Abbildung 6: Stromerzeugung nach Technologien
Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung nach Technologien im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh



* gekoppelt und ungekoppelt

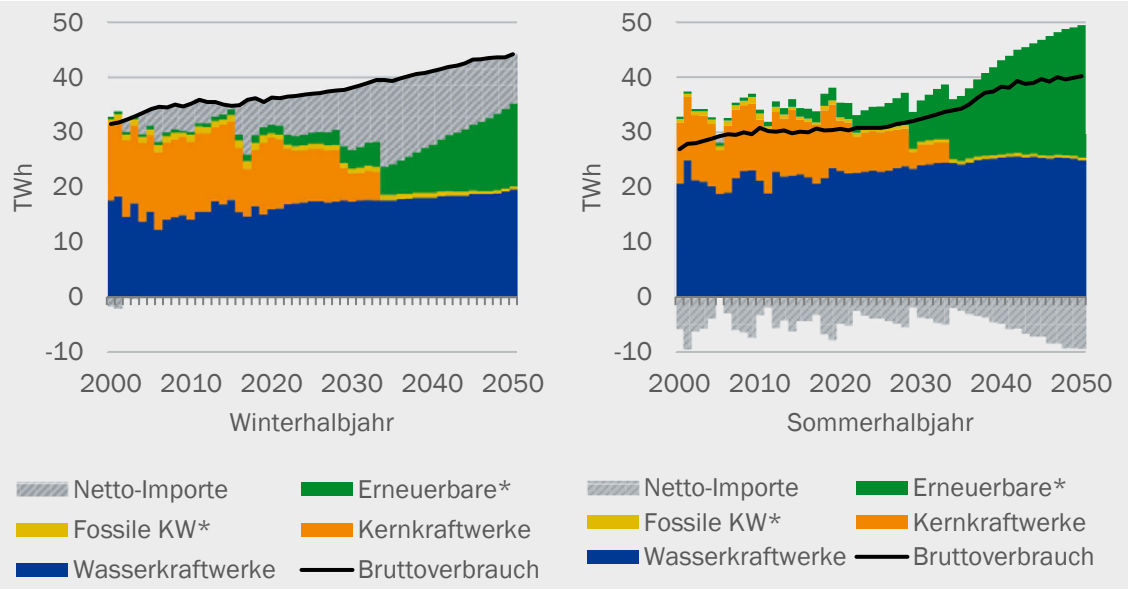
© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

LAUFZEITEN DER KERNKRAFTWERKE

Die Laufzeiten der Kernkraftwerke sind gesetzlich nicht befristet. Die Kernkraftwerke dürfen weiter betrieben werden, solange die gesetzlichen Sicherheitsanforderungen erfüllt sind. Für die Energieperspektiven 2050+ wurden deshalb Varianten zu Kernenergie-Laufzeiten von 50 Jahren und 60 Jahren analysiert. In dieser Zusammenfassung wird nur die Variante mit 50 Jahren Laufzeit dargestellt.

Winter/Sommer: Heute exportiert die Schweiz im Sommer mehr Strom als sie importiert. Im Winter ist es allerdings umgekehrt, da die Winterstromproduktion die inländische Nachfrage nicht vollständig decken kann. Mit der schrittweisen Ausserbetriebnahme der Kernkraftwerke werden die Winterimporte während einer gewissen Zeit zunehmen. Durch den Ausbau der erneuerbaren Stromproduktion sinken die Importe im Winter aber wieder ab. Beispielsweise weil der Winteranteil der Stromerzeugung durch Photovoltaikanlagen auf über 30% steigt. Zudem können die Speicherkraftwerke ihre flexible Produktion je nach Nachfrage in den Winter verschieben. Die inländische Winterstromerzeugung steigt bis 2050 zwar an. Trotzdem verbleibt 2050 ein Importsaldo im Winter von rund 9 TWh. Der Import dieser Strommenge aus dem Ausland ist gewährleistet und besteht insbesondere aus Windenergie. Im Sommerhalbjahr hingegen exportiert die Schweiz über den gesamten Betrachtungszeitraum Elektrizität. Diese Exporte stammen vor allem aus der flexiblen Wasserkraftproduktion und zu Zeiten, in denen die Windenergie- und PV-produktion in den Nachbarländern geringer ist.

Abbildung 7: Winter-/Sommerbilanz
Entwicklung der Bruttostromerzeugung im Winter- und Sommerhalbjahr im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh



* gekoppelt und ungekoppelt

© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

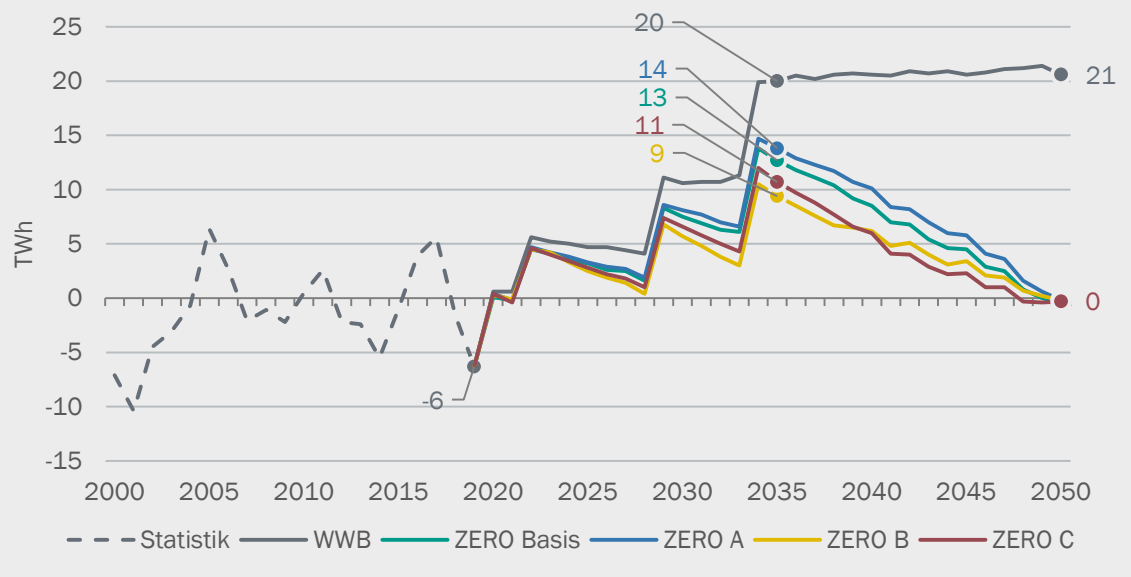
Flexibilität der Stromproduktion: Speicherkraftwerke können ihre flexible Produktion in den Winter verschieben oder auch kurzfristig anpassen. 2050 sind 9 GW Leistung an Speicherkraftwerken installiert. Pumpspeicherkraftwerke tragen wesentlich zur Integration der Produktionsspitzen aus der erneuerbaren Stromproduktion bei: Sie können diese Energie über mehrere Tage bis Wochen in Perioden mit geringerer Stromproduktion verschieben. Die Betriebszyklen der Pumpspeicherkraftwerke werden künftig stark von der PV-Produktion im In- und Ausland geprägt. 2050 sind 6 GW Leistung an Pumpspeicherkraftwerken installiert. Zusammen mit der Leistung der biomassebetriebenen WKK-Anlagen verfügt die Schweiz 2050 über eine flexible Produktionsleistung von rund 16 GW. Die inflexible Spitzenlast, das heisst der maximale unflexible Stromverbrauch pro Stunde, liegt 2050 bei rund 11 GW. Die Schweiz verfügt 2050 also über Leistungsüberschüsse und braucht deshalb keine Backup-Kraftwerke zur Absicherung der inflexiblen Spitzenlast.

FLEXIBILISIERUNG DES STROMVERBRAUCHS

Je flexibler der Stromverbrauch ist, desto einfacher kann er durch die teils unregelmässige erneuerbare Stromproduktion gedeckt werden. Die Flexibilisierungspotenziale sind gross. So können Batteriespeicher in Elektrofahrzeugen den Stromverbrauch über mehrere Tage verschieben. Wärmepumpen können ihren Stromverbrauch durch die Wärmespeicherkapazität der Gebäude über einige Stunden verschieben. Dezentrale Batteriespeicher sorgen ausserdem für die Glättung des Erzeugungsprofils der PV-Anlagen. Eine hohe Flexibilität der Nachfrage ermöglicht die Integration grosser Mengen an erneuerbarer, unregelmässig anfallender Stromproduktion ins System.

Stromaustausch mit dem Ausland: Durch den starken Ausbau der Photovoltaik und der hohen Stromproduktion im Sommer ist die Schweiz komplementär zum Ausland. Dort dominiert vor allem die Windenergie mit hohen Winteranteilen. Die Schweizer Wasserkraftwerke stellen mit ihrer hohen installierten Leistung nicht nur Flexibilität für die Schweiz, sondern auch fürs Ausland zur Verfügung. Umgekehrt kann die Schweiz auch von flexiblen Kraftwerken im Ausland profitieren. Voraussetzung dafür ist allerdings, dass die Schweiz auch weiterhin gut im europäischen Strommarkt integriert ist und die grenzüberschreitenden Netzkapazitäten gemäss den aktuellen Planungen ausgebaut werden. Das Stromsystem Schweiz ist physisch sehr stark mit dem europäischen Stromsystem vernetzt. Heute gibt es 41 grenzüberschreitende Leitungen mit einer Netzkapazität von 10 GW (Export) und 7 GW (Import).

Abbildung 8: Importsaldo (Szenarienvergleich)
Entwicklung des jährlichen Importsaldos im Vergleich der Varianten des Szenarios ZERO (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050») und des Szenarios WWB, in TWh

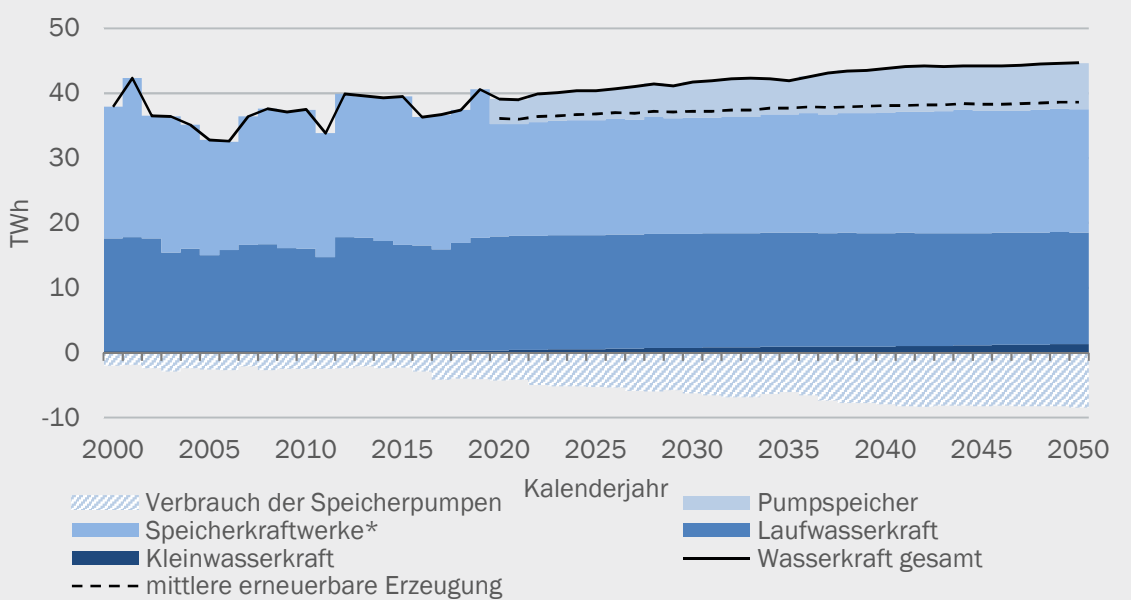


© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

STROMERZEUGUNG AUS WASSERKRAFT

Bis 2050 steigt die Stromerzeugung aus Wasserkraft gegenüber heute um mehr als 10% und liegt 2050 bei 45 TWh (siehe Tabelle 7 im Anhang). Diese Steigerung wird durch Erneuerungen bestehender, sowie durch den Bau neuer Wasserkraftwerke ermöglicht.

Abbildung 9: Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken
Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken nach Technologien im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh



* bis 2019 inkl. Pumpspeicher

© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

STROMERZEUGUNG ERNEUERBARE ENERGIEN OHNE WASSERKRAFT (SIEHE TABELLE 6 IM ANHANG)

Photovoltaik: Der Ausbau steigt langfristig auf bis zu 1.5 Gigawatt (GW) Leistung pro Jahr (im Vergleich zu aktuell rund 0.3 GW/Jahr). Die Gestehungskosten des Solarstroms sinken weiter bis 2050, ebenso die Batteriekosten. Deshalb sind 2050 rund 70% der Photovoltaik-Anlagen mit Batteriespeichern kombiniert. Die Stromerzeugung aus Photovoltaik-Anlagen beträgt im Jahr 2050 33.6 TWh (heute rund 2.2 TWh).

Windenergie: Durch Verzögerungen bei den Bewilligungsverfahren steigt der Ausbau von Windkraftanlagen erst nach 2035 deutlich an, auf mehr als 4 TWh im Jahr 2050 da diese Anlagen an guten Standorten tiefe Gestehungskosten aufweisen (zwei Drittel davon im Winter).

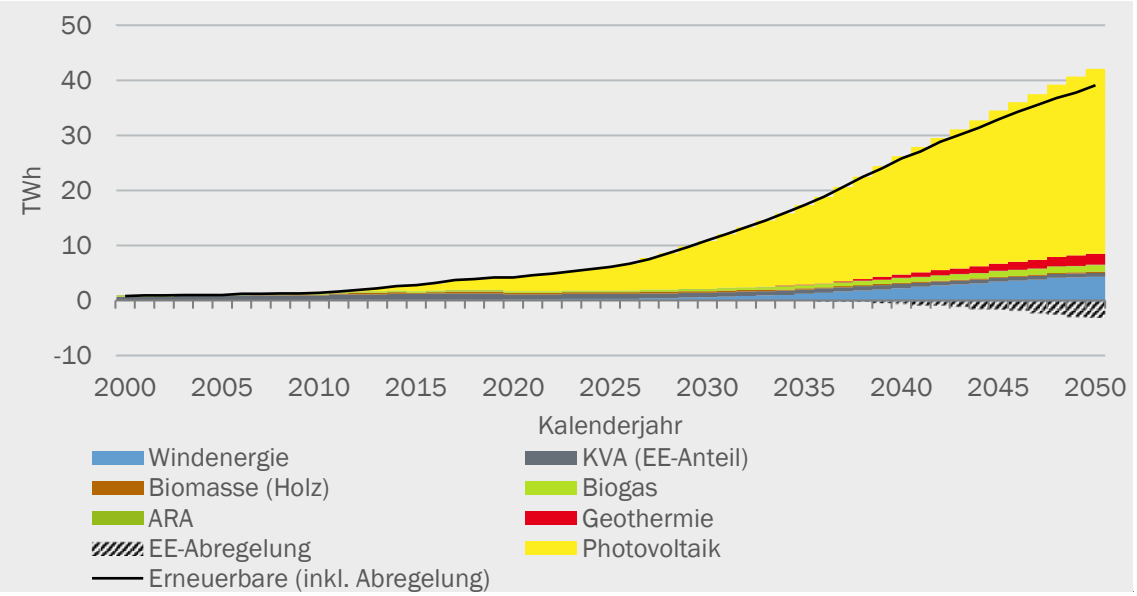
Geothermie: Es gibt in der Schweiz grosse Potenziale für Tiefengeothermie-Projekte. Da die Erkundung geeigneter Standorte zeitaufwän-

dig und nicht immer erfolgreich ist, wird angenommen, dass bis 2035 nur die derzeit geplanten Projekte realisiert werden. Erst danach folgen weitere Anlagen, so dass die Stromerzeugung aus Geothermie 2050 bei 2 TWh liegt.

Biomasse: Es werden relativ wenige biogasbetriebene WKK-Anlagen zugebaut, da die beschränkten Biomassepotenziale prioritär dort eingesetzt werden müssen, wo wenige Alternativen zur Dekarbonisierung verfügbar sind (z.B. Hochtemperaturprozesswärme in der Industrie). Zudem haben sie höhere Gestehungskosten als andere Stromproduktionstechnologien aus erneuerbaren Energien. Die Stromproduktion aus Holz und Biogas liegt 2050 bei rund 1.4 TWh.

Strom aus Kehrichtverbrennungsanlagen (KVA): Da die Abfallmengen leicht sinken, werden keine weiteren KVA gebaut. Damit ist auch das erneuerbare Stromproduktionspotenzial aus KVA beschränkt und liegt 2050 bei nur rund 0.7 TWh. Ausserdem verbleiben durch die fossilen Anteile des verbrannten Abfalls CO_2-Emissionen, die abgeschieden und gespeichert werden müssen.

Abbildung 10: Stromerzeugung erneuerbarer Energien
Entwicklung der jährlichen Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien nach Technologien im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

INVESTITIONEN INS ENERGIESYSTEM

Zum Energiesystem – egal in welchem Szenario – gehören:

- Infrastrukturen zur Energieproduktion und -Umwandlung (Wasserkraftwerke, PV-Anlagen, Biomasseanlagen, Windenergieanlagen, Power-to-X-Anlagen, etc.)
- Infrastrukturen zur Energieverteilung (Stromnetze, Gasnetze, Transformatoren, Ladeinfrastruktur für die Elektromobilität, etc.)
- Die Energieverbraucher (Anlagen, Gebäude, Geräte, Motoren, etc.)
- Im Szenario ZERO auch Anlagen zur Abscheidung und Speicherung von CO_2 und andere NET-Technologien

Alle diese Elemente des Energiesystems müssen gebaut, betrieben, saniert, sowie alters- oder technologiehalber einmal ersetzt werden. Das verursacht Kosten für Investitionen, den Betrieb und für die verbrauchte Energie. Der Vergleich der Szenarien ZERO-Basisvariante und WWB ermöglicht einen Vergleich der Kosten, die im Energiesystem bis 2050 entstehen.

INVESTITIONEN

Im Vergleichsszenario WWB liegen die Investitionen in Kraftwerke, Anlagen, Wärmeerzeuger, Fahrzeuge und energierelevante Bauteile der Gebäude bis 2050 insgesamt bei rund 1’400 Milliarden Franken. Das sind also «Sowieso-Kosten», die auch ohne Massnahmen zur Erreichung des Netto-Null-Ziels anfallen. Trotz dieser Investitionssumme wird in WWB bis 2050 lediglich eine Abnahme der Treibhausgasemissionen um rund 30% im Vergleich zu heute (2018) erreicht.

Um das Netto-Null Ziel bis 2050 zu erreichen, muss der Umbau des Energiesystems also rascher vorangehen als in WWB. Es braucht frühere zusätzliche Investitionen in Stromproduktionsanlagen, Elektrofahrzeuge, Wasserstofffahrzeuge, Wärmepumpen, Wärmenetze, Gebäudesanierungen und Neubauten, Stromnetze, sowie in andere Infrastrukturen oder auch in CCS und NET-Technologien (beide vor allem nach 2040). Diese Investitionen sind im Szenario ZERO-Basisvariante im Vergleich zu WWB um insgesamt 109 Milliarden Franken oder rund 8% höher.

Ein grosser Teil dieser zusätzlichen Investitionen fallen im Inland für Projekte und Aufträge an Schweizer Unternehmen an. Der Nutzen dieser zusätzlichen Investitionen wird sich vor allem nach 2050 zeigen, indem die Auswirkungen des Klimawandels gemindert und die damit verbundenen Folgekosten und negativen wirtschaftlichen Auswirkungen vermieden werden können.

BETRIEBSKOSTEN

Im Vergleich zu WWB liegen die Betriebskosten für die zusätzlichen Fernwärmeanlagen und vor allem für die erneuerbare Stromproduktion bis 2050 um rund 14 Milliarden Franken höher. Zu den Betriebskosten gehören unter anderen die Wärmeerzeugung in Gebäuden (ohne Energiekosten), Haustechnikanlagen, der Fahrzeugunterhalt, der Betrieb und Unterhalt der Strom- und Fernwärmeerzeugungsanlagen sowie der Unterhalt der Stromnetze.

ENERGIEKOSTEN

Im Szenario ZERO-Basisvariante verschwinden die fossilen Energien bis 2050 praktisch komplett aus dem Energiesystem. Gleichzeitig wird die Energieeffizienz verstärkt. So können im Vergleich zum Szenario WWB bis 2050 rund 50 Milliarden Franken oder 18% an Energiekosten eingespart werden.

Zwar rechnet das Szenario ZERO ab Mitte der 2030er Jahre mit Importen von strombasierten Energieträgern, Biogas und fester Biomasse. Dennoch fliesst gegenüber heute und dem Szenario WWB deutlicher weniger Geld ins Ausland ab. Heute fliessen pro Jahr rund 8 Milliarden Franken ins Ausland, beispielsweise für Importe von Benzin, Diesel, Heizöl, Erdgas oder von Kernbrennstoffen.

VOLKSWIRTSCHAFTLICHE AUSWIRKUNGEN

Der Umbau des Energiesystems auf Netto-Null bis 2050 hat neben den direkten Kosten auch Auswirkungen auf die gesamte Volkswirtschaft. Denn es werden sich Wirtschaftsstruktur, Güterpreise, Konsum und der Aussenhandel an die neuen Strukturen eines weitgehend CO_2-freien Lebens und Wirtschaftens anpassen.

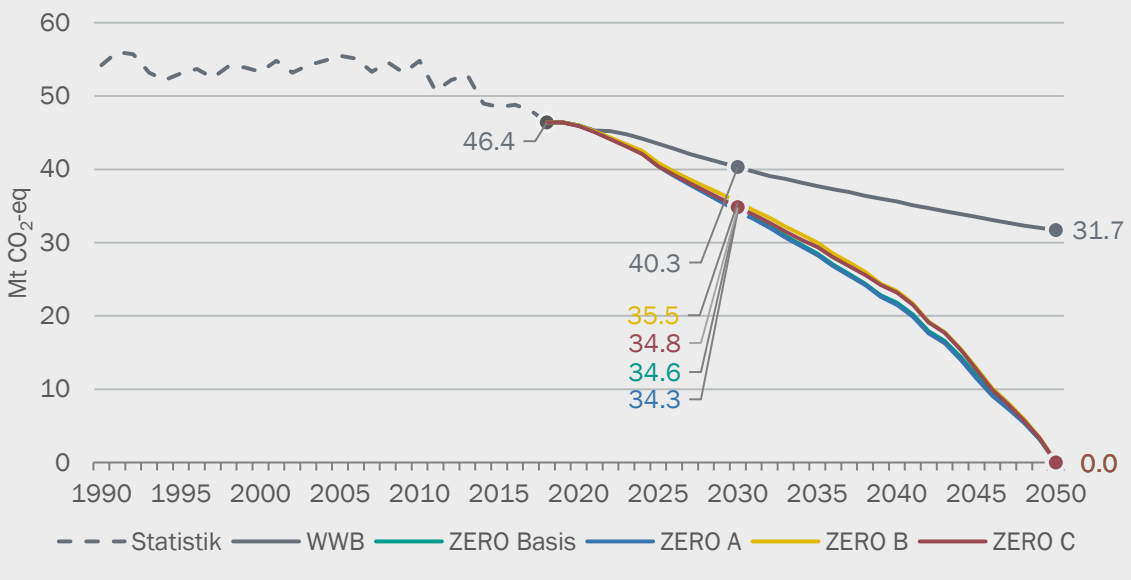
Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen sind von einer Vielzahl von Entwicklungen abhängig, die heute noch unsicher und entsprechend schwer abzuschätzen sind. Sie sind zudem wesentlich von der Ausgestaltung der politischen Massnahmen abhängig.

Die volkswirtschaftlichen Auswirkungen werden derzeit noch genauer untersucht. Die Ergebnisse werden im zweiten Halbjahr 2021 vorliegen.

ANHANG: VERGLEICH DER SZENARIEN

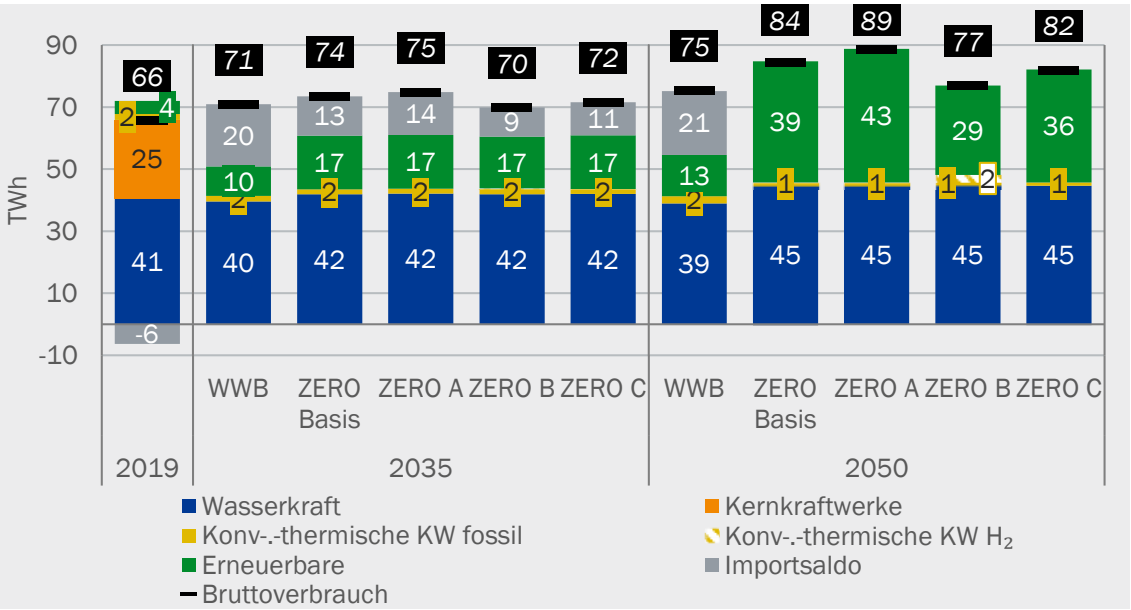
Die wichtigsten Vergleiche der Szenarien im Überblick.

Abbildung 11: Szenarienvergleich: THG-Emissionen
1990 bis 2050, in Mt CO_2-eq



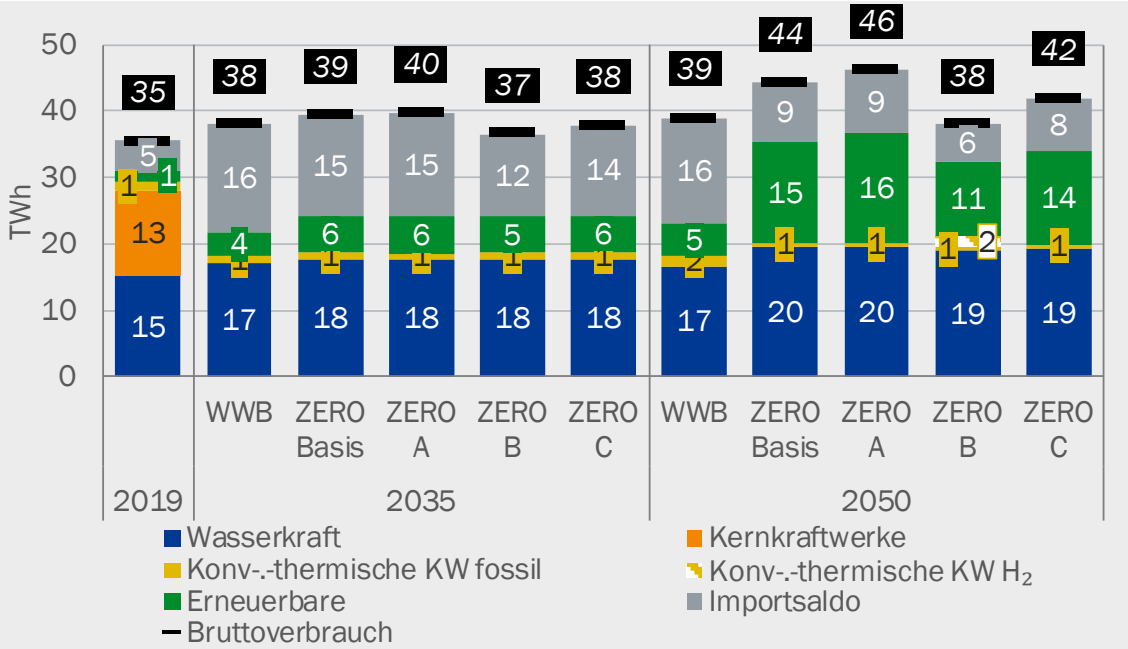
© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Abbildung 12: Stromerzeugungsstruktur (Szenarienvergleich)
Entwicklung der Stromerzeugungsstruktur im Vergleich der Varianten des Szenarios ZERO (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050») und des Szenarios Weiter wie bisher, in TWh



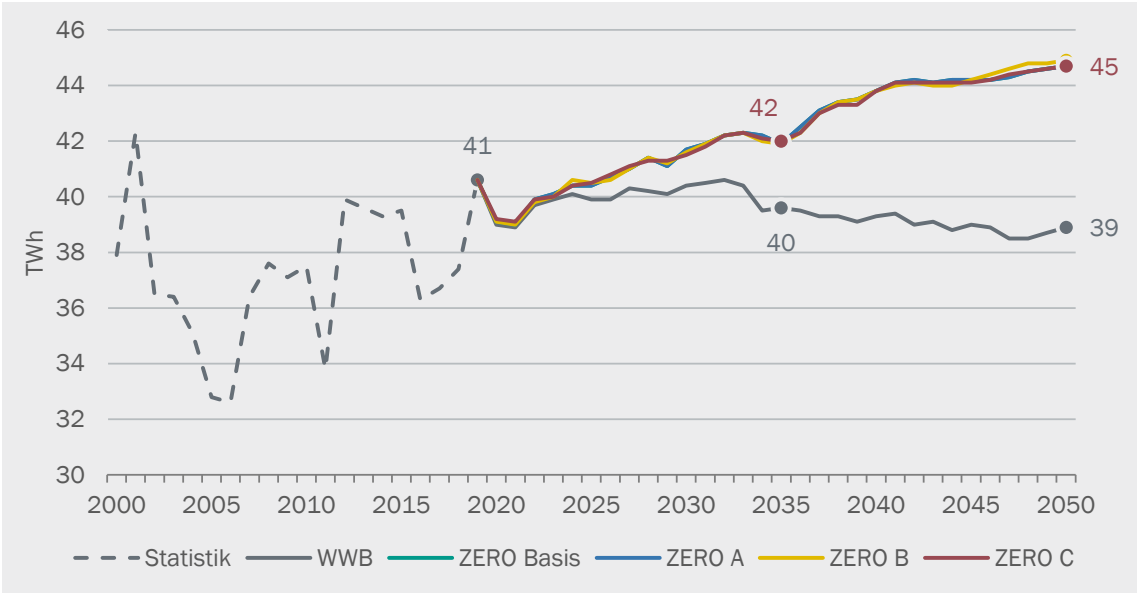
© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Abbildung 13: Stromerzeugungsstruktur Winterhalbjahr (Szenarienvergleich)
Entwicklung der Stromerzeugungsstruktur im Winterhalbjahr im Vergleich der Varianten des Szenarios ZERO (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050») und des Szenarios WWB, in TWh



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

Abbildung 14: Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken (Vergleich Szenarien und Varianten)
Entwicklung der Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken im Vergleich der Varianten des Szenarios ZERO (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050») und des Szenarios WWB, in TWh



© Prognos AG/TEP Energy GmbH/INFRAS AG 2020

ANHANG: TABELLEN

Tabelle 1: Entwicklung der Treibhausgasemissionen im Szenario ZERO Basis
in der Abgrenzung des THG-Inventars in Mio. t CO_2-eq

Szenario		1990	2000	2018	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Energie (Verbrennung; 1A)	41.5	41.9	35.0	30.5	25.3	20.2	15.2	9.9	4.2
	Energieumwandlung (1A1)	2.5	3.2	3.4	3.2	3.2	3.2	3.1	3.1	2.6
	Industrie (1A2)	6.6	6.0	4.8	4.6	4.0	3.2	2.4	1.7	1.2
	Verkehr (1A3)	14.7	16.0	14.9	13.3	11.3	8.9	6.3	3.2	0.0
	Dienstleistungen (1A4a & 1A5)	5.1	5.1	3.6	2.4	1.6	1.2	0.8	0.6	0.2
	Haushalte (1A4b)	11.8	10.8	7.7	6.3	4.6	3.3	2.2	1.2	0.1
	Landwirtschaft (Energie, 1A4C)	0.8	0.8	0.6	0.6	0.5	0.5	0.3	0.2	0.0
	Verdampfungsemissionen (1 B)	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
	ind. Prozesse und Lösungsmittel (2)	4.3	3.9	4.5	3.4	3.0	2.7	2.6	2.5	2.4
	Landwirtschaft (3)	6.8	6.2	6.0	5.7	5.5	5.3	5.0	4.8	4.6
	Abfall (5)	1.1	0.8	0.7	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5
	Andere (6)	<0.1	<0.1	0.0	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
	Summe (Inland)	**54.2**	**53.3**	**46.4**	**40.5**	**34.6**	**28.9**	**23.5**	**17.8**	**11.8**
	NET im Ausland					0.0	0.0	0.0	–1.2	–4.7
	CCS/NET im Inland					0.0	–0.4	–1.7	–4.8	–7.0
	Zementklinkerherstellung					0.0	0.0	–0.2	–1.8	–2.4
	Chemie, Pharma					0.0	0.0	–0.1	–0.2	–0.5
	Kehrichtverwertungs-anlagen					0.0	–0.4	–1.1	–2.3	–3.6
	Biomasseanlagen					0.0	0.0	–0.3	–0.4	–0.4
	übrige					0.0	0.0	0.0	–0.1	–0.1
	Summe (Inland, inkl. CCS/NET)	**54.2**	**53.3**	**46.4**	**40.5**	**34.6**	**28.5**	**21.8**	**11.9**	**0.0**
WWB	**Summe (Inland)**	**54.2**	**53.3**	**46.4**	**43.5**	**40.3**	**37.7**	**35.6**	**33.5**	**31.7**

Die indirekten CO_2-Emissionen der Kategorie 1A sind in der Summe enthalten, werden jedoch in der Tabelle aufgrund der geringen Mengen (<0,1 Mt CO_2-eq) nicht eigenständig ausgewiesen. Die land use and land-use change and forestry (LULUCF) Emissionen der Kategorie 4 werden im Klimaziel der Energieperspektiven grundsätzlich berücksichtigt, aufgrund der grossen Unsicherheit bezüglich deren Entwicklung als Null angenommen und hier nicht mit ausgewiesen.

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 2: Entwicklung des Endenergieverbrauchs
Szenarien ZERO Basis und WWB

Szenario		2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Summe Inland in PJ	783	757	718	672	627	584	550	524
	pro Kopf in GJ/Einwohner	109	88	79	71	64	58	54	51
	pro BIP in MJ/CHF	1.5	1.1	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6	0.5
WWB	Summe Inland in PJ	783	757	737	710	683	657	634	615
	pro Kopf in GJ/Einwohner	109	88	81	75	70	66	62	60
	pro BIP in MJ/CHF	1.5	1.1	1.0	0.9	0.8	0.7	0.7	0.6

ohne Verbrauch des internationalen Flugverkehrs

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 3: Endenergieverbrauch nach Energieträgern
Entwicklung des Endenergieverbrauchs nach Energieträgern im Szenario ZERO Basis, in PJ

Szenario	Energieträger	2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Kohle	6	4	3	2	1	0	0	0
	Erdölprodukte	438	329	272	219	168	118	62	4
	davon Erdöltreibstoffe	230	217	195	167	133	96	50	0
	Erdgas	93	115	107	86	63	40	21	6
	Müll und Industrieabfälle	10	12	12	12	13	14	15	15
	Holz	28	39	40	37	33	29	26	24
	übrige Erneuerbare	6	30	53	77	99	119	137	151
	Elektrizität	189	206	206	208	215	221	226	228
	Fernwärme	13	22	26	29	31	34	37	41
	PtX	0	0	1	2	4	7	25	56
	davon PtL	0	0	0	0	0	0	13	40
	Summe Inland	**783**	**757**	**718**	**672**	**627**	**584**	**550**	**524**
WWB	**Summe Inland**	**783**	**757**	**737**	**710**	**683**	**657**	**634**	**615**

ohne Verbrauch des internationalen Flugverkehrs
übrige Erneuerbare: Biogas, Biomethan, Biotreibstoffe, Solarwärme, Umweltwärme und Abwärme

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 4: Landesverbrauch für Elektrizität
Entwicklung des Landesverbrauchs für Elektrizität in den Szenarien ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050») und WWB, in TWh

Szenario		2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Endenergieverbrauch	52.4	57.2	57.2	57.9	59.6	61.5	62.9	63.2
	davon Elektrofahrzeuge (Strasse)	0.1	0.2	0.8	2.4	5.0	8.1	11.0	13.1
	davon Wärmepumpen (Gebäude)	0.6	2.3	4.0	5.6	6.8	7.5	8.2	8.7
	Elektrolyse, Gross-WP und CCS	0.0	0.0	0.9	1.8	3.1	5.0	6.5	7.4
	Verluste	3.9	4.3	4.4	4.5	4.7	5.0	5.2	5.3
	Landesverbrauch*	56.3	61.5	62.5	64.1	67.4	71.5	74.6	76.0
WWB	Landesverbrauch*	56.3	61.5	63.5	64.7	66.3	67.8	68.9	70.5

* Landesverbrauch = Endverbrauch + Verluste + sonstiger Verbrauch Umwandlungssektor (CCS, Elektrolyse, Grosswärmepumpen) ohne Verbrauch der Speicherpumpen

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 5: Stromverbrauch und Stromerzeugung
Entwicklung der Stromversorgung der Schweiz im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh

Szenario		2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Wasserkraftwerke	37.9	40.6	40.4	41.7	41.9	43.8	44.2	44.7
	Kernkraftwerke	24.9	25.3	16.6	8.8	0.0	0.0	0.0	0.0
	Fossile KW*	1.7	1.9	1.5	1.6	1.6	1.4	1.2	1.0
	Erneuerbare*/**	0.8	4.2	6.1	10.9	17.3	25.8	32.9	39.1
	Landeserzeugung (brutto)	65.3	71.9	64.6	63.0	60.9	71.0	78.4	84.8
	Verbrauch Speicherpumpen	–2.0	–4.1	–5.3	–6.3	–6.1	–8.0	–8.3	–8.5
	Landeserzeugung (netto)	63.4	67.8	59.4	56.7	54.8	63.0	70.0	76.3
	Importsaldo	–7.1	–6.3	3.2	7.5	12.7	8.5	4.5	–0.4
	Landesverbrauch	56.3	61.5	62.5	64.1	67.4	71.5	74.6	76.0
	Gesamter Verbrauch inkl. Speicherpumpen	58.3	65.6	67.8	70.4	73.5	79.5	82.9	84.4

* gekoppelt und ungekoppelt
** unter Abzug abgeregelter Strommengen

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 6: Stromerzeugung erneuerbarer Energien
Entwicklung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien in der Schweiz im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh

Szenario		2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Photovoltaik	0.0	2.2	4.3	8.7	14.4	21.5	27.8	33.6
	Windenergie	0.0	0.1	0.3	0.6	1.2	2.2	3.4	4.3
	Biomasse (Holz)	0.0	0.3	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
	Biogas	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2
	ARA	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
	KVA (EE-Anteil)	0.7	1.2	0.9	0.8	0.8	0.8	0.7	0.7
	Geothermie	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.6	1.3	2.0
	EE-Abregelung	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	–0.4	–1.5	–3.0
	Erneuerbare Energien*	0.8	4.2	6.1	10.9	17.3	25.8	32.9	39.1
WWB	Erneuerbare Energien*	0.8	4.2	5.9	8.7	9.5	10.3	11.6	13.3

* unter Abzug abgeregelter Strommengen

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

Tabelle 7: Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken
Entwicklung der Stromerzeugung aus Wasserkraftwerken in der Schweiz im Szenario ZERO Basis (Strategievariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050»), in TWh

Szenario		2000	2019	2025	2030	2035	2040	2045	2050
ZERO Basis	Kleinwasserkraft	0.2	0.3	0.5	0.7	0.9	0.9	1.1	1.3
	Speicherkraftwerke*	20.3	22.9	17.7	17.9	18.2	18.6	18.9	19.0
	Laufwasserkraft	17.4	17.4	17.6	17.6	17.6	17.5	17.3	17.2
	Pumpspeicher			4.6	5.5	5.3	6.7	6.9	7.1
	Wasserkraft gesamt	37.9	40.6	40.4	41.7	41.9	43.8	44.2	44.7
	Verbrauch Speicherpumpen	–2.0	–4.1	–5.3	–6.3	–6.1	–8.0	–8.3	–8.5
	nachrichtlich: mittlere erneuerbare Stromerzeugung			36.8	37.2	37.7	38.1	38.3	38.6
WWB	Wasserkraft gesamt	37.9	40.6	39.9	40.4	39.6	39.3	39.0	38.9

* bis 2019 inkl. Erzeugung aus Pumpspeicherkraftwerken

© Prognos AG / TEP Energy GmbH / INFRAS AG 2020

IMPRESSUM

Herausgeber — Bundesamt für Energie BFE
26. November 2020

Pulverstrasse 13 · CH-3063 Ittigen ·
Postadresse: Bundesamt für Energie BFE, CH-3003 Bern ·
Tel. +41 58 462 56 11 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch
twitter.com/bfeenergeia

Titelbild: Shutterstock.com