

Klimaneutrale Schweiz bis 2050

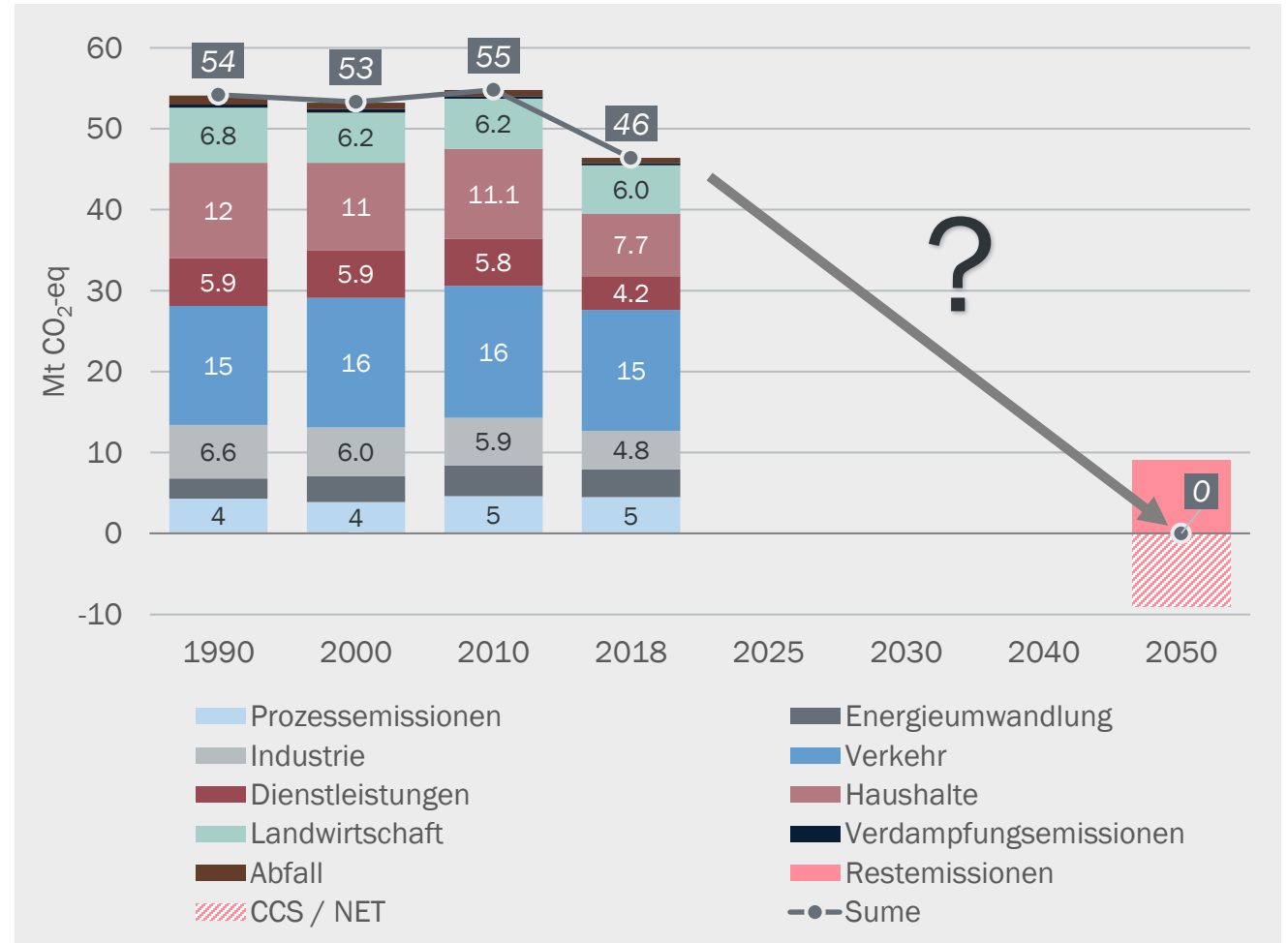
– in a nutshell

Basierend auf den Ergebnissen der Szenarienrechnungen
Energieperspektiven 2050+

- Die Berichte und Ergebnisdaten (auch Daten für Grafiken und die Grafiken selbst) sind auf der Projektseite des BFE veröffentlicht:
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/politik/energieperspektiven-2050-plus.html>
Wenn man nach unten scrollt, sind unter dem Zielbild alle Dokumente, Exkurse, Berichte und Ergebnisdatensätze im Excel-Format veröffentlicht.
- Weitere Informationen: Für den Status quo und die Vergangenheitsentwicklung bieten die Schweizer Gesamtenergiestatistik und die Schweizer Elektrizitätsstatistik (ebenfalls beim BFE jährlich publiziert) eine gute Grundlage.
<https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/versorgung/statistik-und-geodaten/energiestatistiken.html>
Auf der Statistikseite sind auch die regelmässigen Ex-Post-Analysen zum Energieverbrauch nach Verwendungszwecken und zur Veränderung des Energieverbrauchs nach Bestimmungsfaktoren zu finden.
- Die THG-Bilanz der Schweiz ist hier zu finden:
<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/klima/zustand/daten/treibhausgasinventar.html>

Klimaneutrale Schweiz bis 2050

- Netto-Null bis 2050: schwer vermeidbare Restemissionen werden durch natürliche oder technische Senken ausgeglichen
- Welche Pfade ermöglichen die Zielerreichung?



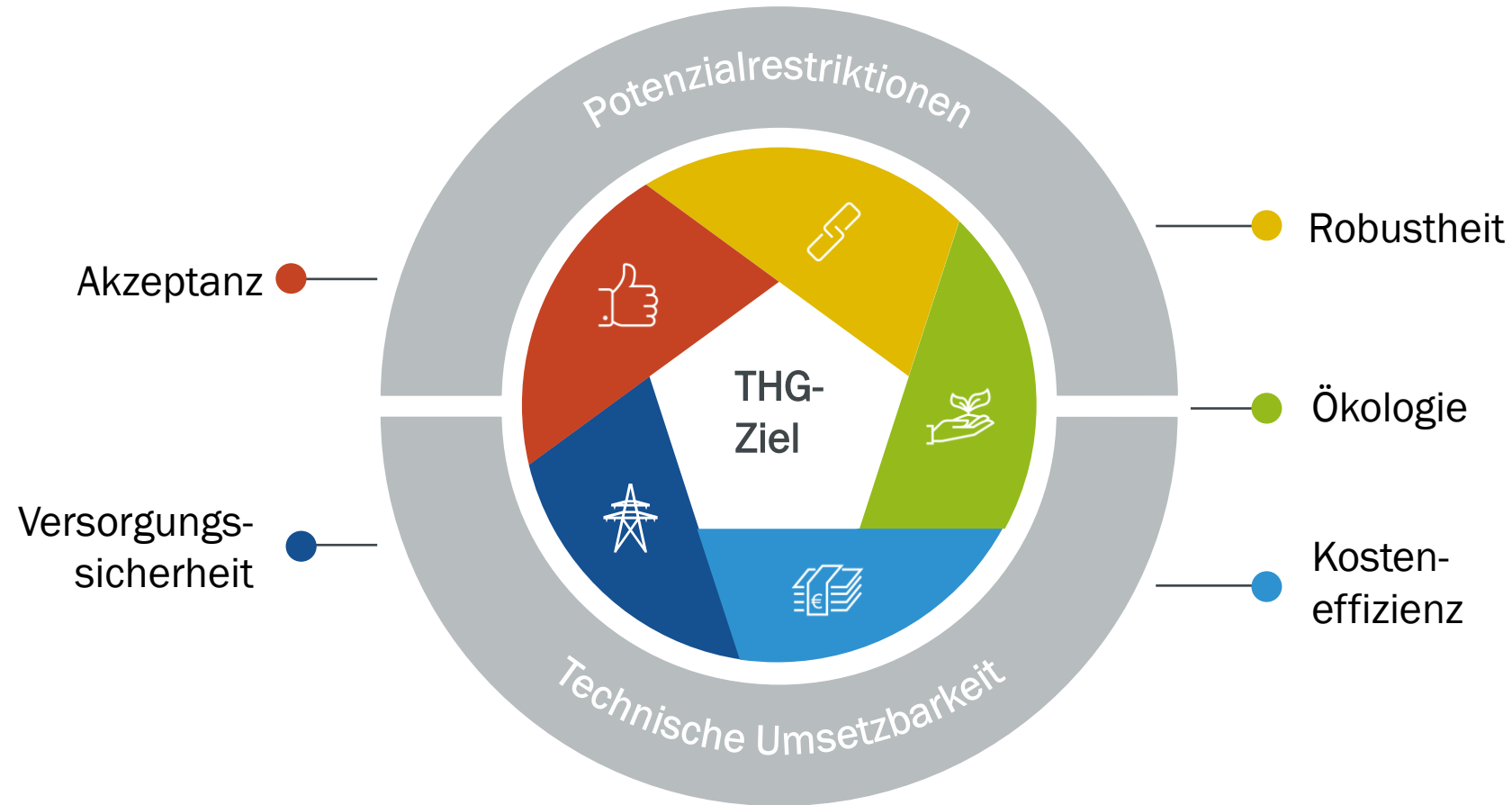
Einleitung

Szenario-Logik

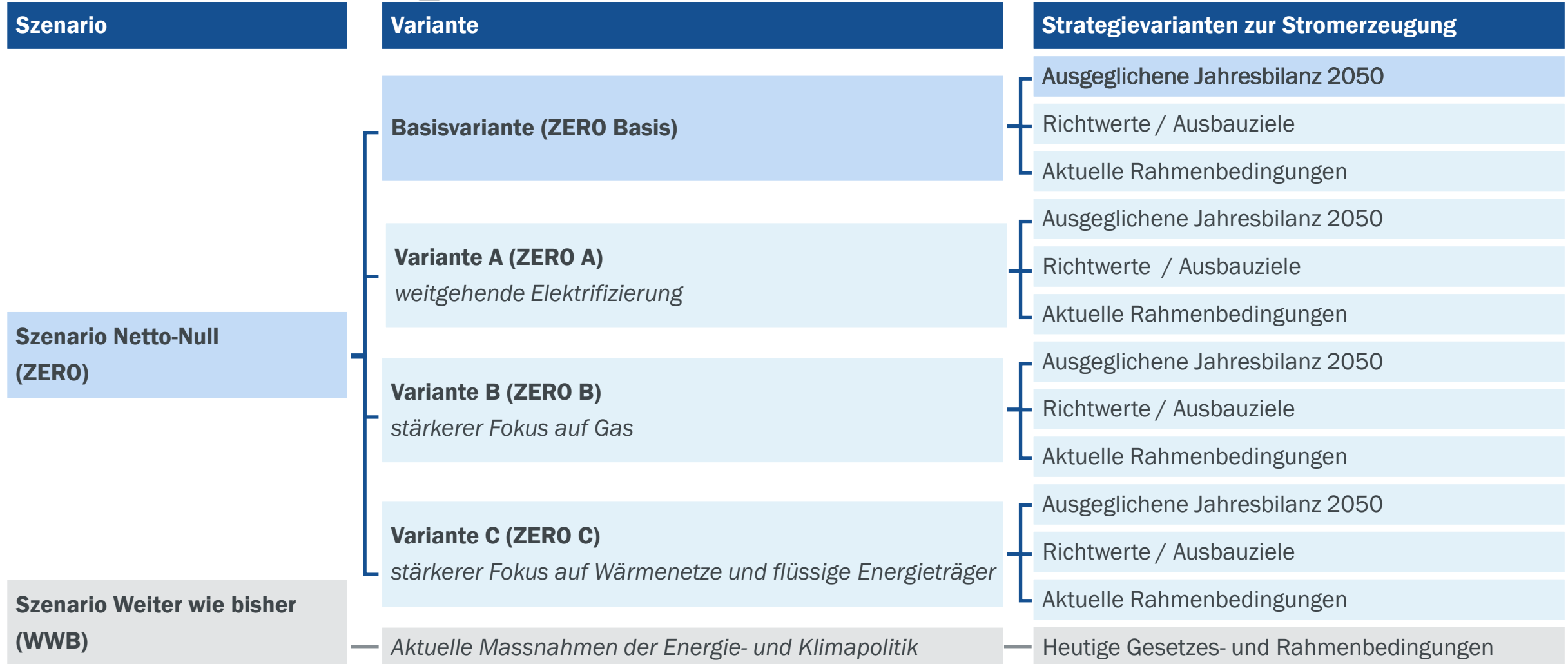
Zentrale Zielgrösse: Erreichung des Treibhausgasziels.

Für den Weg zur Zielerreichung werden die folgenden Kriterien berücksichtigt:

- Räumliche und zeitliche Potenzialrestriktionen
- Technische Umsetzbarkeit
- Kosteneffizienz
- Akzeptanz
- Versorgungssicherheit
- Robustheit der Zielerreichung



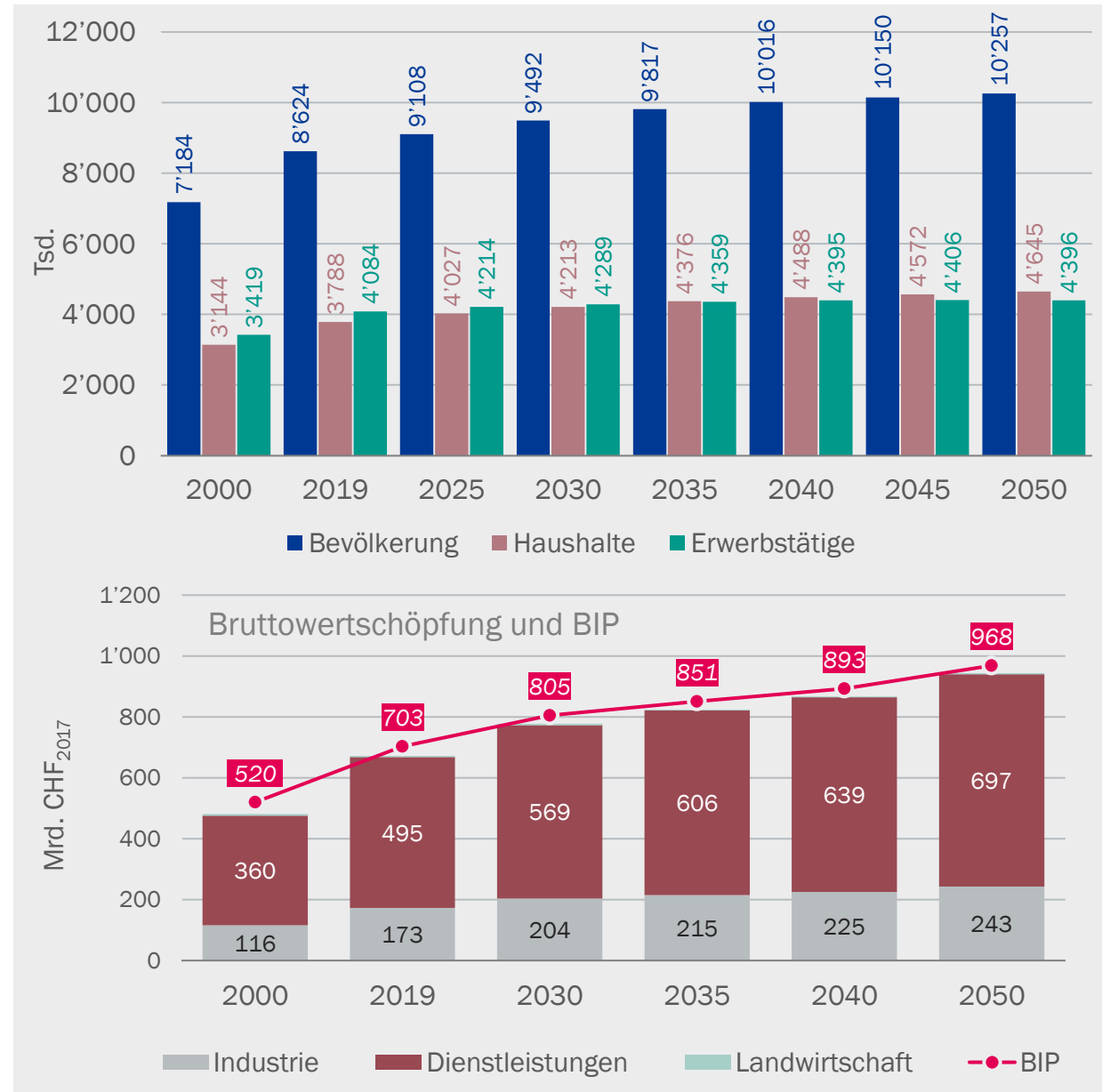
Einleitung: Szenarien und Varianten verschiedene Wege führen zum Ziel



Rahmendaten: Wachstum setzt sich fort

Mengengerüste steigen weiter an:

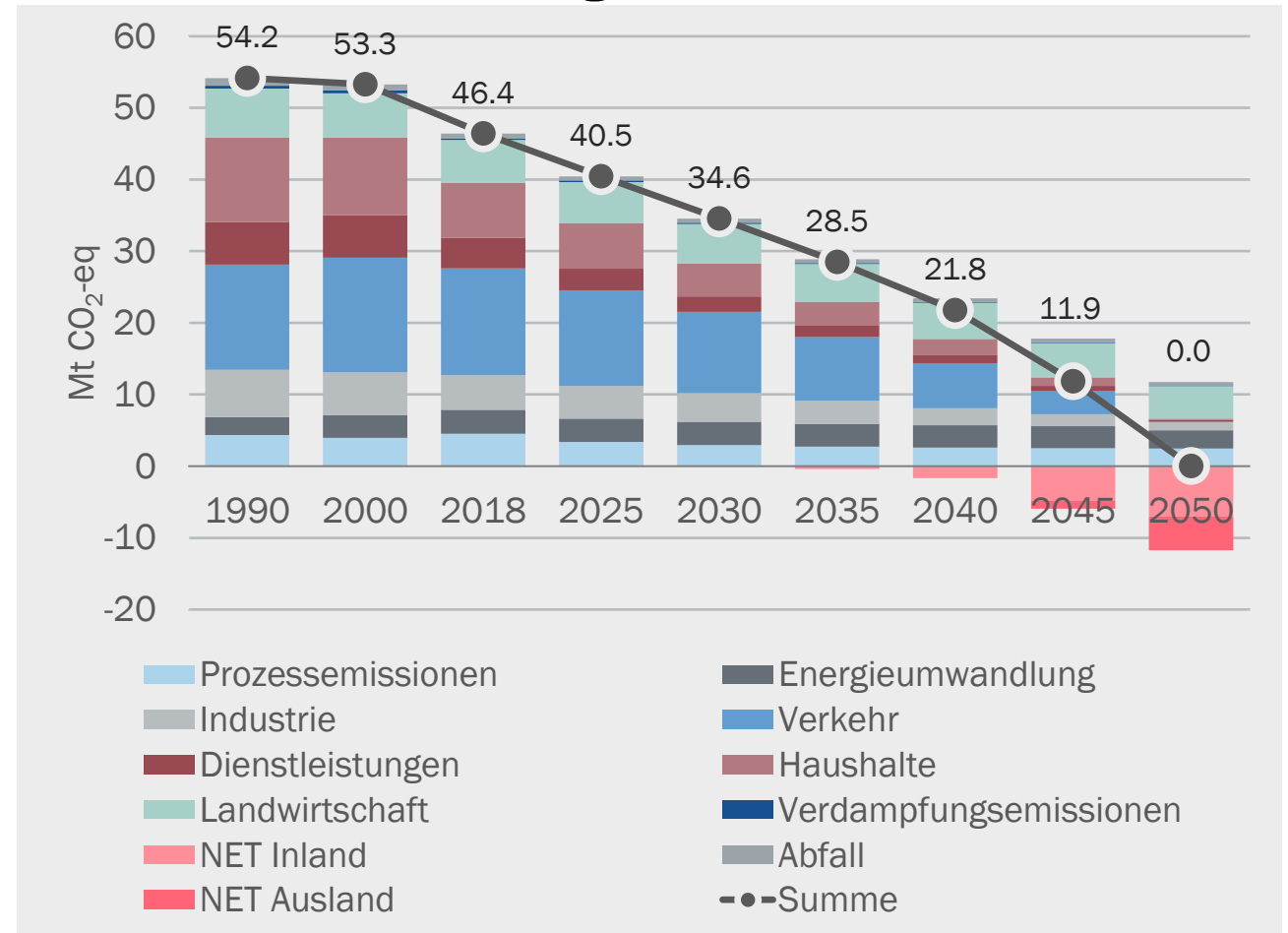
- Bevölkerung wächst auf über 10 Mio.
 - Beheizte Fläche erhöht sich um 17%
 - Fahrleistung Personenverkehr steigt ebenfalls um 17%
 - Zahl der Erwerbstätigen nimmt um 8% zu
 - BIP wächst um 38%
- Entwicklung der Rahmendaten stützt sich auf andere bundesinterne Perspektivstudien
 → sind nicht Teil der EP2050+
 (Bevölkerung / Haushalte: BfS 2015 / 2017
 BIP: Seco 2018)



Netto-Null Treibhausgasemissionen

- Ziel Netto-Null kann erreicht werden
- 2050 verbleiben rund 12 Mt CO₂-eq schwer vermeidbare Restemissionen
- diese fallen hauptsächlich an in den Bereichen:
 - Landwirtschaft
 - industrielle Prozesse (u.a. Zement) und
 - Kehrichtverwertung (KVA)
- Einsatz von CCS/NET (Negativ-Emissions-Technologien) ist notwendig, damit bilanzielle Null erreicht werden kann.

Emissionsentwicklung im Szenario ZERO-Basis



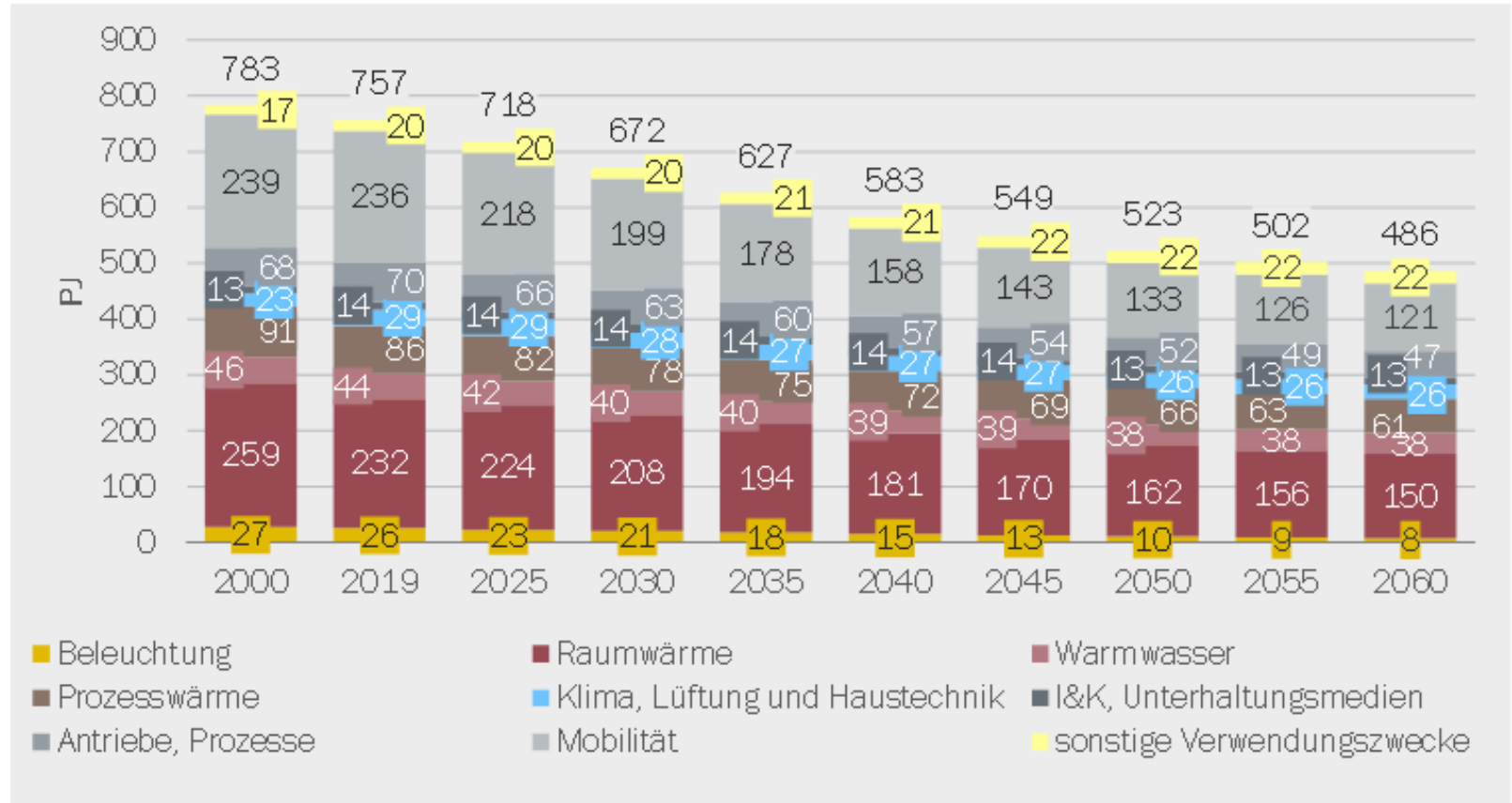
Endenergieverbrauch

Entwicklung 2019 bis 2050:

- insgesamt: -31% (WWB -19%), zusätzliche Einsparung ggü. WWB: 91PJ
- starke Rückgänge bei
 - Beleuchtung -60%
 - Raumwärme -30%
 - Mobilität -44%
- Raumwärme und Mobilität bleiben die Verwendungszwecke mit dem höchsten Verbrauch.
- Verbrauch aller Verwendungszwecke rückläufig, ausser den Sonstigen (Sammelgruppe mit Elektroanwendungen)

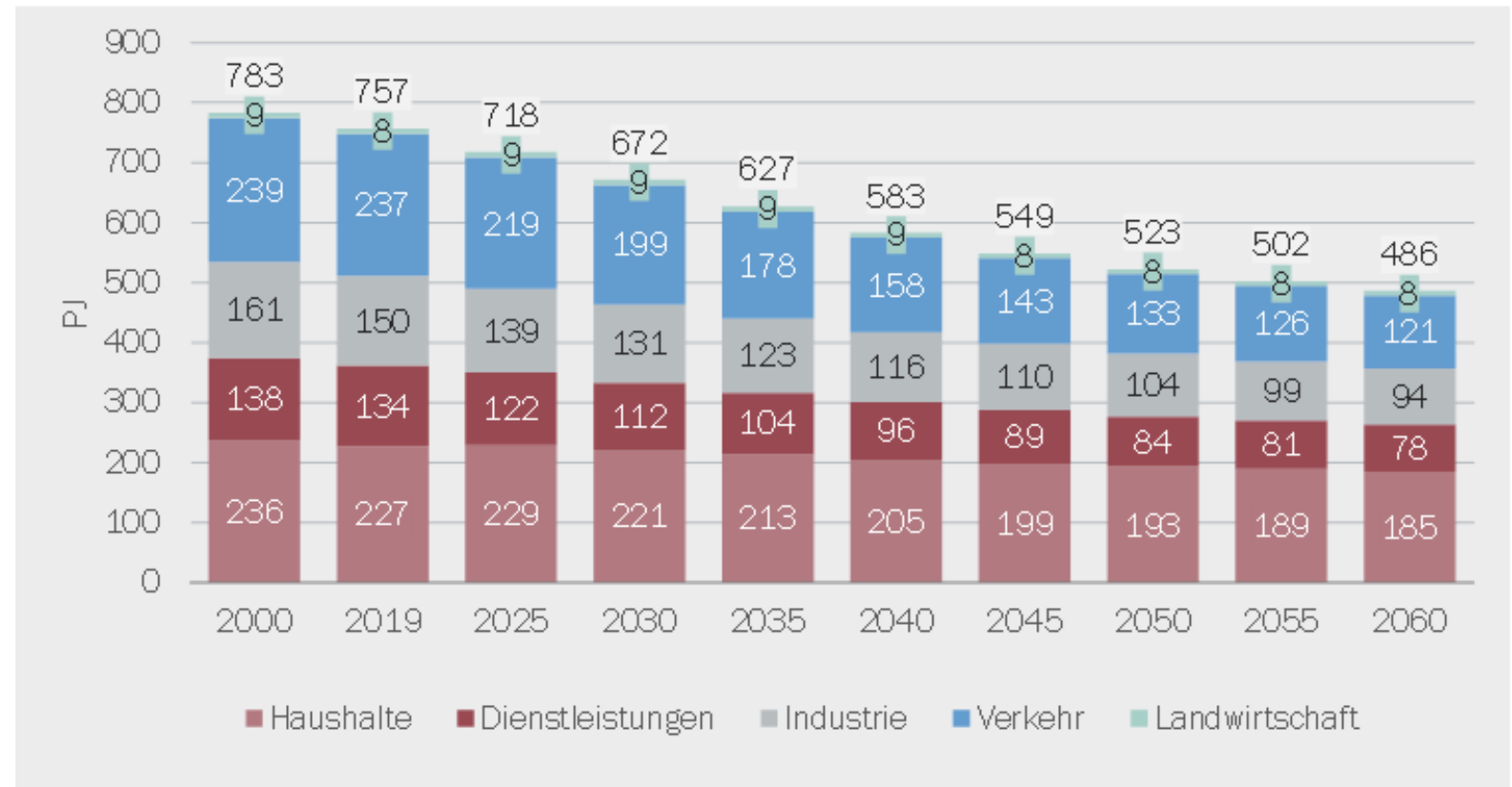
Verbrauchsentwicklung im Szenario ZERO-Basis

- nach Verwendungszwecken



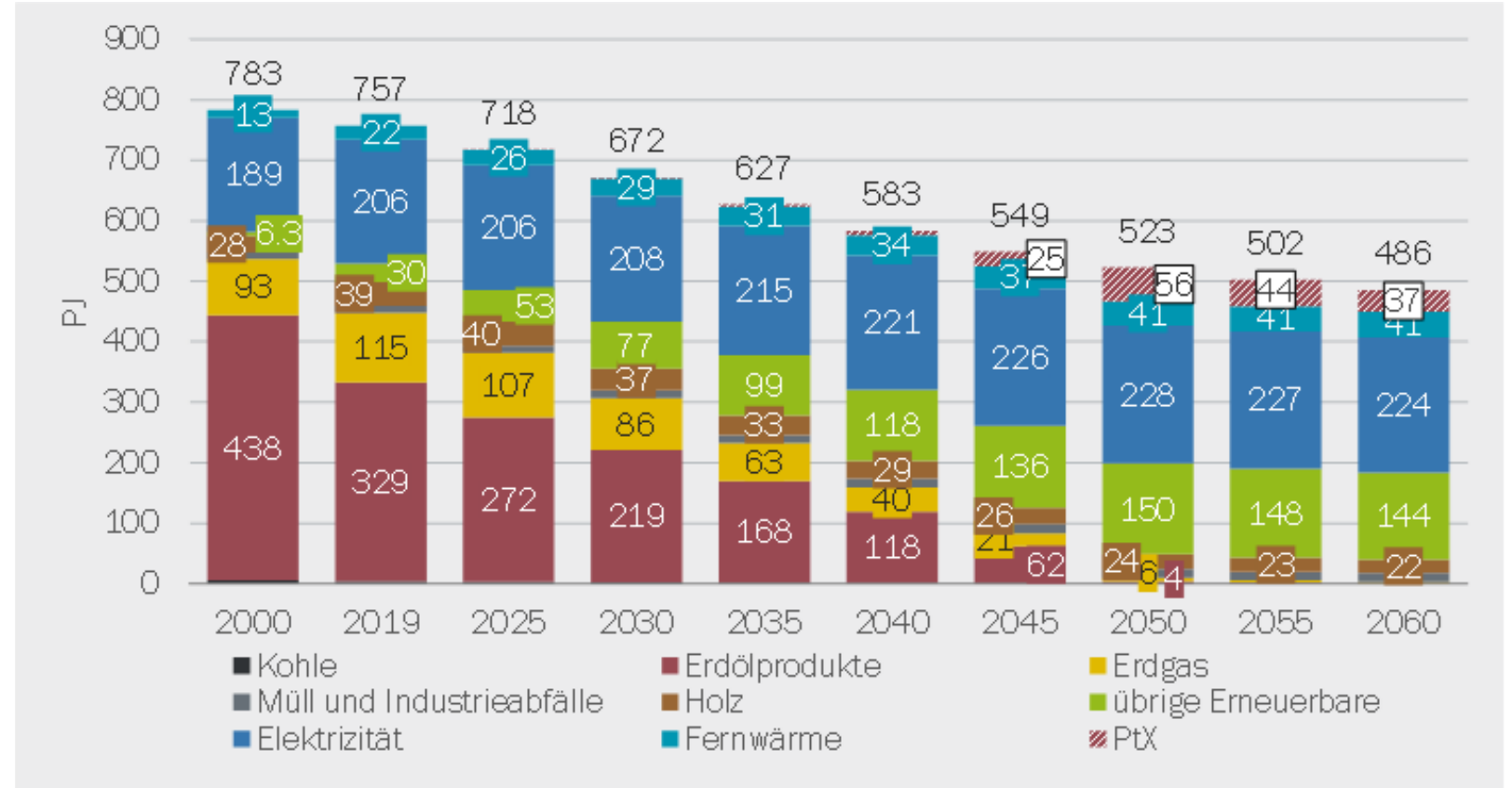
- Verkehr ist anfangs der Sektor mit dem höchsten Verbrauch → der Effizienzeffekt durch Elektrifizierung führt zur stärksten Reduktion.
- Industrie: Vor allem Querschnitts-Technologien und Elektrifizierung
- Gebäude (PHH und GHD): Effizienzmassnahmen, Qualität der Gebäudehülle

Nach Sektoren



- Elektrifizierung führt zur Erhöhung der Stromnachfrage um ca. 10 %
- Effizienz wichtig, um den Anstieg zu begrenzen
- EE: Umgebungswärme, Solarthermie, Biomasse
- Nahezu Verdoppelung der Fernwärme
- Erdgas als Übergangstechnologie – ständige Reduktion
- PtX vor allem im Schwerverkehr & Flugverkehr

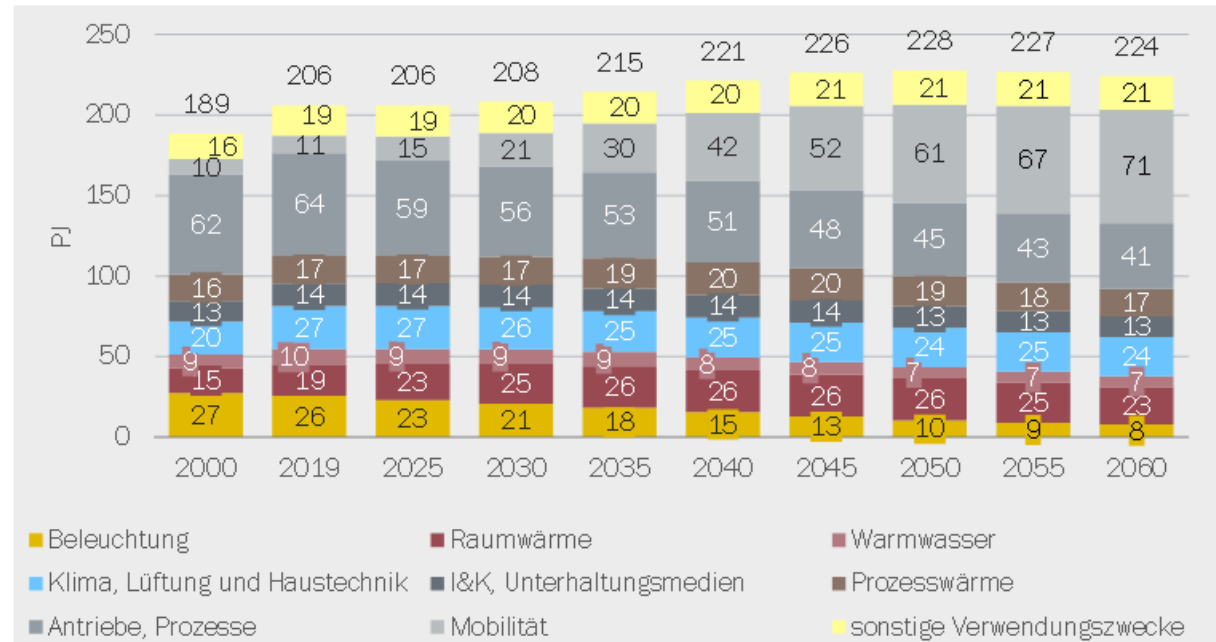
Nach Energieträgern



EEV Strom nach Verwendungszwecken

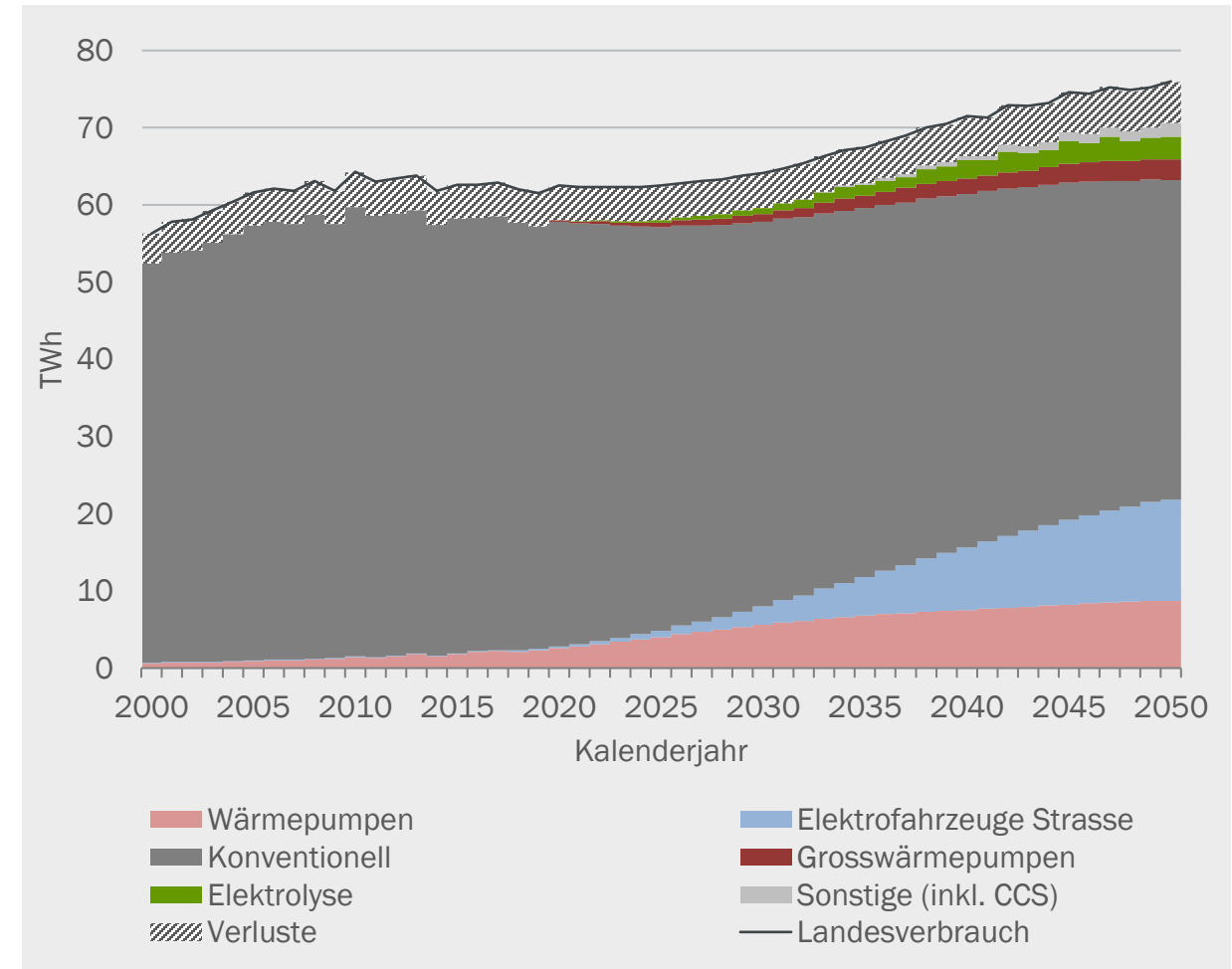
- Bedeutung von Strom nimmt zu, Anteil am EEV erhöht sich von 27% in 2019 auf 43% in 2050
- Stromverbrauch auf Ebene EEV nimmt aber nur moderat zu (+11%; +22PJ/+6TWh)
- Starke Zunahme im Verkehrssektor, Verbrauch für Mobilität: +50PJ (+14TWh)
- Zunahme bei Raumwärme gedämpft durch Effizienz und Ersatz konventioneller Stromwärme
- grosse Einsparungen auch bei Prozesswärme, mechanischen Prozessen und Antrieben (inkl. Elektrogeräten)

Verbrauchsentwicklung im Szenario ZERO-Basis



Landesverbrauch nach Anwendungsbereichen

- Anstieg des Landesverbrauchs um rund 24 % bis zum Jahr 2050
- Treiber des Anstiegs sind hauptsächlich
 - Elektrofahrzeuge im Strassenverkehr (13 TWh)
 - Wärmepumpen (9 TWh)
 - H₂-Elektrolyse (3 TWh)
 - CCS / Negativemissionstechnologien (2 TWh)
- Gedämpft wird der Anstieg durch Effizienz: Rückgang im Vergleich zu WWB im konv. Stromverbrauch.

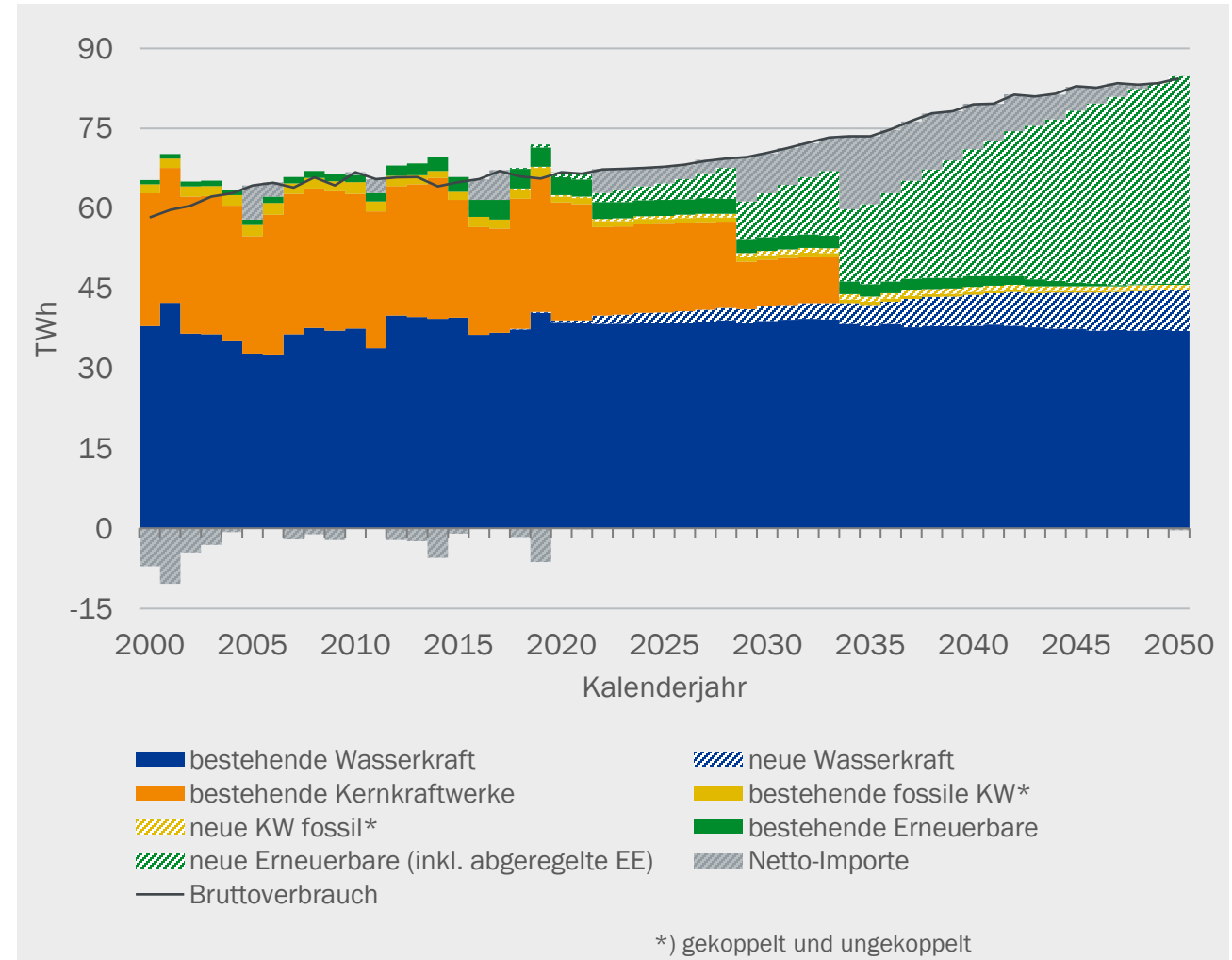


Strom- und Wärmeversorgung

Stromsystem

Stromversorgung der Schweiz bis 2050 durch Wasserkraft und erneuerbare Energien, temporär Ergänzung durch Stromimporte.

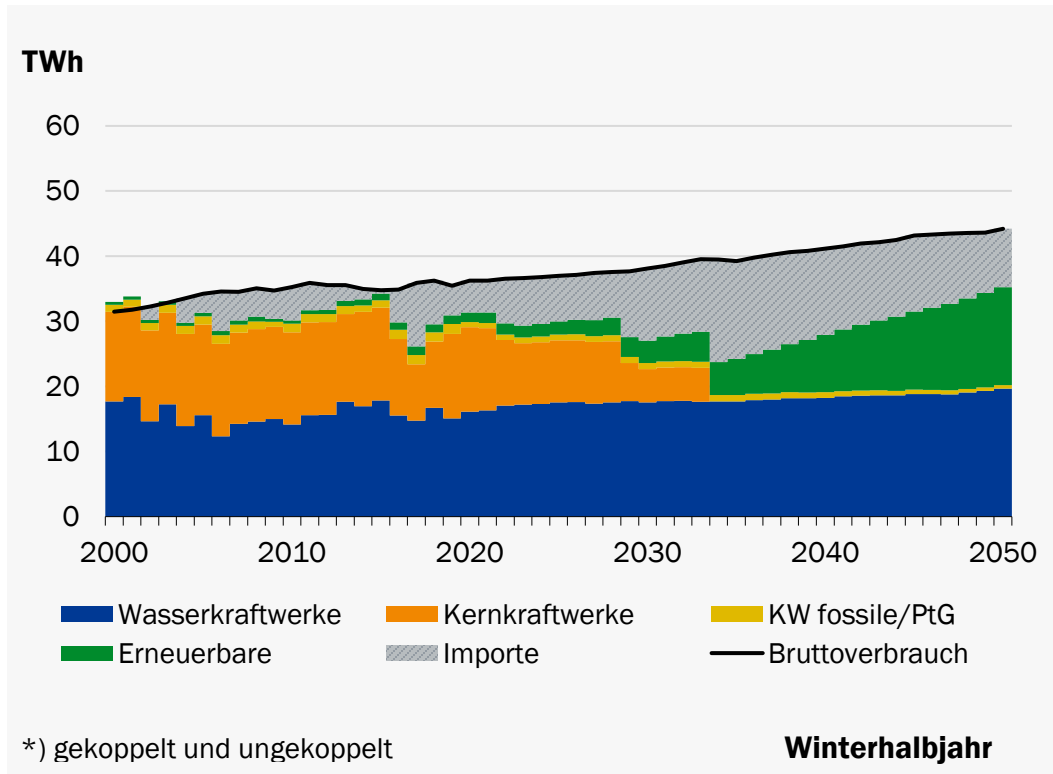
- Anstieg des gesamten Verbrauchs (inkl. Speicherpumpen) auf 84 TWh in 2050.
- Deutlicher Anstieg der inländischen Stromerzeugung durch erneuerbare Energien und Wasserkraft.
- Importsaldo nach dem Kernenergieausstieg bis 2050 ausgeglichen.



Stromsystem: Stromerzeugung

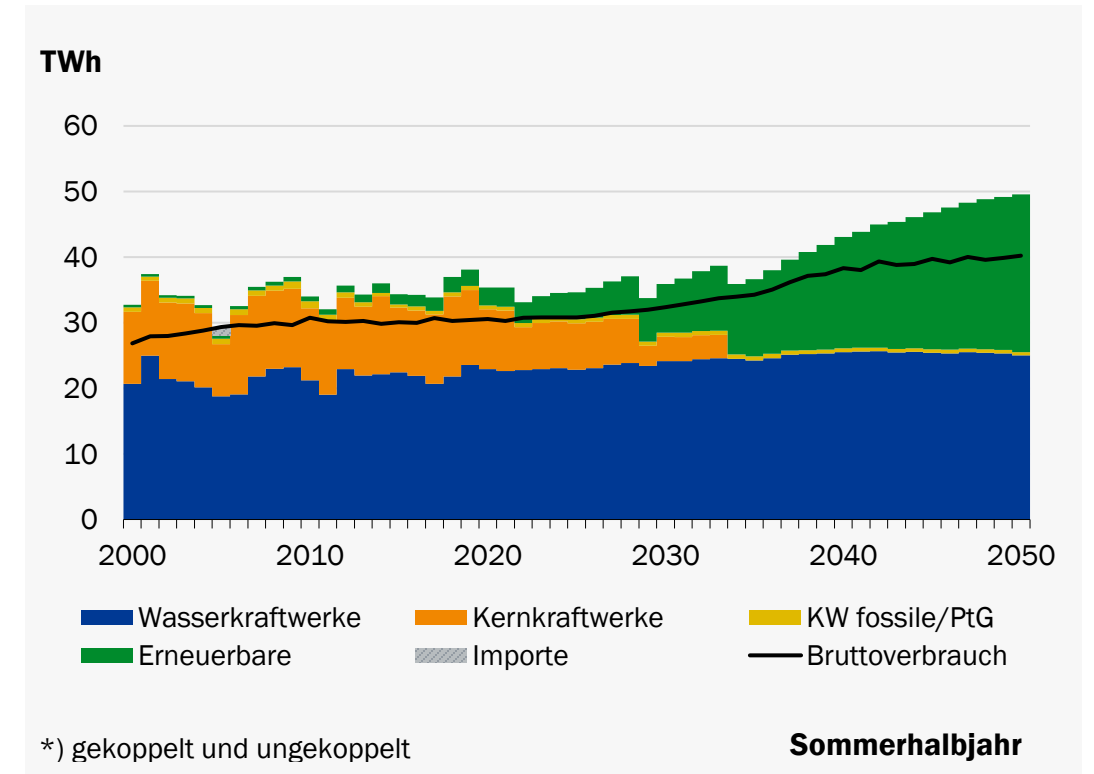
Winterhalbjahr

Steigende Winteranteile von PV und Wind, in 2050 verbleibt ein Importsaldo im Winter.



Sommerhalbjahr

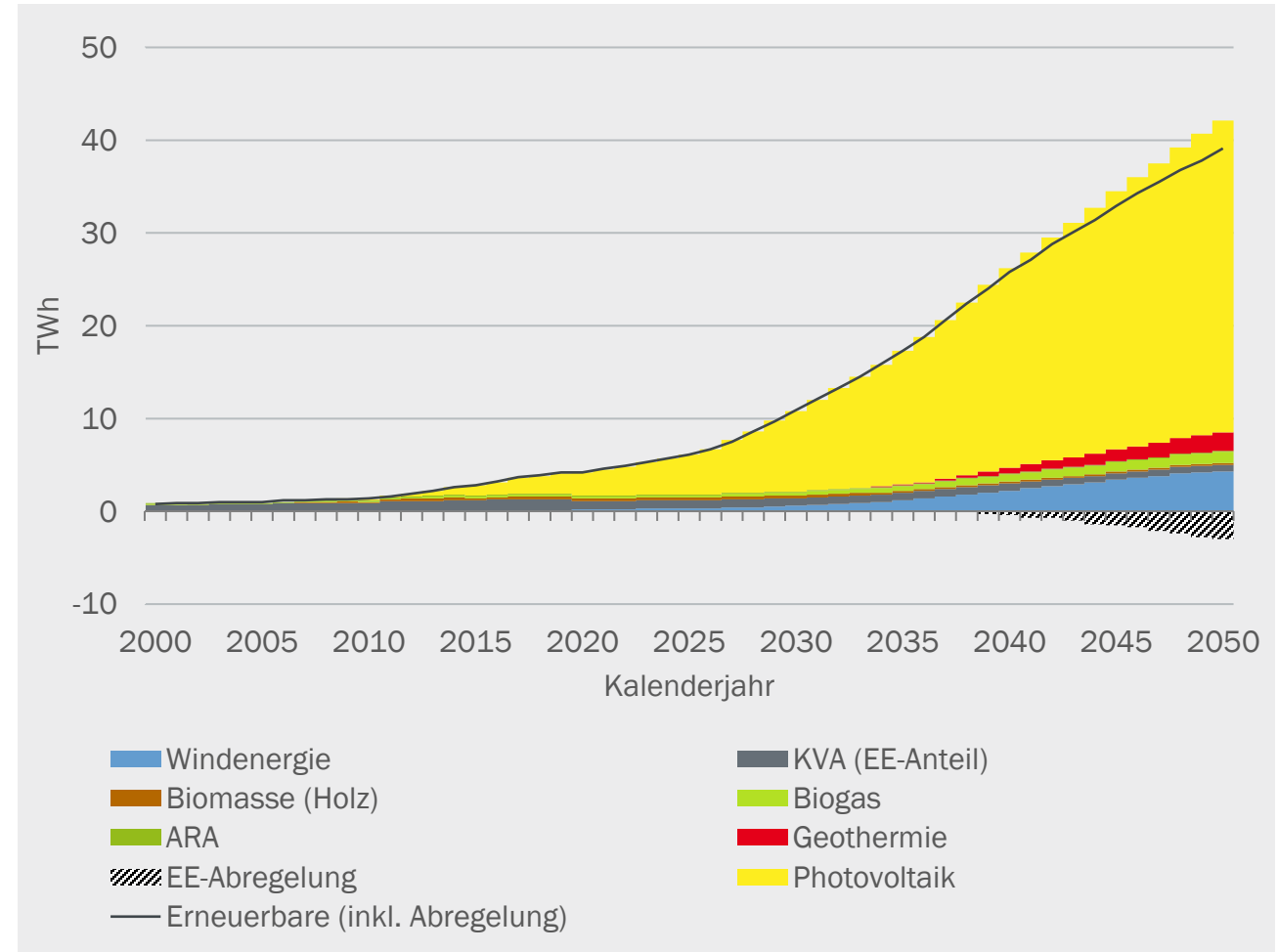
Exportsaldo im Sommer verbleibt bis 2050 insb. aufgrund hoher PV-Erzeugung.



Erneuerbare Energien

Deutlicher Anstieg der Stromerzeugung erneuerbarer Energien bis 2050 auf 39 TWh (heute 4 TWh).

- Photovoltaik mit hohen Anteilen aufgrund sinkender Kosten und hoher Potenziale in der Schweiz: 34 TWh in 2050.
- Wind mit tiefen Kosten an guten Standorten, aber Herausforderungen bei Akzeptanz.
- Biomasse und Geothermie ergänzen den Strommix der Schweiz und stellen zudem CO₂-freie Wärme bereit.
- Flexibilität in der Stromerzeugung und im Verbrauch zentral für die Integration.

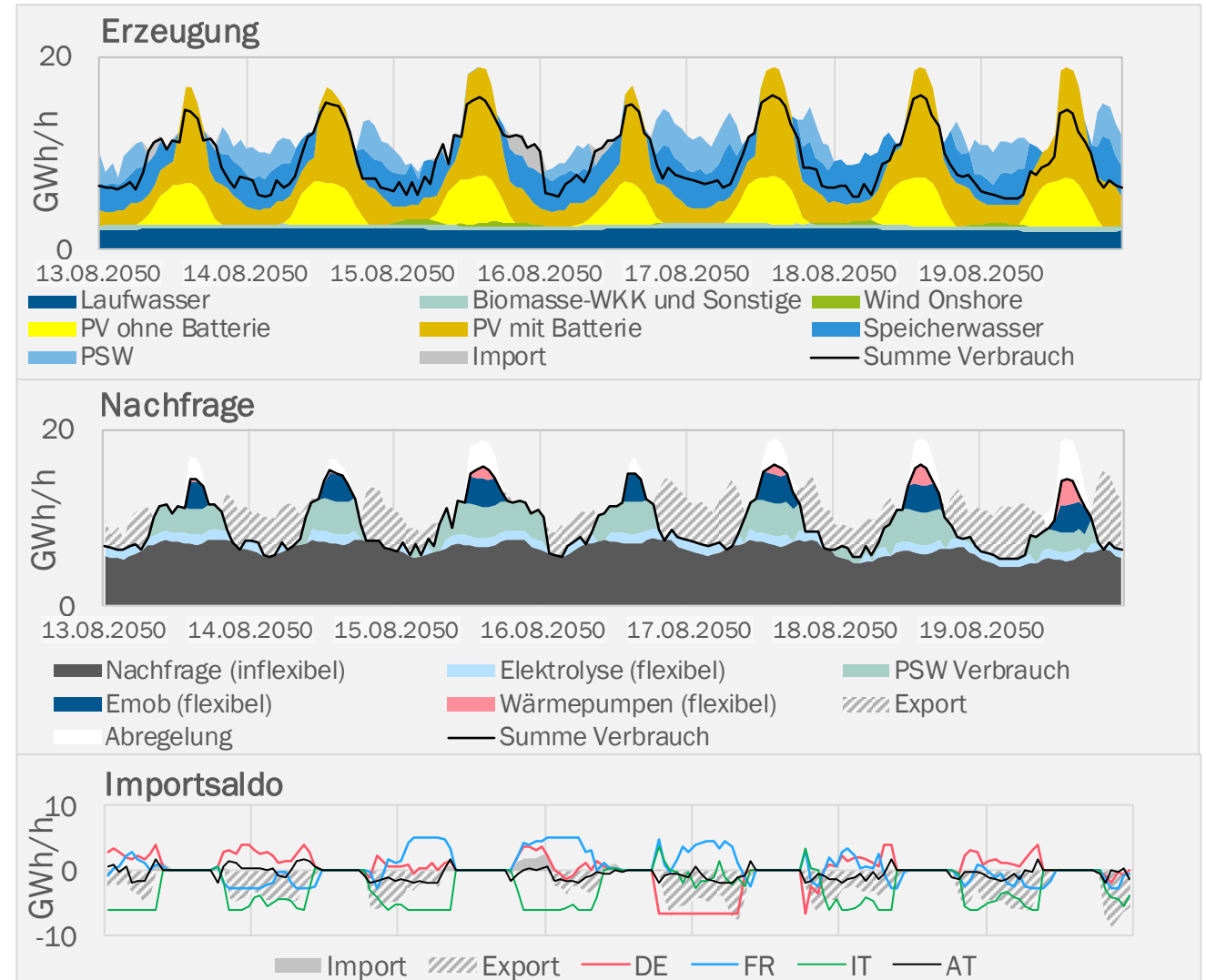


Flexibilität im Stromsystem

Flexibilität in der Stromerzeugung und zukünftig auch im Stromverbrauch ermöglicht die Integration erneuerbarer Stromerzeugung.

- Speicher- und Pumpspeicherkraftwerke verschieben ihre Erzeugung in Stunden geringer erneuerbarer Erzeugung.
- Stromverbrauch wird in Stunden hoher erneuerbarer Erzeugung verschoben.
- Zusammenspiel mit dem Ausland ergänzt die Stromversorgung der Schweiz.
- Abgeregelte Strommengen durch Erzeugungsspitzen im Sommer sind gering.

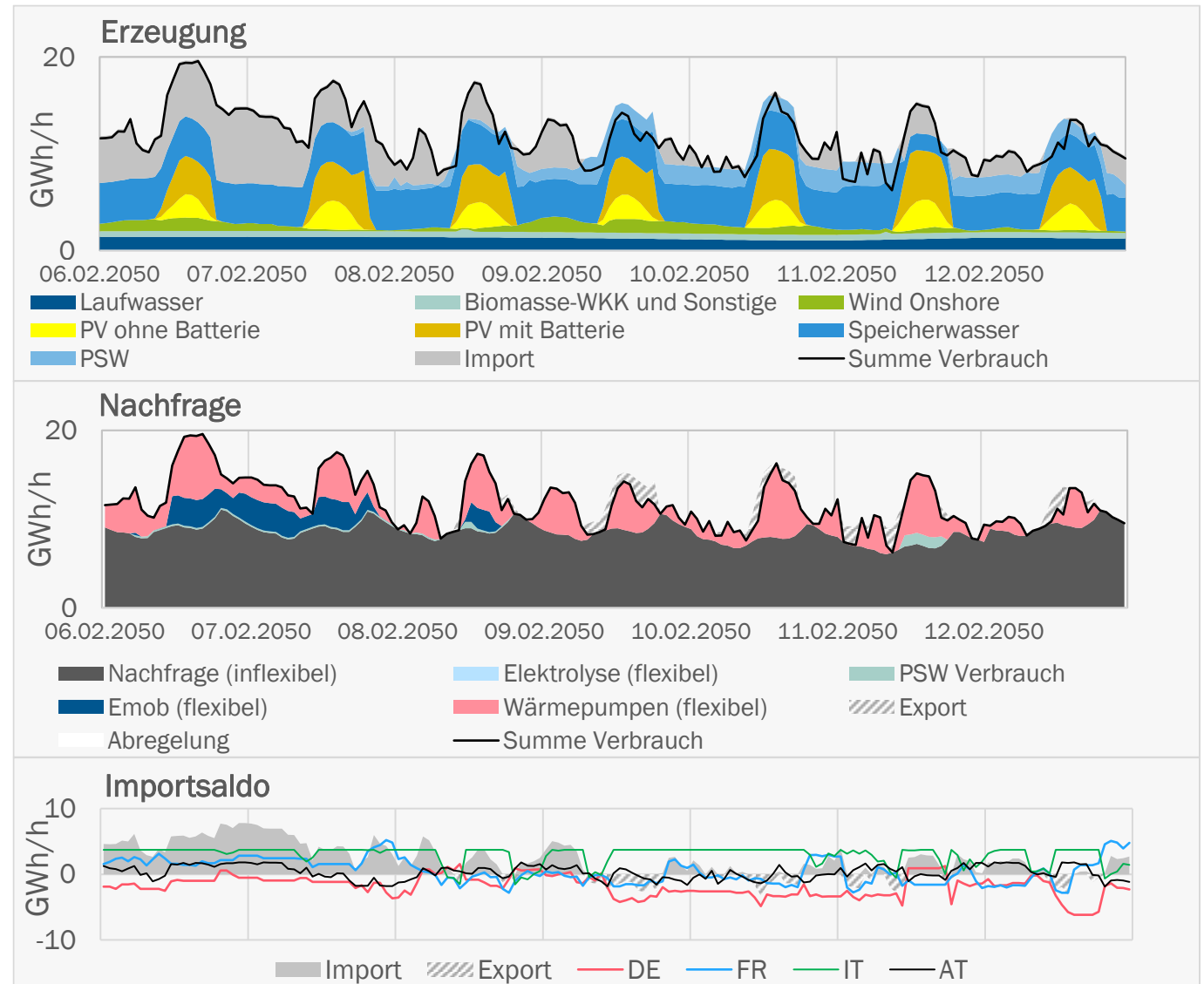
Bsp. aus den Modellergebnissen: Sommerwoche 2050



Stromsystem: Bsp. Winter 2050

Hohe EE-Anteile aber geringe Wintererzeugung, flexible Wasserkraft und Importe decken den Bedarf.

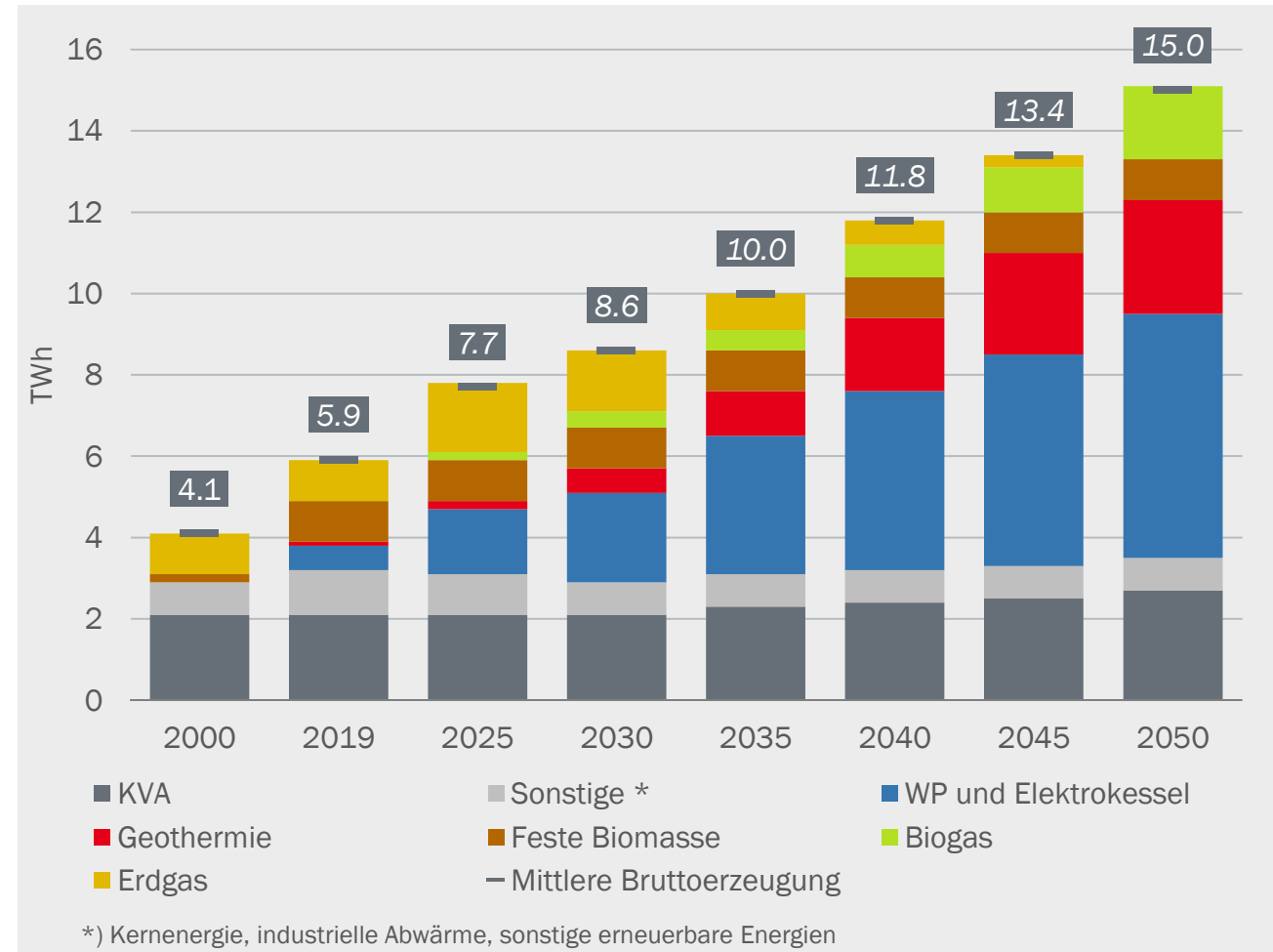
- Speicherkraftwerke mit durchgehend hoher Produktion.
- Zu Beginn der Periode hohes Windaufkommen im Ausland.
- Flexible Verbraucher verschieben in diese Periode, hohe Importe.
- Ende der Periode: wenig Wind.
- PSW verschieben ihre Produktion in diese Periode.
- Importbilanz gegen Ende der Periode ausgeglichen.



Fernwärme-Erzeugung

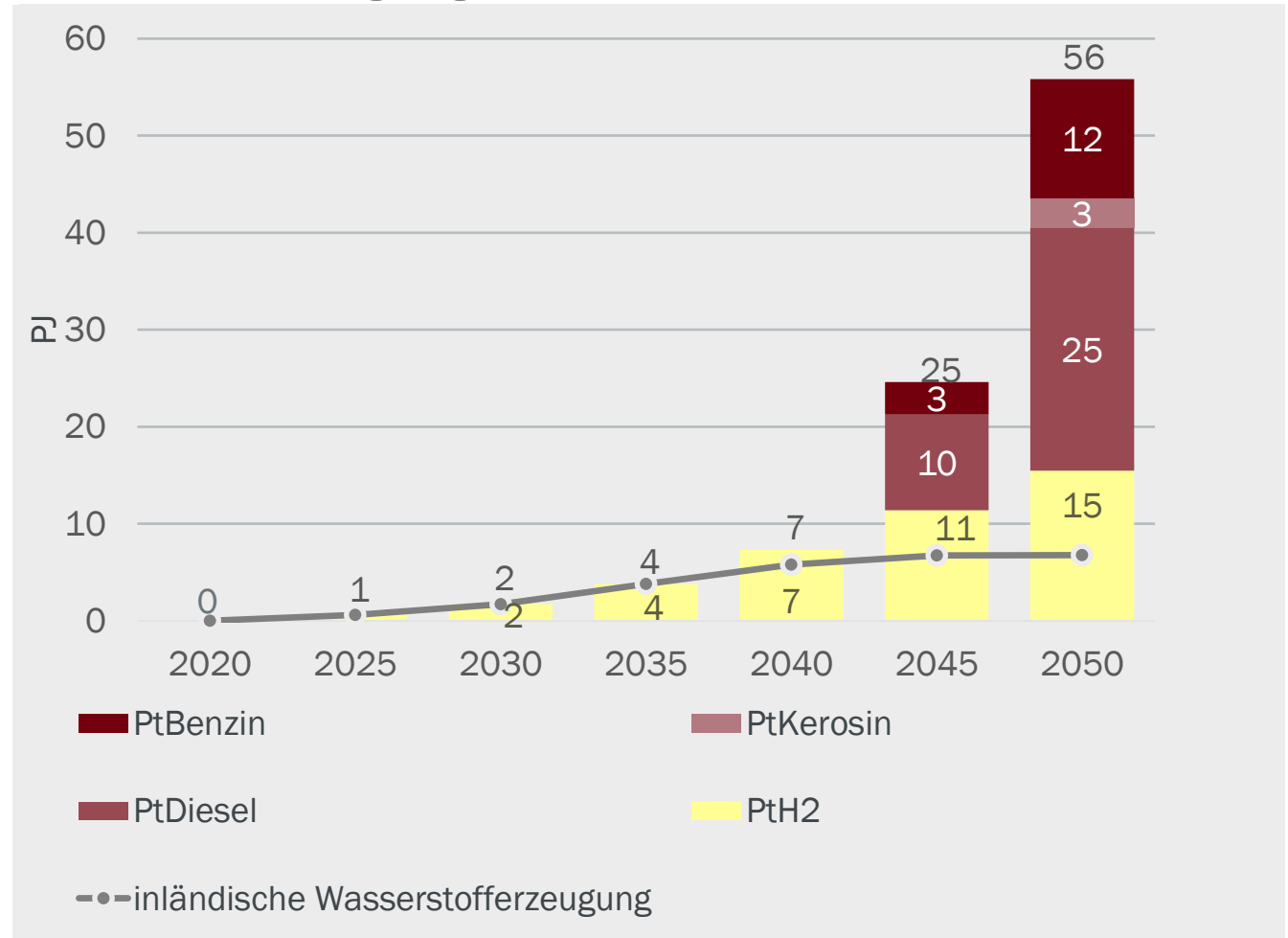
Ausbau der Wärmenetze ist eine zentrale Massnahme für eine CO₂-freie Wärmeversorgung.

- Es stehen hohe Potenziale erneuerbarer Wärme zur Verfügung (Abwärme, Umweltwärme in Kombination mit Grosswärmepumpen, Geothermie, Biomasse).
- Biomethan ersetzt den Einsatz von Erdgas zur Abdeckung der Spitzenlast.
- Wichtig ist hier ein rascher Ausbau, damit die Anschlussmöglichkeiten geschaffen werden.



Verbrauch strombasierter Energieträger und inländische Erzeugung von Wasserstoff

- Einsatz von PtL und Wasserstoff ab 2040 insb. im Verkehrssektor.
- PtL wird aufgrund von Kostenvorteilen und höheren ausländischen Potenzialen vollständig importiert.
- inländisch wird ausschliesslich Wasserstoff hergestellt.
- kurz- und mittelfristig erfolgt Erzeugung inländisch, langfristig erfolgt 3/4 der Deckung des Wasserstoffbedarfs inländisch.
- die restlichen 1/4 des Wasserstoffs werden beginnend nach 2040 importiert.



(dargestellte Werte ohne int. Flugverkehr)

© Prognos AG, TEP Energy GmbH, INFRAS AG 2020

Wasserstoffimporte

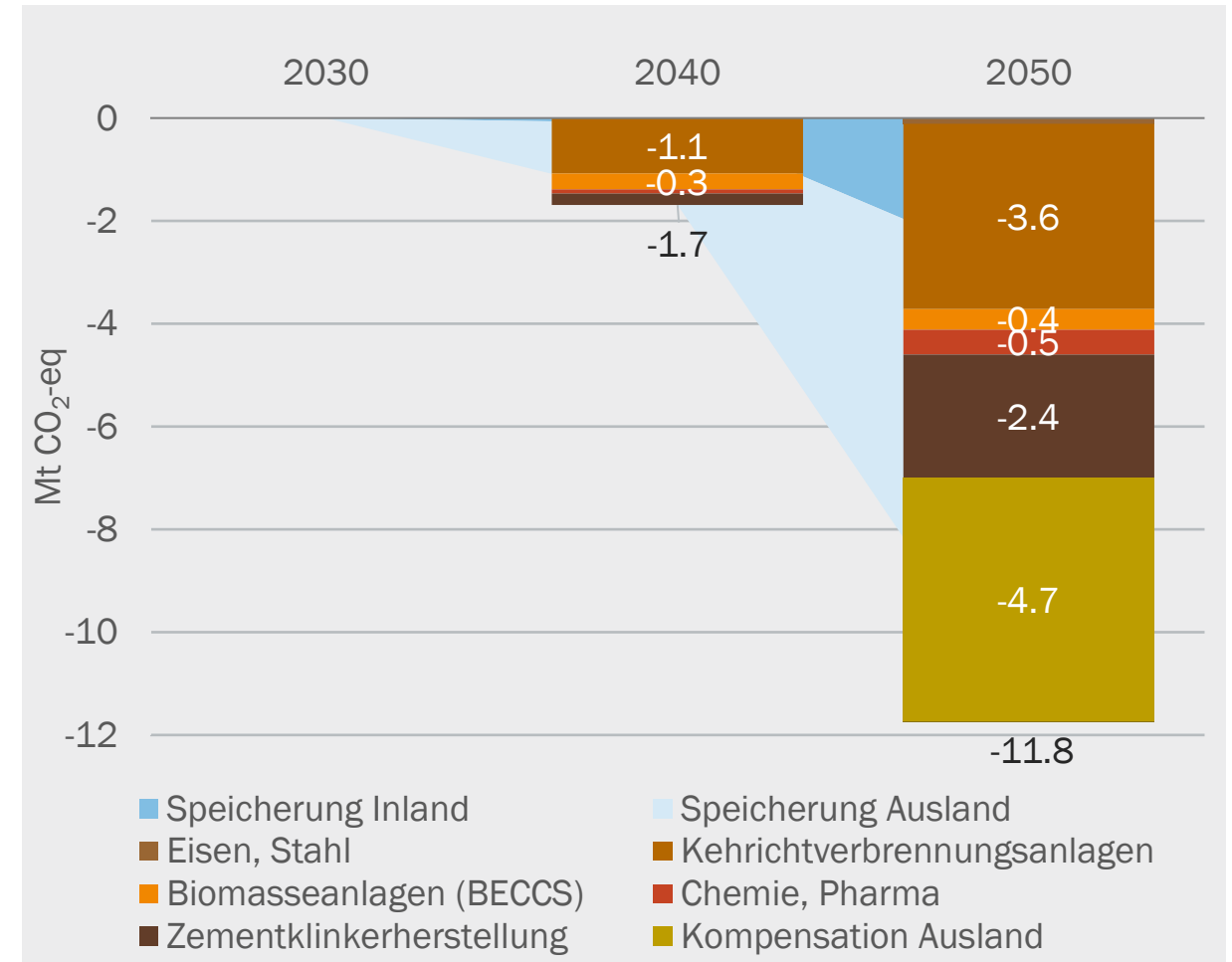
- Rund 60 % (9 PJ) des Wasserstoffs müssen im Jahr 2050 in ZERO Basis importiert werden.
- Eine Importinfrastruktur ist daher notwendig.
- Das EU Hydrogen Backbone sieht eine Transitleitung für Wasserstoff durch die Schweiz im Netzentwurf ab 2040 vor. (Keine Anbindung bis 2030, ebenfalls dem Bericht zum European Hydrogen Backbone zu entnehmen.)
- In den Energieperspektiven wird ab diesem Zeitpunkt mit Wasserstoffimporten begonnen.
- Das Wasserstoff-Pipelinennetz wird durch Wasserstoff-Kavernenspeicher gepuffert, die im EU-Ausland (z. B. Deutschland) liegen.
- Eine saisonale Versorgung kann durch die Netzanbindung sichergestellt werden.



Negativemissionstechnologien (NET)

- Hochlaufen der NET beginnt ab 2030/2035, bis 2040 Umfang noch begrenzt
- Bis 2050: jährlich inländische negative THG-Emissionen im Umfang von rund 7Mt CO₂-eq; zentral sind KVA und Zementherstellung
- zusätzlich sind NET-Massnahmen im Ausland notwendig, Umfang 4.7 Mt CO₂-eq, unterstellt wird hier DACCS
- Speicherung: inländisches Potenzial sehr unsicher, unterstellt 3 Mt CO₂-eq, restliche abgeschiedene CO₂-Mengen Transport ins Ausland und Speicherung im Ausland (Nordsee)
- Pflanzenkohle angedacht, verfügbares Biomassepotenzial bis 2050 aber begrenzt

NET-Entwicklung im Szenario ZERO-Basis

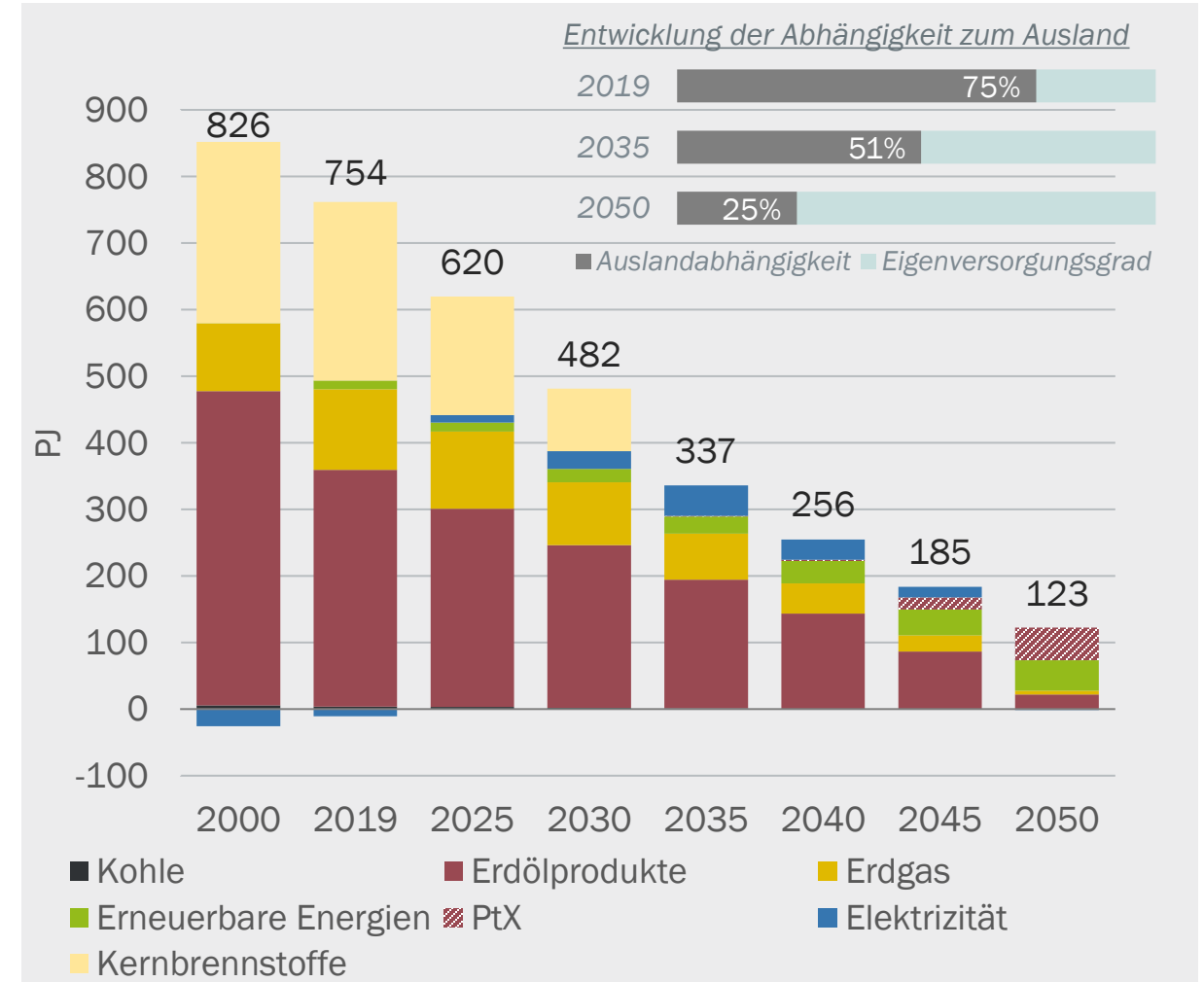


Nettoimporte an Energie

jährliche Nettoimporte

Entwicklung 2019 bis 2050:

- Starker Rückgang der Importe (-84%), insbesondere bei Mineralölen, Erdgas und Kernenergie
- nach Kernenergieausstieg: zwischenzeitlich Anstieg der Stromimporte
- ansteigende Importe für Biomasse (insbesondere Biomethan) und Importe an strombasierten Energieträgern (PtX)



Direkte volkswirtschaftliche Kosten

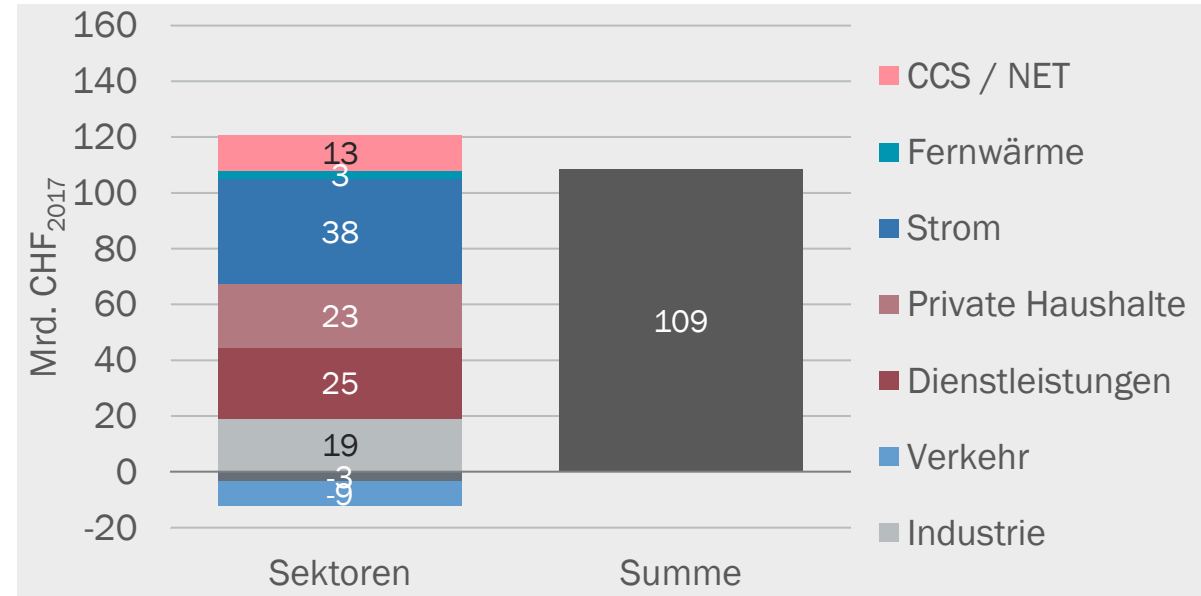
Kumulierte Werte 2020 bis 2050

- Mehrkosten von insgesamt 73 Mrd. CHF₂₀₁₇ gegenüber WWB, davon
 - annualisierte Investitionen: 109 Mrd. CHF₂₀₁₇
 - zusätzliche Unterhaltskosten: 14 Mrd. CHF₂₀₁₇
 - eingesparte Energiekosten: -50 Mrd. CHF₂₀₁₇

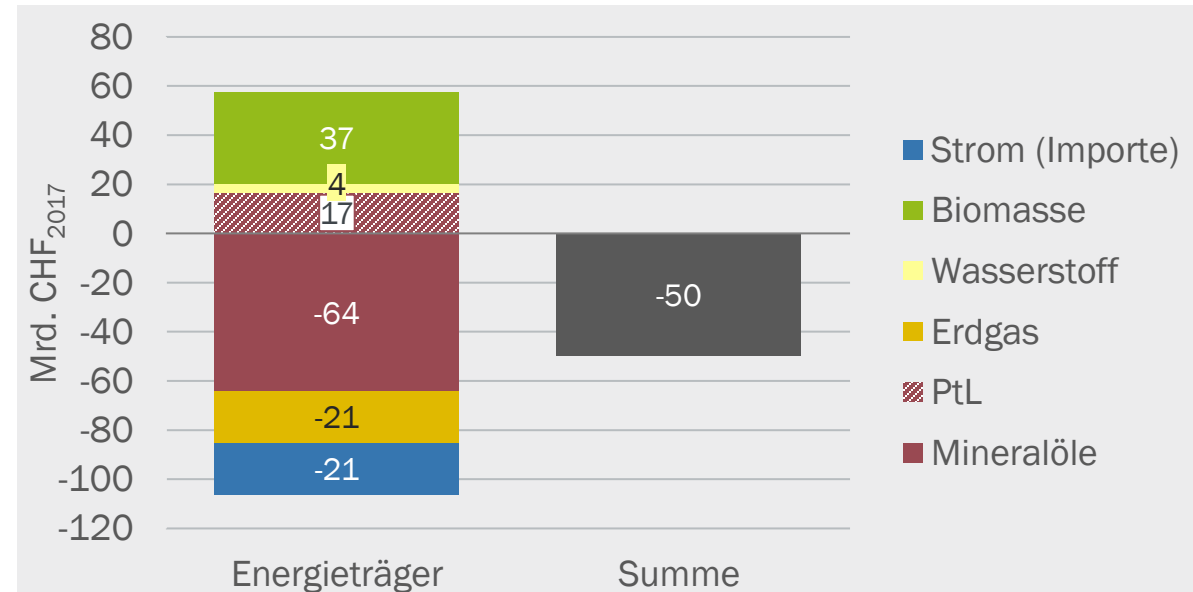
- Mehrinvestitionen um 109 Mrd. CHF₂₀₁₇ bedeuten eine Steigerung ggü. den Ohnehin-Investitionen im Energiesystem von 1'400 Mrd. CHF₂₀₁₇ um rund 8%

- Durchschnittswert der jährlichen Mehrkosten (2020-2050): 2.4 Mrd. CHF/Jahr

kumulierte annualisierte Differenzinvestitionen



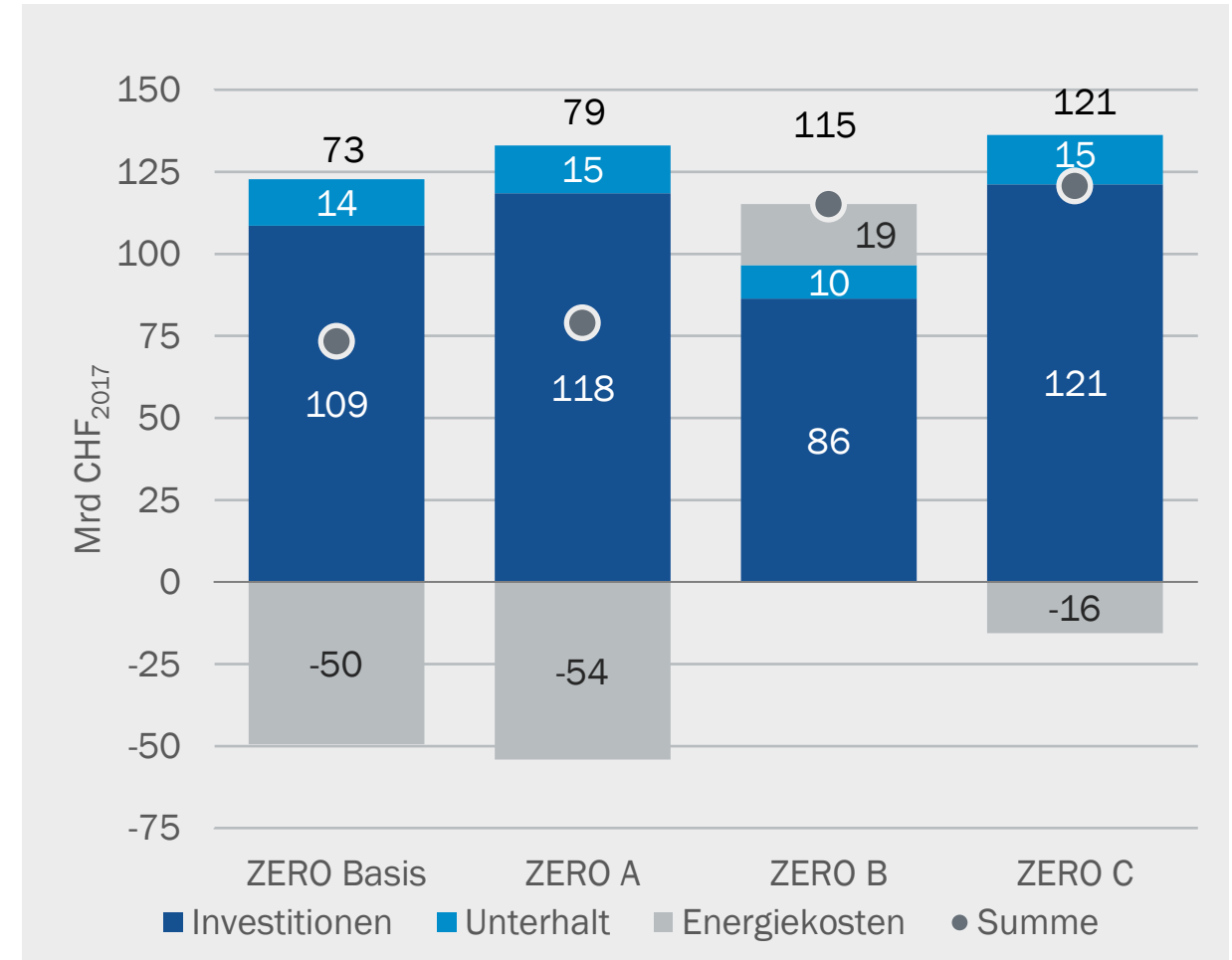
Eingesparte Energiekosten



Kosten insgesamt

- Basisvariante geringste Mehrkosten ggü. WWB
- Zur Einordnung: 0,3 % vom BIP
- ZERO B und ZERO C deutlich höhere Kosten als ZERO Basis (rund 70% höher), dies ist auf die höheren Energiekosten zurückzuführen
- nach 2050 nimmt die absolute Differenz zu
- Bedeutung der Unterhalts- und Betriebskosten begrenzt, auch wenig Unterschiede zwischen den Varianten

Szenarienvergleich der Gesamtkosten

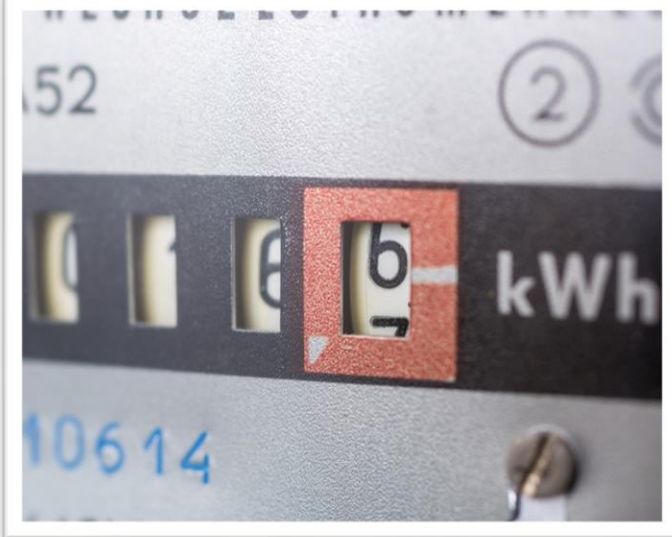


Netto-null – was braucht es?

Elektrifizierung



Energieeffizienz steigern



EE-Potenziale ausnutzen



CO₂-Abscheidung und
Negativ-Emissionen



Wasserstoff, PtX, Biomassen
und Wärmenetze



Infrastruktur, Zusammen-
arbeit mit dem Ausland



Zielbild klimaneutrale Schweiz 2050





prognos

Wir geben Orientierung

© Prognos AG, INFRAS AG, TEP Energy GmbH, 2021

Alle Inhalte dieses Werkes, insbesondere Texte, Abbildungen und Grafiken, sind urheberrechtlich geschützt. Das Urheberrecht liegt, soweit nicht ausdrücklich anders gekennzeichnet, bei der Prognos AG, der INFRAS AG und der TEP Energy GmbH. Jede Art der Vervielfältigung, Verbreitung, öffentlichen Zugänglichmachung oder andere Nutzung bedarf der ausdrücklichen, schriftlichen Zustimmung der Prognos AG, der INFRAS AG und der TEP Energy GmbH

Stand: 07. November 2023

Backup

- Die Schweiz befolgt die Regeln des IPCC zur Bilanzierung der THG-Emissionen
 - Ausrichten von Gesetzen auf dieses Regelwerk
 - genutzt bei Berichterstattung ans IPCC und für Nationale Energie- und Klimaschutzpläne
- Art der Erfassung ist eine **territoriale Quellenbilanz**
 - Treibhausgas-Emissionen werden dort erfasst, wo sie in die Atmosphäre gelangen
 - wesentliche Unterschied zu anderen Bilanzierungen (Verursacherbilanz*, Greenhouse Gas Protocol**)

- Energiesystem wird in der Methodik der **Energiebilanz** berechnet
- Gewisse Details sind in den Abgrenzungen der Energie- und THG-Bilanz unterschiedlich
 - Insbesondere Industriekraftwerke:
 - IKW werden in der Energiebilanz dem Umwandlungssektor zugeordnet
 - In der THG-Bilanz werden sie dem Industriegesektor zugeordnet
 - Wird in unseren Berechnungen berücksichtigt und umgerechnet

*) Bei der Verursacherbilanz werden zumindest teilweise Emissionen, die vorher entstanden sind, dem Endverbraucher angerechnet.

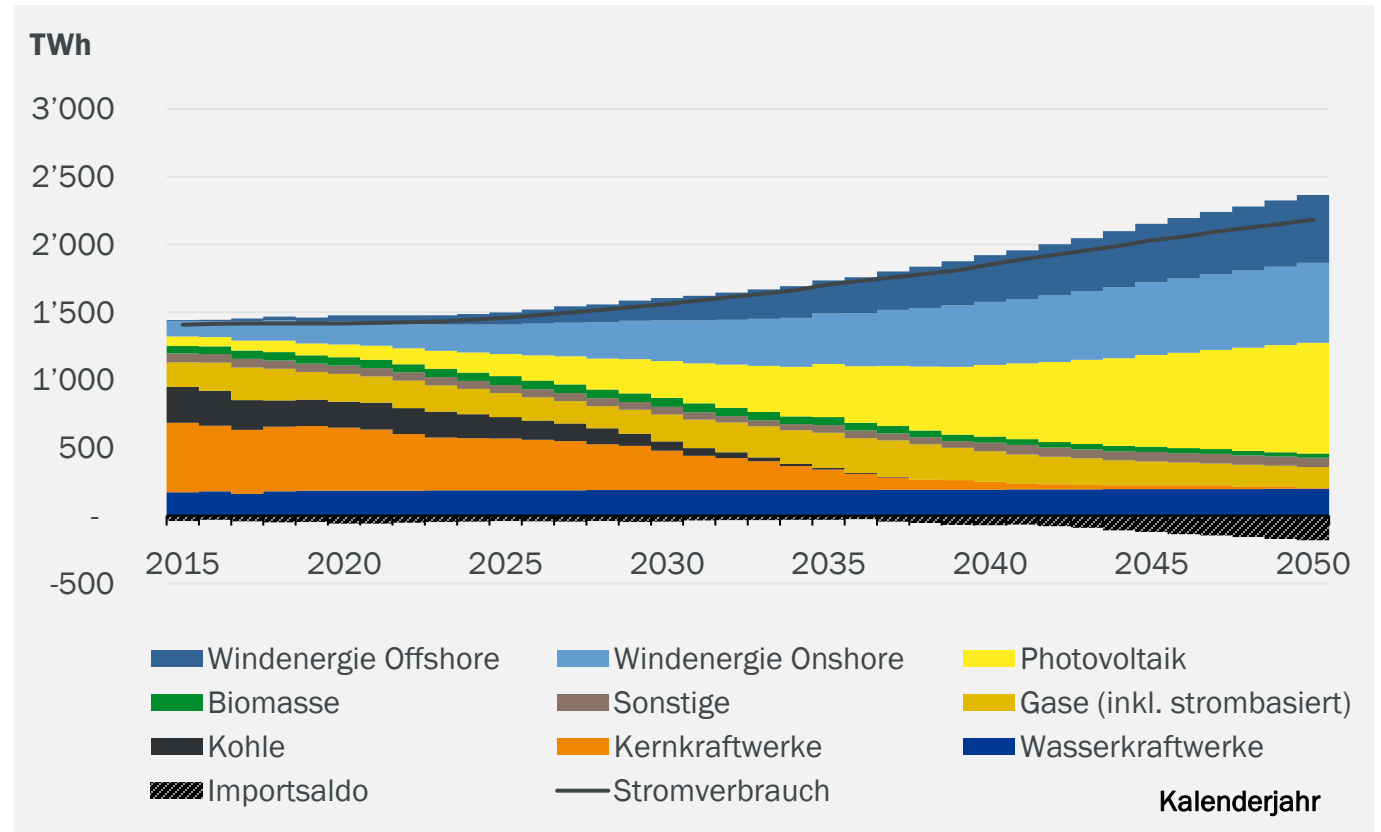
***) Das Greenhouse Gas Protocol wird vermehrt in der Bilanzierung der Lieferketten einzelner Unternehmen angewandt. Hierbei werden ähnlich wie bei der Verursacherbilanz die Vorketten der erzeugten Produkte mitbilanziert

Stromsystem: Ausland

EU-Ausland (Nachbarstaaten)

Anstieg des Stromverbrauchs um mehr als 50 % und deutlicher Anstieg der Stromerzeugung aus PV und Windenergie.

- Mehrverbrauch durch Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen, aber auch Industrie und PtX-Erzeugung.
- Windenergie mit 46 %, PV mit 35 % Anteil an der Stromerzeugung 2050.
- Kohleausstieg bis 2035.
- Reduktion der Kernenergieerzeugung.
- Gaskraftwerke: Funktion als Back-up-Kraftwerke (unter Einsatz von Biogas/strombasierten Gasen).

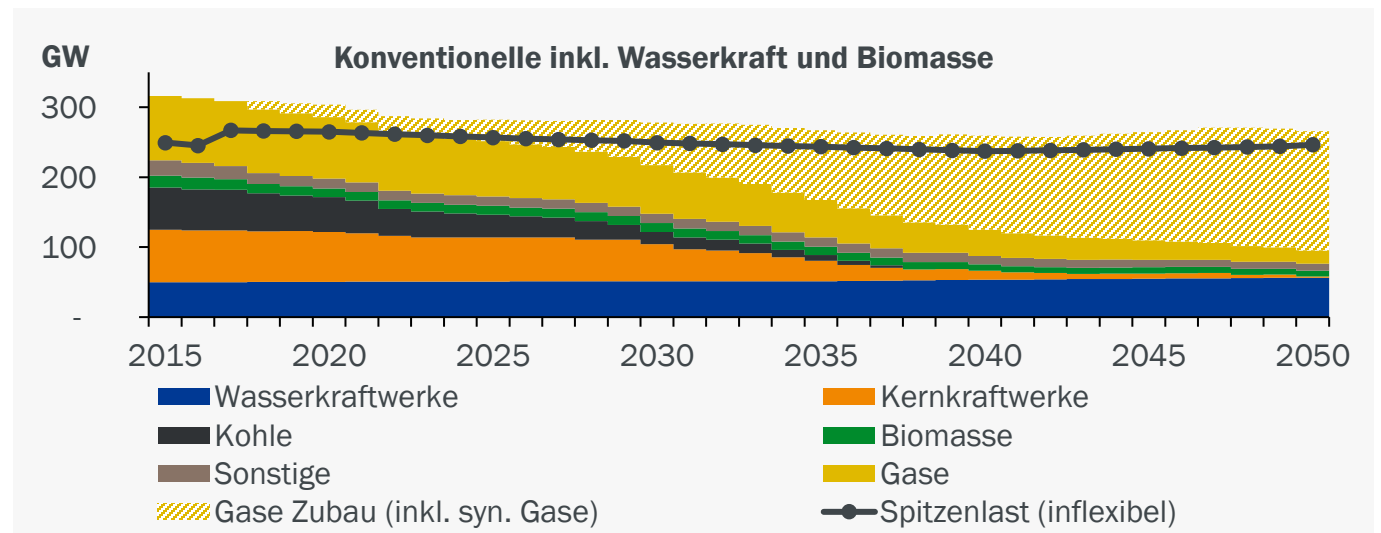
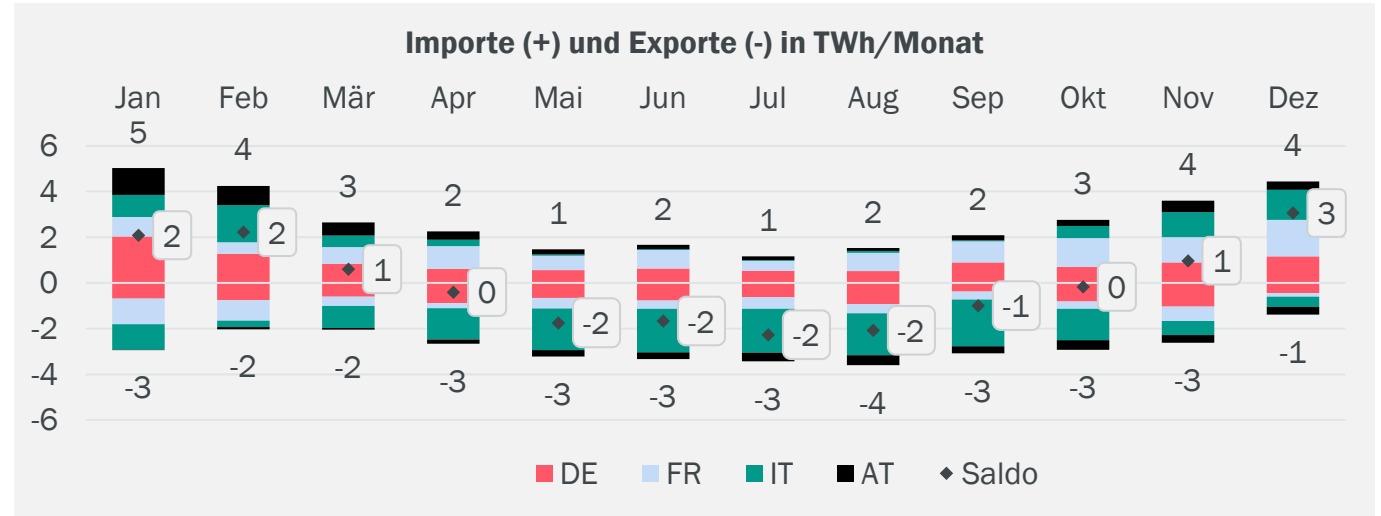


Stromsystem: Flexibilität

Flexibilität Ausland

Zusammenspiel der Schweiz mit dem Ausland.

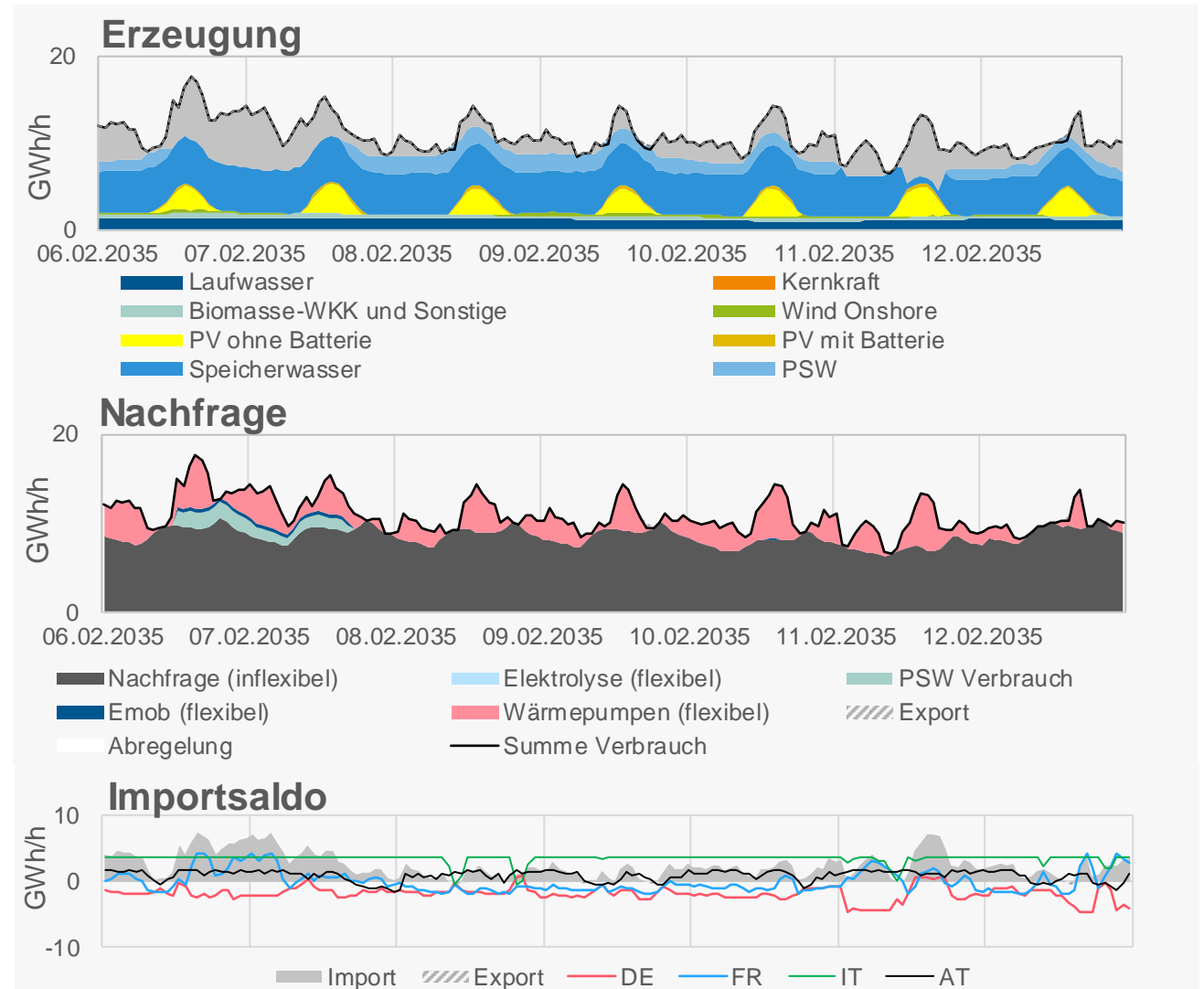
- Grenzüberschreitende Netzkapazitäten: bis 2040 gemäss TYNDP, danach konstant.
- Im Winter Importe aus windstarken Regionen (FR, DE), im Sommer Exporte nach IT (primär in Nachtstunden).
- Zubau an Gasturbinen als Back-up zur Deckung der nationalen Spitzenlast in den Nachbarländern der Schweiz.
- Voraussetzung: gute Einbindung der Schweiz bleibt bestehen.



Stromsystem: Bsp. Winter 2035

Kernenergieausstieg ist vollzogen, die Schweiz ist Nettoimporteur von 14 TWh im Jahr.

- Importe kommen vor allen Dingen aus Gas- und Windkraftwerken in Italien und Frankreich. Dies führt bei den Gaskraftwerken zu einer höheren Vollaststundenzahl.
- Wasserkraft: Stromerzeugung ist durchgehend hoch.
- Verbrauchsspitzen durch Wärmepumpen werden in Zeitfenster hoher erneuerbarer Erzeugung verschoben.



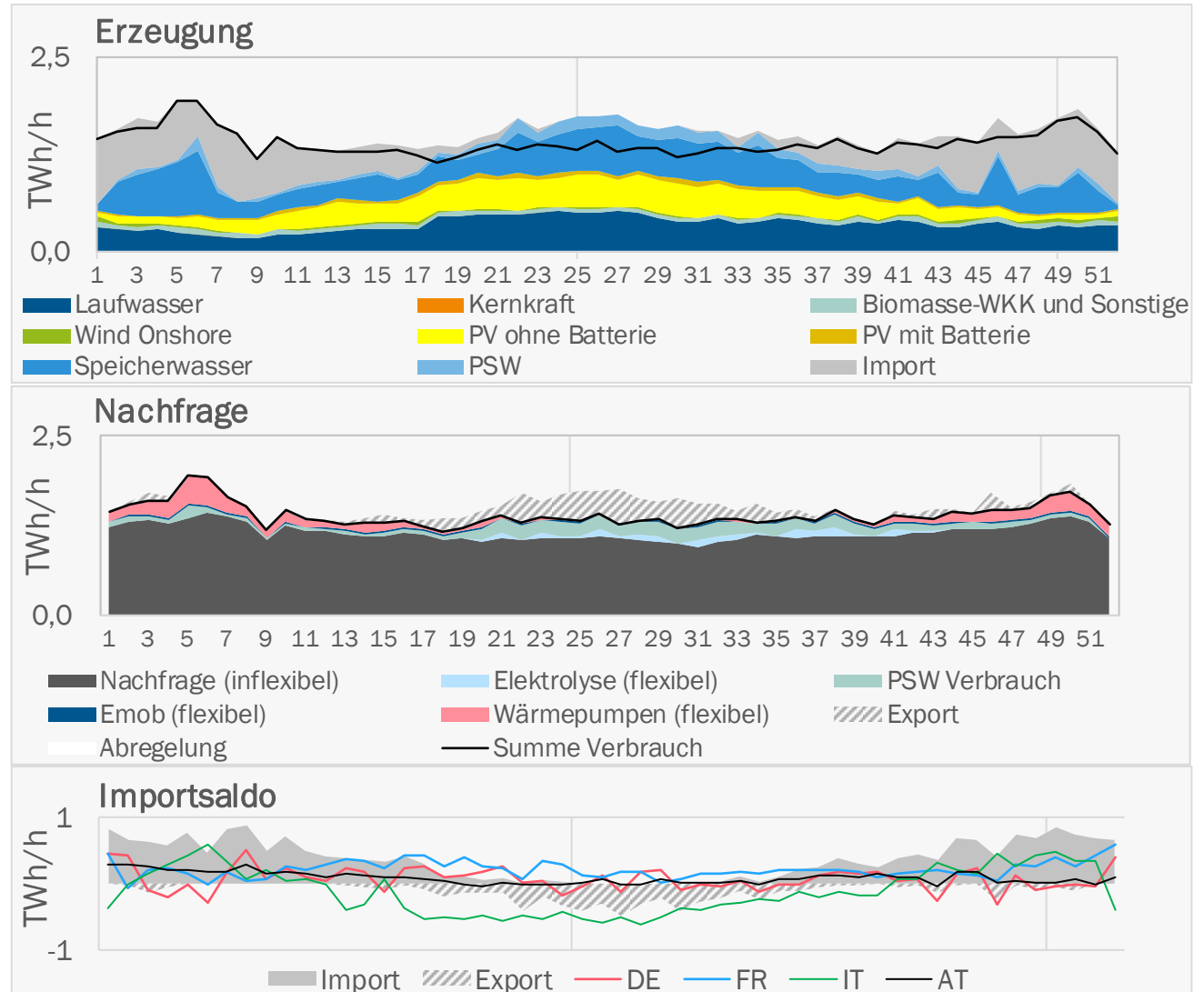
Stromsystem: Stromerzeugung

Stromsystem: Bsp. Winter 2035

Kernenergieausstieg ist vollzogen, die Schweiz ist Nettoimporteur von 14 TWh im Jahr.

- Importe im Winter kommen vor allen Dingen aus Gas- und Windkraftwerken in Italien und Frankreich.
- PV: Höhere Erzeugung im Sommer
- Speicherwasser gleicht Knappheiten teilweise aus.
- Laufwasser erzeugt aufgrund des Abflusses stärker im 2. Halbjahr.
- Verbrauchsspitzen durch Wärmepumpen werden in Zeitfenster hoher erneuerbarer Erzeugung verschoben.

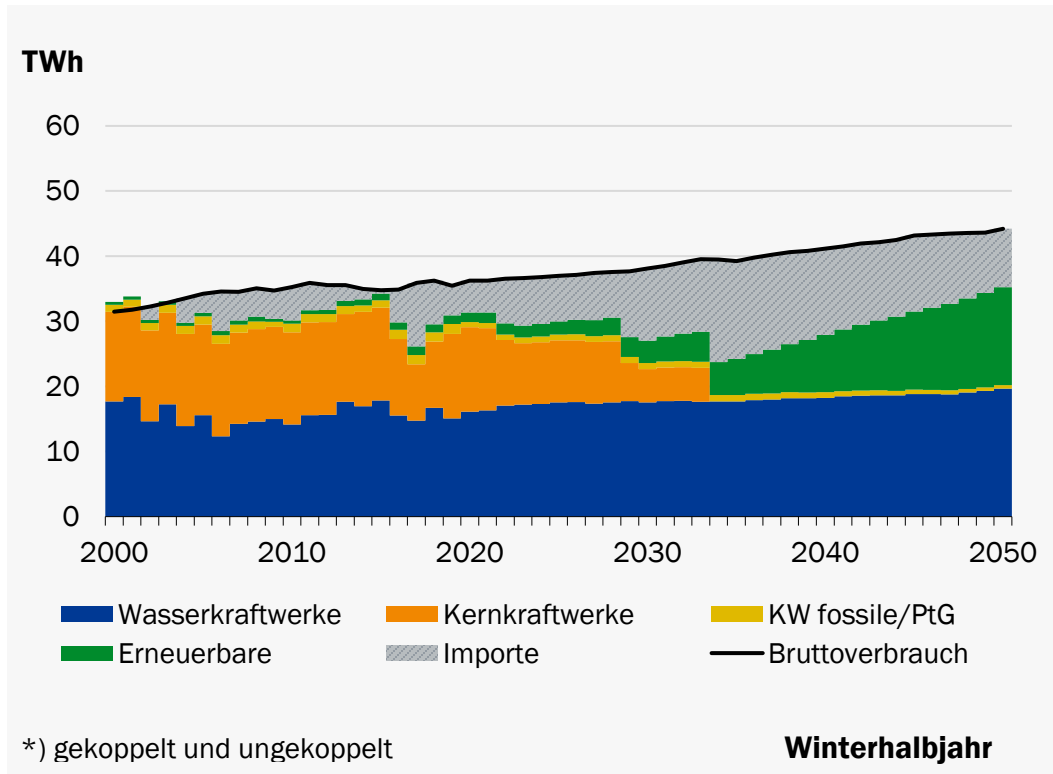
© Prognos AG, TEP Energy GmbH, INFRAS AG 2020



Stromsystem: Stromerzeugung

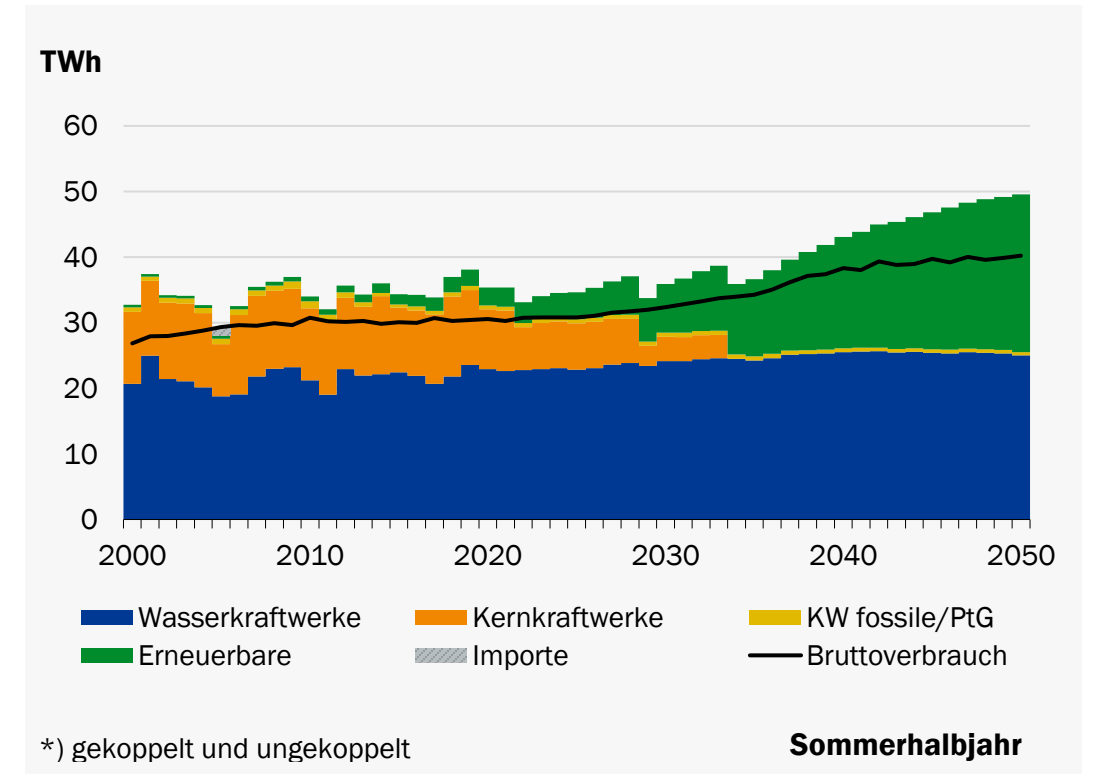
Winterhalbjahr

Steigende Winteranteile von PV und Wind, in 2050 verbleibt ein Importsaldo im Winter.



Sommerhalbjahr

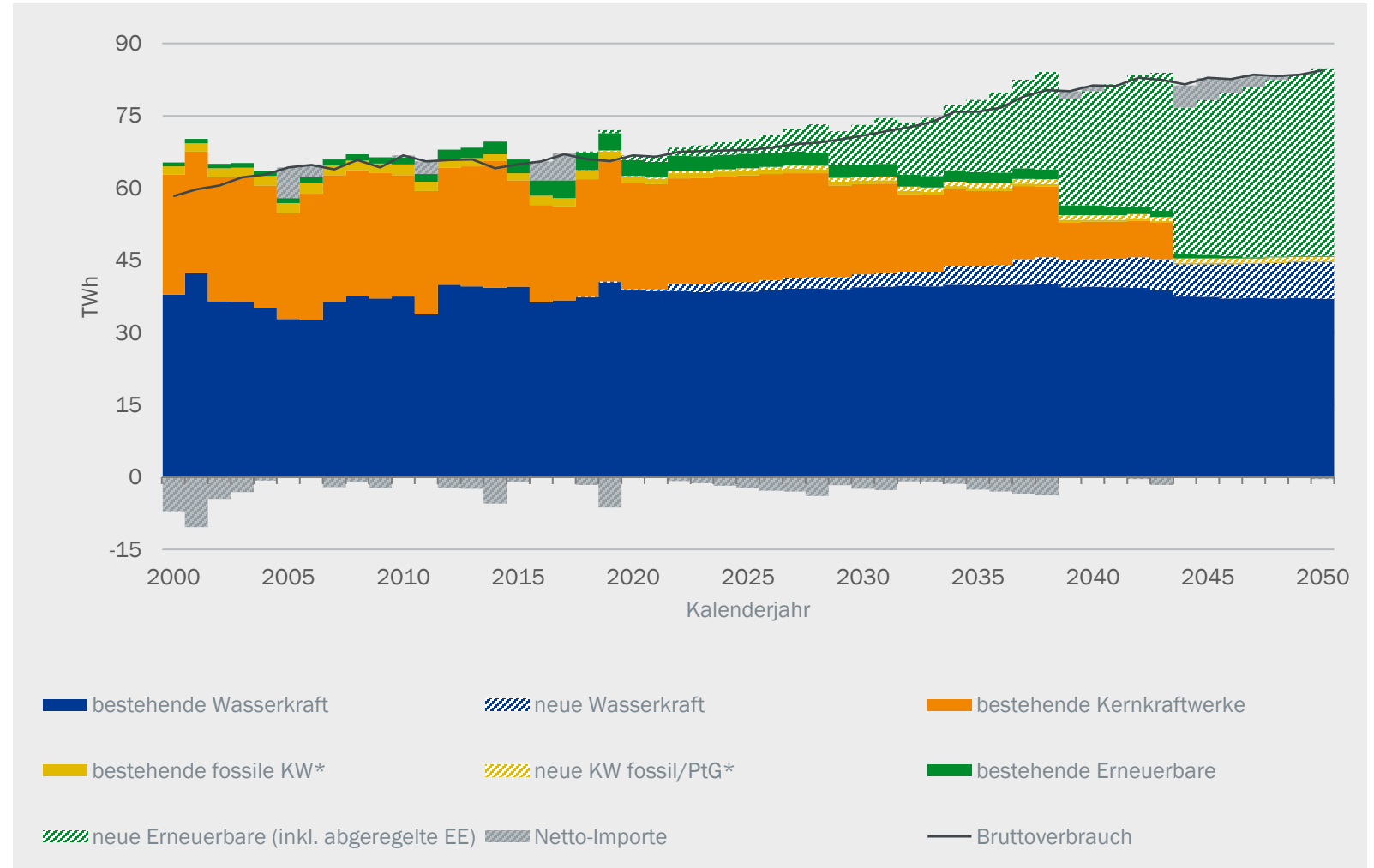
Exportsaldo im Sommer verbleibt bis 2050 insb. aufgrund hoher PV-Erzeugung.



Stromversorgung – KKW 60

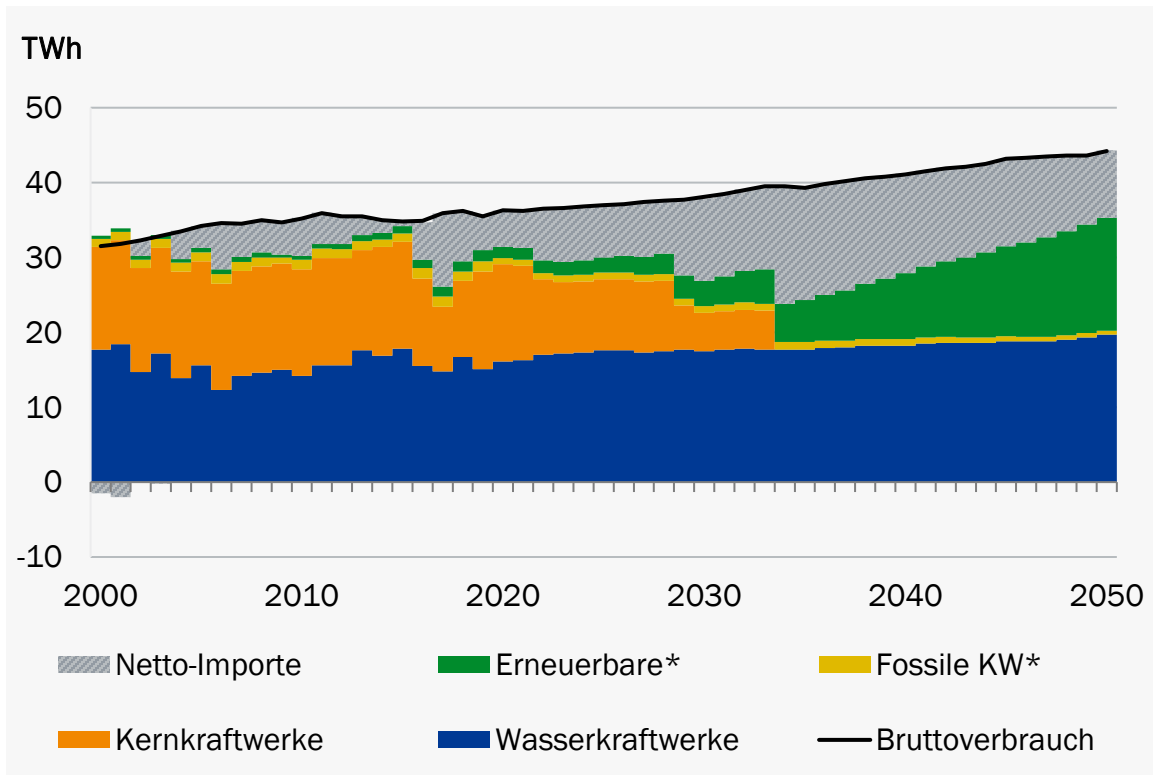
Importerfordernis wesentlich kleiner bei längerer KKW_Laufzeit

- 2045 9 TWh Importe



Stromerzeugung: Winterhalbjahr

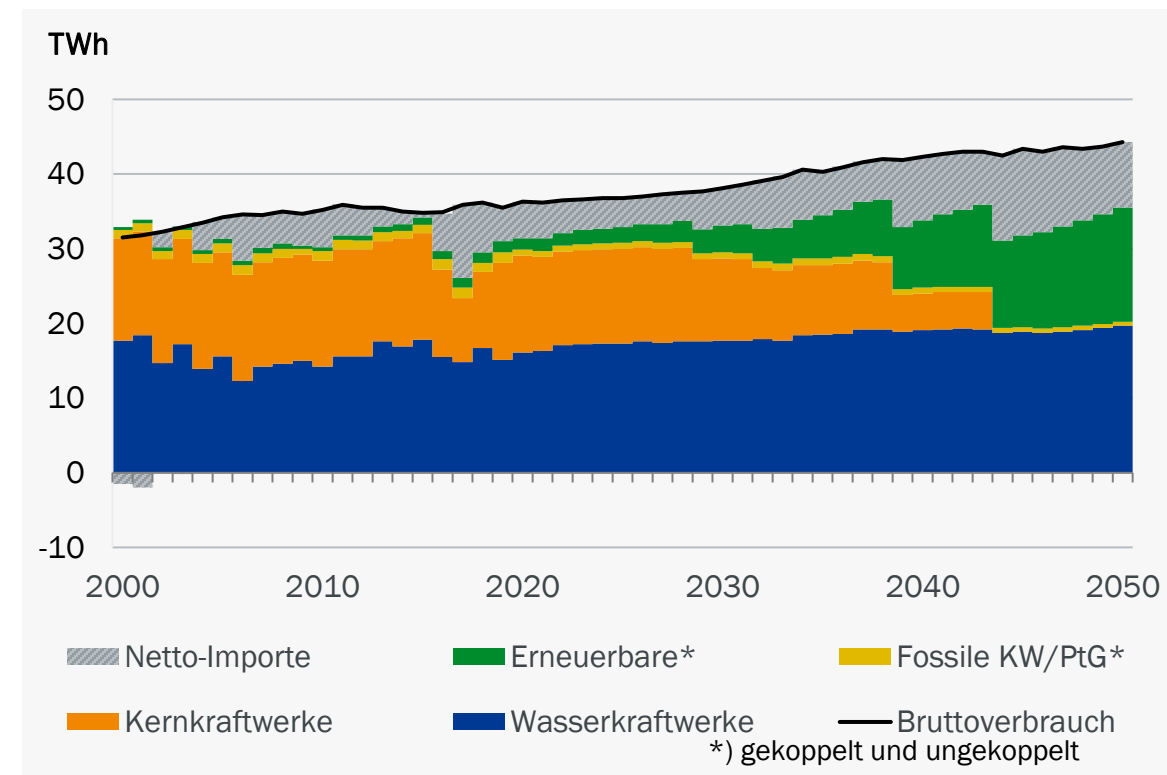
Kernkraftlaufzeit 50 Jahre



- Importsaldo im Winter steigt bis 2034 auf rund 16 TWh an.
- Bis 2050 Rückgang des Importsaldo auf rund 9 TWh.

© Prognos AG, TEP Energy GmbH, INFRAS AG 2021

Kernkraftlaufzeit 60 Jahre



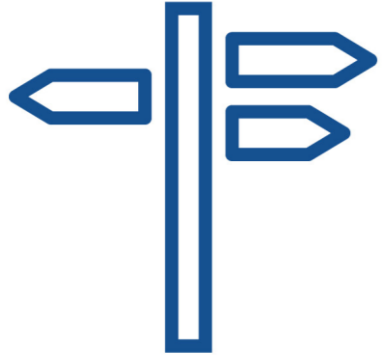
- Importsaldo liegt im Jahr 2034 nur bei rund 7 TWh.
- Maximaler Importsaldo wird 2045 mit rund 12 TWh erreicht.

Hohe Energieeffizienz und umfassender Ausbau erneuerbarer Energien

Die Potenziale für Energieeffizienz und erneuerbare Energien in der Schweiz müssen stark ausgeschöpft werden.

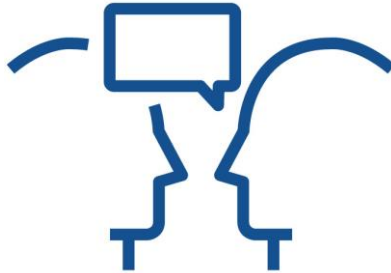
- Energieeffizienz ist eine zentrale Voraussetzung für die Zielerreichung, erleichtert den Umbau des Energiesystems und reduziert die Abhängigkeit vom Ausland.
- Strom wird zum zentralen Energieträger für Wärme (Gebäude) und Mobilität. Elektrofahrzeuge und Wärmepumpen sind effiziente und kostengünstige Alternativen zu konventionellen Verbrennungsmotoren und Heizsystemen.
- Die inländischen Potenziale für erneuerbare Energien müssen stark ausgenutzt werden.
- Strombasierte Energieträger sind zur Zielerreichung notwendig, aber aus Energie- und Kosteneffizienzgründen nur in jenen Bereichen einzusetzen, wo es wenige Alternativen gibt.

Was ist erforderlich?



- Klare Strategie
- Rahmenbedingungen (ggf. flexibel)
 - z.B. Marktdesign
 - «Preisschild» auf Versorgungssicherheit
 - Ausgleich zwischen Be- und Entlastungen
- Regelmässiges Monitoring mit Option auf Nachsteuerung
- Professionelle Kommunikation
- Internationale Einbindung

- Beschleunigung Effizienz- und EE-Ausbau
- Alternative Beschaffungsquellen

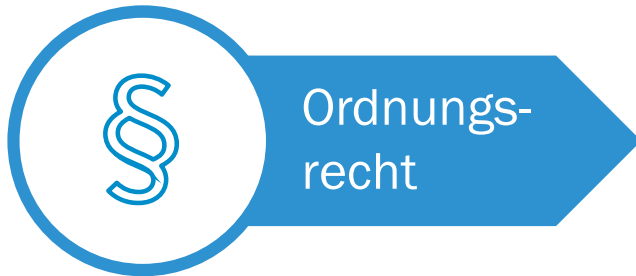


Mögliche politische Umsetzungsinstrumente

... hängen immer auch vom «politischen Geschmack» ab!



- Z.B. CO2-Preise, -abgaben oder -steuern
 - Lenkungsabgaben, sonstige verbrauchsorientierte Preiselemente
 - ➔ Verbrauchsverhalten, Entscheidungen über Ausweichbewegungen möglich
-



- Verpflichtende Standards
 - Zulassungs- und Qualitätsvorschriften
 - ➔ Investitionsverhalten
-



- Förderprogramme, Subventionen, Einspeisevergütungen... für andere, (noch) teurere Technologieinvestitionen
- ➔ Entlastung/ Anreiz von Investition durch teilweise Kostenübernahme durch Steuerzahler oder andere Verbraucher

Aushandlungsfragen sind mehrdimensional

Handelnde und Betroffene sind gleichzeitig in verschiedenen Rollen

