



ENERGIEVERSORGUNG  
DER SCHWEIZ BIS 2050

Management Summary

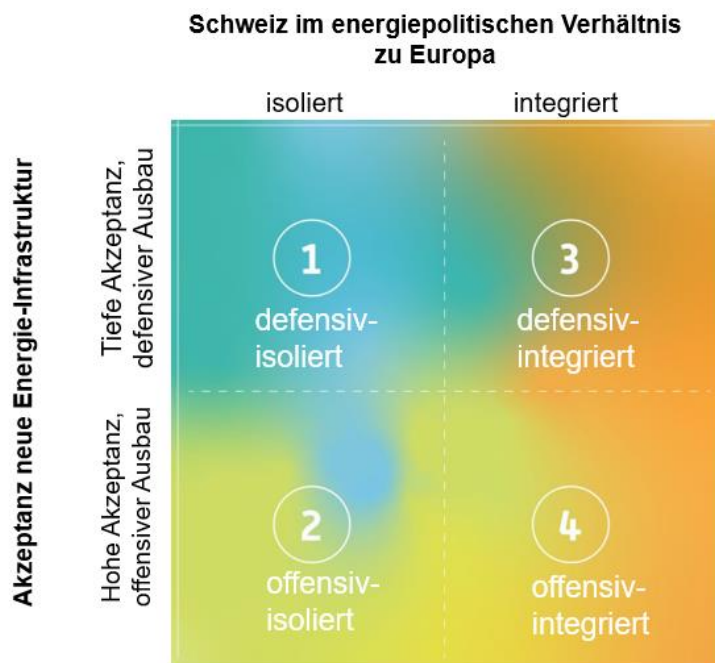
2050  
**Energiezukunft**

## Management Summary

### «Energiezukunft 2050» – Wege in die Energie- und Klimazukunft der Schweiz

Die Studie «Energiezukunft 2050» untersucht mögliche Optionen zum Umbau des schweizerischen Energiesystems und deren Auswirkungen, insbesondere in Bezug auf die Erfüllung der Energie- und Klimaziele der Schweiz. Die Modellierung des Energiesystems wurde im Auftrag des VSE durch die Energiebranche in Zusammenarbeit mit der Empa erarbeitet und analysiert das Gesamtenergiesystem der Schweiz bis 2050.

Anhand von vier realistischen Szenarien, die sich durch zwei übergreifende Dimensionen beschreiben lassen, zeigt die Studie auf, wie sich das schweizerische Energiesystem entwickeln kann. Einerseits wirkt sich die Akzeptanz für neue Energieinfrastruktur (offensiver vs. defensiver Zubau) auf den Systemumbau aus. Andererseits hat die Integration der Schweiz in den europäischen Energiemarkt, konkret der Abschluss von Vereinbarungen mit der Europäischen Union, einen Einfluss (integriertes vs. isoliertes Schweizer Energiesystem).



## Wichtigste Ergebnisse für das Jahr 2050

**Ohne massiv beschleunigten Zubau und massive Steigerung der Effizienz, fokussierten Um- und Ausbau der Netze sowie einem engen Energieaustausch mit Europa erreichen wir die Energie- und Klimaziele nicht.** Je nach Ausprägung der beiden übergreifenden Dimensionen (Schweiz im energiepolitischen Verhältnis zu Europa / Akzeptanz neuer Energieinfrastruktur) sind die Voraussetzungen zur Zielerreichung in den entsprechenden Szenarien besser oder schlechter. Die aktuelle Zubaugeschwindigkeit von Photovoltaik (PV) und insb. Windkraft wird nicht ausreichen, um die Energie- und Klimaziele der Schweiz bis 2050 zu erreichen und die Schweiz müsste weiterhin partiell auf fossile Energien abstützen. Nur bei der PV reicht die aktuelle Zubaugeschwindigkeit der letzten zwei Jahre in den offensiven Szenarien gerade aus, um den geforderten Zubau bis 2040 zu erreichen, während in den defensiven Szenarien bis zu 7 GW oder 20% fehlen werden. Bei der Windkraft, die zurzeit praktisch gar nicht ausgebaut wird, werden in den offensiven Szenarien bei der heutigen Zubaugeschwindigkeit 2050 rund 1.2 GW fehlen.

**Der Strombedarf in der Schweiz wird zunehmen.** Der Basisstrombedarf der Schweiz wird bis 2050 aufgrund verbesserter Technologie und Effizienzmassnahmen leicht sinken. Die Substitution von fossilen Energieträgern in Verkehr und Wärme führt trotzdem zu einem stark steigenden Elektrizitätsbedarf von heute 62 TWh auf 80 bis 90 TWh im Jahr 2050. Je nach Szenario entspricht das einem Anstieg von 25-40%. Aufgrund des steigenden Strombedarfs und der sukzessiven Stilllegung der schweizerischen Kernkraftwerke bis 2044 entsteht eine Produktionslücke von 37 TWh, die durch den Zubau neuer Anlagen aufgefüllt werden muss.

**Hohe Akzeptanz für neue Energieinfrastruktur und enge Energiekooperation mit der EU schaffen beste Voraussetzungen für die Versorgungssicherheit und das Erreichen der Energie- und Klimaziele zu den geringsten Kosten.** Im «offensiv-integrierten» Szenario sind die jährlichen Systemkosten mit rund 24 Mia. CHF am tiefsten und die Stromimportabhängigkeit im Winter mit rund 7 TWh (19% des Bedarfs Winterhalbjahr) ebenfalls relativ gering. Im Gegensatz dazu betragen die Kosten im Szenario «defensiv-isoliert» rund 28 Mia. CHF und die Importabhängigkeit beim Strom beträgt rund 9 TWh (22% des Bedarfs Winterhalbjahr). Insgesamt schafft das Szenario «offensiv-integriert» für die Schweiz die robusteste Energieversorgung.

**Ein umgebautes Energiesystem ist aufgrund der erhöhten Effizienz günstiger als der Status quo.** Dies gilt insbesondere für die offensiven Szenarien. Der Ersatz des heutigen Imports fossiler Brennstoffe durch Elektrizität führt szenarioabhängig zu Reduktionen der jährlichen Systemkosten um 1 bis 5 Mia. CHF. Damit wird die Effizienz erheblich gesteigert, weil Stromanwendungen effizienter sind als Verbrennungsprozesse. Noch nicht berücksichtigt ist dabei der Aus- und Umbau des Stromnetzes.

**Der Umbau des Energiesystems reduziert die Importabhängigkeit bei der Energie der Schweiz insgesamt um den Faktor 4 bis 6.** Heute liegt die Importabhängigkeit bei 79% von total 259 TWh Primärenergiebedarf. Im Jahr 2050 sinkt dieser Importanteil je nach Szenario auf 30-42% von total 115-132 TWh Primärenergiebedarf, was die absolute Importabhängigkeit um den Faktor 4 bis 6 reduziert. Dies wird durch die Elektrifizierung, welche eine höhere Systemeffizienz bewirkt, die Effizienzsteigerung auf der Nachfrageseite<sup>1</sup> und den Ausbau der inländischen Energieerzeugung möglich.

**Die Schweiz bleibt Stromimporteurin.** Im Winter muss weiterhin Strom importiert werden. Die Importabhängigkeit im Winter steigt im Szenario «offensiv-integriert» von heute 3 TWh auf 7 TWh, im

<sup>1</sup> Industrieprozesse, Gebäudesanierungen, Beleuchtung, Geräte, etc.

Szenario «defensiv-isoliert» müssen 9 TWh Winterstrom importiert werden. Die Importproblematik wird sich um das Jahr 2040 zwischenzeitlich verschärfen, weil dann noch keine Wasserstoffinfrastruktur besteht, die Schweizer Kernkraft bereits zum Grossteil vom Netz sein wird, und der Strombedarf durch die fortschreitende Elektrifizierung ansteigt.

**Klimaneutralität ist nur über eine umfassende Elektrifizierung möglich.** In allen vier Szenarien bedingt die Klimaneutralität den Ersatz fossiler Treib- und Brennstoffe durch Elektrizität, insbesondere im Verkehr und im Wärmebereich. Dadurch kann in allen Szenarien eine Minimierung der inländischen Treibhausgase von heute 35 Mio. Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten auf 2.6 bis 3.3 Mio. Tonnen erreicht werden. Um Netto-Null zu erreichen, sind zusätzliche Massnahmen mit dem Einsatz von Negativemissionstechnologien nötig, wie z.B. CO<sub>2</sub>-Abscheidung in Kehrlichtverwertungsanlagen oder direkt aus der Luft (*Direct-Air-Capture*). Die zusätzlichen Kosten dafür betragen CHF 3 bis 3.5 Mia. pro Jahr und sind in den Systemkosten berücksichtigt.

**Wasserkraft bleibt die tragende Säule im schweizerischen Energiesystem.** Sie wird in allen Szenarien mit rund 35 TWh die Stromerzeugung dominieren. In den offensiven Szenarien können rund 2 TWh Wasserspeicher zugebaut werden, was die Wintersicherheit des Energiesystems erhöht.

**Alpine Photovoltaik und Windkraft bringen für die Stromversorgung im Winter wesentliche Vorteile.** Die Erzeugung aus alpinen PV-Freiflächenanlagen beträgt 2050 in den offensiven Szenarien rund 2 TWh, die Windproduktion beträgt rund 3 TWh. Der Stromimport wird durch diese Anlagen reduziert. Sie leisten damit einen substanziellen Beitrag zur Winterstromversorgung.

**Wasserstoff kann zu einem essenziellen Element der schweizerischen Energieversorgung werden.** Der Import von grünem Wasserstoff über die entstehende europäische Wasserstoffinfrastruktur kann neben Wasserkraft und PV zu einer tragenden Säule der Energieversorgung im Winter werden. Im Szenario «offensiv-integriert» liefern mit Wasserstoff betriebene Gaskraftwerke rund 13 TWh Elektrizität ganzjährig, davon 9 TWh im Winter, und decken damit rund 20% des Winterbedarfs. Der Zubau neuer Kernkraftwerke, wie *Small-Modular-Reactors* (SMR), ist unter den Bedingungen eines «H<sub>2</sub>-Backbone EU» nicht wirtschaftlich, weil die mit Wasserstoff betriebenen Gaskraftwerke den Bedarf flexibler und günstiger decken können.

**Versorgungssicherheit bedingt Backup-Kraftwerke und Speichervorhaltung.** Das zukünftige Energiesystem wird zu einem grossen Teil von wetterabhängiger erneuerbarer Produktion wie PV und Windkraft versorgt. Um unter diesen Bedingungen die Versorgungssicherheit aufrecht erhalten zu können, sind Backup-Kraftwerke und Speichervorhaltungen nötig. Die Kosten dafür betragen rund 1 Mia. CHF pro Jahr und sind in den Systemkosten integriert.

**Der Umbau des Energiesystems bedingt einen Um- und Ausbau des Stromnetzes.** Die PV wird mit einer Produktion von 18 TWh im Szenario «offensiv-integriert» bis zu 28 TWh im Szenario «defensiv-isoliert» massiv ausgebaut, hauptsächlich dezentral auf Dächer. Zusammen mit der Elektrifizierung des Verkehrs und der Wärmeanwendungen bedingt das einen Netzausbau und -umbau vor allem auf den unteren Netzebenen. Auch der Ausbau der alpinen PV bedingt den Bau von entsprechenden Zuleitungen. Dieser Netzausbau ist in der vorliegenden Studie noch nicht berücksichtigt und wird in einer weiterführenden Studie des VSE im Jahr 2023 untersucht.

### Durchgeführte Modellierungen und Analysen

Methodisch verfolgt die Studie den Ansatz, die jeweilige Nachfrage zu den geringstmöglichen Systemkosten zu decken. Dabei rechnet das Modell mit einem deterministischen Ansatz in stündlicher Auflösung die Kapazitäten und Energieflüsse des Energiesystems von heute und für die Jahre 2030, 2040 und 2050. Das Modell berücksichtigt alle Energiebezüger wie Haushalte, Gewerbe, Dienstleistung, Industrie und Mobilität, sowie alle relevanten Energieträger wie Elektrizität, Wärme (Heizen und Kühlen) und Gase. Für die Nachbarländer der Schweiz und den Rest von Europa wurde deren Strominfrastruktur mit den steuerbaren Anlagen und grenzüberschreitenden Netzkapazitäten im Modell berücksichtigt. Dieses erarbeitete, ganzheitliche Energiesystemmodell erlaubt fundierte Aussagen bezüglich des technischen Ausbaus, der Systemkosten und den CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Die «Energiezukunft 2050» untersucht ebenfalls den Einfluss auf die Stromnetze. Die Resultate sind in diesem Bericht noch nicht enthalten und werden in einer separaten Studie 2023 veröffentlicht.

Die möglichen Technologie Kandidaten wurden im Modell spezifiziert, indem Wirkungsgrade, Kapazitätslimiten, Kostenfunktionen, etc. je nach gewähltem Szenario festgelegt wurden. Im Weiteren wurden gemeinsame Grundlagen für Rohstoffpreise, Emissionspreise, Zinssätze, Bevölkerungswachstum, Gebäudeentwicklung, etc. ins Modell integriert. Diese Grundlagen wurden mit der aktuellen wissenschaftlichen Literatur abgestimmt.

Die Kernenergie wurde gemäss der heutigen Gesetzeslage behandelt. Die Laufzeit der bestehenden Kernkraftwerke wurde einheitlich auf 60 Jahre terminiert. Die Entwicklung im europäischen Ausland wurde gemäss den Vorgaben des ENTSO-E *Ten-Year Network Development Plan* (TYNDP) in der Version von 2020 unter teilweiser Berücksichtigung aktuellerer Erkenntnisse (Version 2022) modelliert.

Die wichtigsten Unterscheidungsmerkmale zwischen den Szenarien sind wie folgt:

- Der Basisverbrauch Elektrizität ist in defensiven Szenarien höher als in offensiven Szenarien.
- Importmöglichkeiten von Strom und Wasserstoff in die Schweiz sind bei den integrierten besser als in den isolierten Szenarien.
- Die Entwicklung der Mobilität berücksichtigt in allen Szenarien eine massive Elektrifizierung, wobei in den integrierten Szenarien Wasserstoff im Nutzfahrzeugbereich eine etwas grössere Rolle spielt.
- Die kurzfristige Flexibilität im Strombereich, wie z.B. Batterien und Lastverschiebung durch *Demand-Side-Management* (DSM), kann in den offensiven Szenarien vermehrt genutzt werden.
- Die Wasserkraft kann in den offensiven Szenarien etwas ausgebaut werden. Windkraft und alpine Freiflächenanlagen für Photovoltaik können nur in diesen Szenarien zugebaut werden.

Der Einfluss einzelner Faktoren, z.B. Änderung des Basisverbrauchs, Verfügbarkeit von erneuerbarem Wasserstoff in grossen Mengen und Zulassung von SMR, der neuesten Generation von Kernkraftwerken, wurde im Rahmen von Sensitivitäten analysiert.