

Energieversorgungssicherheit und Netto Null CO₂ – eine Übersicht

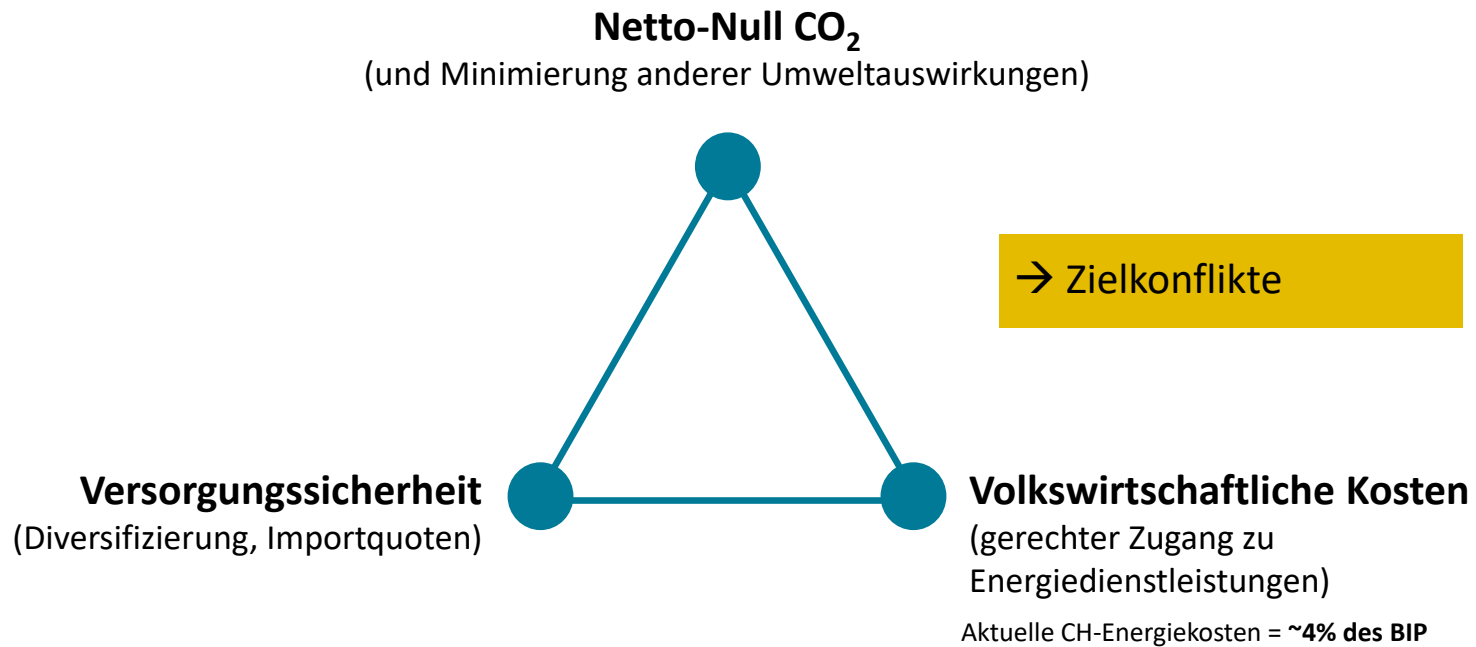
Prof. em. Konstantinos Boulouchos
ETH Zürich / Präsident Swiss Academies of Arts and Sciences

Netto Null CO₂ und Energieversorgungssicherheit

ETH Zürich, 31 Januar 2024

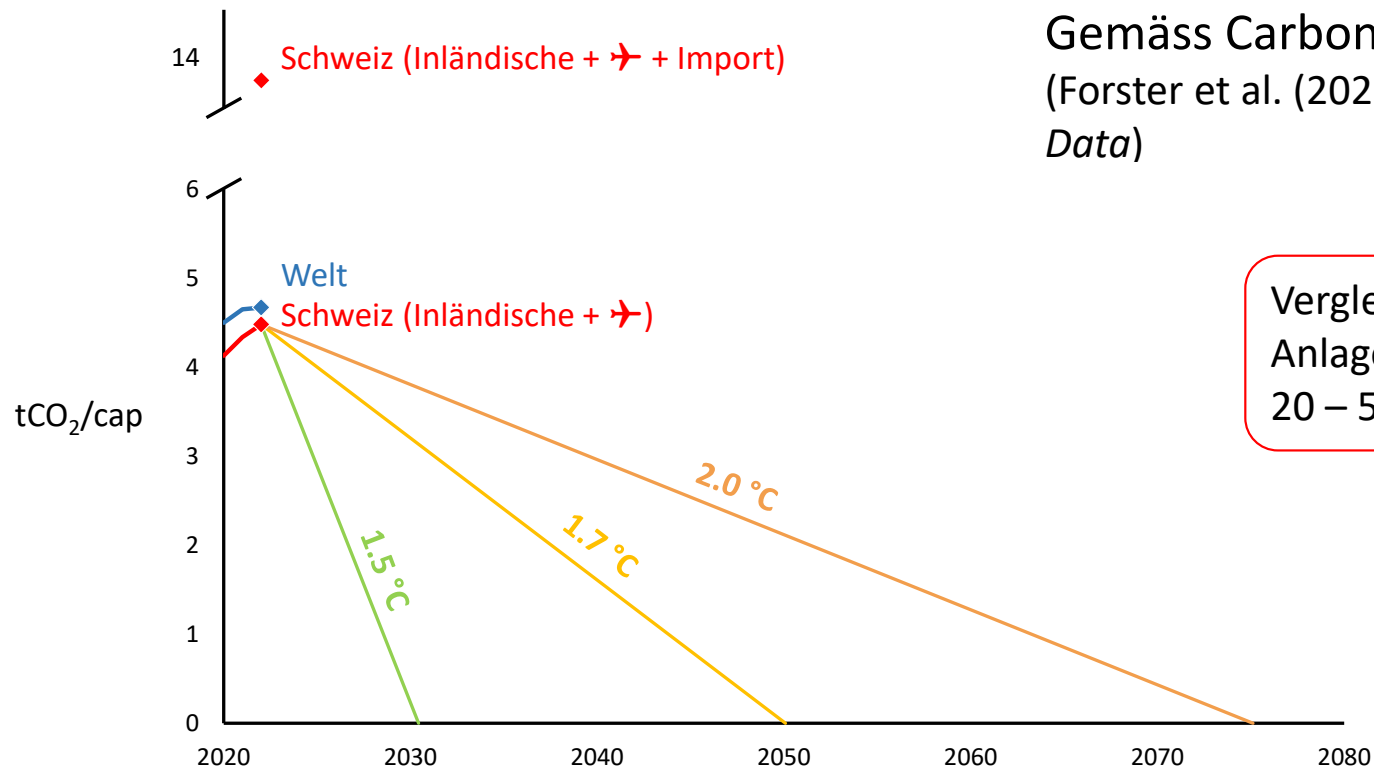
mit Unterstützung von Dr. G. Pareschi (ETH Zürich)

Das Energietrilemma



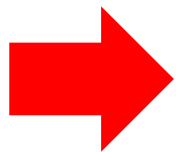
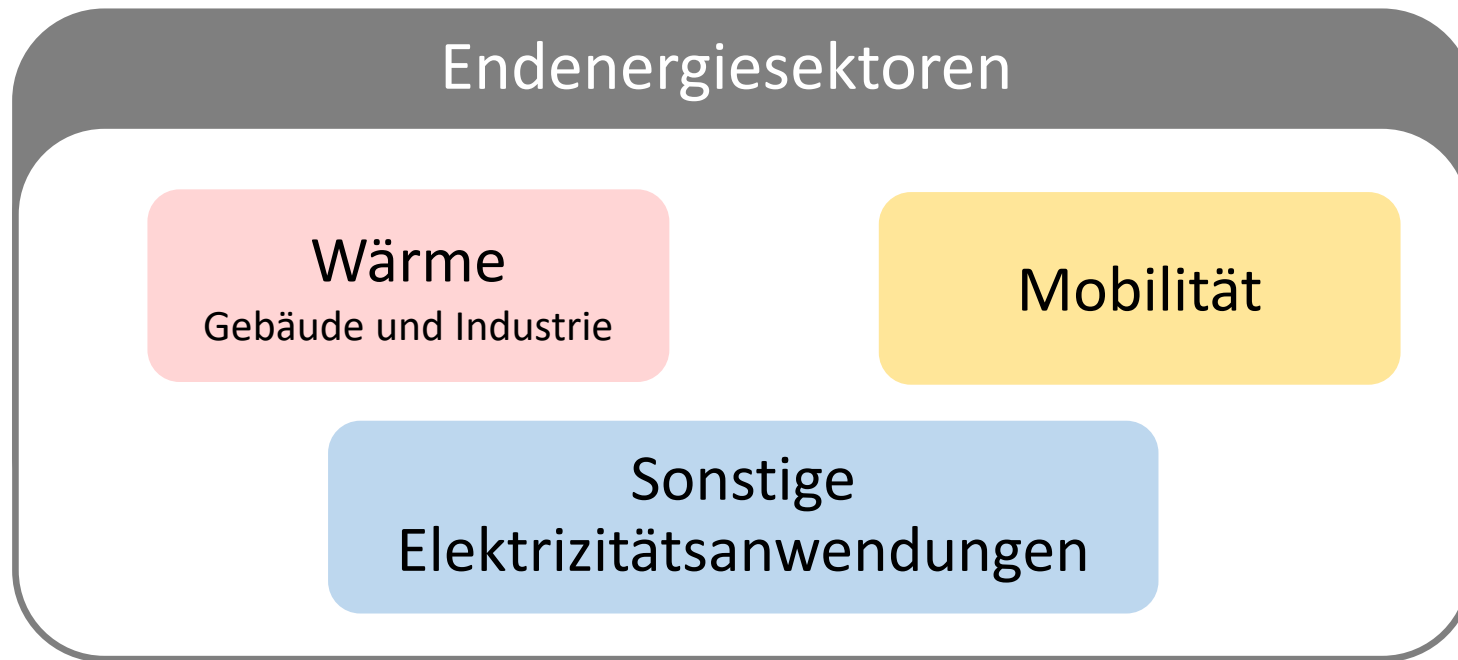
CO₂-Reduktionspfade

Gemäss Carbon Budget Update 2023
(Forster et al. (2023), *Earth System Science Data*)



Vergleich mit Lebensdauer von
Anlagen und Infrastrukturen:
20 – 50 Jahre

“Netto-Null CO₂”



Elektrizität wird das Rückgrat aber nicht die alleinige Quelle des zukünftigen Energiesystems

Eine integrale Betrachtung der Versorgungssicherheit

Elektrizität*



Chemische
Energieträger

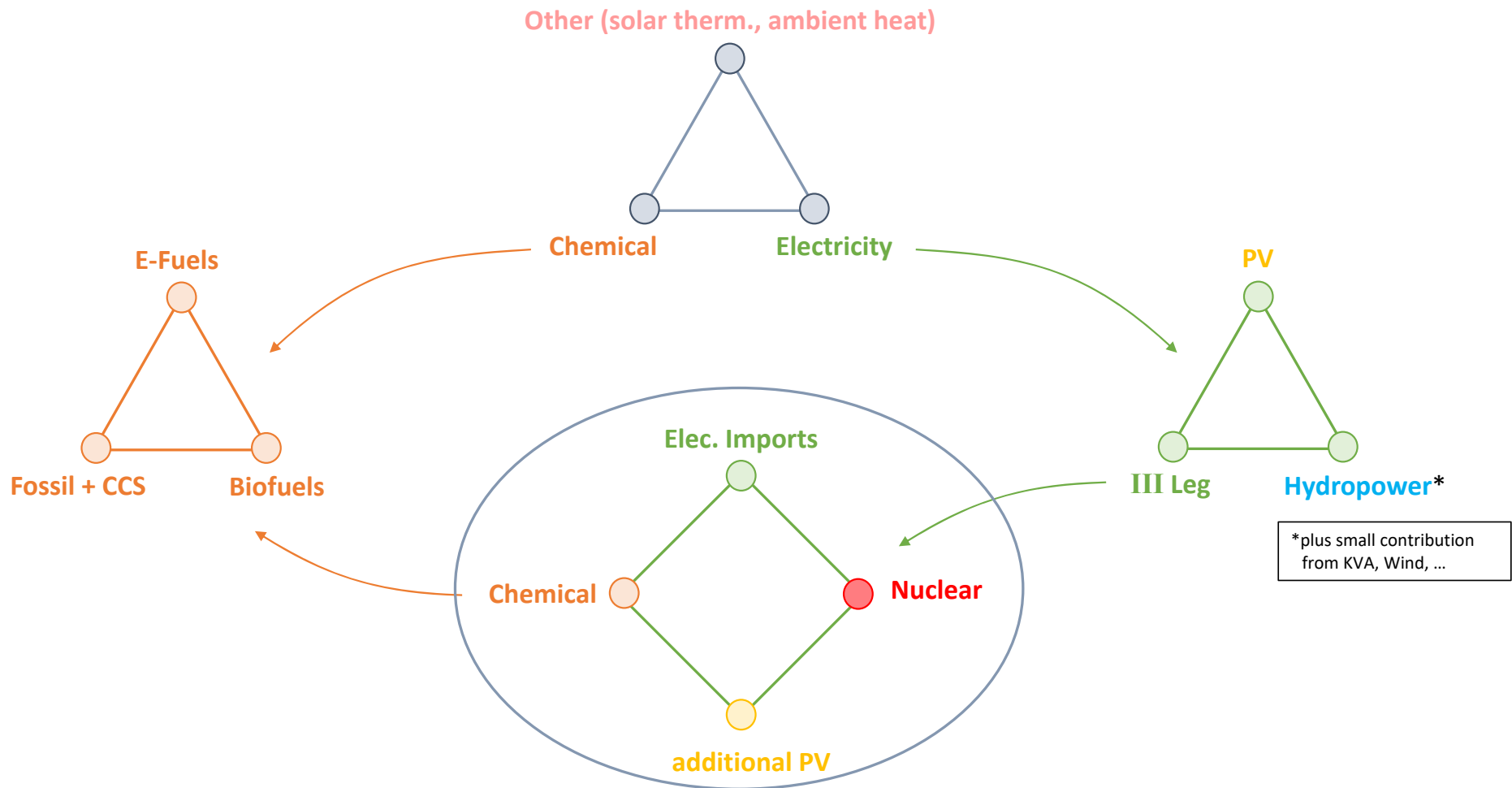


Kritische Materialien
und Komponenten



*Erzeugung durch PV, Wind, Wasserkraft, Thermo-elektrochemisch, Kernbrennstoff

Versorgungsoptionen für das gesamte Energiesystem

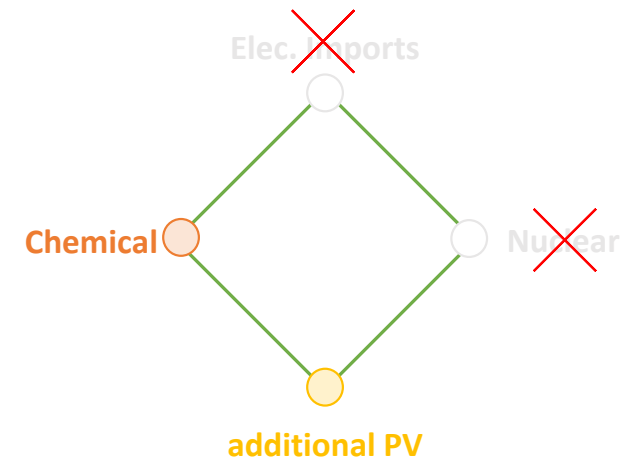
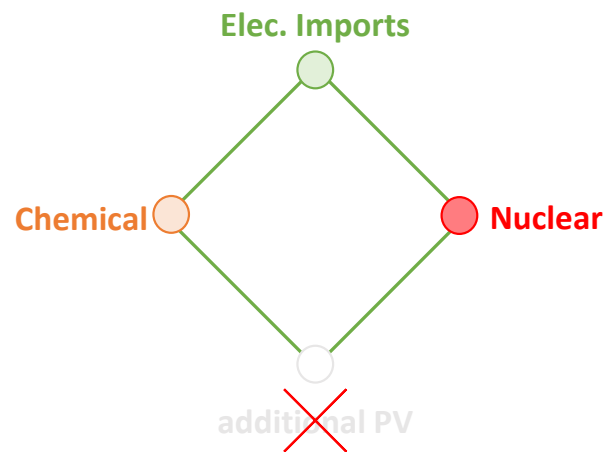
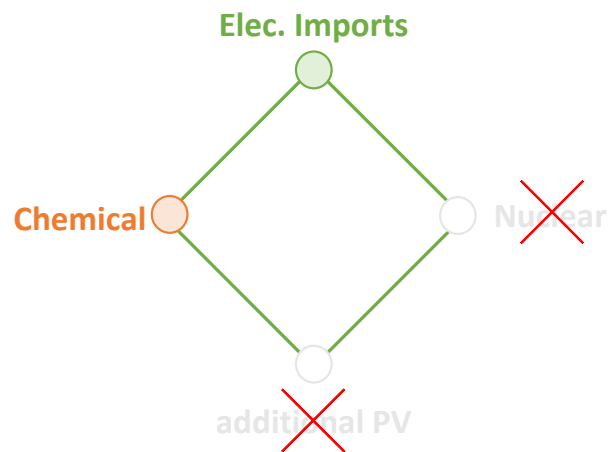


Drei Angebotsszenarien um die Winterstromlücke zu schliessen

1) Chem. Energieträger und Importe

2) Kernenergie, Chem. Energieträger und Importe

3) Elektrizitätsautarkie durch massiven PV Ausbau zur saisonalen Speicherung



Wäre Kernenergie eine langfristige Option?

Vorteile	Herausforderungen
Sehr geringe LCA-basierte CO ₂ -Emissionen	Niedrige Wahrscheinlichkeit, hohe Auswirkungen bei Unfällen
Grundlast- und Teillastfolgefähigkeit (aber zu einem Preis)	Sehr geringes Abfallvolumen, aber mit extrem langer Überlebenszeit
Sehr geringer Platz- und Materialbedarf pro kWh	Unzureichende Demonstration von Reaktoren der Generation III+ zu akzeptablen Kosten und Zeiten
Vernünftig lange Lagerzeit von Kernbrennstoff	Schwaches Industriesystem im Westen

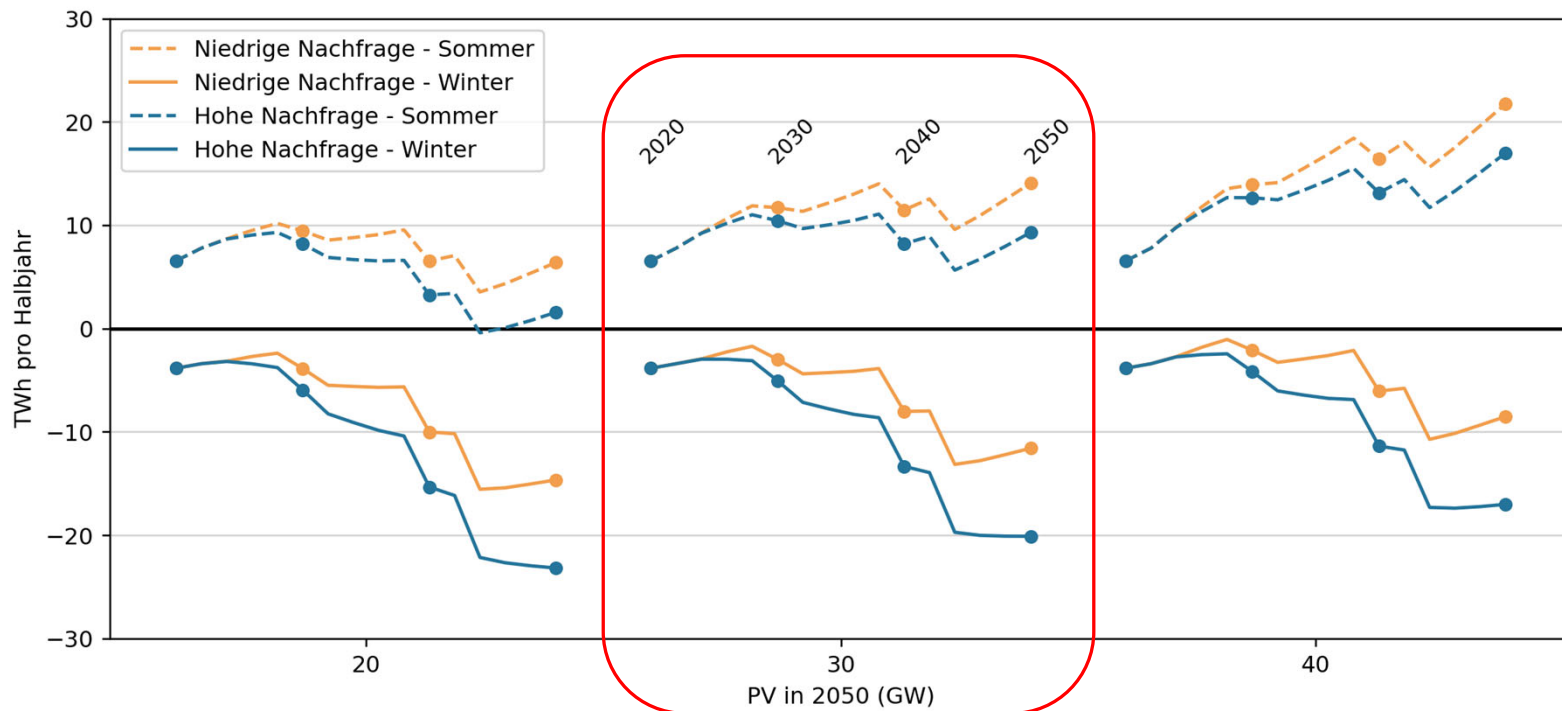
Plausibler Schweizer Weg für die Kernenergieoption

Anfang 2030er	Frühester erfolgreicher Demonstrator im weltweiten Massstab in Bezug auf Zeit/Kosten
Mitte 2030er	Bewertung der erfolgreichen Erweiterung erneuerbarer Elektrizität und Kraftstoffe
Mitte/Ende 2030er	Endgültige Entscheidung im Schweizer System durch Volksabstimmung
Anfang 2040er	Betriebsende bestehender KKW mit verlängerter Lebensdauer
Anfang/Mitte 2040er	Mögliche erste Installation der neuen Generation in der Schweiz

Winterstromlücke und Sommerstromüberschuss

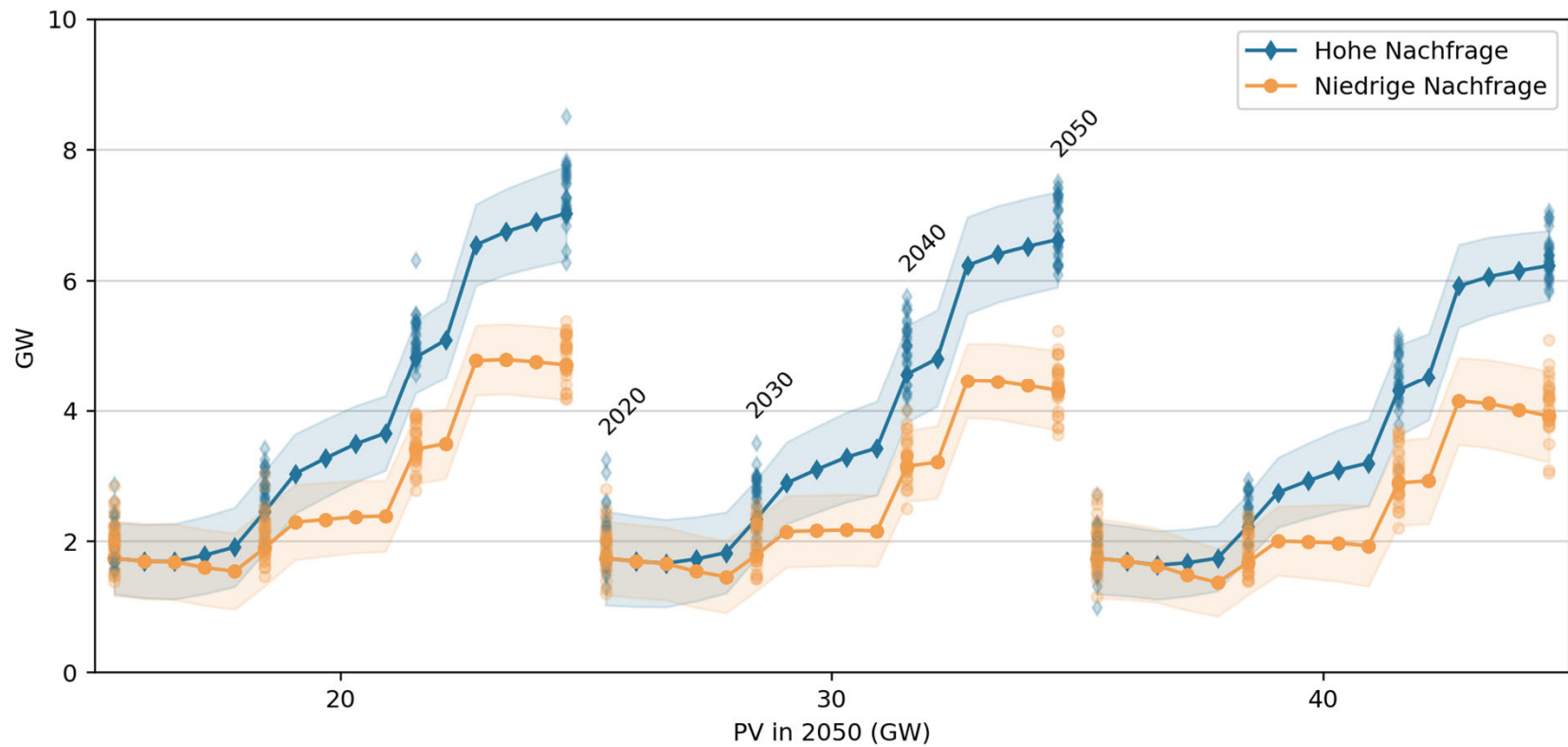
Abhängig von der Höhe der Nachfrage und der installierten PV-Leistung in 2050

	Nachfrage 2020	Niedrige Nachfrage 2050	Hohe Nachfrage 2050
Endverbrauch	58 TWh	66 TWh (+14%)	79 TWh (+36%)



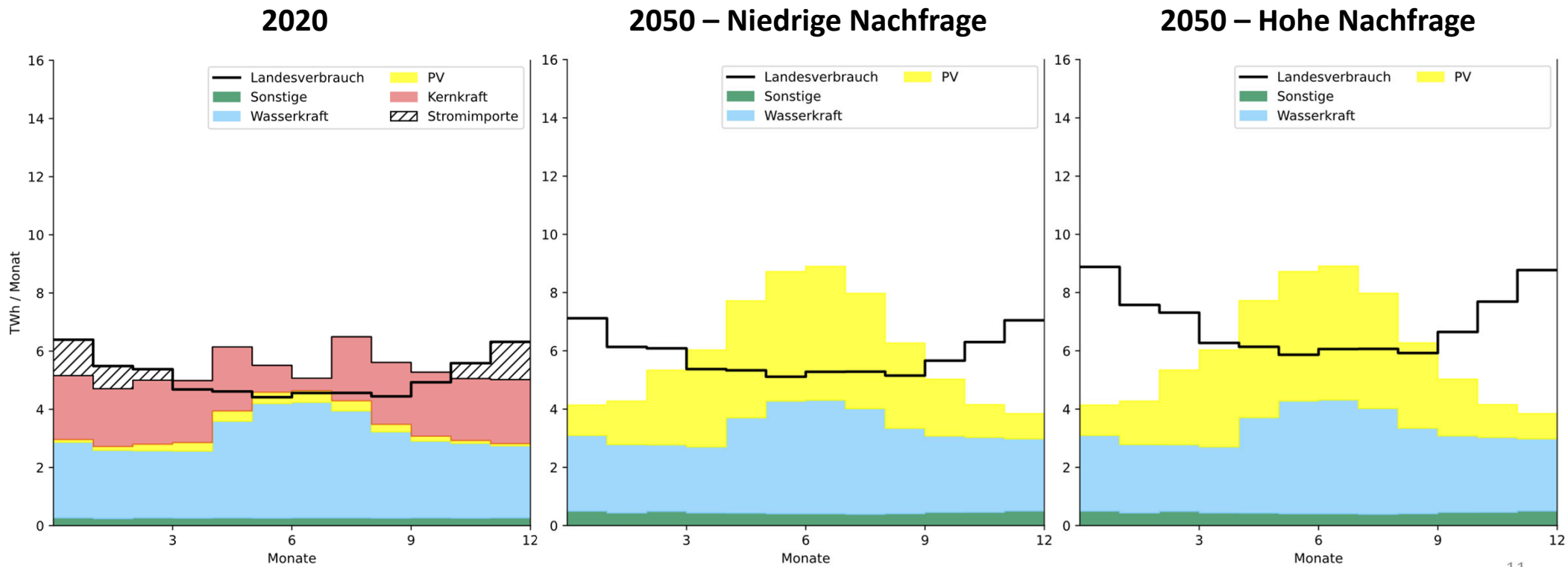
Maximale Leistungslücke über das Jahr

Abhängig von der Höhe der Nachfrage und der installierten PV-Leistung in 2050



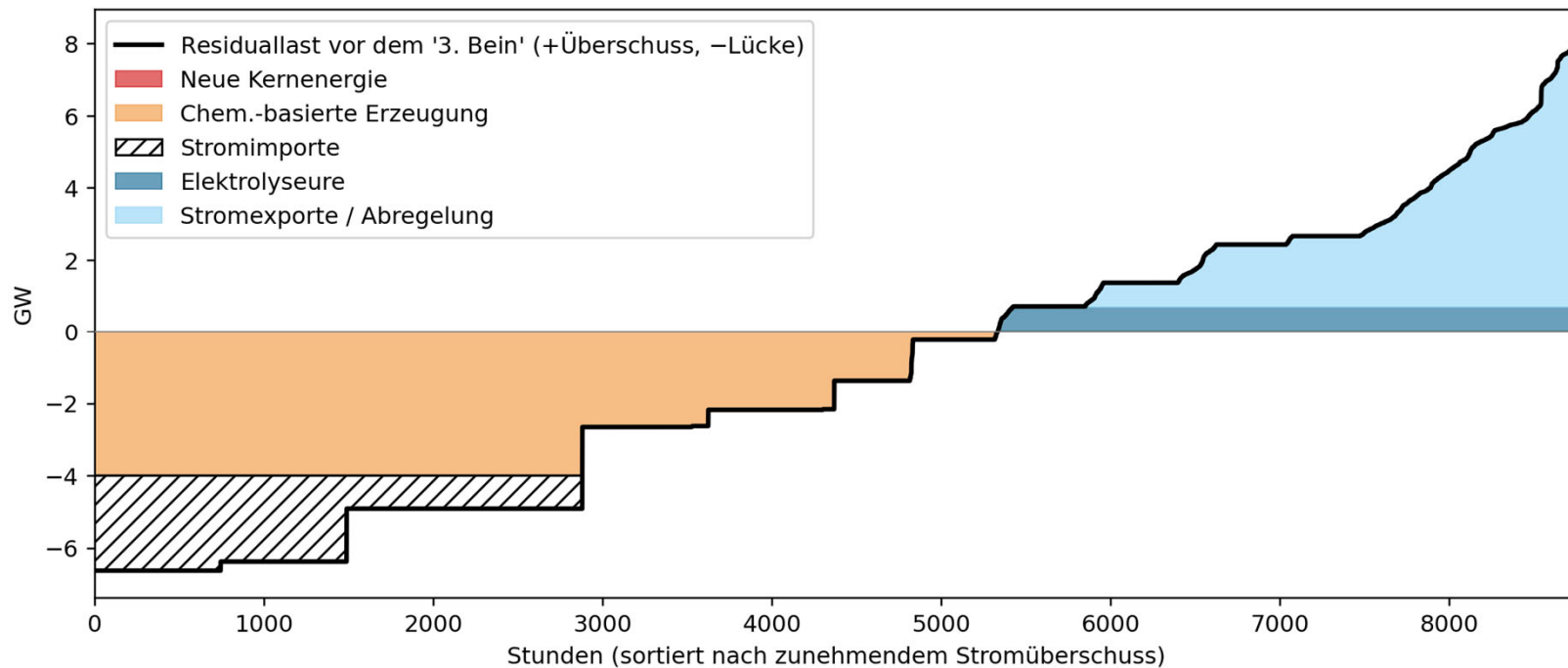
Winterstromlücke und Sommerstromüberschuss

Monatsaufgelöst in 2050 abhängig von der Höhe der Nachfrage



Schliessung der Winterstromlücke – stundenaufgelöst

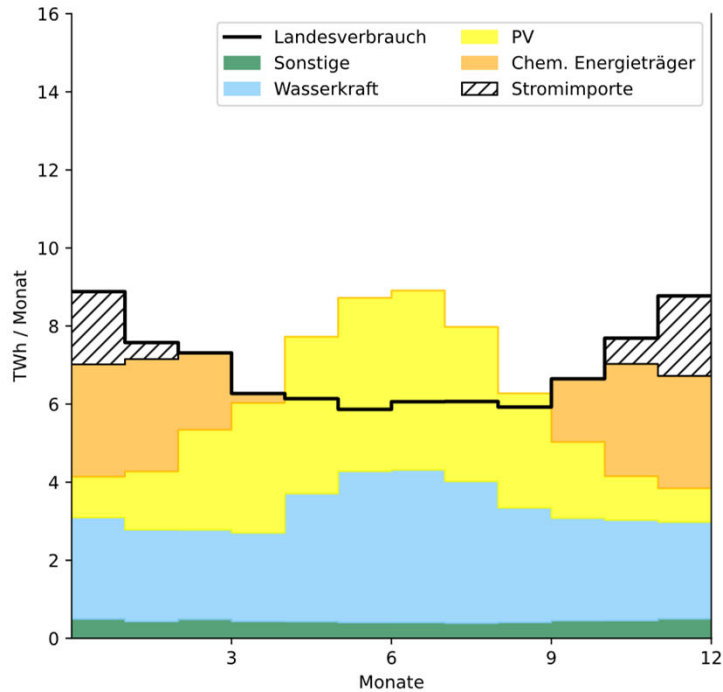
	Szenario	Nachfrage	Jahr
Beispiel	1) Chem. Energieträger + 5 TWh Stromimporte	Hoch	2050



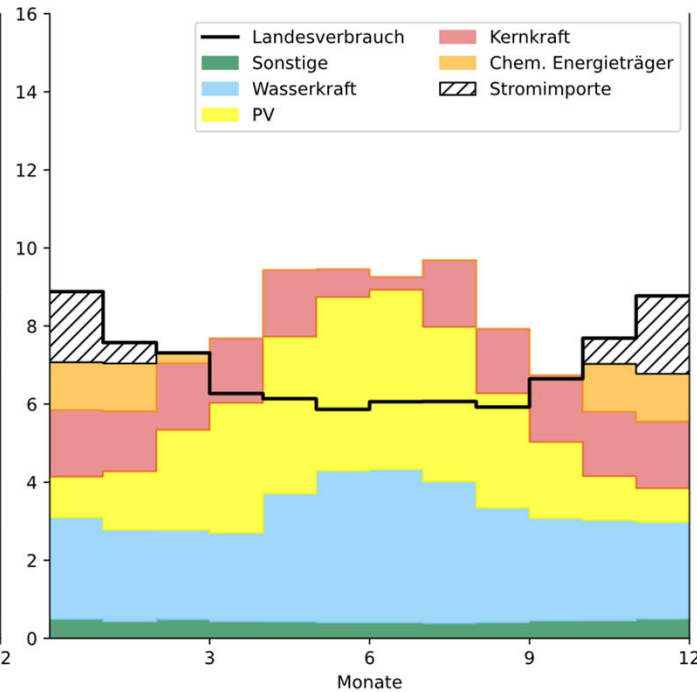
Schliessung der Winterstromlücke

Monatsaufgelöst in 2050 abhängig vom Szenario (Hohe Nachfrage)

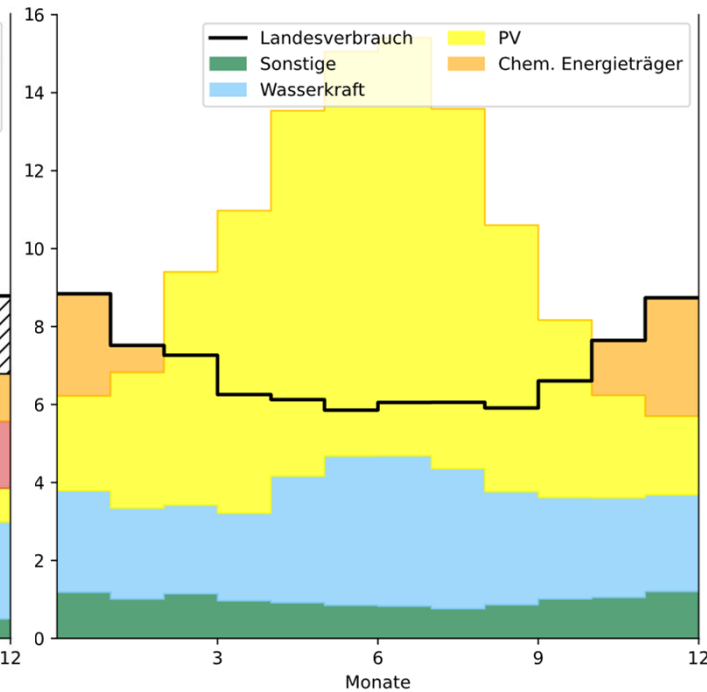
1) Chem. + Imp.



2) Nukl. + Chem. + Imp.



3) Autarkie



Schlüsselindikatoren für den Elektrizitätssektor

TWh _{el}	2020	2050 – hohe Nachfrage		
Szenario		1) Chem. + Imp.	2) Nukl. + Chem. + Imp.	3) Autarkie
Winterstromlücke*	6	21		
Stromimporte	5	5	5	-
Chem.-basierte Erzeugung	1	16	5	9
Zusätzliche PV	-	-	-	12 (+40 GW)
Neue Kernkraftwerke	-	-	11 (2.3 GW)	-
Sommer-Stromüberschuss	6	10	17	47
Strominput Elektrolyseure [†]	-	2.4 (0.7 GW)	13 (3.8 GW)	26 (8.3 GW)

*nach Berücksichtigung von Wasserkraft, Windenergie, KVA und 30 GW PV in 2050

†Zielbereich Volllaststunden der Elektrolyseure: 3000 – 3500 Stunden

Installierte Leistung neuer Stromerzeugung

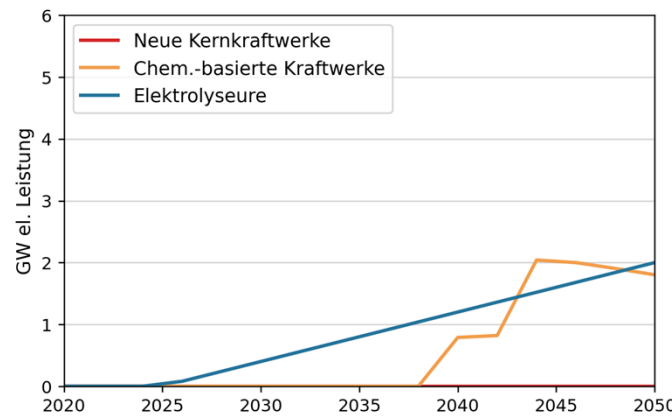
Szenario 1

Chem. + Importe

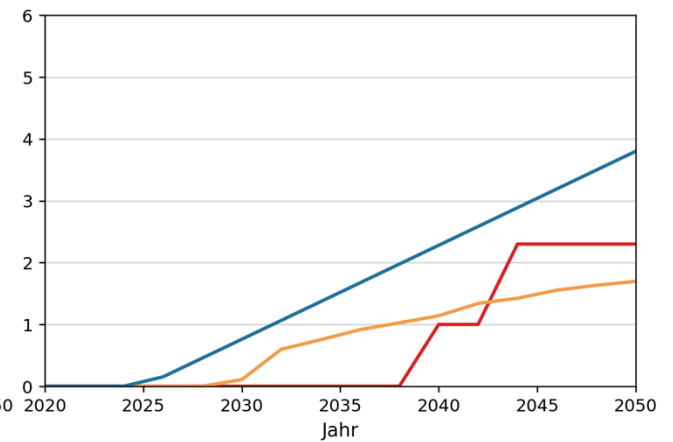
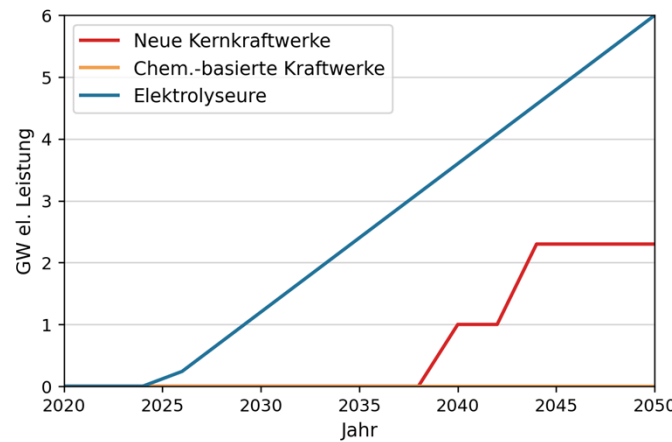
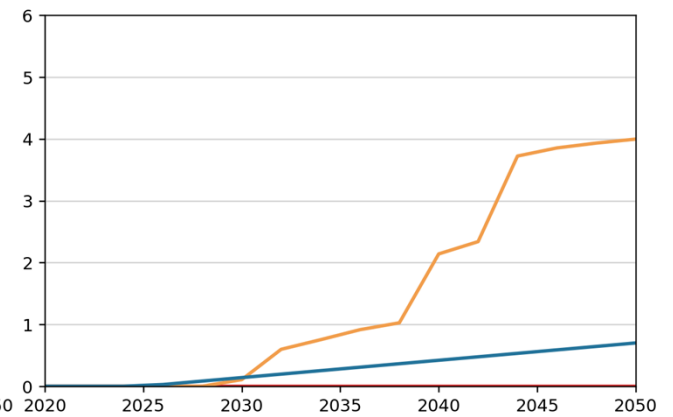
Szenario 2

Nukl. + Importe (+ Chem.)

Niedrige Nachfrage



Hohe Nachfrage



Chemische Energieträger notwendig nicht nur für die Winterstromproduktion ...

... sondern auch für:

- Industrie-Prozesswärme
- Langstreckenmobilität (Luft- und Schifffahrt, schwere LKW)

Kandidaten:

- Wasserstoff (H₂)
- Synthetische Brenn- und Treibstoffe wie z.B. Methan, Methanol, Kerosin, Diesel, Ammoniak, ...

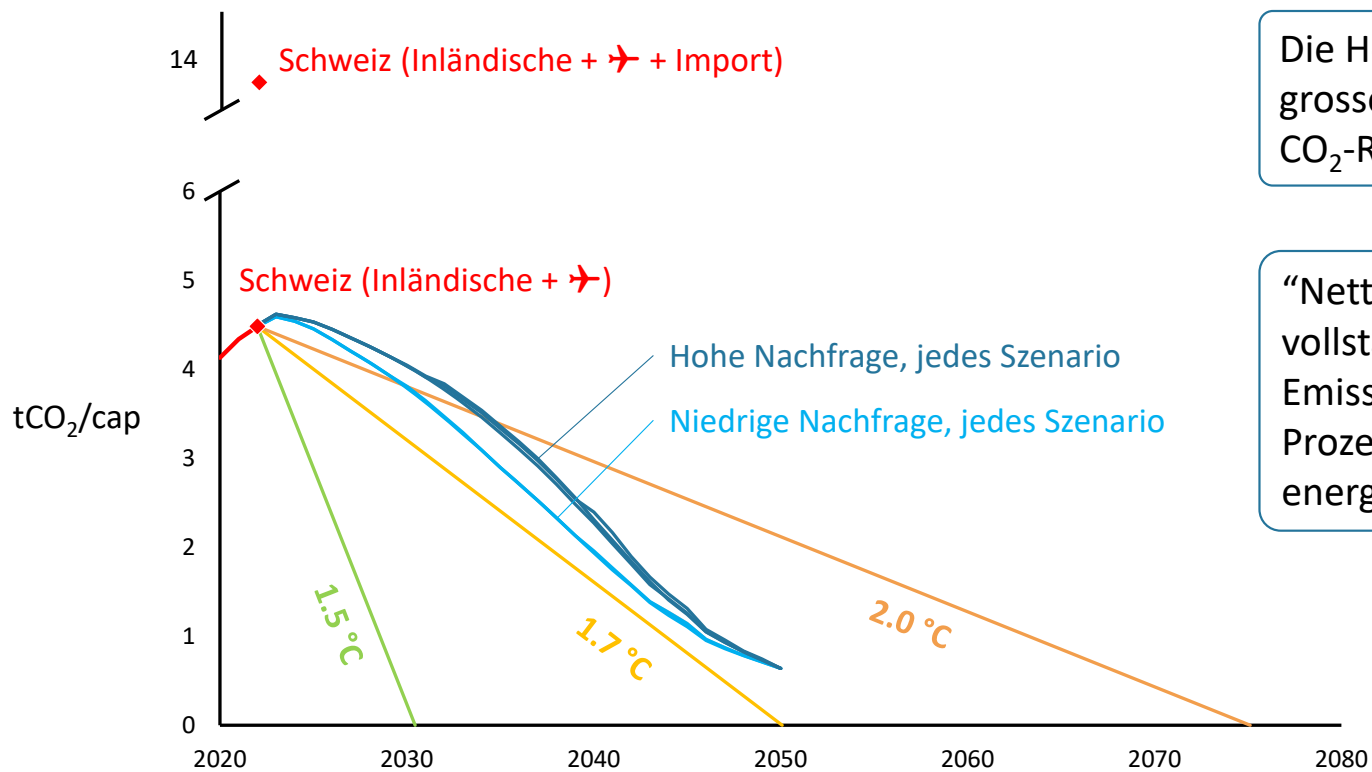
Zusätzlicher Importbedarf für Brenn-/Treibstoffe in 2050

		Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
H ₂ Nachfrage für Elektrizitätserzeugung	TWh _{chem}	27	8	14
Bedarf synthetisches Kerosin für Luftfahrt	TWh _{chem}	34	34	34
Sonstige Nachfrage (Industrie, Strassenverkehr, usw.)	TWh _{chem}	16	16	16
Gesamtnachfrage für ern. Brenn-/Treibstoffe	TWh_{chem}	77	58	64
Biogen inländisch	TWh _{chem}	11	11	11
H ₂ aus Elektrolyse inländisch	TWh _{chem}	1	7	14
Verbleibender Importbedarf	TWh_{chem}	65	40	39
	TWh_{nukl}		52	



Gegenwärtig betragen fossile Importe etwa **155 TWh** und Nuklearimporte etwa **70 TWh**

CO₂-Reduktionspfade

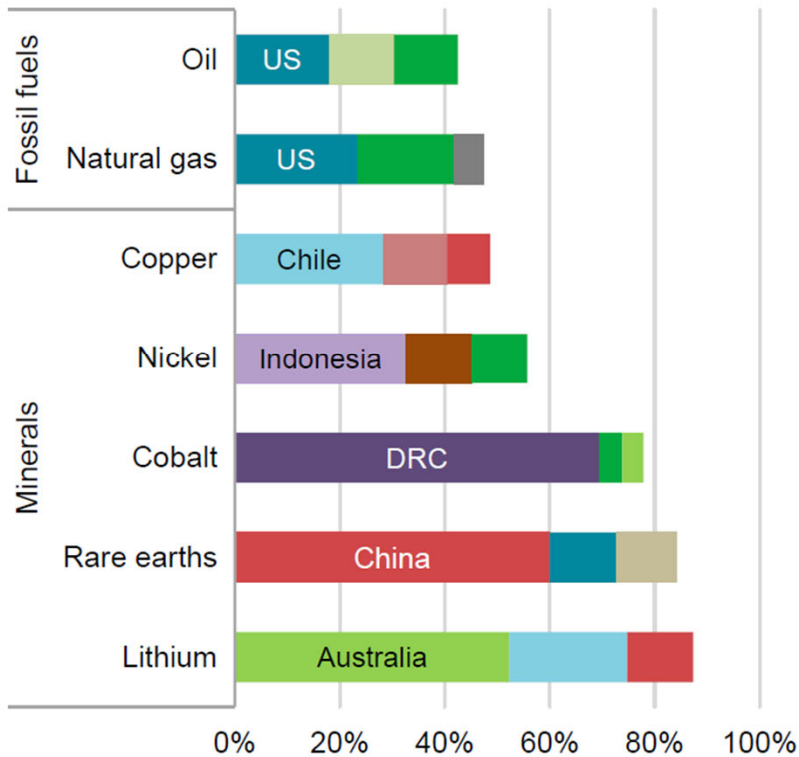


Die Höhe der Nachfrage hat einen grossen Einfluss auf den CO₂-Reduktionspfad

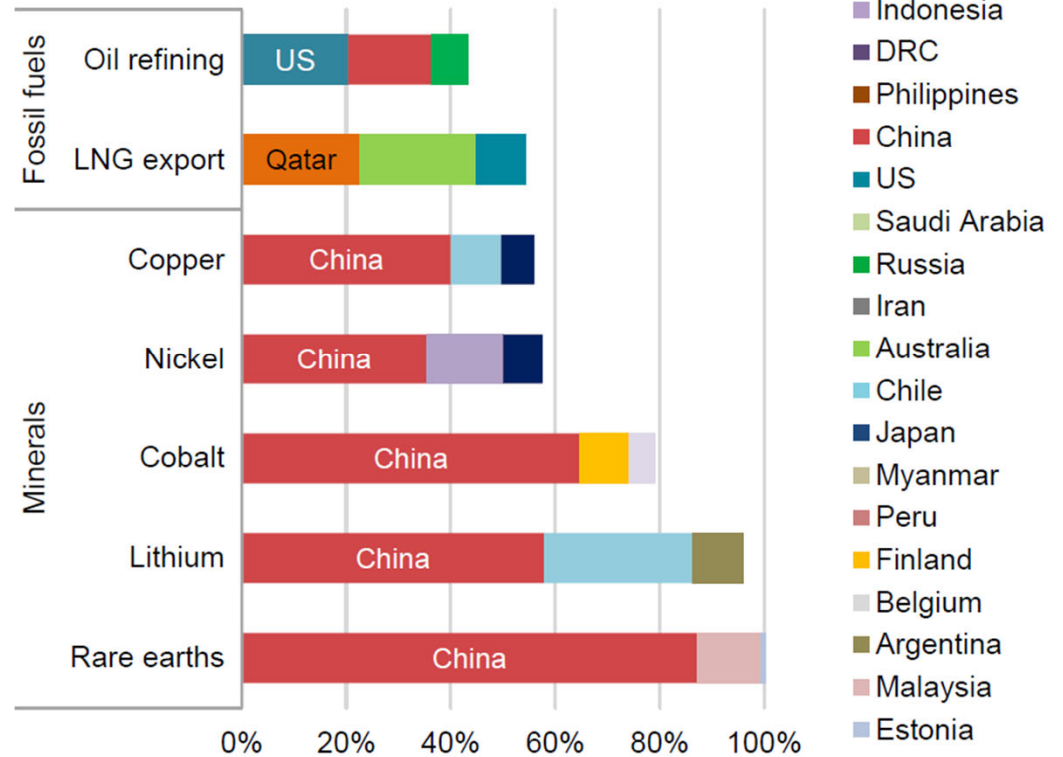
“Netto-Null CO₂” wird nicht vollständig erreicht, wegen der Emissionen bei industriellen Prozessen und bei der energetischen Nutzung von Abfall

Kritische Materialien und Marktanteile nach Ländern

Extraktion

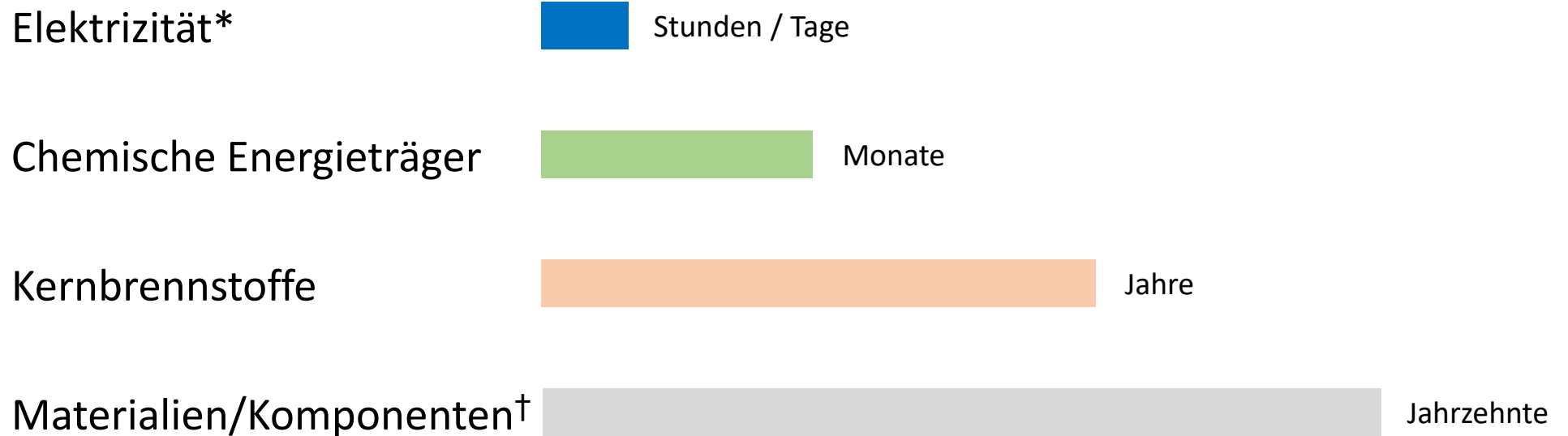


Industrielle Bereitstellung



Quelle: International Energy Agency 2020

Speicherfähigkeit verschiedener Energieträger



*Batterien und (Pump-)Speicherkraftwerke

†Solarpanels, Batterien, Elektrolyseure, usw.

Schlussfolgerungen / 1

- Herausforderungen enorm (Energietrilemma):
Gesamtsystemoptimierung über alle Energiesektoren (Synchronisierung der Entwicklung von Angebot und Nachfrage) unerlässlich.
- Effizienzerhöhung und Suffizienz erhöhen Spielräume für Infrastruktur, Kosten und «no-regret» Entscheidungen.
- Elektrizität wird Rückgrat des Energiesystems werden, chemische Energieträger werden aber auch in Zukunft eine tragende Rolle spielen.
- Verschiedene Pfade für die zukünftige Strom-/Energieversorgung mit unterschiedlichen Vor-/Nachteilen.

Schlussfolgerungen / 2

- Ob die Kernenergie in der Schweiz langfristig einen Beitrag leisten muss und kann, lässt sich frühestens in etwa 10 Jahren beurteilen.
- Energieautarkie wäre extrem kostspielig und wird voraussichtlich eine Illusion bleiben
- Versorgungssicherheit betrifft bei weitem nicht nur den Elektrizitätssektor
- Brenn-/Treibstoffimporte werden in allen Szenarien massiv reduziert (OPEX ↓ aber CAPEX ↑)
- Europa- und weltweite Zusammenarbeit (technologisch, regulatorisch, finanziell) für das Gelingen der grossen Energietransformation unabdingbar

Danksagung

- Giacomo Pareschi für die Erarbeitung von Schlüsseldaten
- Alle Mitglieder der Energiekommission der Akademien Schweiz
- KollegInnen des “Energy Steering Panel” der “European Academies of Sciences Advisory Council”
- SCCER Mobility (Innosuisse)
- Bundesamt für Energie (CH)

Danke!

