

Was kostet die Energiewende? oder Die Energiewende ein Pendel

Black-Out
Zerstörung der Natur
Dunkelflaute
Lichtbrise
Teuer
Deindustrialisierung



Frust

zwischen



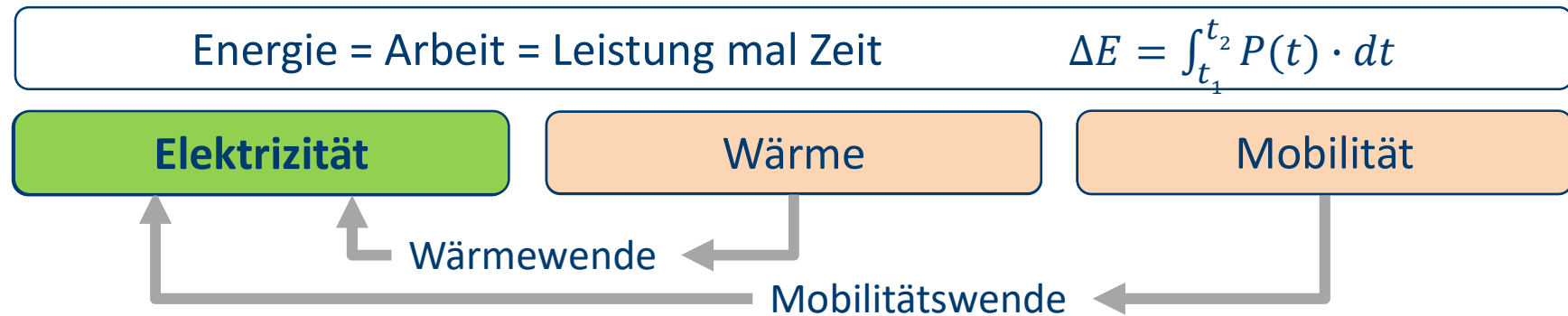
und

CO₂-Neutralität
Klimaschutz
Unabhängigkeit
Neue Wirtschaftszweige
Die Sonne schickt keine Rechnung



Euphorie

Was kostet die Energiewende?



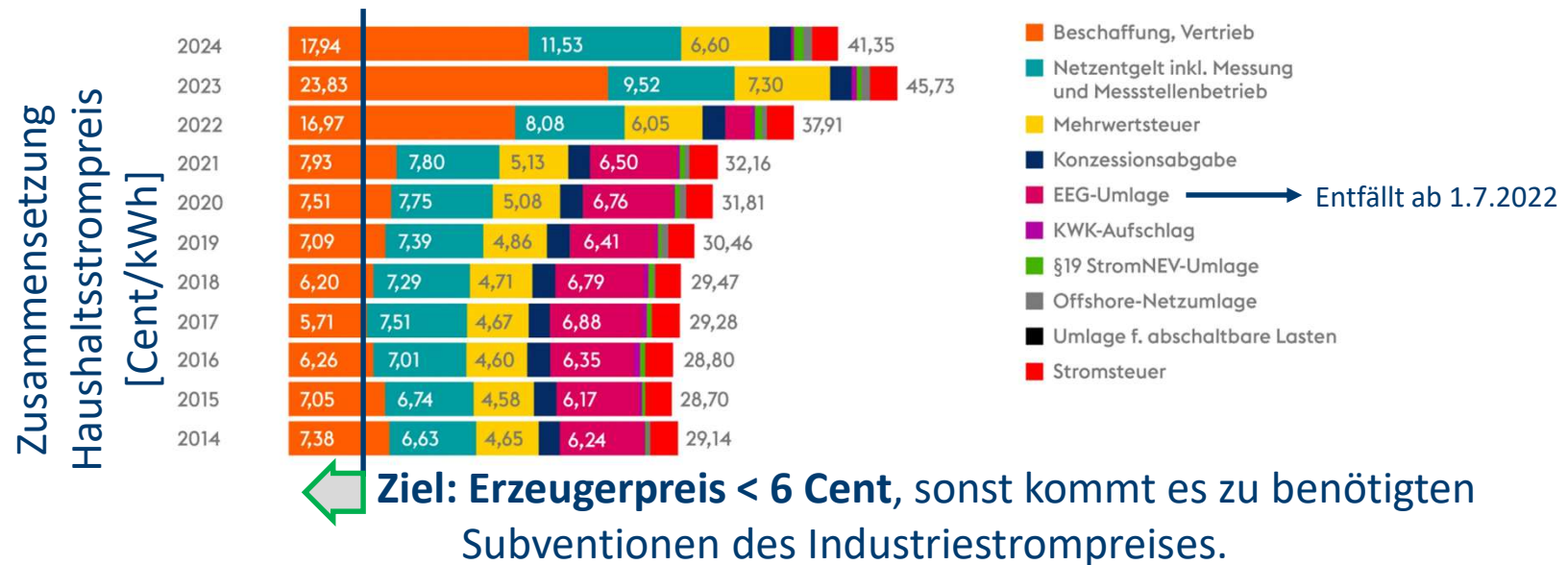
Welche Fragestellung wird in diesem Vortrag erörtert?

- Wie entstehen die Kosten einer regenerativen **autarken elektrischen** Energieversorgung?

Was wird nicht betrachtet?

- Keine Berücksichtigung der zusätzlichen Bedarfe durch Wärme- und Mobilitätswende.
- Ausreichendes elektrisches Verteilernetz wird vorausgesetzt.
(notwendiger Netzausbau wird nicht betrachtet → Zusatzkosten)

Was kostet die Energiewende?



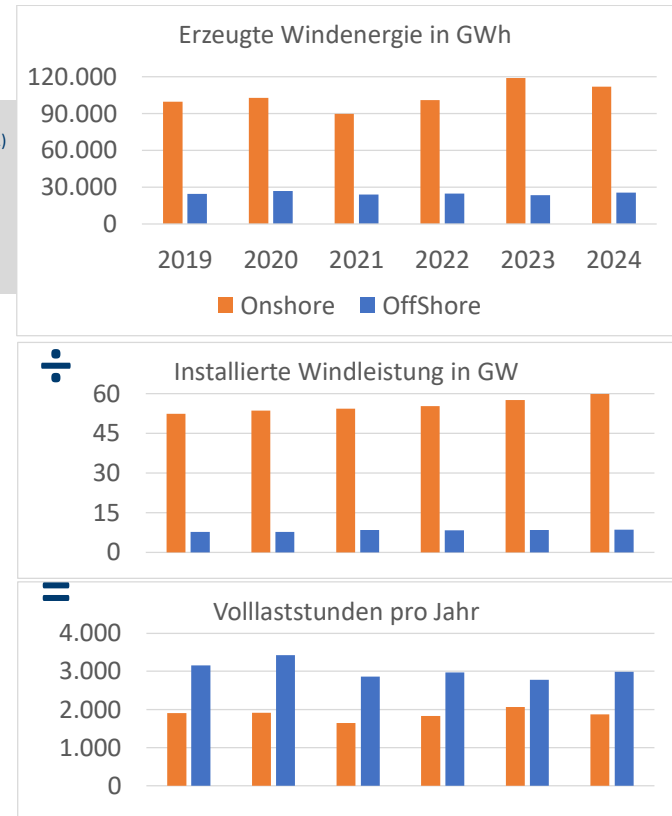
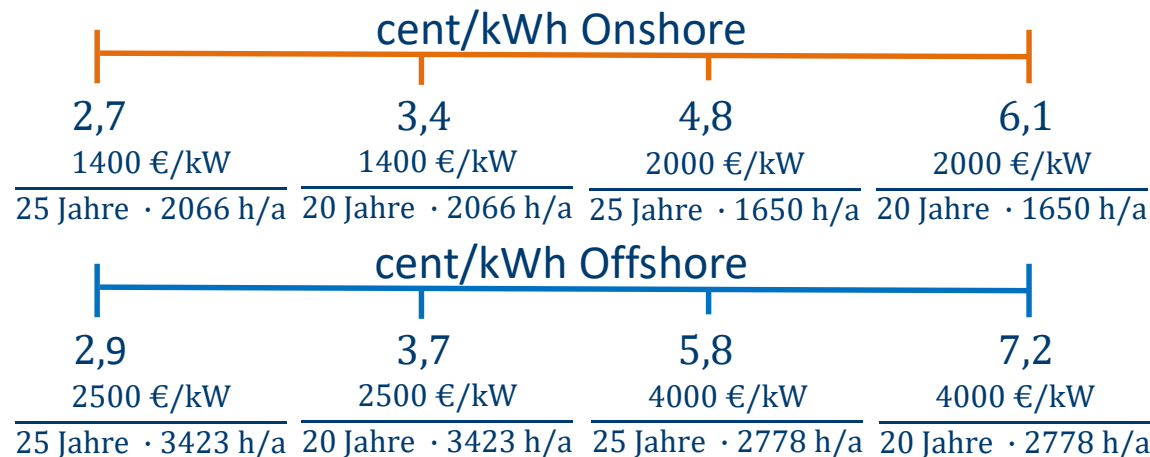
Im weiteren Vorgehen wird sich auf den Erzeugerpreis fokussiert.
Dabei wird der Preis pro kWh in unterschiedlichen Szenarien betrachtet.

Was kostet die Energiewende?

Welcher kWh-Erzeugerpreis wird für Wind angesetzt?

low: 3 cent/kWh
nom: 5 cent/kWh
high: 7 cent/kWh

Spezifische Kosten je kW-Leistung ⁽¹⁾
Onshore: 1400 € - 2000 €
Offshore: 2500 € - 4000 €

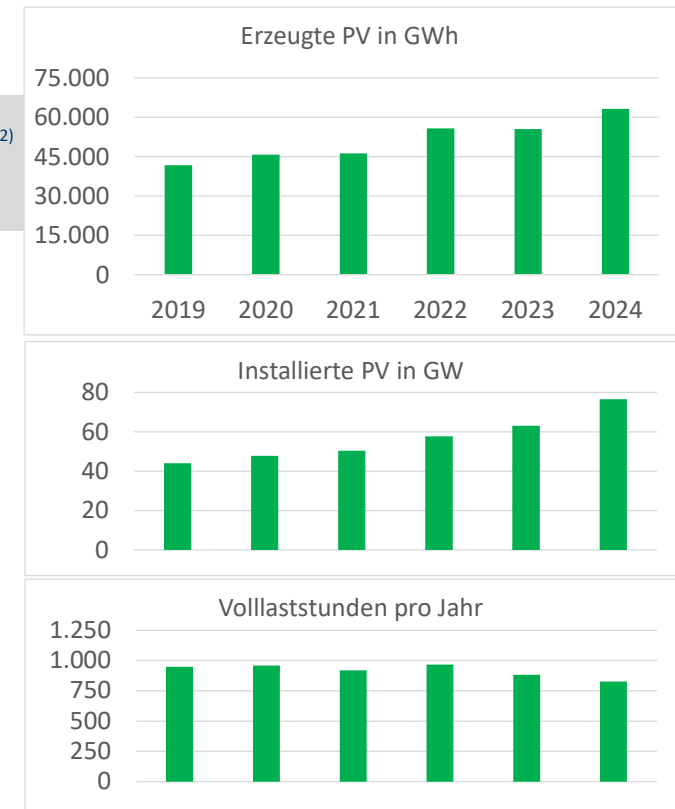
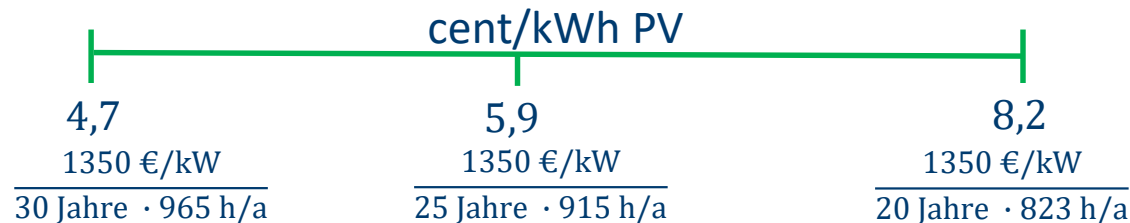


Was kostet die Energiewende?

Welcher kWh-Erzeugerpreis wird für PV angesetzt?

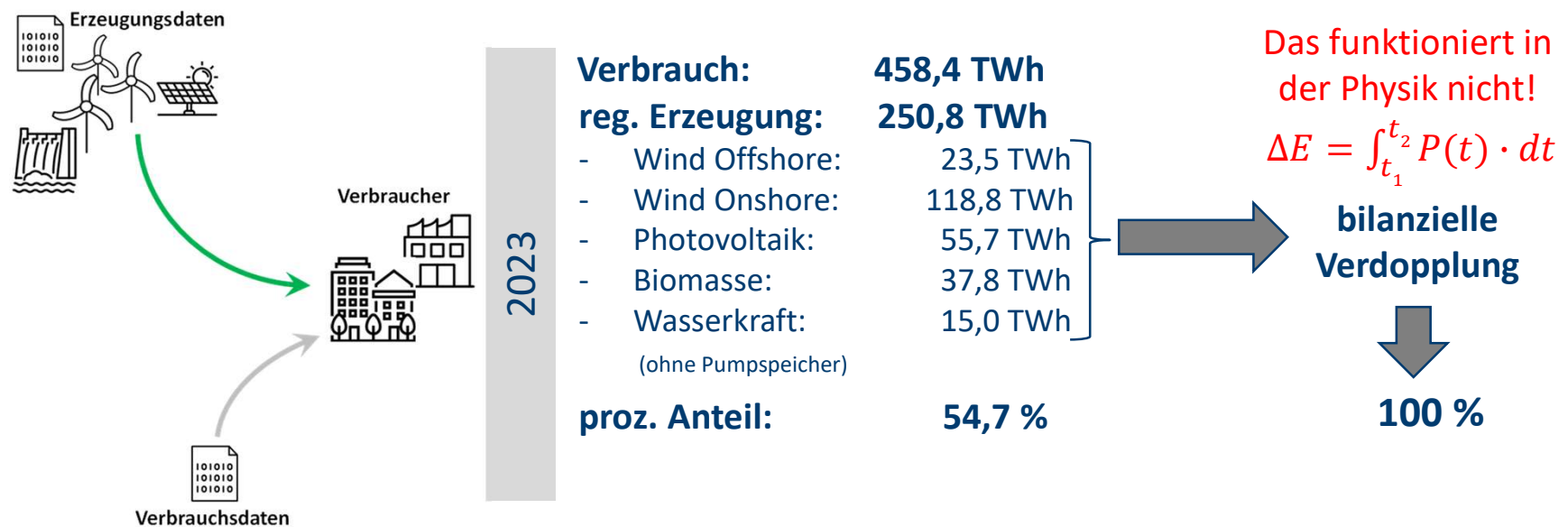
low: 5 cent/kWh
nom: 6 cent/kWh
high: 7 cent/kWh

Spezifische Kosten je kWp-Leistung ⁽²⁾
Großanlage: $\approx 1350\text{€}$



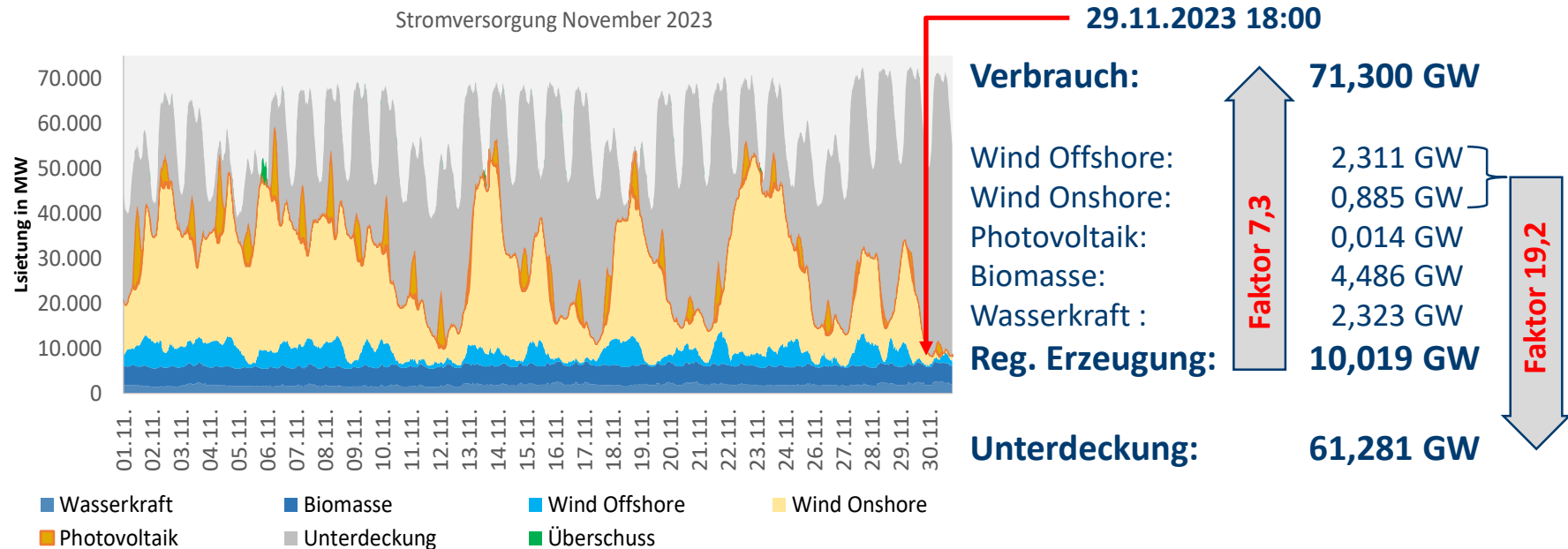
Was kostet die Energiewende?

Energiebilanz 2023



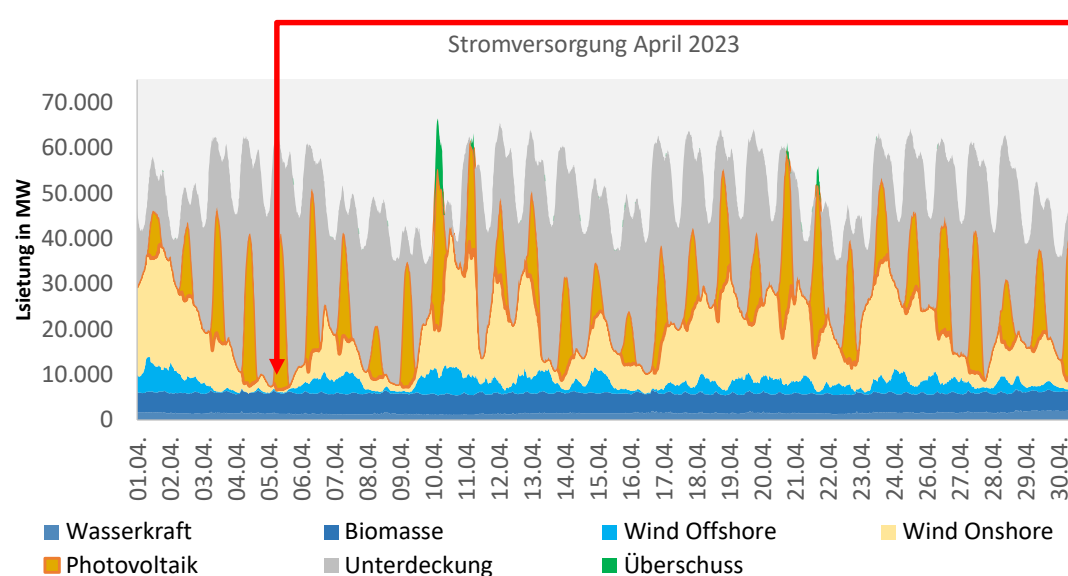
Was kostet die Energiewende?

Problem Dunkelflaute



Was kostet die Energiewende?

Warum selbst die 20-fache Windkraft alleine nicht reicht.



Verbrauch: 62,034 GW

Wind Offshore: 0,210 GW
Wind Onshore: 0,339 GW
Photovoltaik: 25,361 GW
Biomasse: 4,668 GW
Wasserkraft : 1,385 GW

Reg. Erzeugung: 31,963 GW

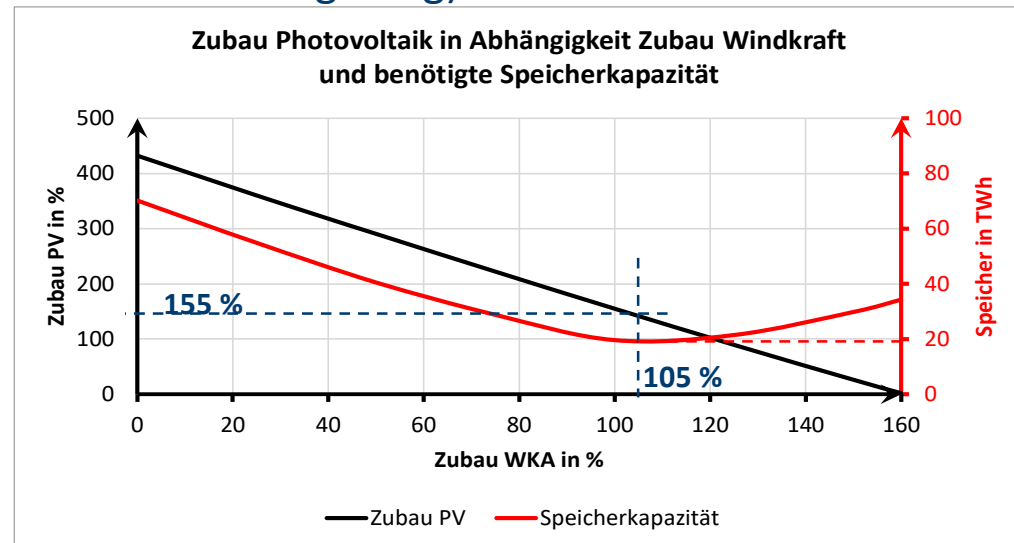
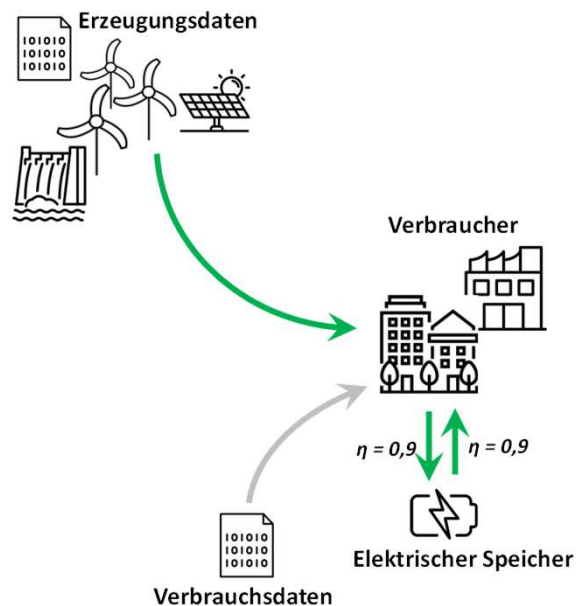
Unterdeckung: 30,071 GW

Faktor 1,94

Faktor 54,8

Was kostet die Energiewende?

Benötigter Batteriespeicher (ohne Überschussabregelung)



Es wird im Optimum ein elektrischer Speicher von 20 TWh benötigt.

20 TWh entsprechen der Anhebung des Bodensees um ca. 150m.

50 Milliarden m^3 Wasser $\rightarrow$ 50 Tkg
 20 TWh $\rightarrow$ 72.000 TJ

$$E = m \cdot g \cdot h \rightarrow h = \frac{72000 \text{ TJ}}{9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 50 \text{ Tkg}}$$

Was kostet die Energiewende?

Kosten Batteriespeicher

Für Kurzzeitspeicher (Lebensdauer 10-15 Jahre und ca. 300 Zyklen/Jahr) → 0,1€/kWh

Speicherkapazität: 600 MWh
Baustart: 2025
Kosten: 250 Mio. €

417 €/kWh $\xrightarrow{\text{Annahme für folgende Anlagen}}$ 300 €/kWh x 20 TWh

Projekt Förderstedt



Smarter Netzausbau
entspricht einer
Speicherkapazität von ca.
0,1 TWh.

Investitionsbedarf
6 Billionen €

Nutzungsdauer 25 Jahre

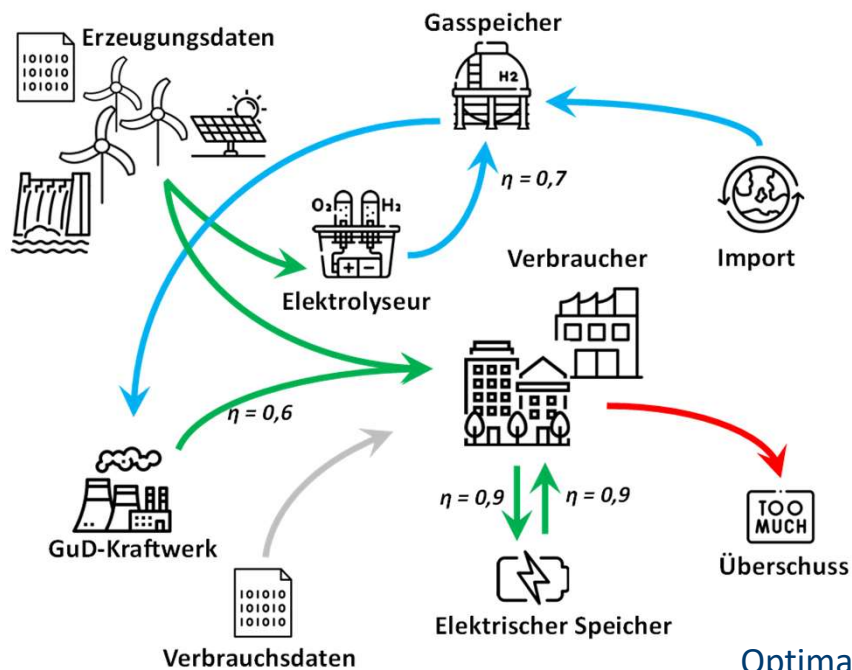
Speicherzuschlag:
0,52 €/kWh

458,4 TWh (2023)

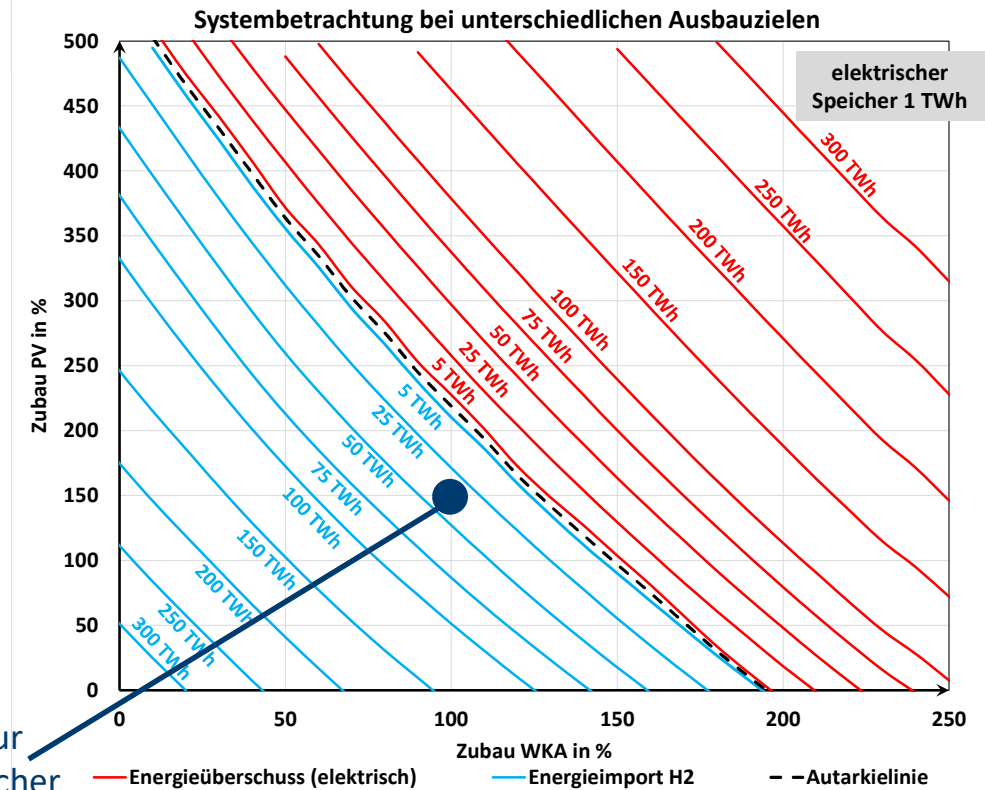
Kosten pro Jahr
240 Mrd. €

Was kostet die Energiewende?

Betrachtung mit H2-Nutzung

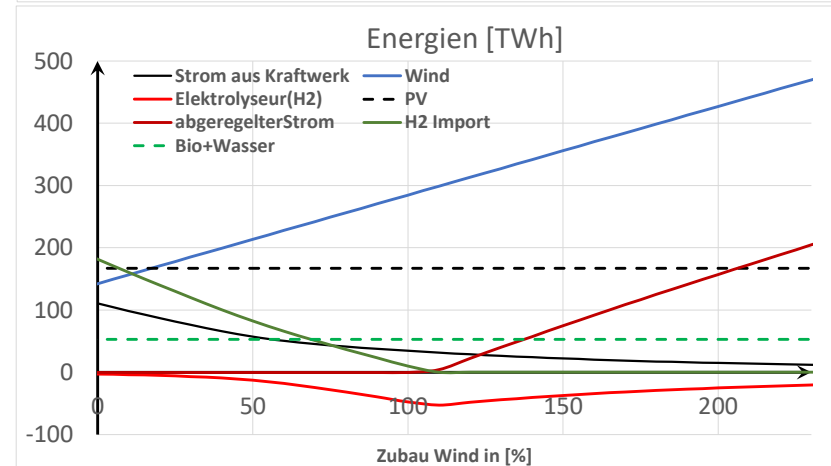
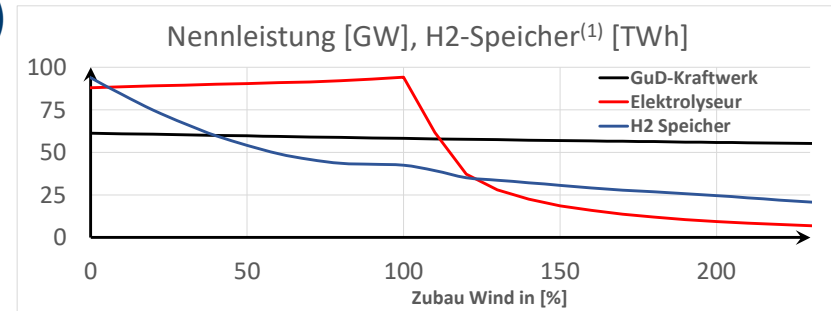
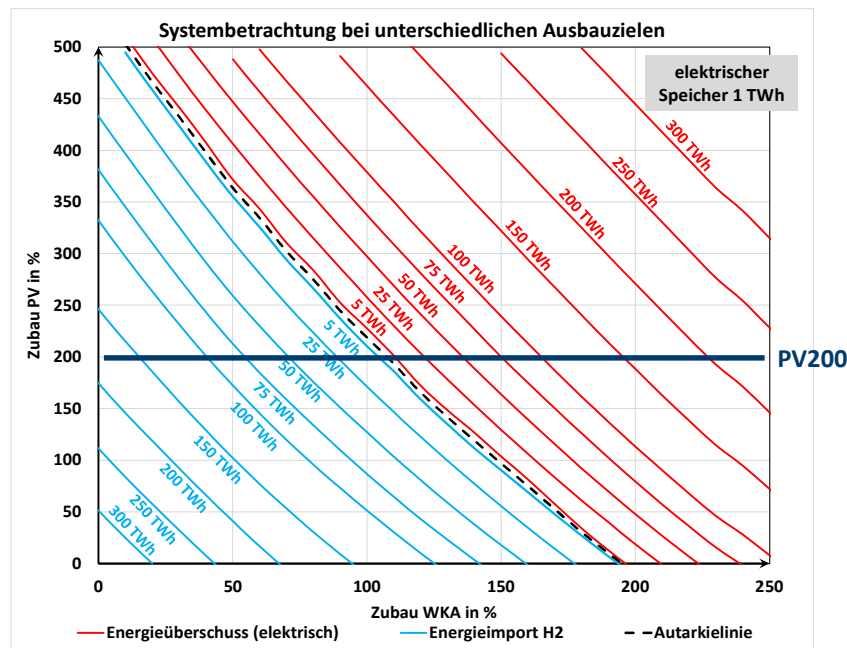


Optima nur
Batteriespeicher



Was kostet die Energiewende?

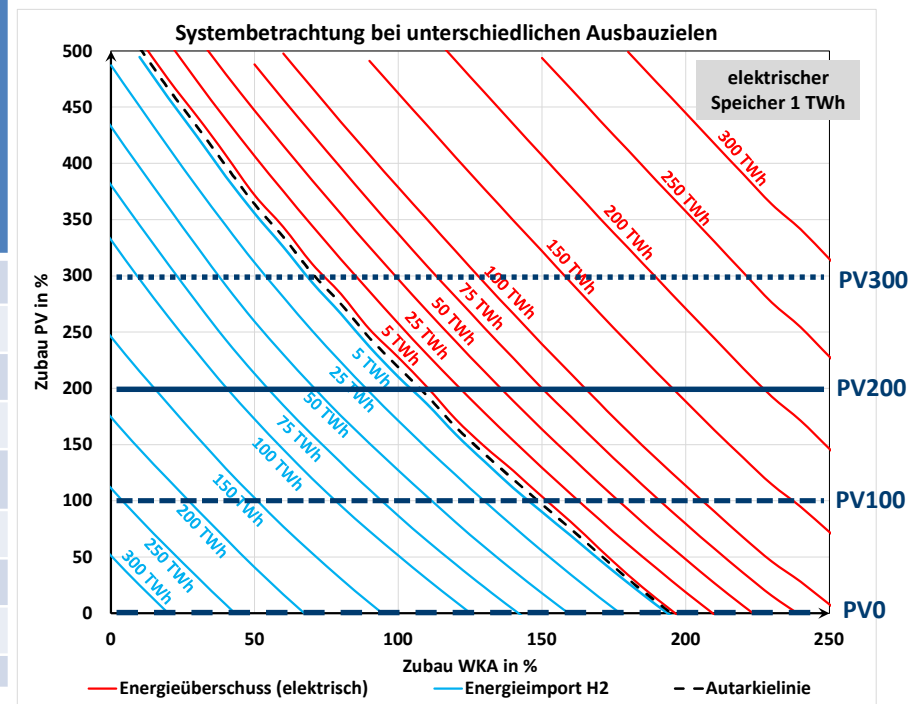
Systemgrößen (Energie, KW-Leistung, Speicher)



Was kostet die Energiewende?

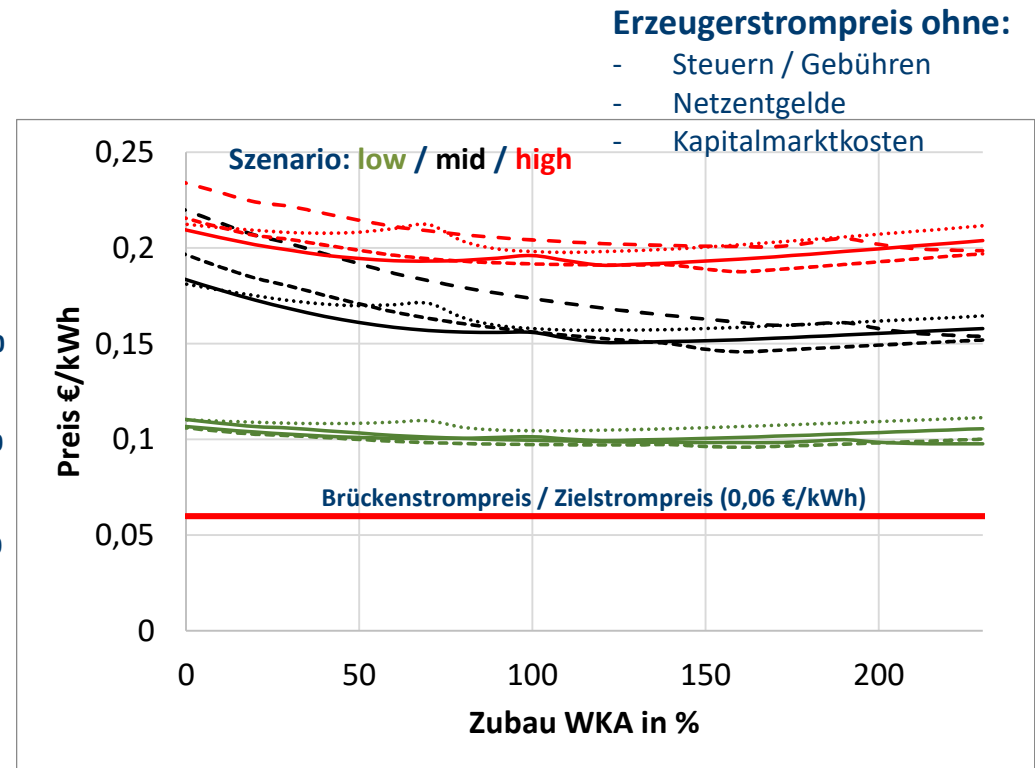
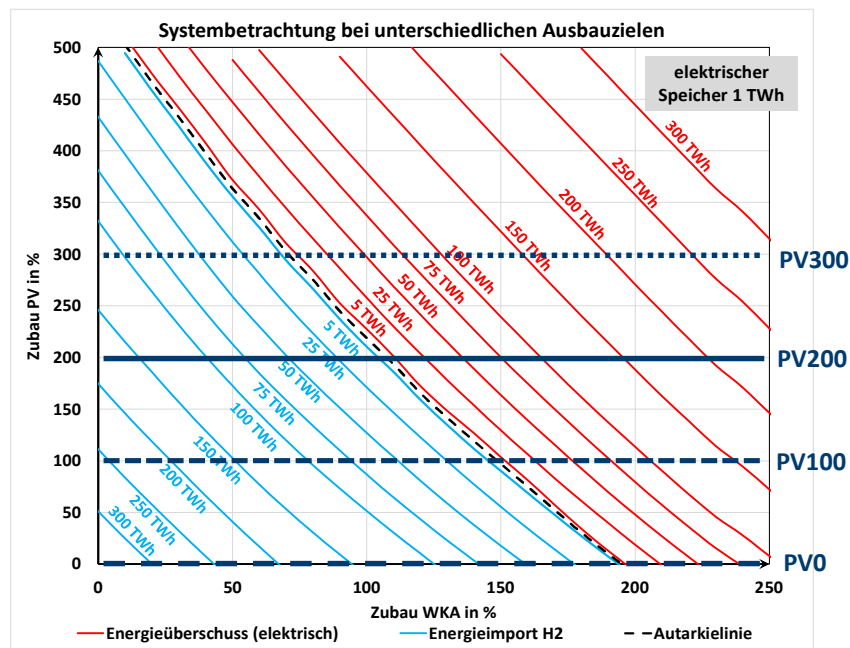
Kostenbetrachtung mit H2-Nutzung

	Investitionskosten Speicher [€/kWh] Kraftwerke [€/kW]	Nutzungsdauer [Jahre]	fixe Betriebskosten/a Speicher [€/kWh] Kraftwerke [€/kW]	variable Betriebskosten Speicher [Cent/kWh] Kraftwerke [Cent/kWh]	Energiepreis [Cent/kWh]
PV	in Energiepreis eingepreist				5 / 6 / 7
Wind	in Energiepreis eingepreist				3 / 5 / 7
Wassererkraft	kein Zubau, in Energiepreis eingepreist				0,6
Biomasse	kein Zubau, in Energiepreis eingepreist				18
elektrischer Speicher	200 / 300 / 400	15	2 / 4 / 6	0	nur Fixkosten
H ₂ -GuD-Kraftwerk	300 / 600 / 900	30	10 / 20 / 30	0,8 / 1,2 / 1,6	ergibt sich
H ₂ Elektrolyseur	400 / 600 / 800	30	5 / 10 / 15	0,5 / 1,0 / 1,5	ergibt sich
H ₂ Import	in Energiepreis eingepreist				3 / 5 / 7
H ₂ Speicher	2,5 / 5 / 7,5	50	0,05 / 0,1 / 0,15	0,5 / 1,0 / 1,5	ergibt sich



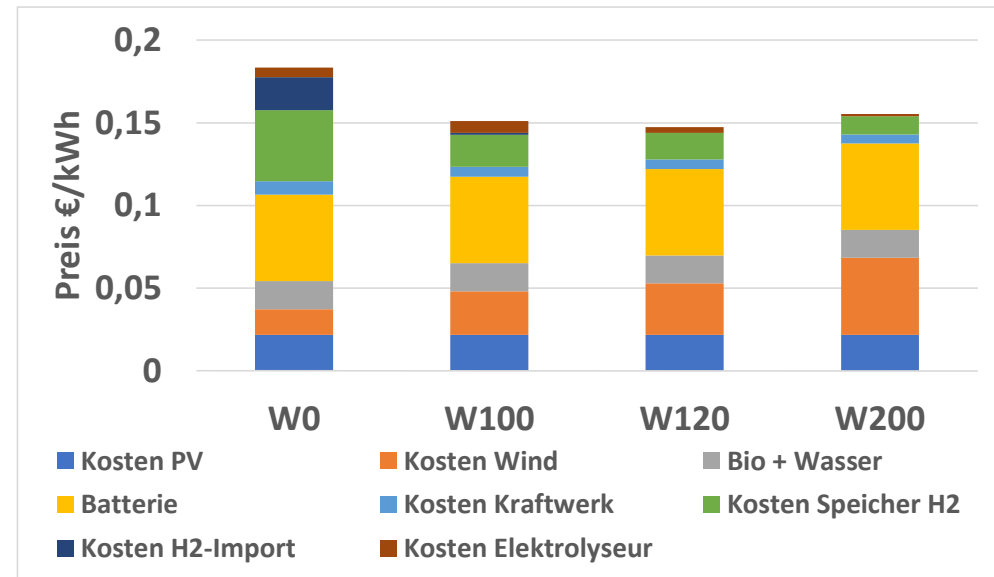
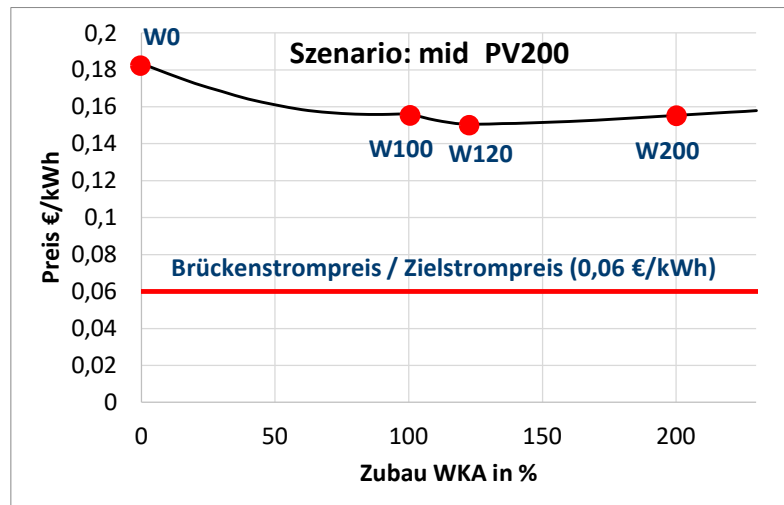
Was kostet die Energiewende?

Kostenbetrachtung mit H2-Nutzung



Was kostet die Energiewende?

Kostenzusammensetzung mit H2-Nutzung



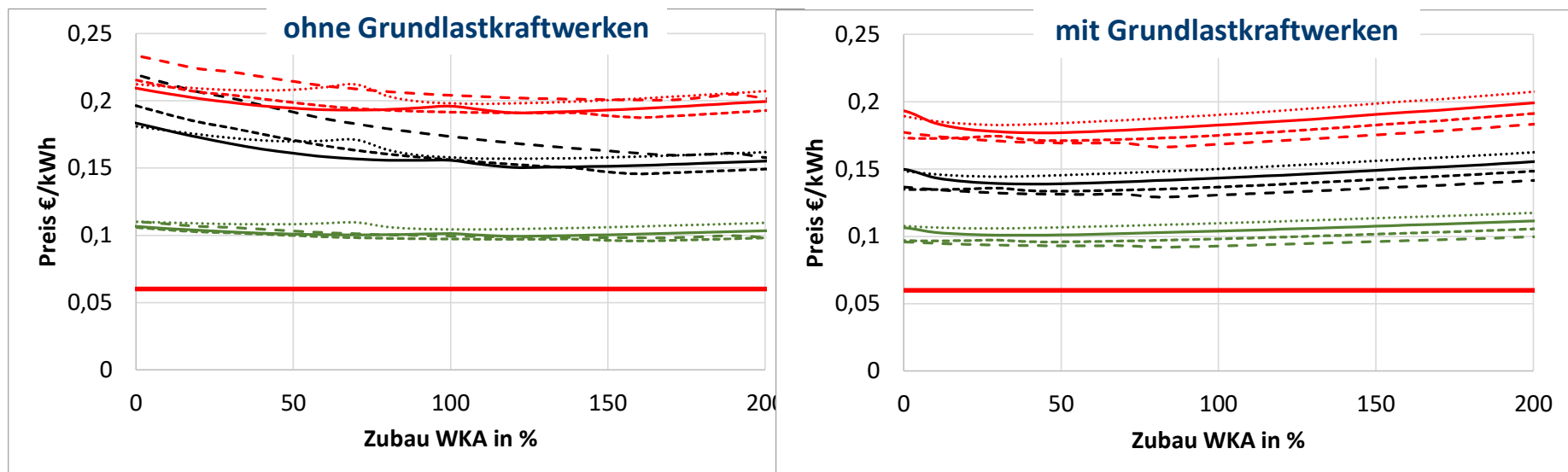
Was kostet die Energiewende?

Kostenbetrachtung mit Grundlastkraftwerken

Für die Berechnung des Effektes von Grundlastkraftwerken wurde folgende Randbedingungen getroffen:

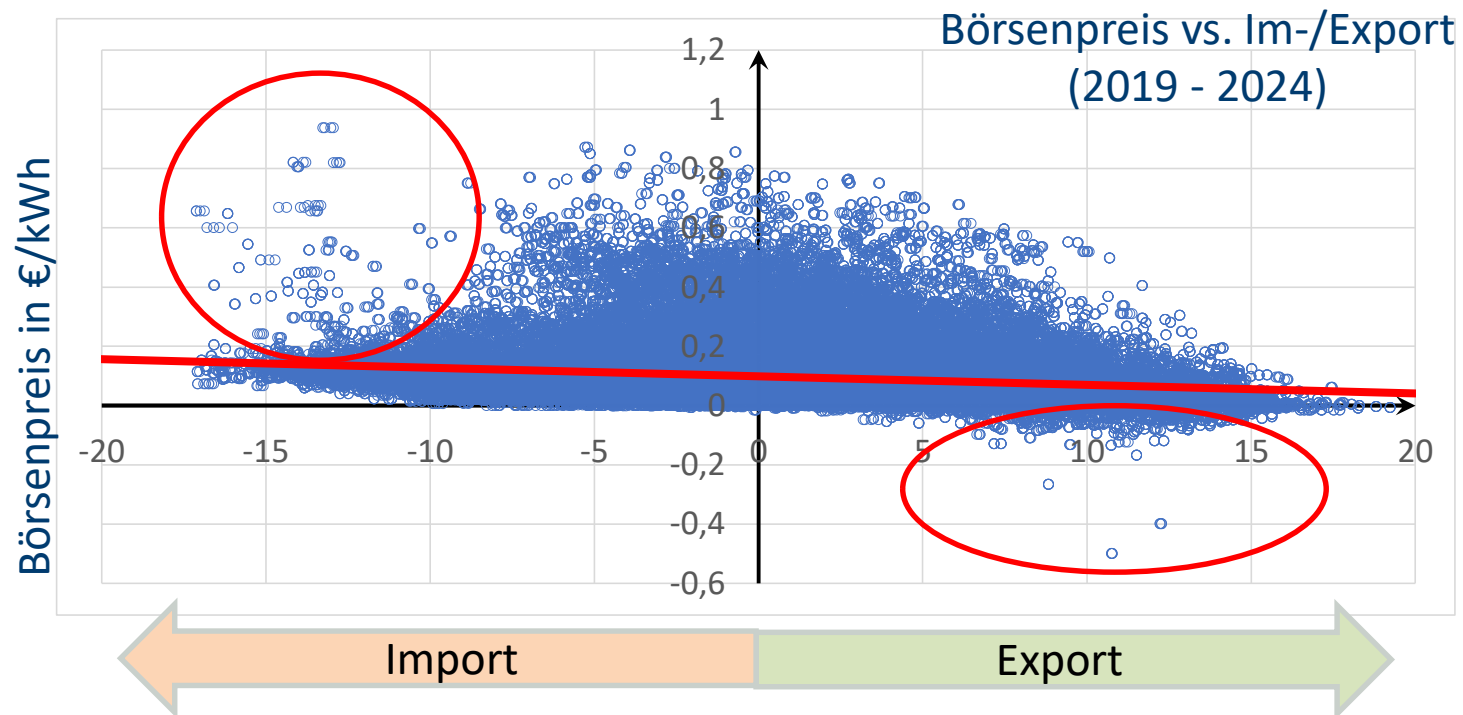
20 GW Nennleistung → 80% Lastzeit → 140,2 TWh Grundlast
→ 318,2 TWh Rest

4 Cent/kWh Grundlast



Was kostet die Energiewende?

Warum ist Im- und Export von Strom nicht die Lösung?



Was kostet die Energiewende?

Kosten-/Nutzenanalyse private PV-Anlagen (Amortisierungsbetrachtung)

	Haushalt mit 3500 kWh/a Stromverbrauch		1050 €/a ohne Solar	
	Balkonkraftwerk 800 Wp		Dachanlage 10kWp	
Speicher	ohne	2 kWh	ohne	10 kWh
Jahresertrag	800 kWh		10000 kWh	
Jahreseigenverbrauch	560 kWh (70%)* ¹	760 kWh (95%)* ¹	1400 kWh (40%)* ²	2450 kWh (70%)* ²
Jahresnetzbezug	2940 kWh	2740 kWh	2100 kWh	1050 kWh
Strompreis	30 cent/kWh			
Kosten Jahresnetzbezug	882 €	822 €	630 €	315 €
Jahreseinspeisung	240 kWh	40 kWh	8600 kWh	7550 kWh
Einspeisevergütung	0 €	0 €	688 €	604 €
Einsparung pro Jahr	168 €	228 €	1108 €	1339 €
Invest	500 €	2000 €	10000 €	15000 €
Amortisierung	3 Jahre	8,8 Jahre	9 Jahre	11,2 Jahre

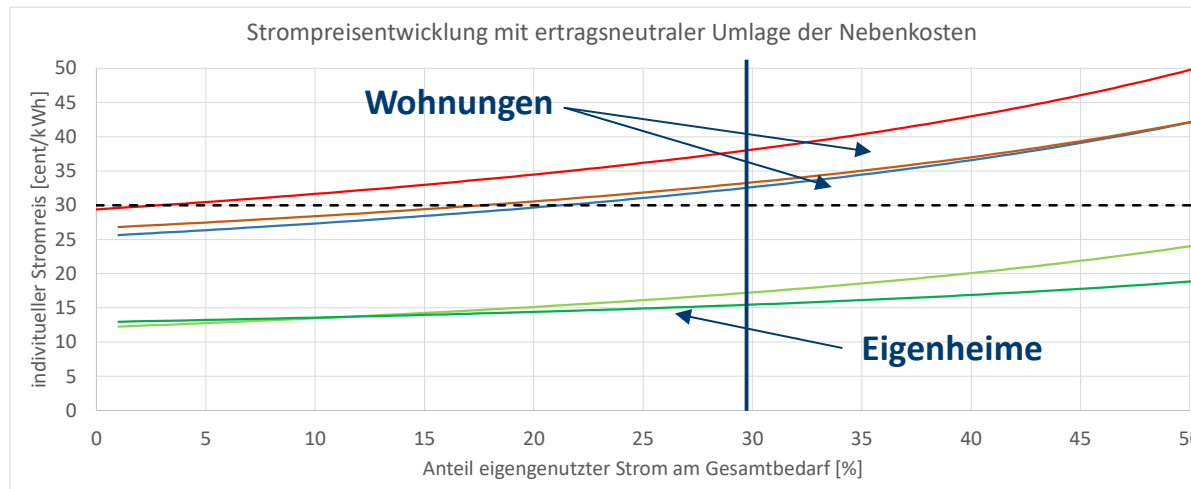
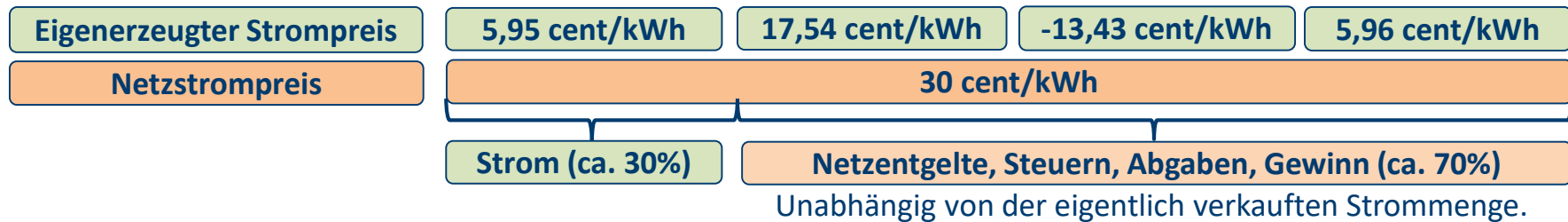
Was kostet die Energiewende?

Kosten-/Nutzenanalyse private PV-Anlagen (Betrachtung über Laufzeit)

	Haushalt mit 3500 kWh/a Stromverbrauch		1050 €/a ohne Solar	
	Balkonkraftwerk 800 Wp		Dachanlage 10kWp	
Speicher	ohne	2 kWh	ohne	10 kWh
Jahreseigenverbrauch	560 kWh (70%)* ¹	760 kWh (95%)* ¹	1400 kWh (40%)* ²	2450 kWh (70%)* ²
Jahresnetzbezug	2940 kWh	2740 kWh	2100 kWh	1050 kWh
Strompreis	30 cent/kWh			
Kosten Jahresnetzbezug	882 €	822 €	630 €	315 €
Jahreseinspeisung	240 kWh	40 kWh	8600 kWh	7550 kWh
Einspeisevergütung	0 €	0 €	688 €	604 €
Invest	500 €	2000 €	10000 €	15000 €
Laufzeit	15 Jahre	15 Jahre	20 Jahre	20 Jahre
individueller Strompreis	26,15 cent/kWh	27,30 cent/kWh	12,63 cent/kWh	13,17 cent/kWh
Eigenerzeugter Strompreis	5,95 cent/kWh	17,54 cent/kWh	-13,43 cent/kWh	5,96 cent/kWh

Was kostet die Energiewende?

Kosten-/Nutzenanalyse private PV-Anlagen (Was passiert mit dem Netzstrompreis)



ohne PV
Balkonkraftwerk mit Speicher
Balkonkraftwerk ohne Speicher

Dachanlage mit Speicher
Dachanlage ohne Speicher

Nur Betrachtung der Umlagerung von Kosten ohne notwendigen Netzausbau!

Was kostet die Energiewende?

Fazit

In gemeinsamer Diskussion