



A Comparison of Economic Benefits of Hydrogen Production in DC Based Wind Farms

16.02.2024 – M. Sc. Robert Annuth

Erneuerbare verändern den Strommarkt

Deutscher Strommarkt: Der perfekte Sturm zieht auf



Strommasten stehen auf einem Feld in der Nähe von Industrieanlagen bei Köln. Unternehmen aus allen Branchen klagen über hohe Strompreise

© Christoph Hardt/Panama Pictures / IMAGO

“

Stadtwerke und Industrie benötigen Planungssicherheit und kaufen bevorzugt am Terminmarkt, sie bekommen jedoch Strom in Zukunft fast nur noch am chaotischen Kassamarkt.

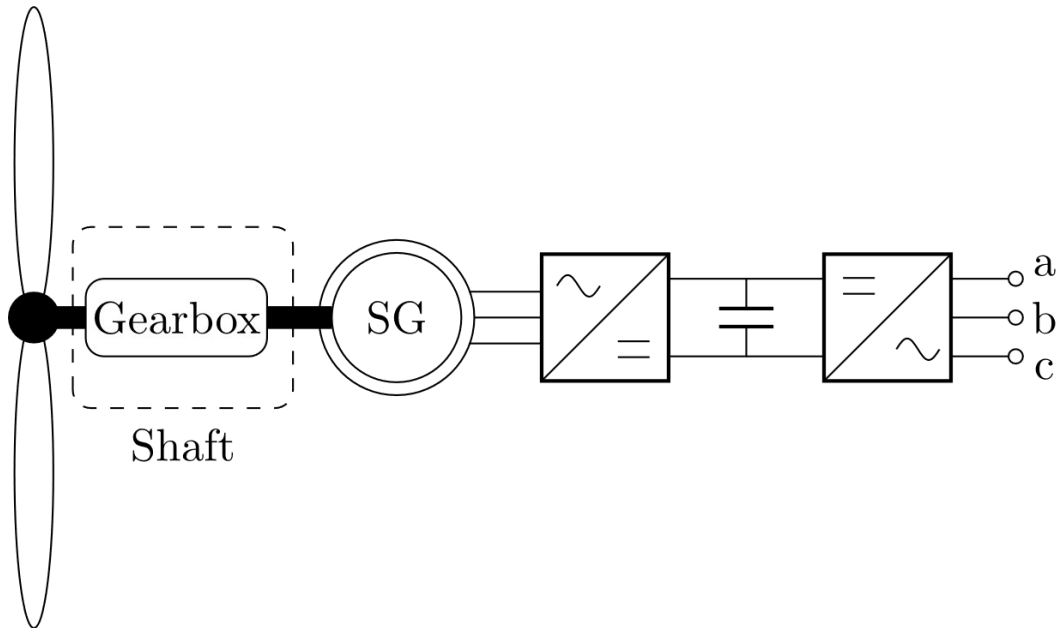
”

Agenda

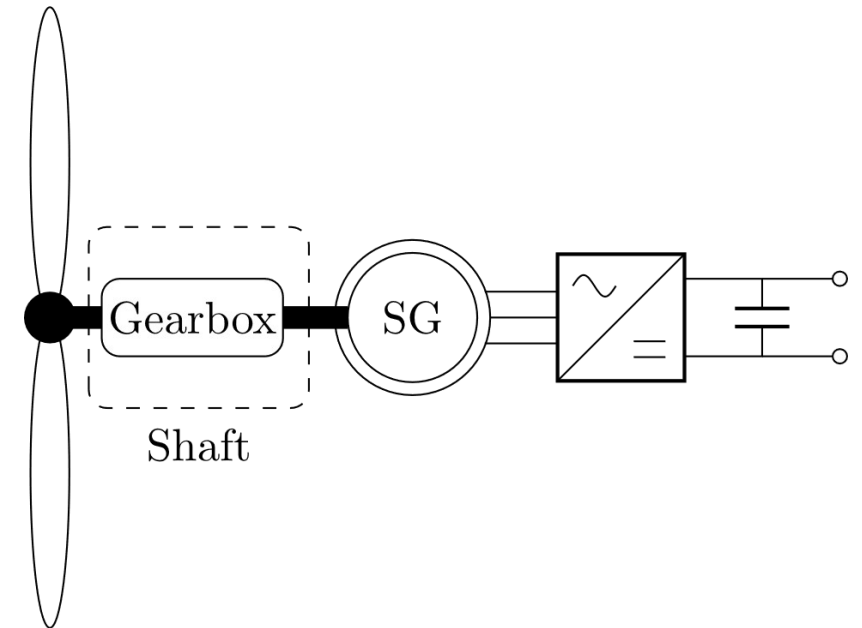
- Einleitung
- Grundlagen
- Modellierung (Windpark, Vorhersage, Marktdaten)
- Ergebnisse
- Optimale Nennleistung des Elektrolyseurs
- Zusammenfassung und Ausblick

Was ist eine DC-Windturbinen?

Type 4 Turbine



Type 4 DC-Turbine



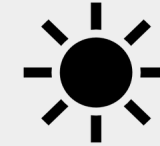
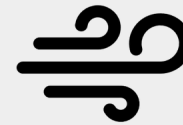
Vorteile von DC

Effizienz



- Geringere Verluste
- Einfache Synchronisierung

Integration von Erneuerbaren



- Erneuerbare Energien sind DC

Gewicht und Kosten



- DC-Geräte sind Kompakt und keine schweren Transformatoren
- Geringerer Leiterquerschnitt

Regelung



- Keine Blindleistungsregelung
- Keine Winkelregelung

Kumar, Dinesh, Firuz Zare, and Arindam Ghosh. "DC microgrid technology: system architectures, AC grid interfaces, grounding schemes, power quality, communication networks, applications, and standardizations aspects." *Ieee Access* 5 (2017): 12230-12256.

Betrieb eines Windparks



Feste Vergütung (bis 2017)

§ EEG 2014:

15 ct./kWh (15 Jahre)

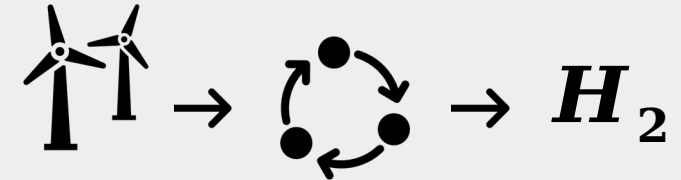


EPEX-Marktteilnahme (seit 2017)

§ WindSeeG 2017:

Day-Ahead Markt Gewinn

Intraday Markt Gewinn



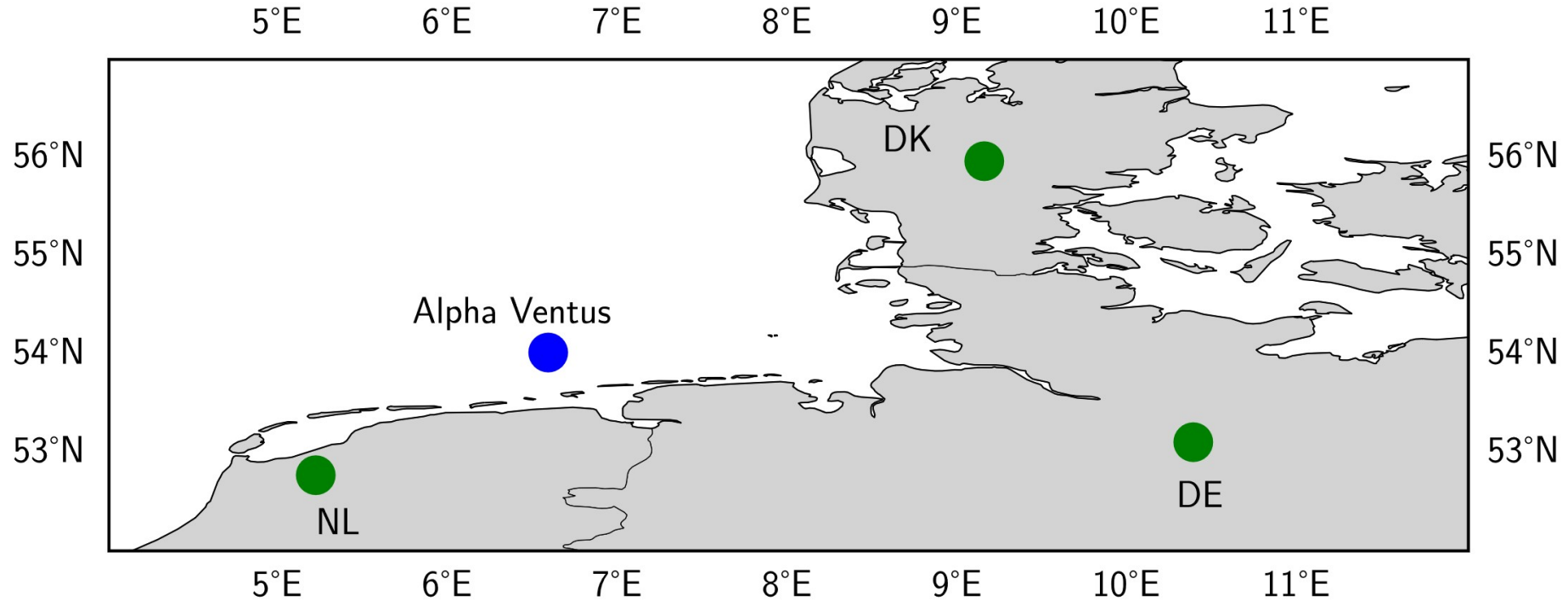
Wasserstoffproduktion

Wie sieht ein mögliches Betriebskonzept aus?

Unter welchen Bedingungen ist H₂ sinnvoll?

Welcher Nennleistung ist nötig?

Windpark Alpha Ventus (1)



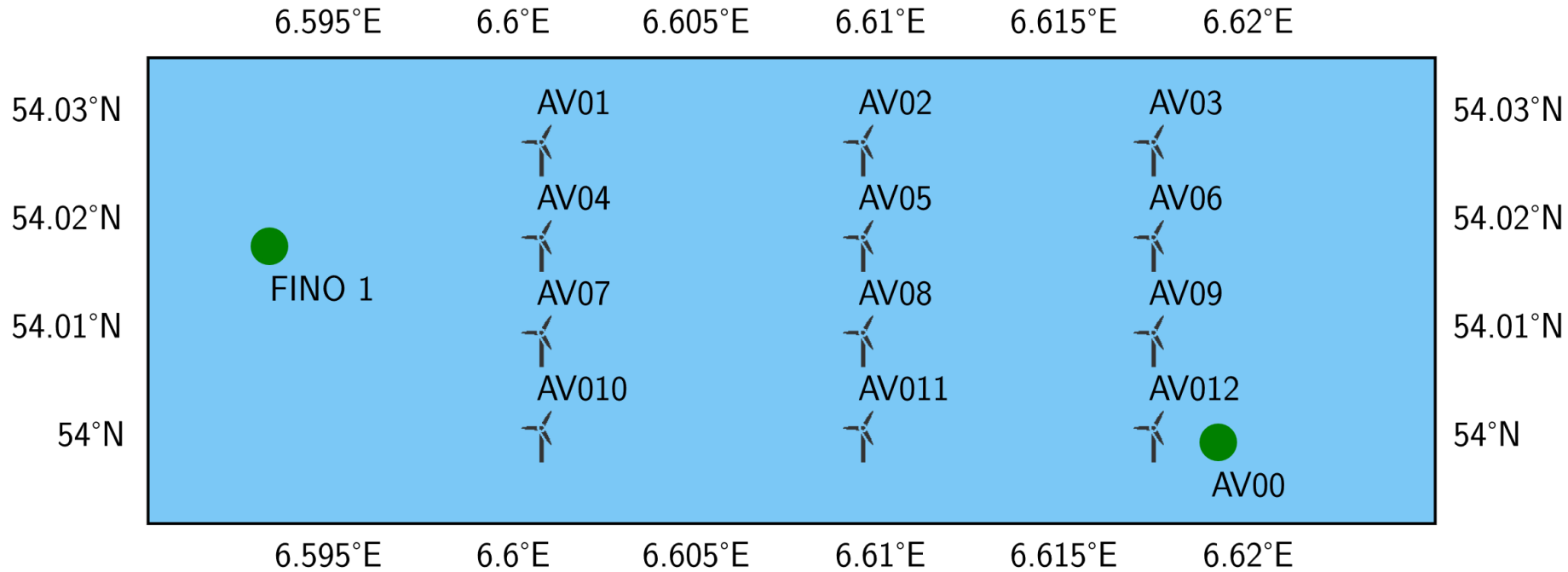
Erster deutscher Windpark, der seit 2010 im Betrieb ist.

Windpark Alpha Ventus (2)



Quelle: <https://www.alpha-ventus.de>

Position der Turbinen von Alpha Ventus



FINO 1
Forschungsplattform

AV00
Landverbindung

AV01-AV06
REpower 5M126 (5MW)


AV07-AV012
Multibird M5000 (5MW)

B. für S. und H. Deutschland, „RAVE Offshoreservice Projekt - Ozeanographische und strukturdynamische Messungen im Offshore Testfeld alpha ventus sowie die Weiterentwicklung von Monitoring-Konzepten für Offshore-Windparks


Struktur der Untersuchung

Vorhersage

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand




ICON-D2




Optional

H_2
5 €/kg –
10 €/kg

EPEX Intraday




Differenz

Angebot

EPEX Day-Ahead

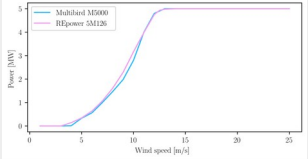
0% - 100%

Messung + Simulation

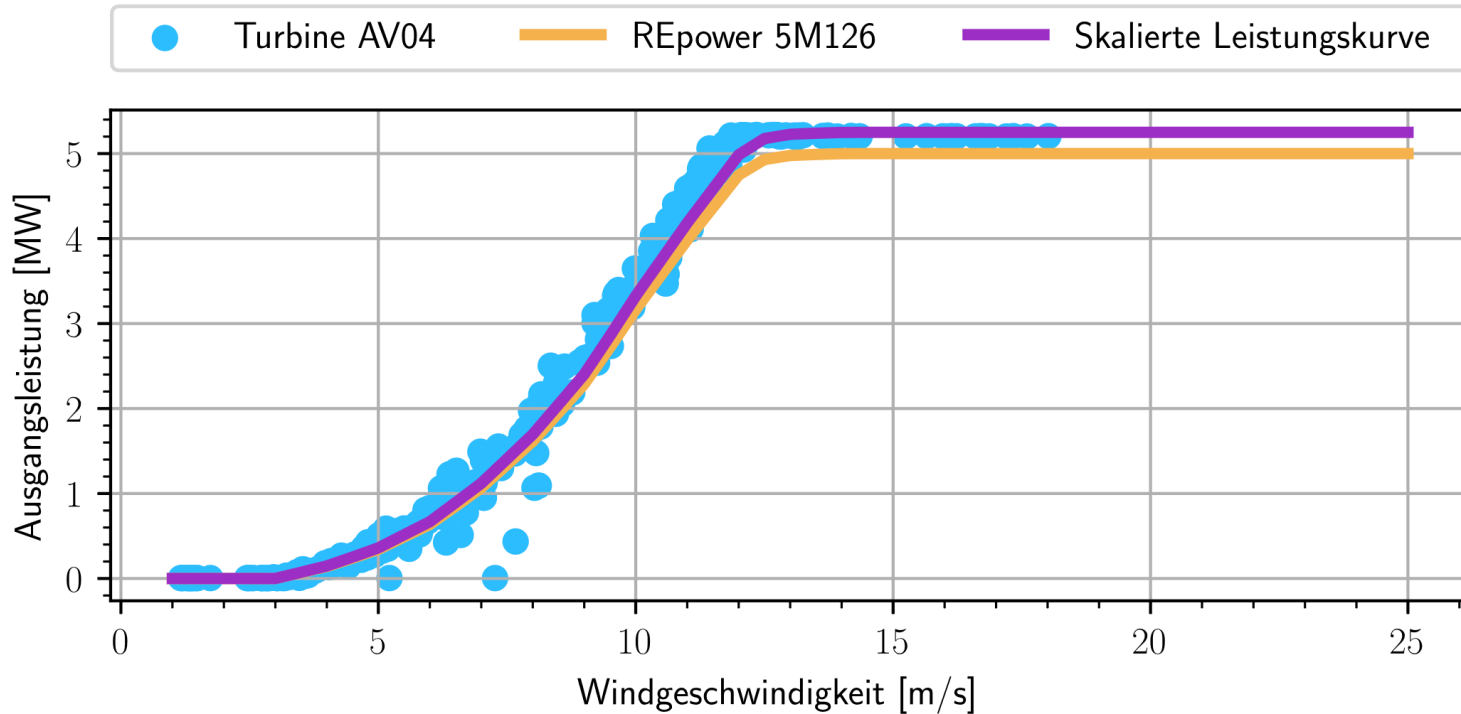


FINO 1


Leistungskurve



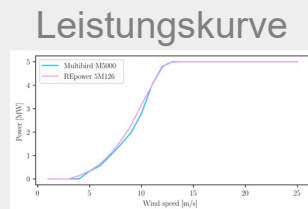

Leistungskurve einer Turbine



Messung + Simulation

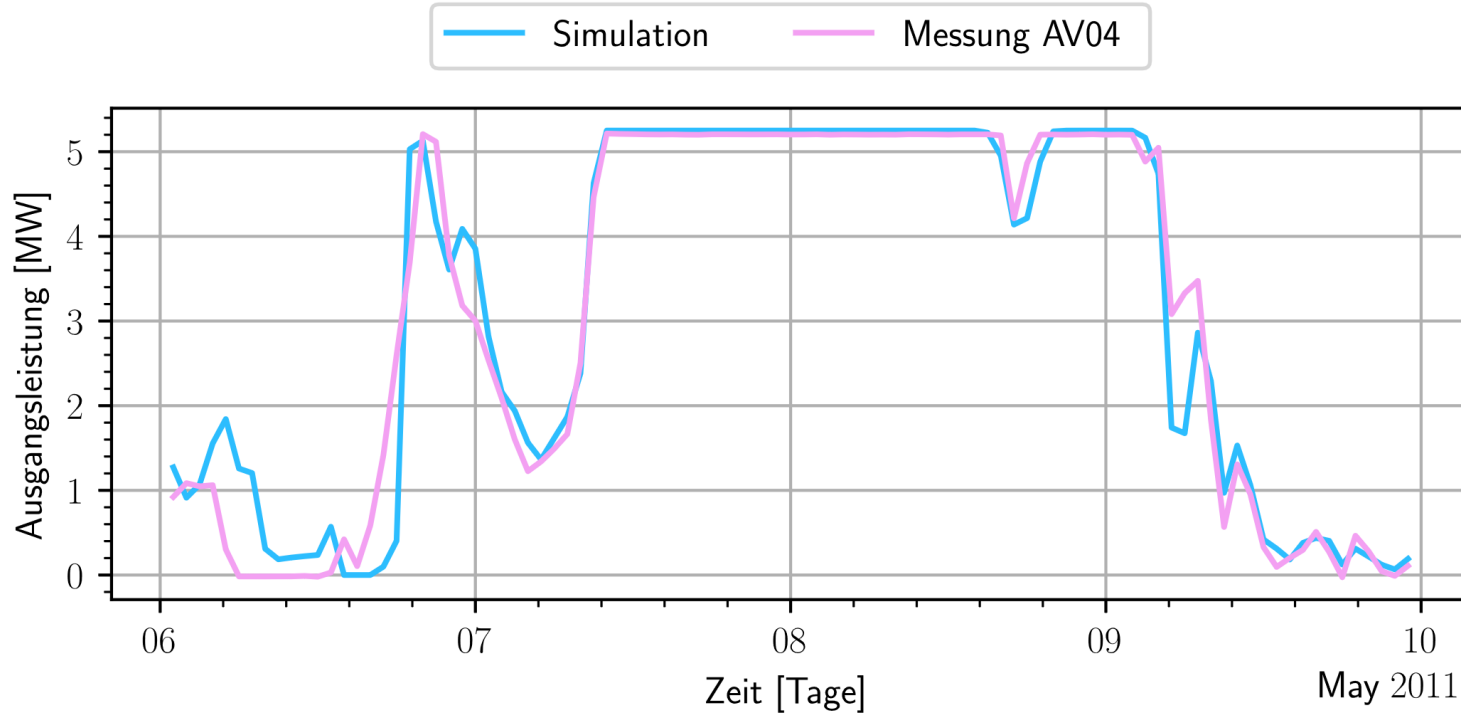


FINO 1




← **Tatsächliche Leistung**

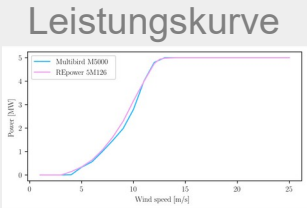
Beispielhafte Simulation der Erzeugung



Messung + Simulation



FINO 1



Leistungskurve

← **Tatsächliche Leistung**


Berechnung der Windvorhersage für den EPEX Markt

Vorhersage

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand

DWD


ICON-D2




Vorhersage für Day-Ahead Markt

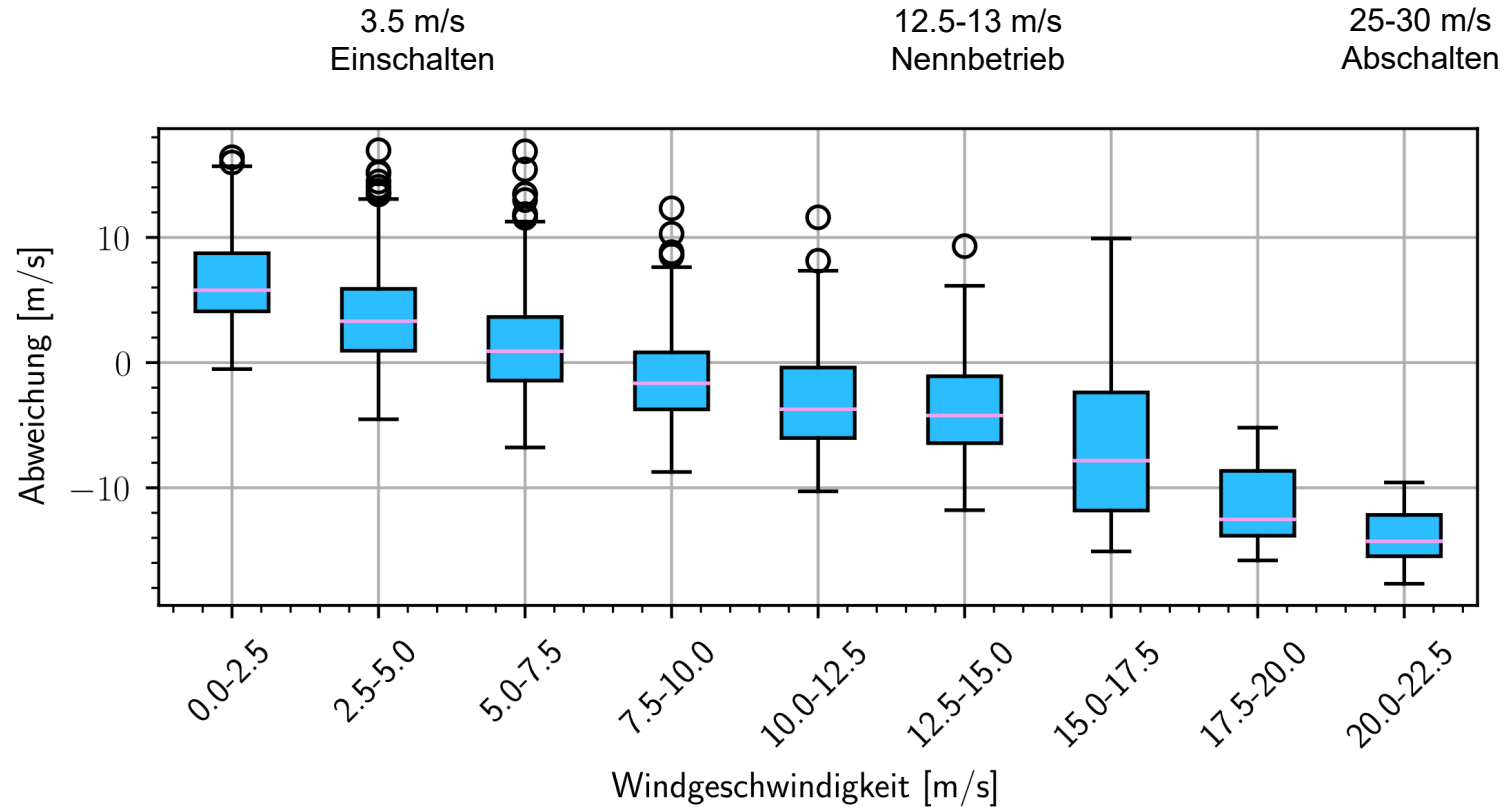
Vorhersage

Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



ICON-D2






Für den Nennleistungsbereich ist die Vorhersage sehr ungenau.


Bei positiver Abweichung ist die Vorhersage höher als die Messung

Kurzfristige Vorhersagegenauigkeit

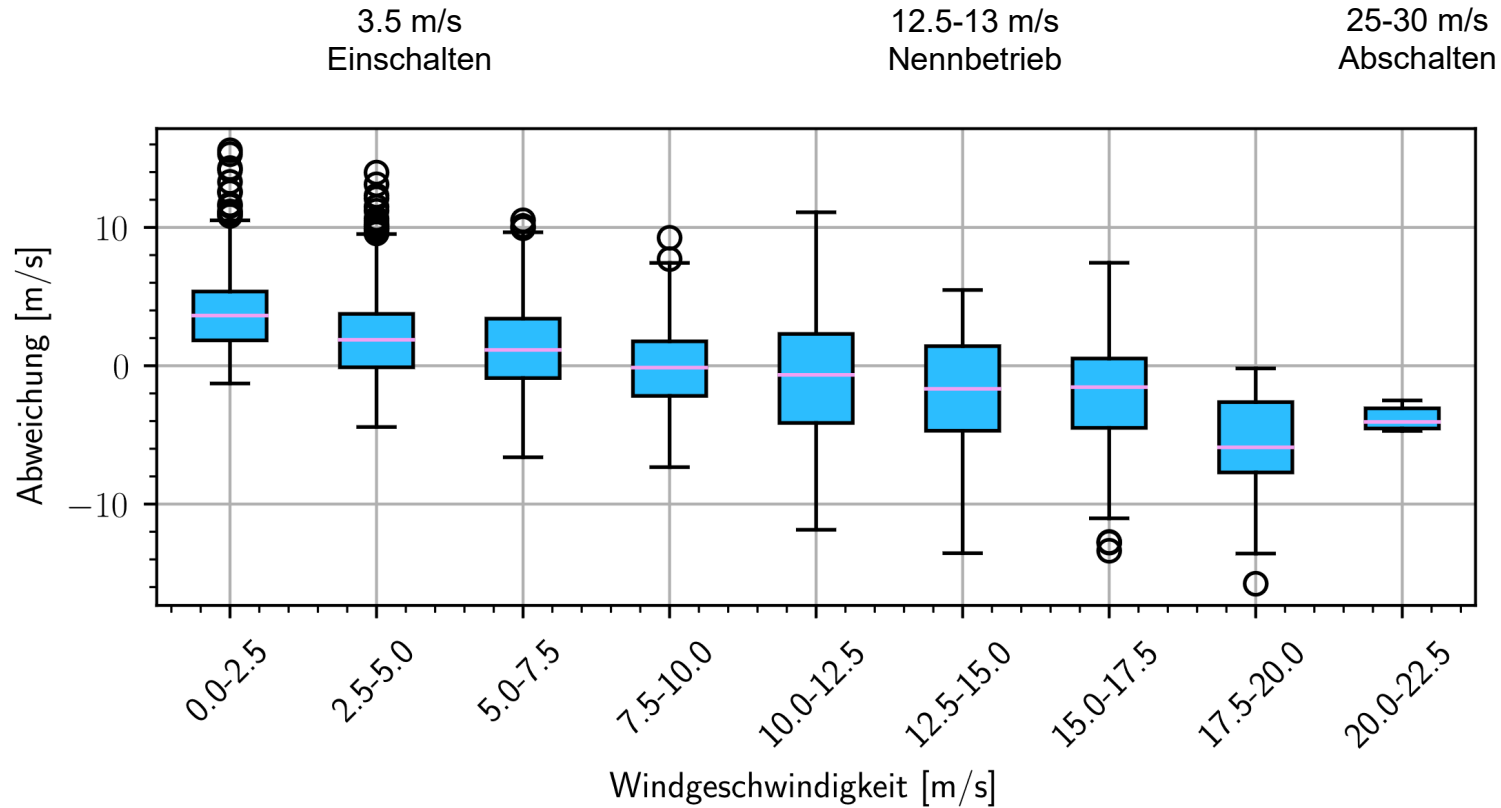
Vorhersage



Deutscher Wetterdienst
Wetter und Klima aus einer Hand



ICON-D2



Die kurzfristige Prognose ist deutlich genauer als die Vorhersage.

Bei positiver Abweichung ist die Vorhersage höher als die Messung

Betrachtete Strategien



Feste Vergütung (bis 2017)

- 15 ct. pro erzeugter kWh

Zeitraum: 15. Mai 2023 bis
30 September 2023

Quelle Marktdaten: EPEX SPOT
Online



Wasserstoffproduktion

MW

- Day-Ahead Marktteilnahme
- Potenzielle Abregelung der Elektrolyse (max. 50%)
- Differenzausgleich über Intraday Markt

= 10 € **= 5 €**

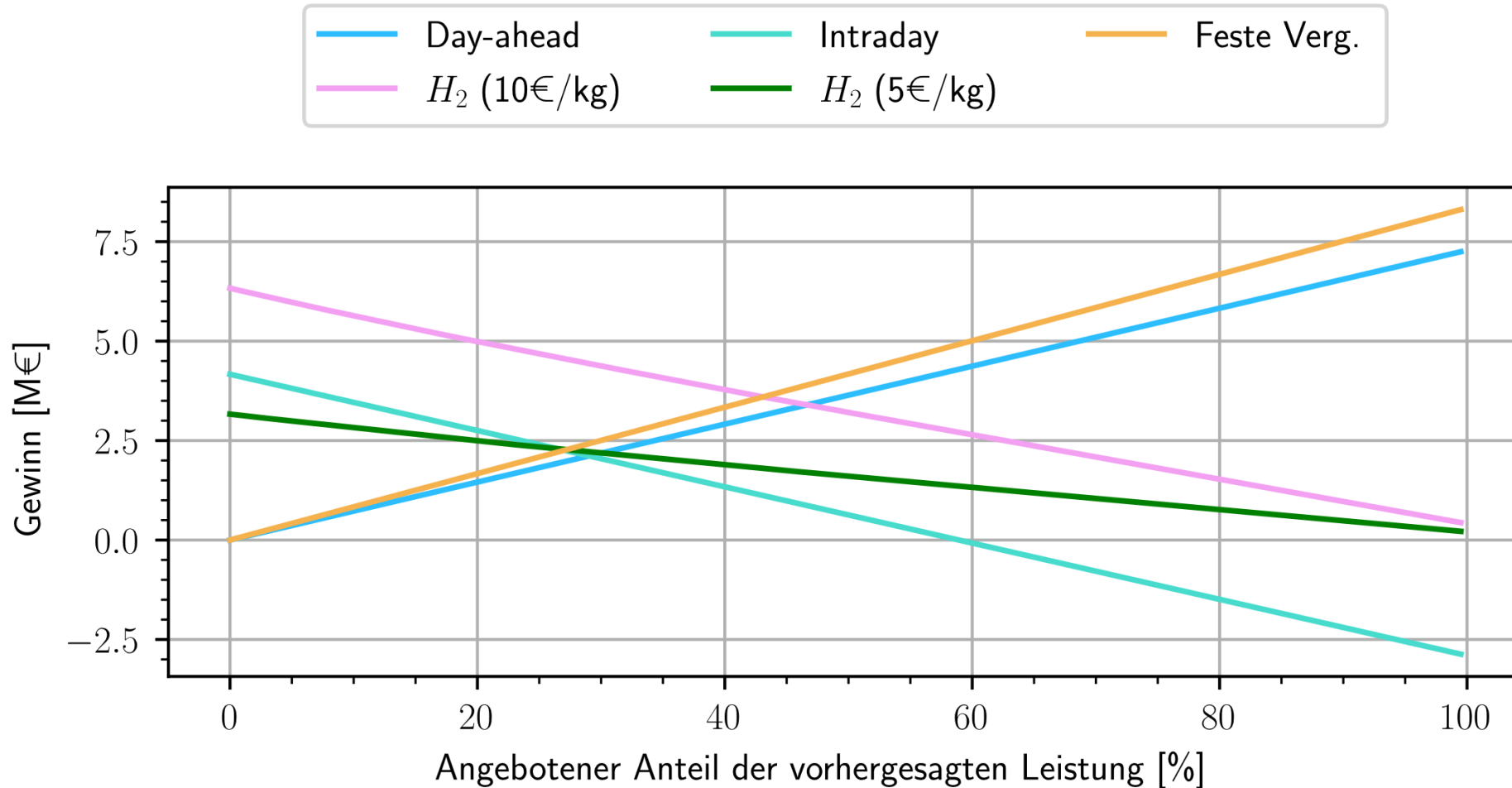
Betriebskosten 94 € pro Stunde



EPEX-Marktteilnahme (seit 2017)

- Day-Ahead Marktteilnahme
- Differenzausgleich über Intraday Markt

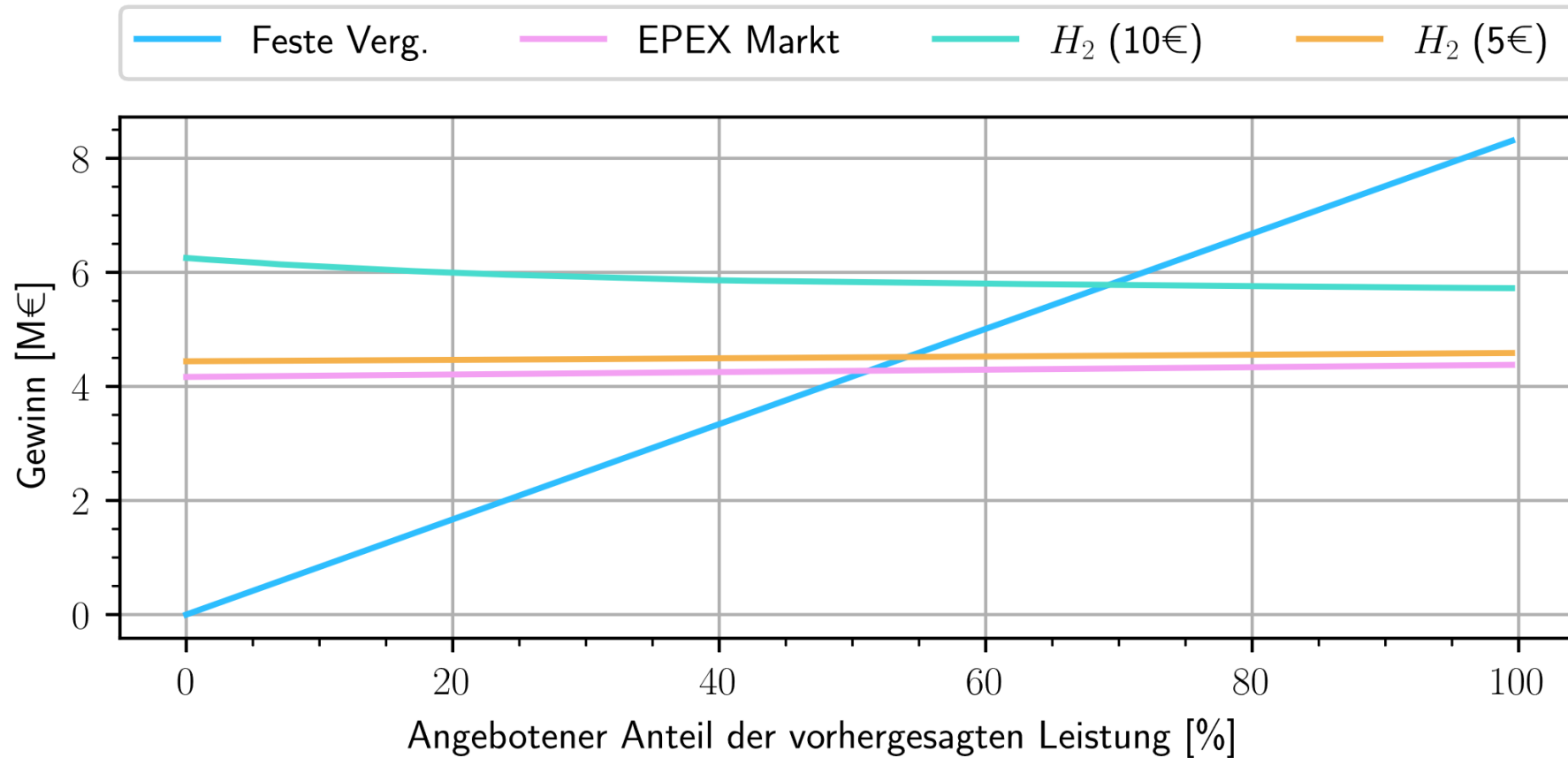
Bestandteile der Strategien



In den Kurven für Wasserstoff und Intraday-Markt ist der Rückkauf von Strom bei Defiziten enthalten.

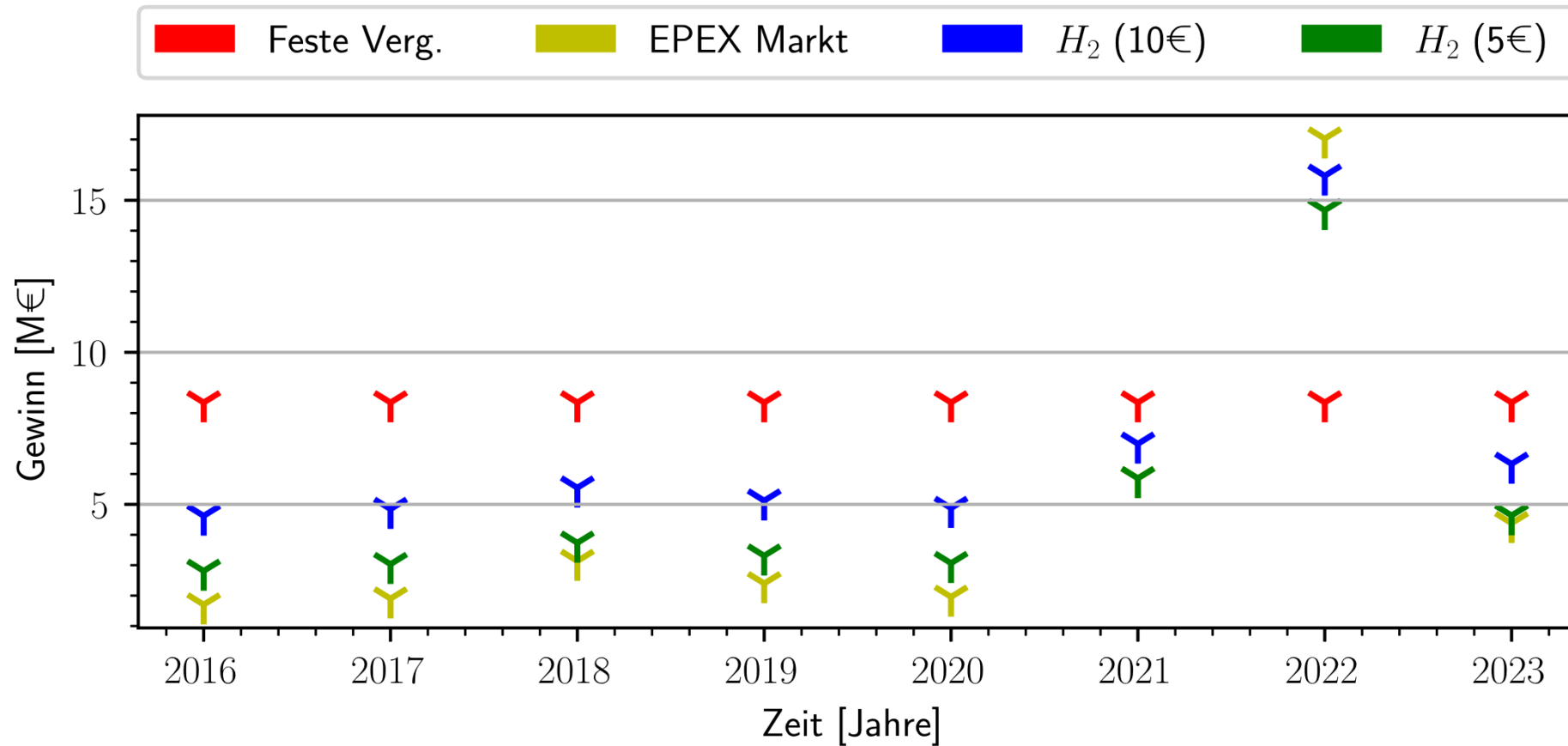
Bei hohen Anteilen angebotener Leistung muss viel Energie am Intraday Markt eingekauft werden.

Gewinn der einzelnen Strategien



Abhängig von dem Wasserstoffpreis kann der Gewinn erhöht werden. Die feste Vergütung liefert den höchsten Gewinn.

Vergleich unterschiedlicher EPEX-Jahre (1)



Abgesehen von den Jahren 2021 und 2022 kann mit den Wasserstoffstrategien mehr Gewinn als am Energiemarkt erzielt werden.

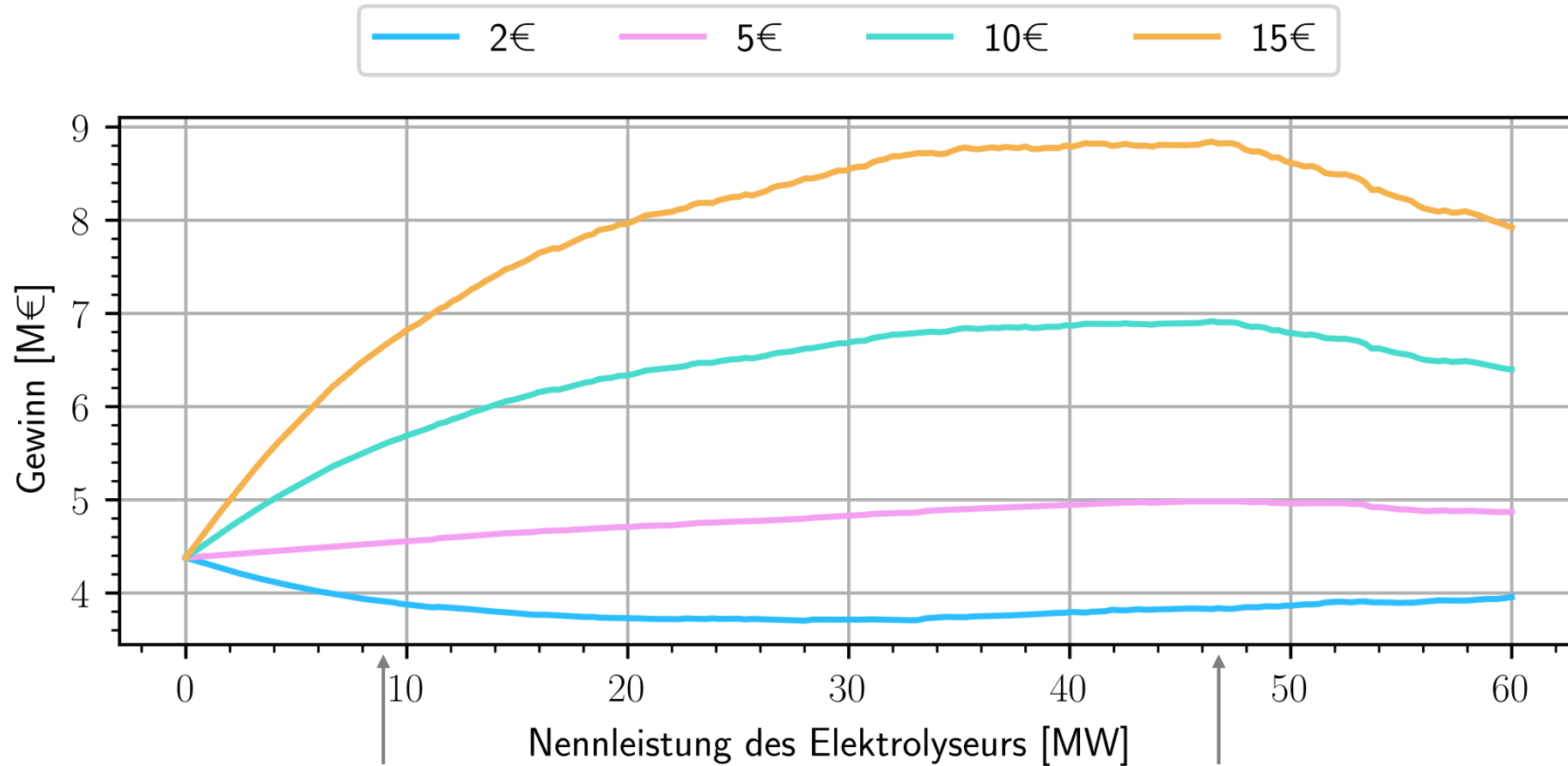
Vergleich unterschiedlicher EPEX-Jahre (2)

Jahr	Feste Vergütung[€]	EPEX Markt [€]	H ₂ (10€) [€]	H ₂ (5€) [€]	Gewinn [%]*
2016	8,348,958	1,703,350	4,622,004	2,810,713.6	65
2017	8,348,958	1,899,393	4,843,761	3,032,470.7	60
2018	8,348,958	3,134,680	5,546,668	3,735,378.1	19
2019	8,348,958	2,399,823	5,121,187	3,309,896.6	38
2020	8,348,958	1,956,584	4,876,188	3,064,898.0	57
2021	8,348,958	5,858,673	6,990,598	5,856,035.3	-0
2022	8,348,958	17,026,089	15,804,423	14,669,859.8	-14
2023	8,348,958	4,379,238	6,329,219	4,634,849.4	6

* Gewinn der H₂ (5 €) Strategie im Vergleich zu der EPEX Markt Strategie

Daten von Folie 19 in
tabellarischer Form

Nennleistung des Elektrolyseurs



8.6 MW
(Gezeigtes Beispiel)

46.6 MW
(Berechnetes Optimum)

Die Herstellungskosten ohne Fundament wurden immer berücksichtigt.

Welcher Nennleistung für Elektrolyse ist nötig?

Wie sieht ein mögliches Betriebskonzept aus?

- Die Integration eines Elektrolyseurs mit 15% der Nennleistung des Parks wird empfohlen. Optimal ist ein Windpark mit 30% mehr Leistung als der Elektrolyseur.

Unter welchen Bedingungen ist H₂ sinnvoll?

- Bei Marktpreisen deutlich unter 5€ ist der Verkauf am Strommarkt wirtschaftlicher.

- DC-Sammelnetze können die AC-Sammelnetzverluste von ca. 2,91% um 61% reduzieren. [1]
- Anpassungen des SoEnergieV-2021 sind sinnvoll, welches die Wasserstoffproduktion in Windparks zur Stromproduktion untersagt.
- Es ist herausfordernd, mit den aktuellen Vorhersagemodellen am Day-Ahead Markt teilzunehmen.

[1] HuipengLi *et al.*, "A Comparison of Energy Efficiency in AC and DC Microgrid with New Energy," *Earth and Environmental Science*, Dec. 2020



Fragen?