

Wind-Solar-Wasserstoff aus Niedersachsen

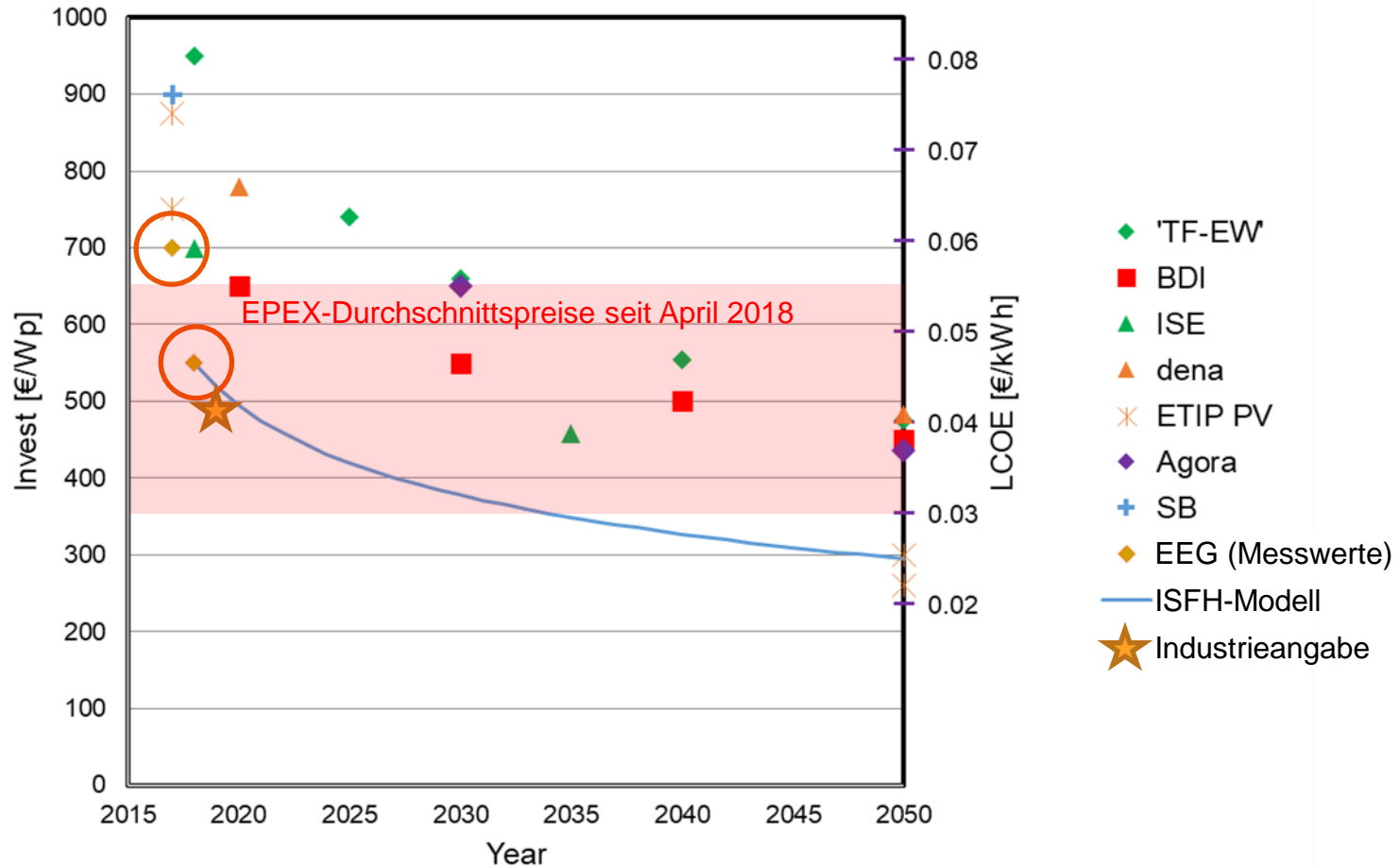
Raphael Niepelt

Institut für Solarenergieforschung Hameln

Rolf Brendel

Institut für Solarenergieforschung Hameln
& Institut für Festkörperphysik
Leibniz Universität Hannover

Weiteres Absinken der Preise für Erneuerbare Energien erwartet (hier: PV)

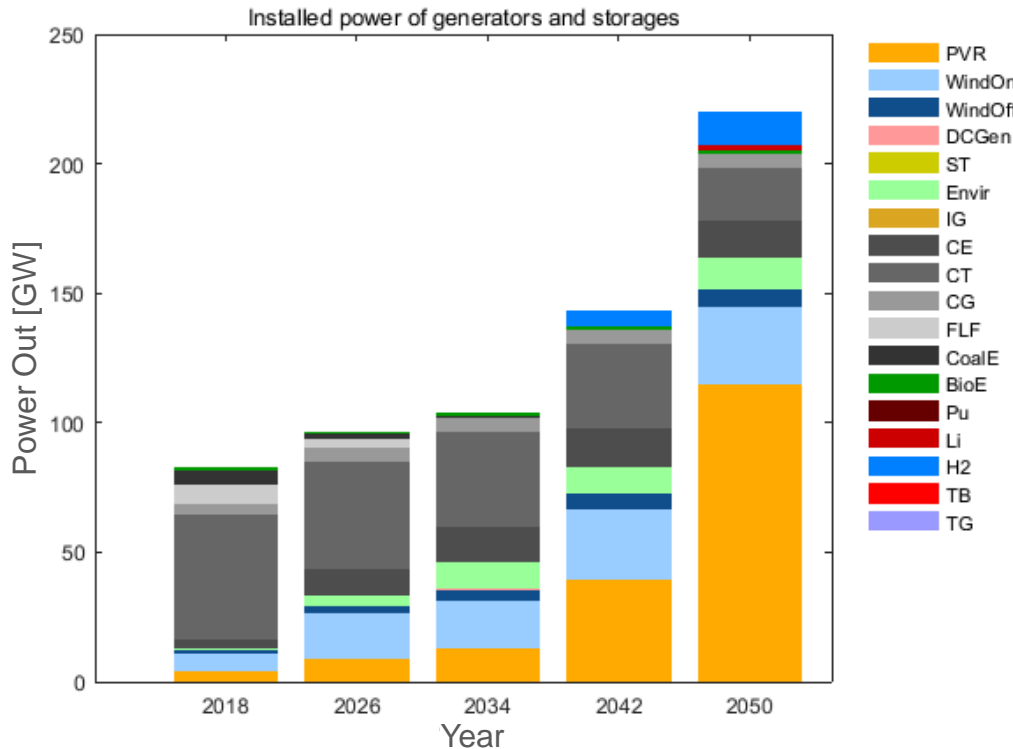


Quelle: eigene Recherche ISFH, Quellen im Anhang zusammengefasst [1]

Wasserstoff im zukünftigen Energiesystem Niedersachsens



Szenario „< 30 GW Onshore-Wind“



- 95% EE-Szenario für Nds. mit limitiertem Windkraft-Ausbau
- 35 GW Ausgangsleistung Elektrolyse allein in Nds.
- 23% des Energieumsatzes gehen über einen H₂-Pfad
- 37% Solarenergie
- Grüner H₂-Import war erlaubt (für 5 €/kg_{H2}), aber wurde vom Optimierer nicht gezogen

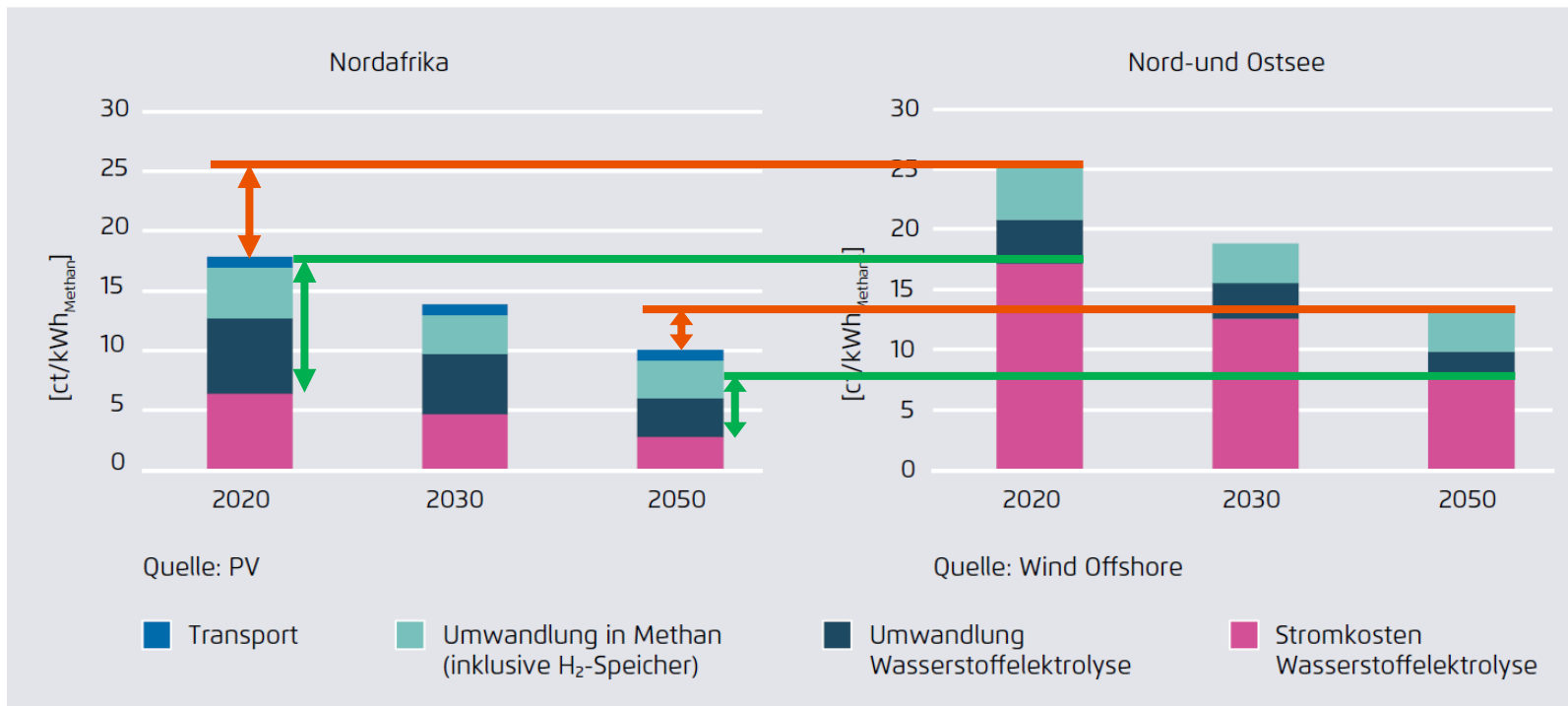
Welche Rolle spielt Solarenergie für die Wasserstoffherstellung?

Kein Import aus Kostengründen?

Synthetische Kraftstoffe – inländisch erzeugen oder importieren?

Vergleich der Erzeugungs- und Transportkosten für synthetisches Methan in Nordafrika (Photovoltaik) und in der Nord- und Ostsee (Offshore-Windkraft) im Referenzszenario (ct_{2017}/kWh_{Methan})

Abbildung 23



Frontier Economics

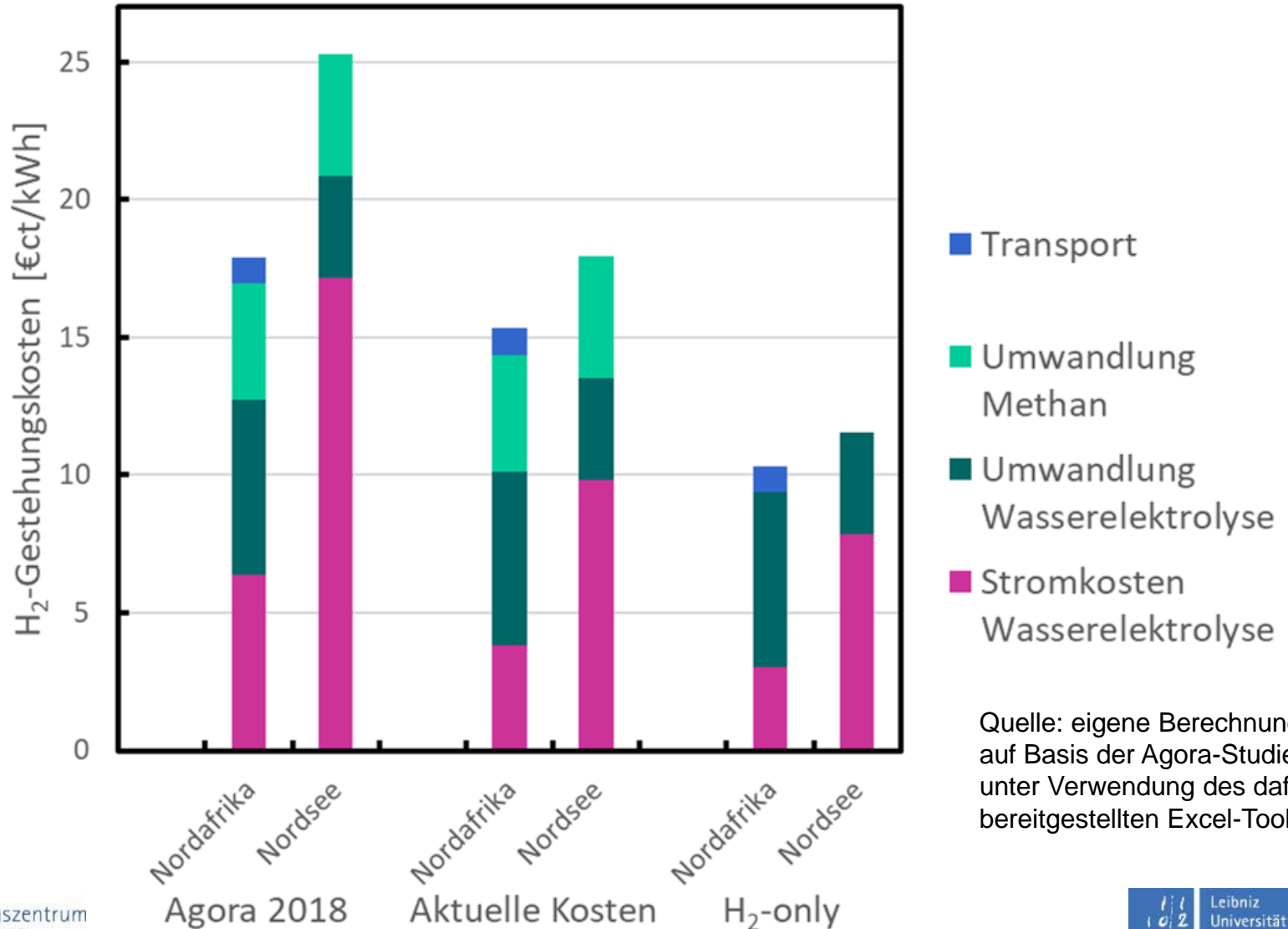
[2] Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe.

Agora-Studie: Investitionen für verschiedene EE-Technologien sehr hoch angenommen



	Investitionen 2020 laut Agora-Studie [€/kW]	Aktuellerer Wert [€/kW]	Datenjahr	Unterschied	Quelle
Photovoltaik	908	490	2019	-46%	EEG- Erfahrungs- bericht und ITRPV [1]
Wind Onshore	1526	1271 - 1521	2017	-17% - 0,3%	EEG- Erfahrungs- bericht [3]
Wind Offshore	2800	1600	2018	-43%	WindEurope [4]

Einfluss günstigerer EE-Gestehungskosten: weniger Unterschiede im H₂-Preis

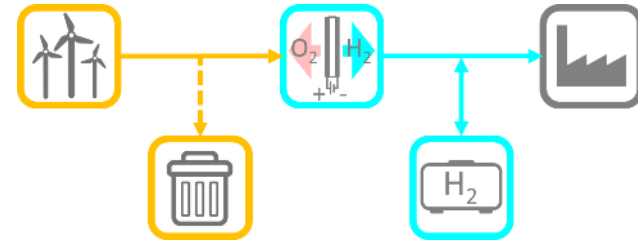


Quelle: eigene Berechnungen auf Basis der Agora-Studie unter Verwendung des dafür bereitgestellten Excel-Tools [2]

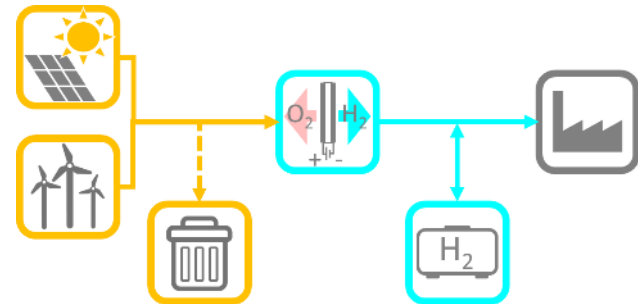
1. Erneuerbare Energie wird weltweit immer günstiger. Unterschiede in den Gestehungskosten werden deswegen kleiner und sind kein No-Go für eine Wasserstoffproduktion in Niedersachsen.

Gesucht: Kostengünstiges System für grünen Wasserstoff für großen Verbraucher

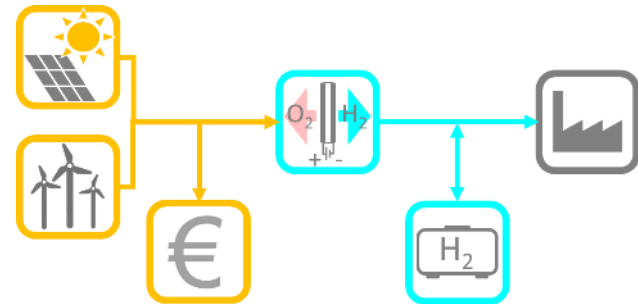
1. Wind-Wasserstoff



2. Wind-Solar-Wasserstoff

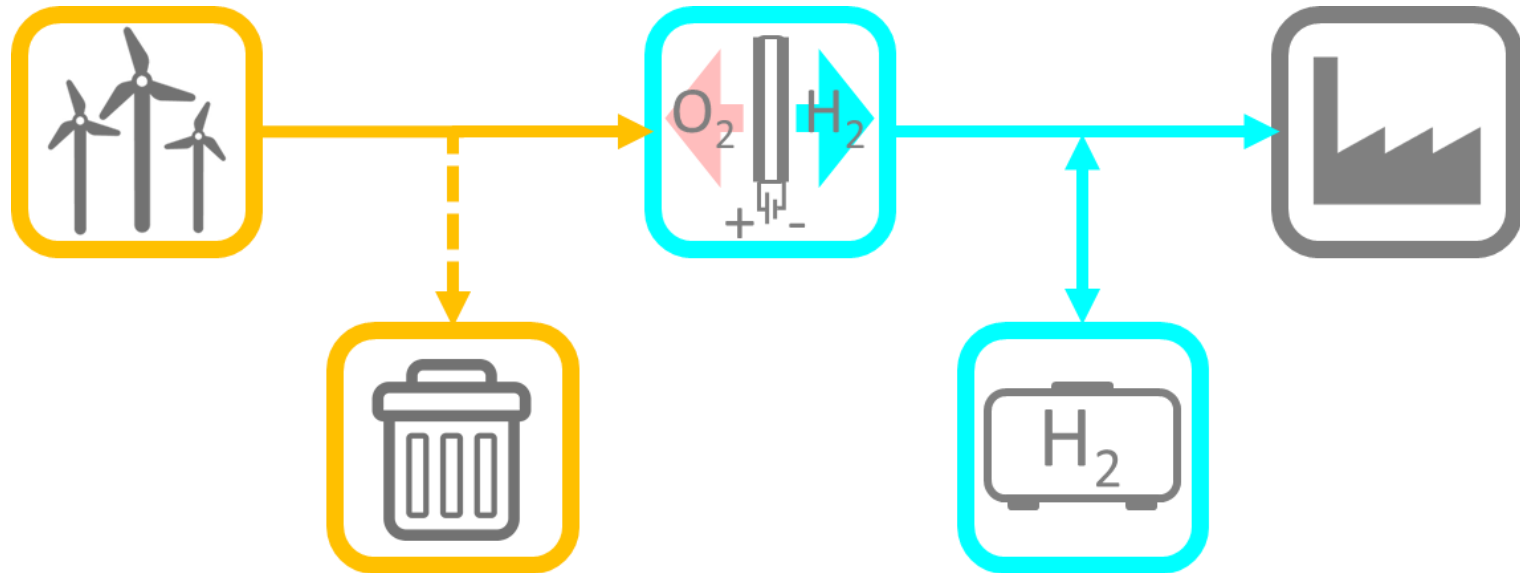


3. Wind-Solar-Wasserstoff mit Verwertung von Überschussstrom



EE-Icons: © Tobias Ohrdes (ISFH)

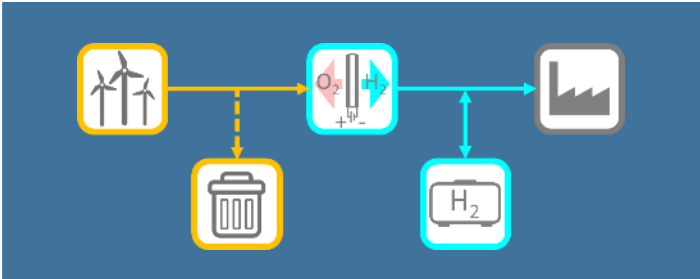
1. Wind-Wasserstoff



Input:
Wasserstoffbedarf (z.B. 200 kt/a für SALCOS)
3 Wetterjahre (SZ-Watenstedt 2013-2015) [5]
Technische Parameter aktueller Komponenten
Preismodell für PV, Wind und Elektrolyse [1,3,6]

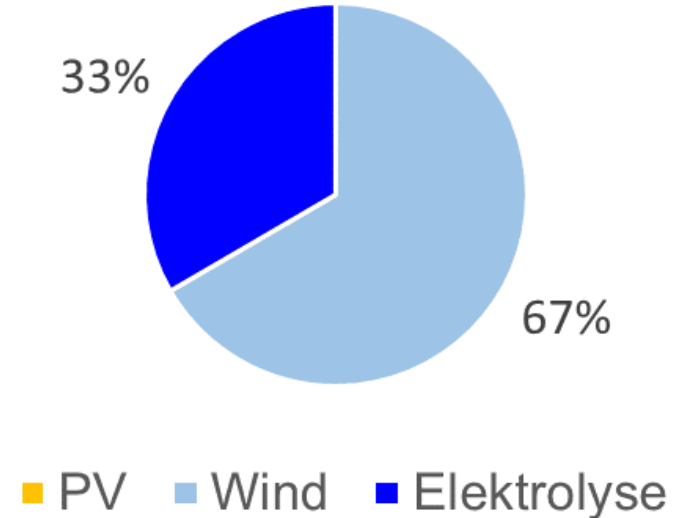
Output:
Kostenoptimierte Installation
Direkte EE-Nutzung vs. Abreglung
Volllaststunden der Elektrolyse
„Wasserstoffpreis“ in €/kg

Wind-Wasserstoff: Simulationsergebnisse für morgen

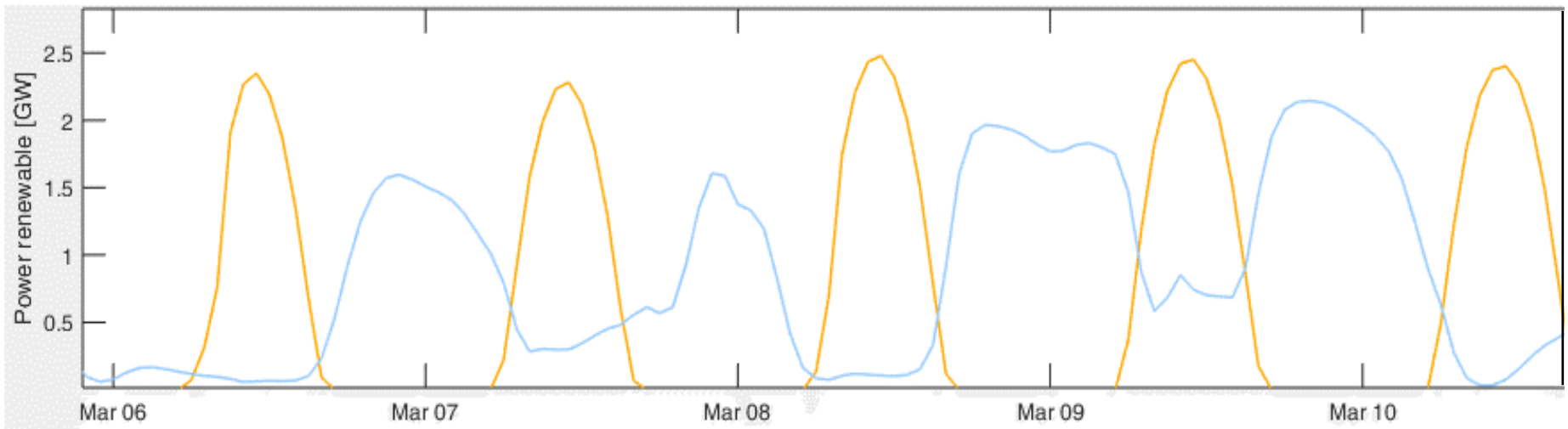


Installationsjahr	2025
Windleistung [GW]	3.71
Elektrolyseleistung [GW]	1.63
Volllaststunden Elektrolyse [h/a]	4909
EE-Nutzungsgrad [%]	91.4
Wasserstoffpreis [€/kg]	3.32

Kostenanteile für 2025

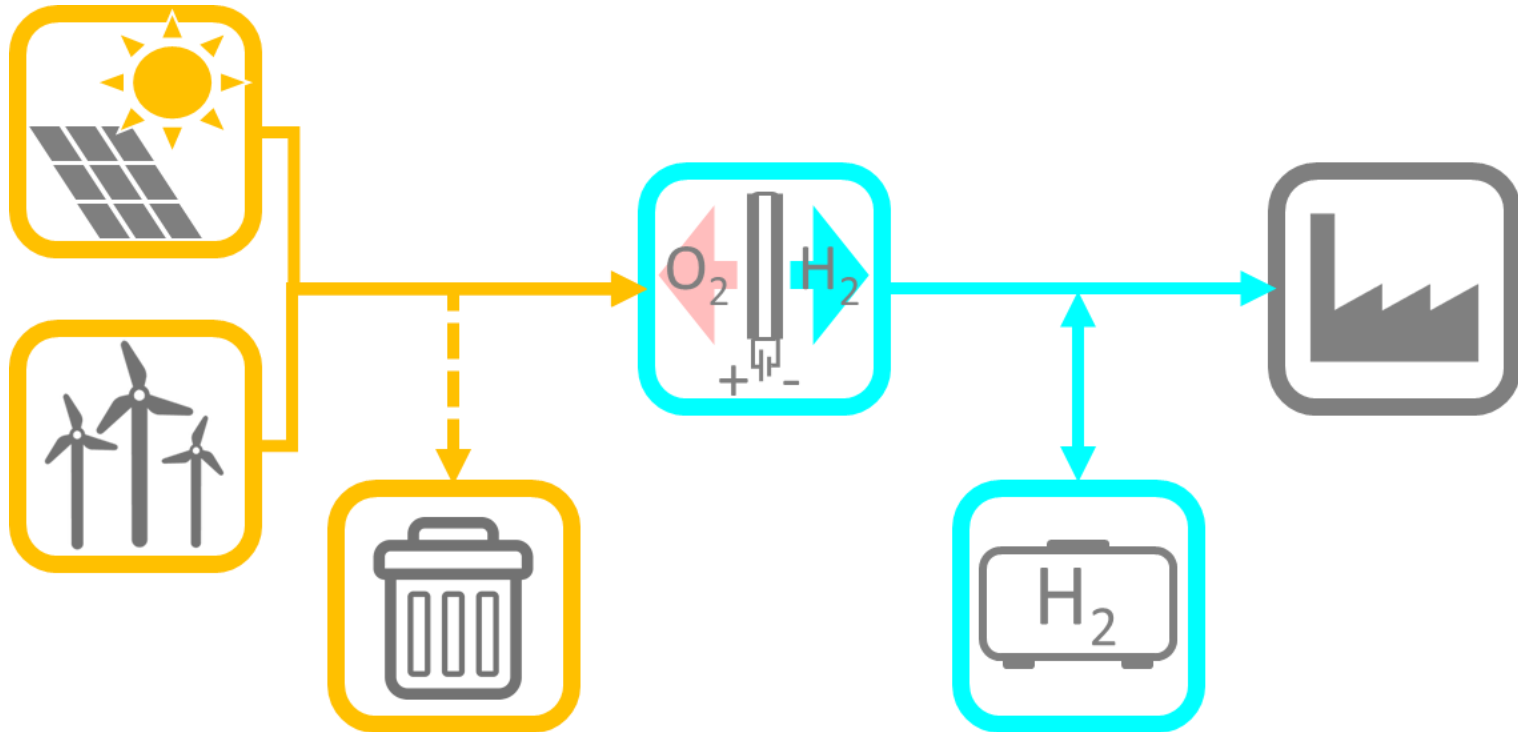


Wie passt die Sonne dazu?

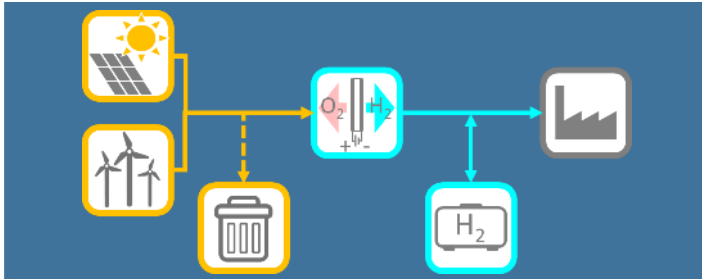


- Nicht jede Woche sieht so aus, aber die Spitzenleistungen von Wind und PV sind in der Regel antikorreliert

2. Wind-Solar-Wasserstoff

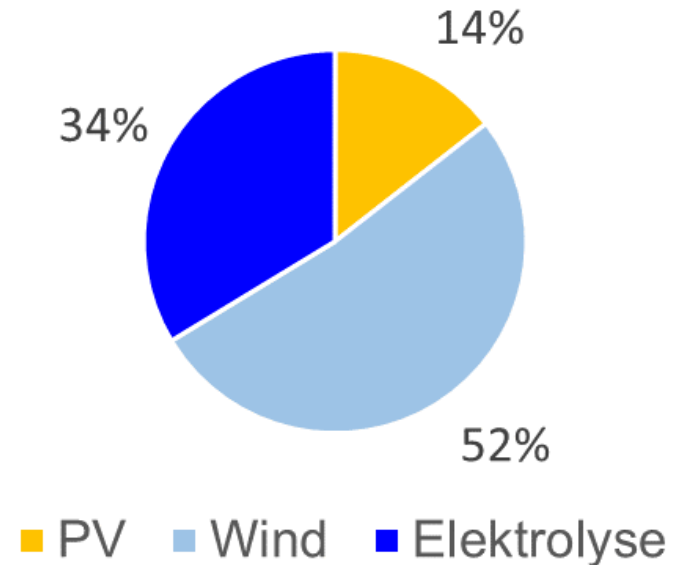


Wind-Solar-Wasserstoff: Mit der Sonne wird es preiswerter

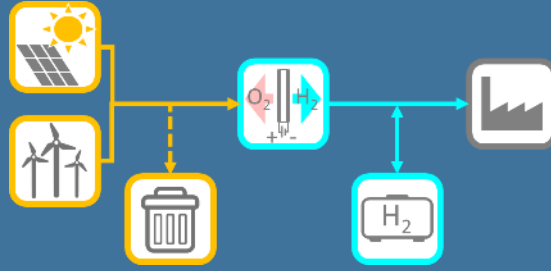


Installationsjahr	2025
Photovoltaikleistung [GW]	2.97
Windleistung [GW]	2.63 (- 29%)
Elektrolyseleistung [GW]	1.50 (- 8%)
Betriebsstunden Elektrolyse [h/a]	5332 (+ 9%)
EE-Nutzungsgrad [%]	91.5 (± 0%)
Wasserstoffpreis [€/kg]	3.03 (- 9%)

Kostenanteile für 2025



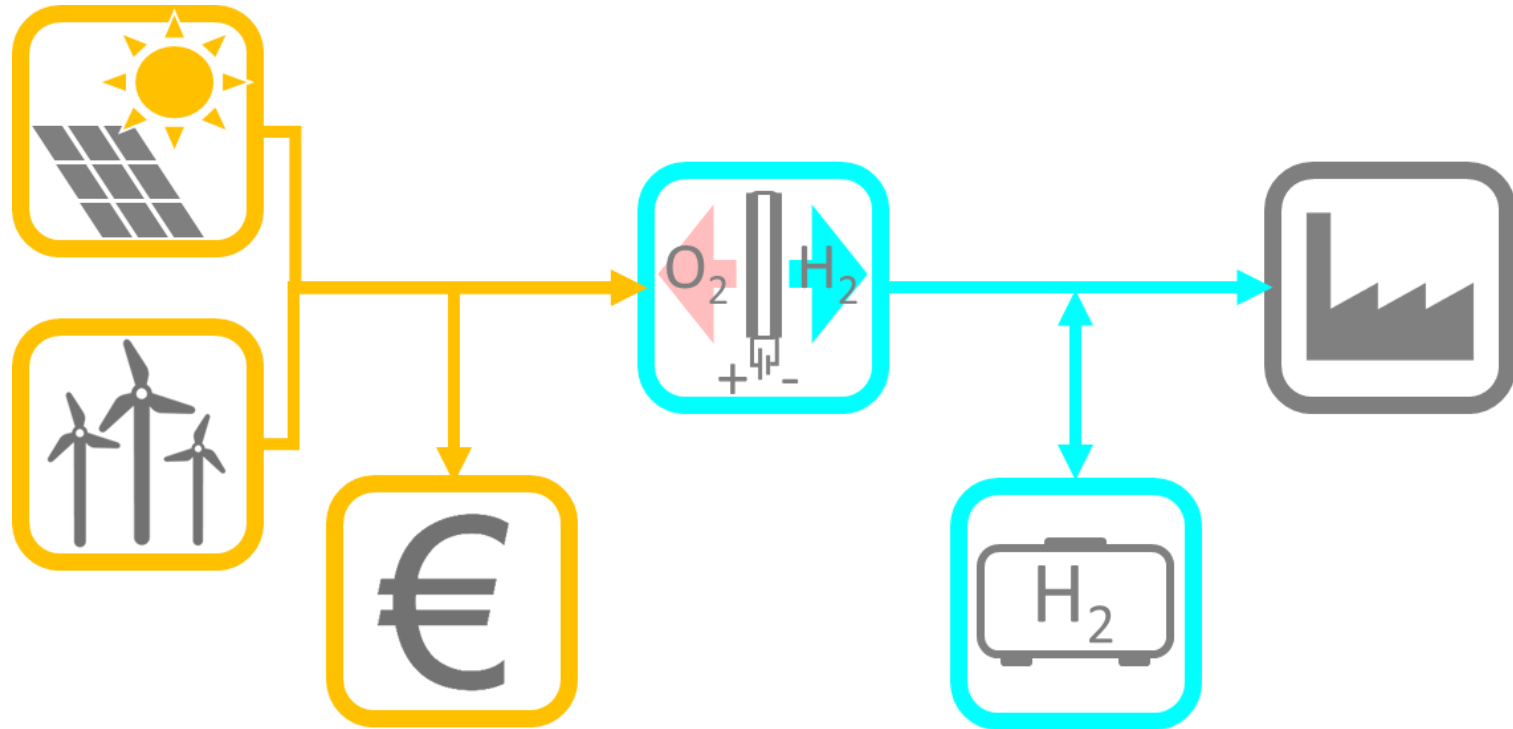
Wind-Solar-Wasserstoff: Mit der Sonne wird es preiswerter



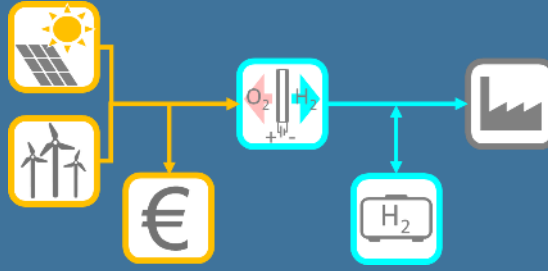
Installationsjahr	2025	2050
Photovoltaikleistung [GW]	2.97	3.83
Windleistung [GW]	2.63	2.17
Elektrolyseleistung [GW]	1.50	1.90
Betriebsstunden Elektrolyse [h/a]	5332	4218
EE-Nutzungsgrad [%]	91.5	95.4
Wasserstoffpreis [€/kg]	3.03	1.76

- Weitere EE-Preisreduktionen schlagen auf den Wasserstoffpreis durch
- Vorhersagen bis 2050 sind mit Vorsicht zu betrachten
- Hier angenommene Preisreduktionen von 2025 bis 2050:
 - 29% für PV [1]
 - 25% für Wind [3]
 - 71% für Elektrolyse [6]

3. Wind-Solar-Wasserstoff mit Verwertung von Überschussstrom



Wind-Solar-Wasserstoff: Kaum Einfluss der Überschussstromverwertung für 2025



Überschussstrom-Vergütung [ct _€ /kWh]	0	1	2
Photovoltaikleistung [GW]	2.97	3.33	4.20
Windleistung [GW]	2.63	2.64	2.72
Elektrolyseleistung [GW]	1.50	1.43	1.32
Betriebsstunden Elektrolyse [h/a]	5332	5587	6075
EE-Nutzungsgrad für H ₂ [%]	91.5	88.2	80.2
Wasserstoffpreis [€/kg]	3.03	2.97	2.88

- Die Vergütung von Überschuss-Strom hat eine geringe Auswirkung auf die Wasserstoff-Gestehungskosten

2. Wind-Solar-Wasserstoff ist für die Produktion von grünem Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien in Niedersachsen die günstigste Option, da gegenüber Wind-Wasserstoff etwa 10% der Herstellungskosten eingespart werden können.

Ausblick: Operation „Silver Frog“ – Wind-Solar-Wasserstoff in Europa



Operation „Silver Frog“: Hochmoderne 2-Gigawatt-Photovoltaik-Produktion für grünen Wasserstoff in Europa

Auf einer Konferenz in Brüssel haben mehrere europäische Unternehmen einen gemeinsamen IPCEI-Vorschlag vorgelegt. Die Module aus der Produktion sollen gemeinsam mit Windkraft die Herstellung von 100 Prozent grünem Wasserstoff sicherstellen, der dann von der Schwerindustrie genutzt werden soll.

10. OKTOBER 2019 SANDRA ENKHARDT

HIGHLIGHTS DER WOCHE MÄRKTE DÄNEMARK DEUTSCHLAND EUROPA UNGARN

[pv magazine, 15.10.2019](#)

- Vorstellung des Projektes im Oktober 2019
- Konsortium aus Hydrogenics (H₂-Elektrolyse), European Energy (Wind- und PV-Projektierer), Meyer-Burger (PV-Produktionstechnologie), Ecosolifer (PV-Modulhersteller)
- Soll als IPCEI (Wichtiges Projekt von gemeinsamen europäischen Interesse, deswegen beihilfeberechtigt) platziert werden

Vielen Dank an unsere Förderer und Forschungspartner und Ihnen für Ihre Aufmerksamkeit!



DE



EUR



World



Niedersachsen



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie



ZUSE-GEMEINSCHAFT
FORSCHUNG, DIE ANKOMMT.

Fazit: Zwei Thesen zur Herstellung von grünem Wasserstoff in Niedersachsen



1. Erneuerbare Energie wird weltweit immer günstiger. Unterschiede in den Gestehungskosten werden deswegen kleiner und sind kein No-Go für eine Wasserstoffproduktion in Niedersachsen.
2. Wind-Solar-Wasserstoff ist für die Produktion von grünem Wasserstoff aus Erneuerbaren Energien in Niedersachsen die günstigste Option, da gegenüber Wind-Wasserstoff etwa 10% der Herstellungskosten eingespart werden können.

Anhang

Modellparameter für die Modelljahre 2025 und 2050



Modelljahr	2025	2050
Investitionsausgaben Photovoltaik	419 €/kW	297 €/kW
Betriebskosten Photovoltaik	8.39 €/(kW·a)	5.94 €/(kW·a)
Lebensdauer Photovoltaik	25 a	25 a
Investitionsausgaben Windkraft	1327 €/kW	1000 €/kW
Betriebskosten Windkraft	39.80 €/(kW·a)	30.00 €/(kW·a)
Lebensdauer Windkraft	20 a	20 a
Investitionsausgaben Elektrolyse	1624 €/kW	479 €/kW
Betriebskosten Elektrolyse	64.97 €/(kW·a)	19.15 €/(kW·a)
Lebensdauer Elektrolyse	30 a	30 a
Umwandlungseffizienz Elektrolyse	75%	75%
Kosten für Wasserstoffspeicher	0 €/kWh	0 €/kWh
Speichereffizienz	100%	100%
Erforderliche Kapitalrendite	2.1%	2.1%

- [1] ISFH-Preismodell für PV, bisher unveröffentlicht, auf Anfrage unter niepelt@isfh.de. Erstellt unter Berücksichtigung von:
- Fischer, M. (2019): International Technology Roadmap for Photovoltaic (ITRPV). 2018 Results. 10. Aufl. SEMI, 2019, www.itrpv.net.
- Fu, R.; Feldman, D.; Margolis, R.: U.S. Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018. National Renewable Energy Laboratory. Golden, CO (NREL/TP-6A20-72399).
- Gerbert, P.; Herhold, P.; Burchardt, J.; Schönberger, S.; Rechenmacher, F.; Kirchner, A. et al.: Klimapfade für Deutschland. The Boston Consulting Group; Prognos; BDI. Berlin.
<https://bdi.eu/media/publikationen/?topic=Energie%20und%20Klima#/publikation/news/klimapfade-fuer-deutschland/>.
- Jäger-Waldau, A. (2017): PV Status Report. Publications Office of the European Union. Luxembourg (JRC108105).
- Trancik, J.; Brown, P.; Jean, J.; Kavлак, G.; Klemun, M.; Edwards, M. et al. (2015): Technology improvement and emissions reductions as mutually reinforcing efforts: Observations from the global development of solar and wind energy. MIT Energy Initiative, Cambridge, 2015.
- Kavлак, G.; McNerney, J.; Trancik, J. (2018): Evaluating the causes of cost reduction in photovoltaic modules. Energy Policy 123, pp. 700–710. DOI: 10.1016/j.enpol.2018.08.015.
- Kelm, T.; Metzger, J.; Jachmann, H.; Günnewig, D.; Püschel, M.; Schicketanz, S. et al. (2018): Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz. Teilvorhaben II c: Solare Strahlungsenergie. ZSW Baden-Württemberg, Stuttgart, 2018. https://www.erneuerbare-energien.de/EE/Redaktion/DE/Downloads/bmwi_de/bericht-eeg-4-solar.pdf?blob=publicationFile&v=4.
- Kost, C.; Shammugam, S.; Jülch, V.; Nguyen, H.-T.; Schlegl, T. (2018): Stromgestehungskosten erneuerbare Energien. März 2018. 2. Aufl., Fraunhofer Institut für solare Energiesysteme ISE, Freiburg, 2018.
- Kruse, J.; Hennes, O.; Wildgrube, T.; Lencz, D.; Hintermayer, M.; Gierkink, M. et al. (2018): dena-Leitstudie Integrierte Energiewende. Impulse für die Gestaltung des Energiesystems bis 2050. dena und ewi Energy Research & Scenarios gGmbH, Berlin, 2018.
- Matthes, F.; Heinemann, C.; Ludig, S. (2017): Erneuerbare vs. fossile Stromsysteme: ein Kostenvergleich. Stromwelten 2050 – Analyse von Erneuerbaren, kohle- und gasbasierten Elektrizitätssysteme, Agora Energiewende, Öko-Institut e.V. Berlin (105/02-A-2017/DE).
- Philipps, S. P.; Bett, A. W.; Rau, B.; Schlatmann, R. (2017) Technologiebericht 1.3 Photovoltaik innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende. Wuppertal Institut für Klima, Umwelt, Energie. Wuppertal, Karlsruhe, Saarbrücken, 2017
https://epub.wupperinst.org/files/7043/7043_Photovoltaik.pdf.
- Richter, M. (2017). LCOE-Tool Solar Bankability Horizon 2020 project. Version 2017-03-17. <http://www.solarbankability.org/home.html>.
- Vartiainen, E.; Masson, G.; Breyer, C. (2017): The True Competitiveness of Solar PV. A European Case Study. European PV Technology and Innovation Platform Steering Committee PV LCOE and Competitiveness Working Group. Brussels, 2017.

- [2] Agora Verkehrswende, Agora Energiewende und Frontier Economics (2018): Die zukünftigen Kosten strombasierter synthetischer Brennstoffe. Volltext und Excel-Tool für eigene Rechnungen unter <https://www.agora-energiewende.de/veroeffentlichungen/die-zukuenftigen-kosten-strombasierter-synthetischer-brennstoffe/>.
- [3] Wind-Onshore-Preismodell: Lineare Interpolation zwischen heutigem Mittelwert und Ziewert für 2015. Wallasch, A.-K.; Lüers, S.; Rehfeldt, K.; Vogelsang, K. und Jachmann, H. (2018). Vorbereitung und Begleitung bei der Erstellung eines Erfahrungsberichts gemäß § 97 Erneuerbare-Energien-Gesetz Teilvorhaben II e): Wind an Land, Varel, 2018. 285 p.
Hahn, B.; Callies, D.; Faulstich, S.; Freier, J. und Siebenlist, D. (2017). Technologiebericht 1.6 Windenergie mit Exkurs Meeresenergie innerhalb des Forschungsprojekts TF_Energiewende, Wuppertal, 2017, https://epub.wupperinst.org/files/7046/7046_Windenergie.pdf.
- [4] Wind-Offshore-Preisentwicklung: WindEurope (2019). Financing and investment trends - The European wind industry in 2018, <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/about-wind/reports/Financing-and-Investment-Trends-2018.pdf>.
- [5] Wind- und Solarprofile über <https://www.renewables.ninja/>:
Pfenninger, Stefan und Staffell, Iain (2016). Long-term patterns of European PV output using 30 years of validated hourly reanalysis and satellite data. Energy 114, pp. 1251-1265. doi: 10.1016/j.energy.2016.08.060
Staffell, Iain und Pfenninger, Stefan (2016). Using Bias-Corrected Reanalysis to Simulate Current and Future Wind Power Output. Energy 114, pp. 1224-1239. doi: 10.1016/j.energy.2016.08.068
Gewählte Parameter: Standort SZ-Watenstedt; Wetterjahre 2013-2105; WKA Nordex N131/3300, 141 m Nabenhöhe; PV-Anlage 30° Tilt, 180° Azimuth, 95% PR.
- [6] Glenk, G. und Reichelstein, S. (2019). Economics of converting renewable power to hydrogen. Nat Energy 4, pp. 216–222 doi:10.1038/s41560-019-0326-1

Vielen Dank an Bettina Wolpensinger und Tobias Ohrdes (beide ISFH) sowie an Gunter Rockendorf (LUH und EFZN) für Verbesserungsvorschläge und Gestaltungsideen für diesen Vortrag.