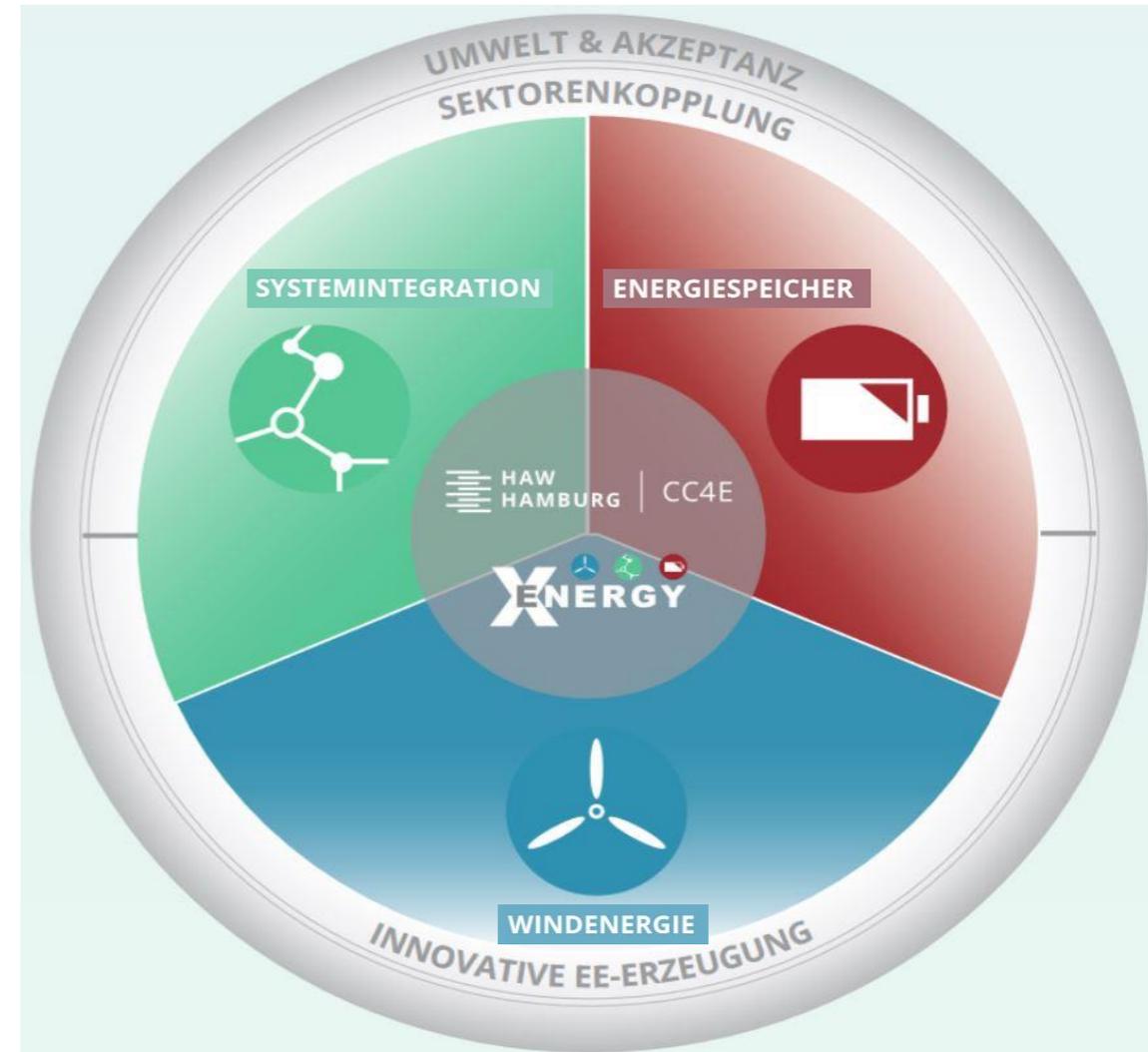


X-SmartWind: Entscheidungsunterstützung bei der Wahl von Speichertechnologien für Windparks

14.02.2020

1. Verbundprojekt X-Energy
2. Motivation
3. Fragestellung
4. Methodik
5. Annahmen und Eingangsdaten
6. Ergebnisse des Optimierungstools
7. Erkenntnisse und Fazit

- Das Verbundprojekt X-Energy:
 - vom BMBF gefördert
 - besteht aus 12 Projekten in 3 Forschungsbereichen:
 - Energiespeicher
 - Windenergie
 - Systemintegration u.a. X-SmartWind
- Ziele von X-SmartWind:
 - Entwicklung von Methoden und Werkzeugen für eine stärkere Berücksichtigung der Gesamtsystemintegration bei der Projektierung von Windparks

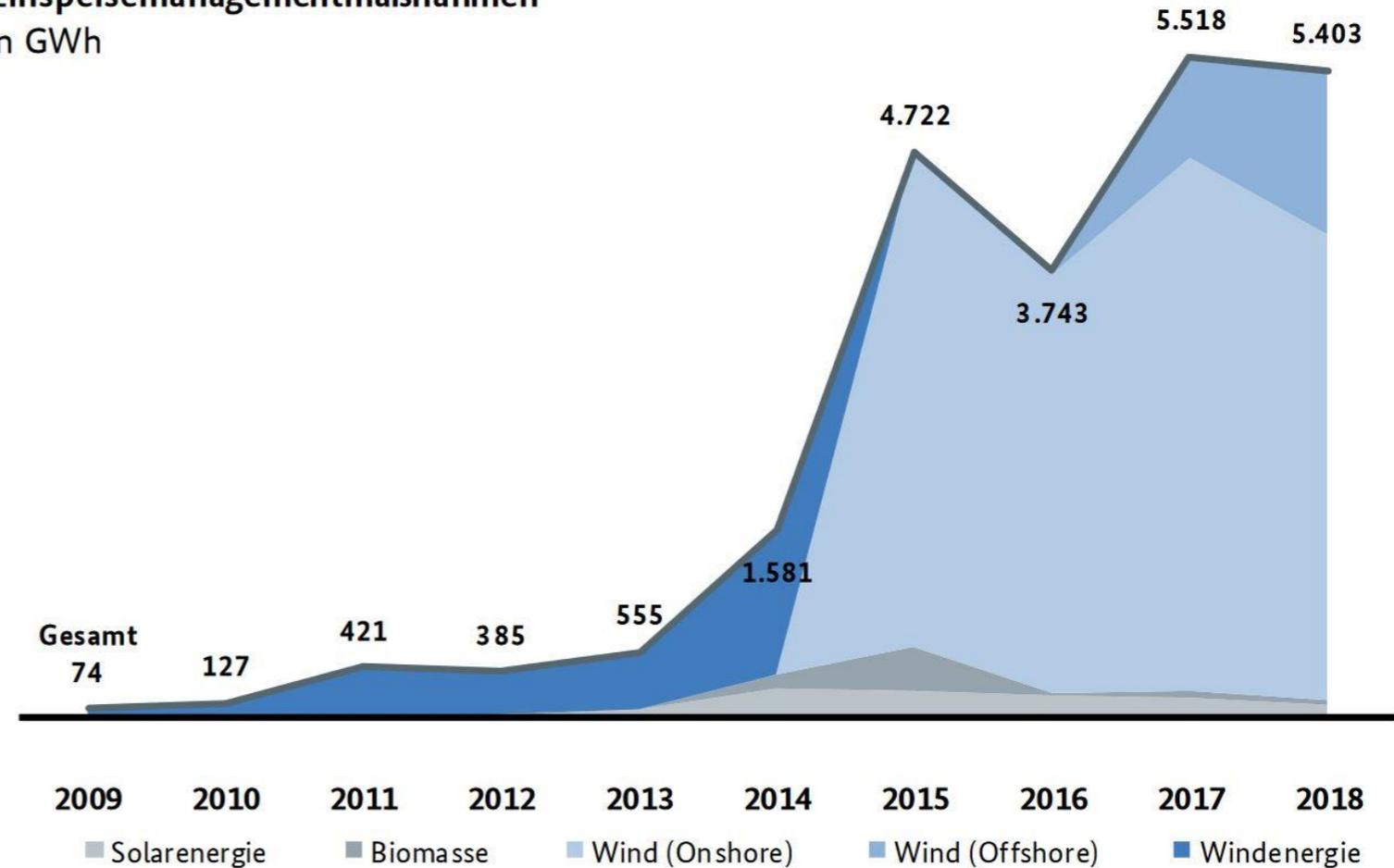


2. Motivation

Ausfallarbeit durch Einspeisemanagementmaßnahmen

- Netzsicherheitsmaßnahmen erlauben Abregelungen von EE-Anlagen bei Netzengpässen, sogenannte Einspeisemanagementmaßnahmen
- 2016 und 2018 windschwache Jahre
- Trend ist steigend, besonders für Offshore-Windkraftanlagen
- 2018: **5.403 GWh Ausfallarbeit** davon fallen:
 - 98% auf Windkraftanlagen
 - 53% in Schleswig-Holstein an

Elektrizität: Ausfallarbeit verursacht durch
Einspeisemanagementmaßnahmen
in GWh



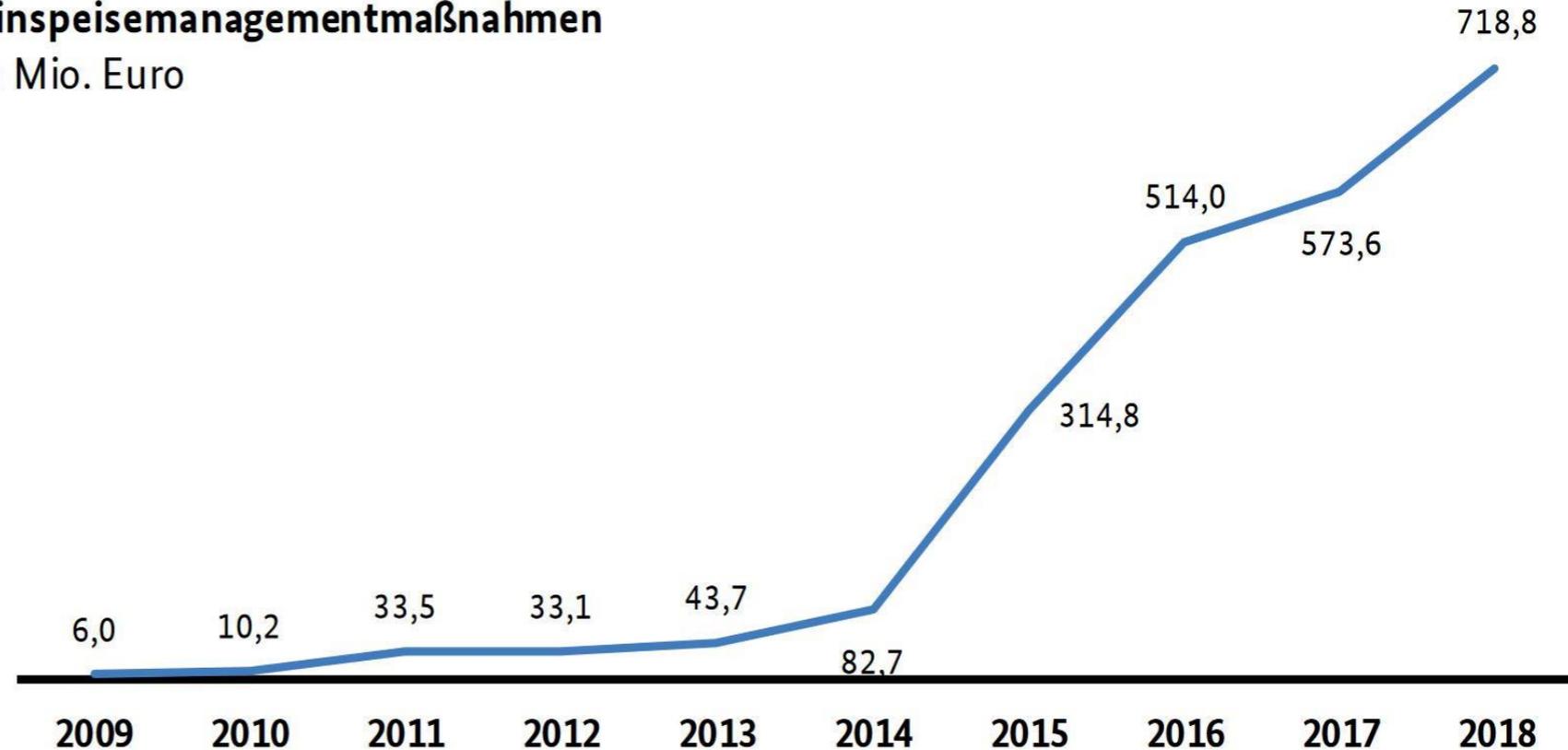
Quelle: <https://www.bundesnetzagentur.de>

2. Motivation

Entschädigungszahlungen durch Ausfallarbeit nach §15 Abs.1 EEG 2017

- Ausfallarbeiten muss nach §15 Abs.1 EEG für Anlagenbetreiber vergütet werden
- Vergütung durch Netzentgelte auf Endverbraucher umgewälzt
- Verursacht volkswirtschaftlichen Schaden
- Entschädigungszahlungen 2018 auf **Rekordhoch von 719 Mio. €**
- Trend steigend

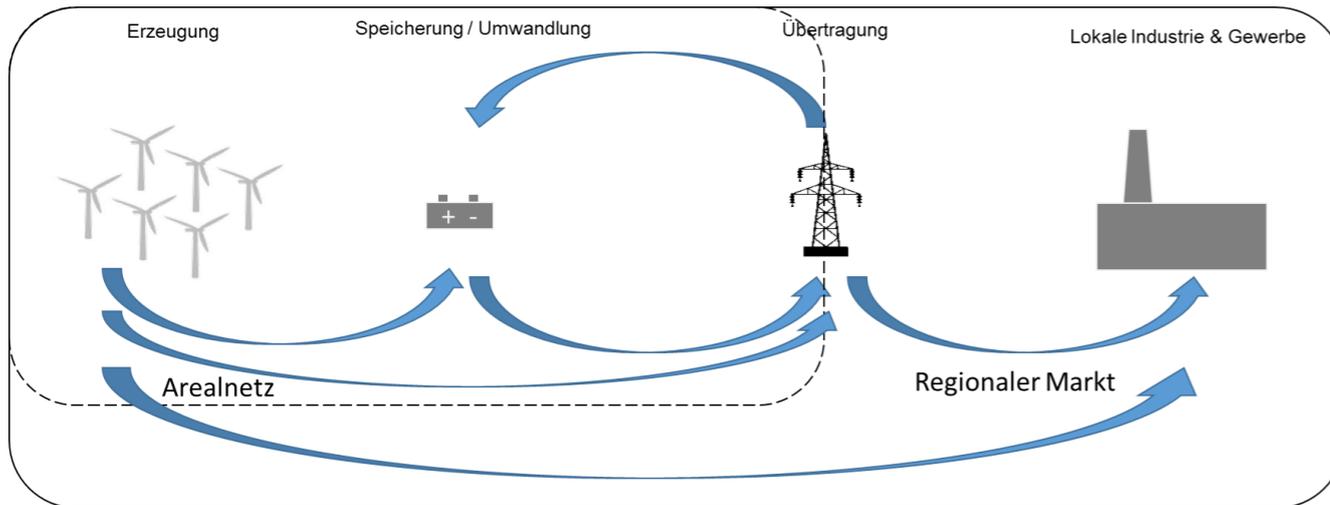
Elektrizität: Entschädigungszahlungen verursacht durch Einspeisemanagementmaßnahmen
in Mio. Euro



Quelle: <https://www.bundesnetzagentur.de>

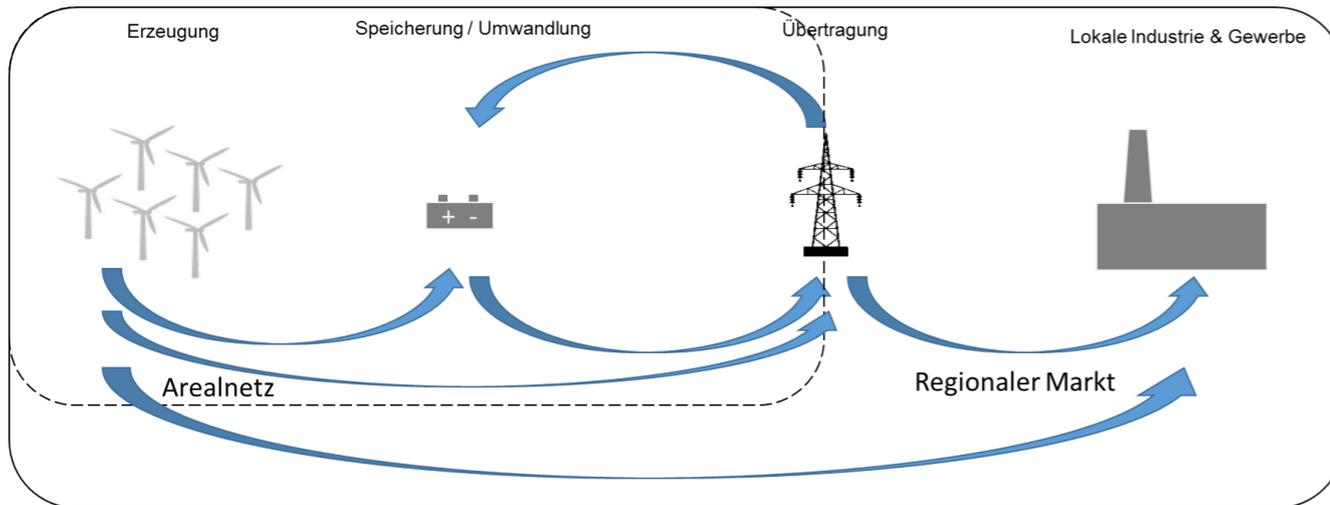
3. Fragestellung

- Möglichkeiten um Einspeisemanagementmaßnahmen zu reduzieren:
 - Netzausbau
 - Lokale Stromabnehmer am Windpark
 - Speicher-/Umwandlungstechnologien am Windpark
- X-SmartWind



3. Fragestellung

- Möglichkeiten um Einspeisemanagementmaßnahmen zu reduzieren:
 - Netzausbau
 - Lokale Stromabnehmer am Windpark
 - Speicher-/Umwandlungstechnologien am Windpark
- X-SmartWind



- Fragestellung des Beitrags:
„Kann der monetäre Gewinn eines Windparks durch Speicher- oder Umwandlungstechnologien optimiert werden, und wenn mit welcher?“

- Fragstellung wird mit Linearer Optimierung gelöst
- Zielfunktion stellt monetären Gewinn dar. Gewinn = Erlöse – Speicherkosten

$$Z(\vec{x}_{ID}, \vec{x}_{DA}, \vec{x}_{H2}, b_c, e_c) = E_{ID, \text{sum}}(\vec{x}_{ID}) + E_{DA, \text{sum}}(\vec{x}_{DA}) + E_{H2, \text{sum}}(\vec{x}_{H2}) - K_S(b_c, e_c)$$

- Variablen:
 - Gewinn des Windparks, Z
 - Batteriespeicherkapazität, b_c
 - Elektrolyseleistung, e_c
 - Energieverkauf am Intraday-Markt und Day-Ahead-Markt, $\vec{x}_{ID}, \vec{x}_{DA}$
 - Energie für Elektrolyse, \vec{x}_{H2}
 - Ein-/ausgespeicherte Energie in Batteriespeicher

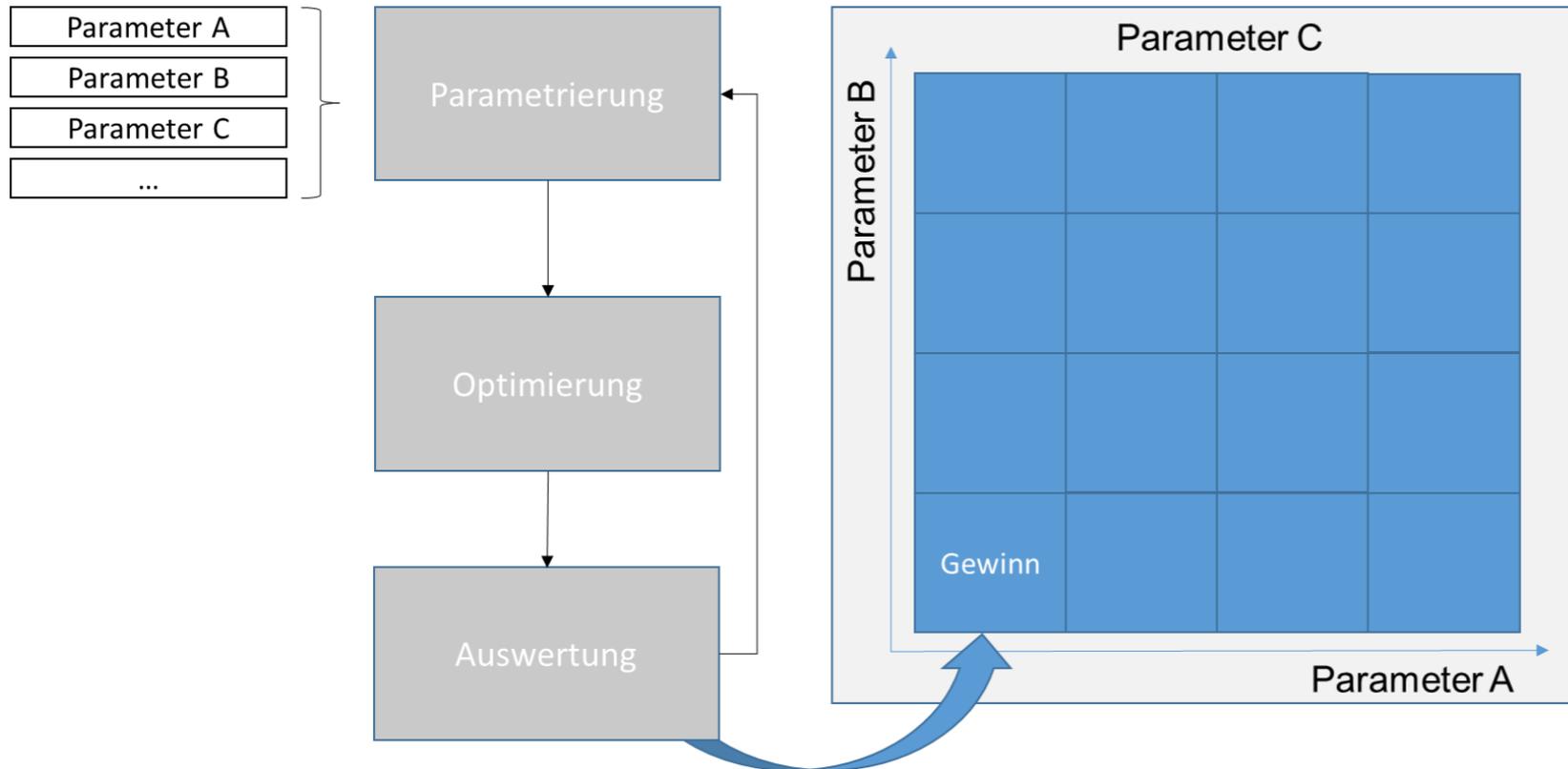
- Fragstellung wird mit Linearer Optimierung gelöst
- Zielfunktion stellt monetären Gewinn dar. Gewinn = Erlöse – Speicherkosten

$$Z(\vec{x}_{ID}, \vec{x}_{DA}, \vec{x}_{H2}, b_c, e_c) = E_{ID, \text{sum}}(\vec{x}_{ID}) + E_{DA, \text{sum}}(\vec{x}_{DA}) + E_{H2, \text{sum}}(\vec{x}_{H2}) - K_S(b_c, e_c)$$

- Variablen:
 - Gewinn des Windparks, Z
 - Batteriespeicherkapazität, b_c
 - Elektrolyseleistung, e_c
 - Energieverkauf am Intraday-Markt und Day-Ahead-Markt, $\vec{x}_{ID}, \vec{x}_{DA}$
 - Energie für Elektrolyse, \vec{x}_{H2}
 - Ein-/ausgespeicherte Energie in Batteriespeicher
- Eingabeparameter:
 - Windertrag
 - EPEX-Preisdaten
 - Wasserstoffverkaufspreis
 - Kosten für Batteriespeicher und Elektrolyseur

- Optimierungszeitraum 1 Jahr
- Kosten werden auf Annuitäten umgerechnet
- Wichtige Nebenbedingungen:
 - Einhaltung der Energiebilanz
 - Einhaltung der Batteriekapazität
 - Laden-/Entladen der Batterie begrenzt durch C-Koeffizient
 - Einhaltung der Elektrolyseleistung

- Variation der Eingangsdaten zur Untersuchung auf die Auswirkung der Ergebnisse



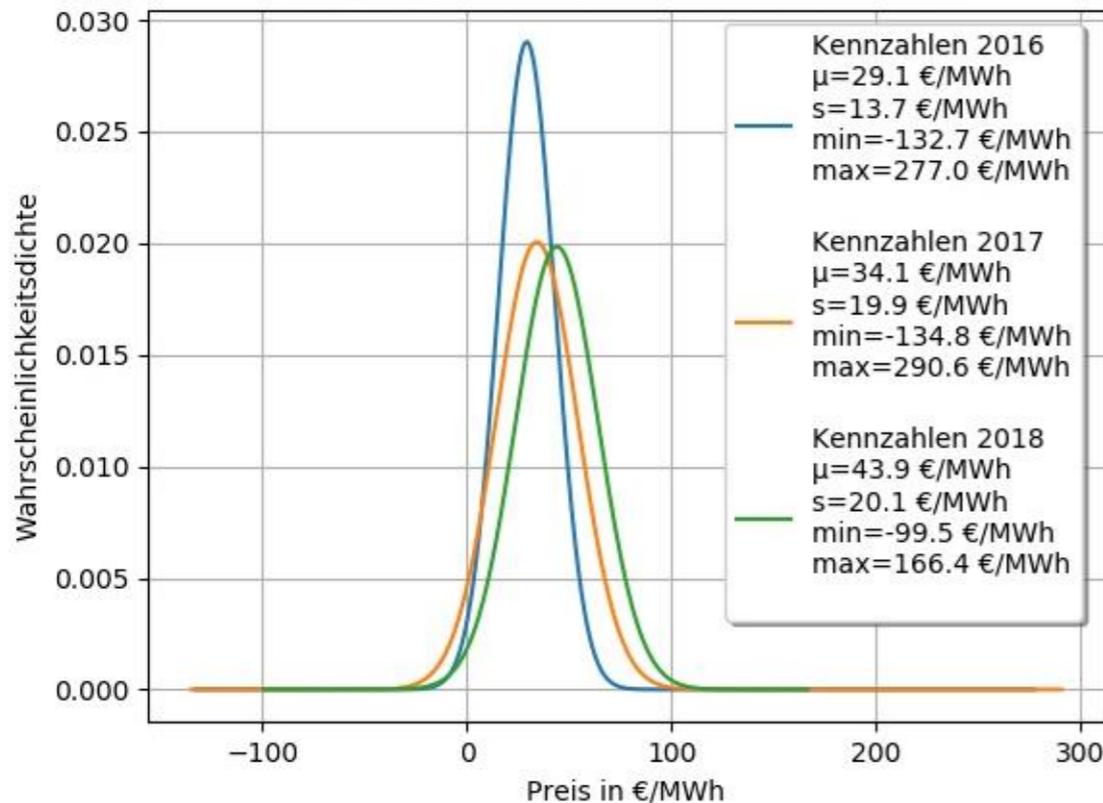
5. Annahmen und Eingangsdaten

EPEX Preisdaten 2016, 2017 und 2018

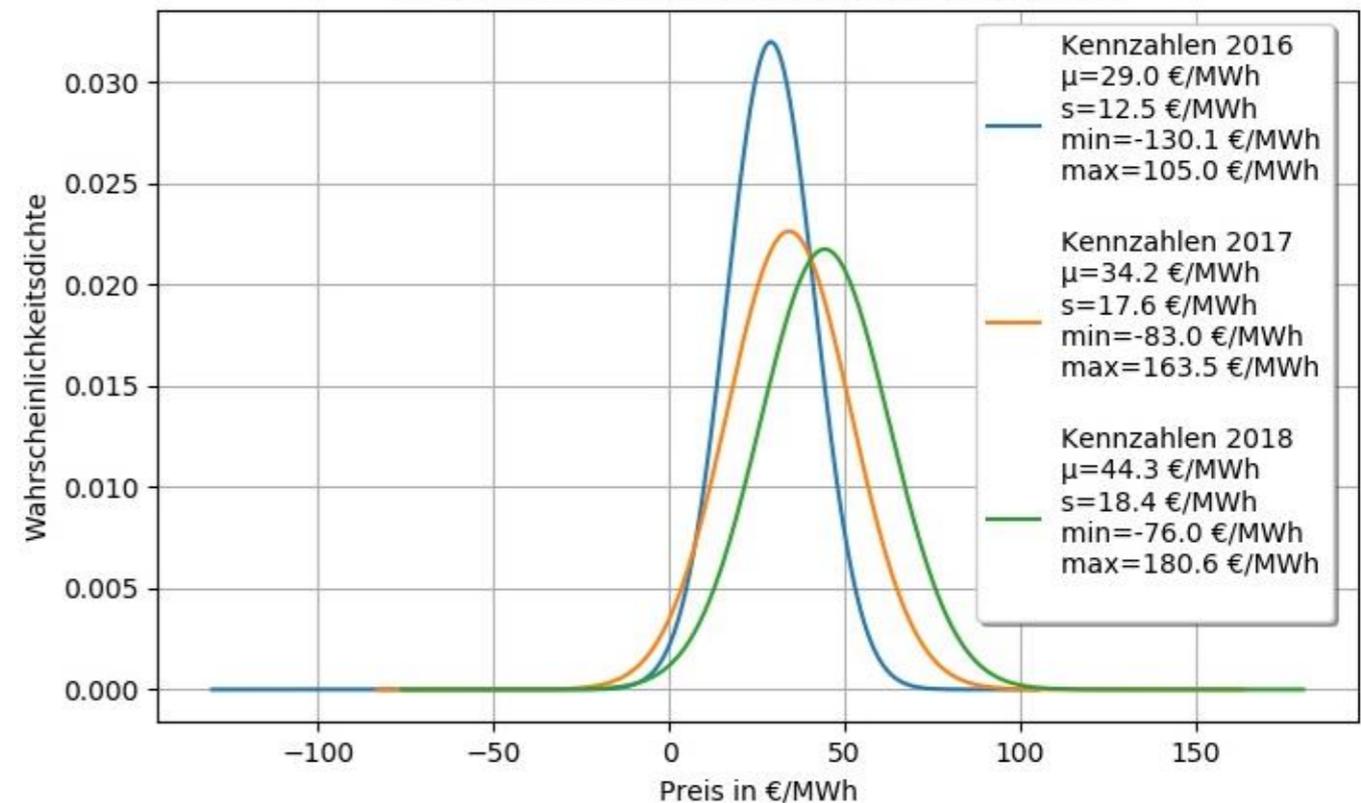


- Mittelwert der ID und DA Auktionspreise von 2016 bis 2018 stark angestiegen
- Mittelwerte von ID und DA nahezu gleich
- Standardabweichung von ID größer als DA
- EEG-Vergütung werden nicht berücksichtigt

Verteilung Intraday-Auktion 2016 bis 2018



Verteilung Day-Ahead-Auktion 2016 bis 2018



5. Annahmen und Eingangsdaten

Hinterlegte Daten der Batteriespeicher und Elektrolyseure

Batteriespeicher:

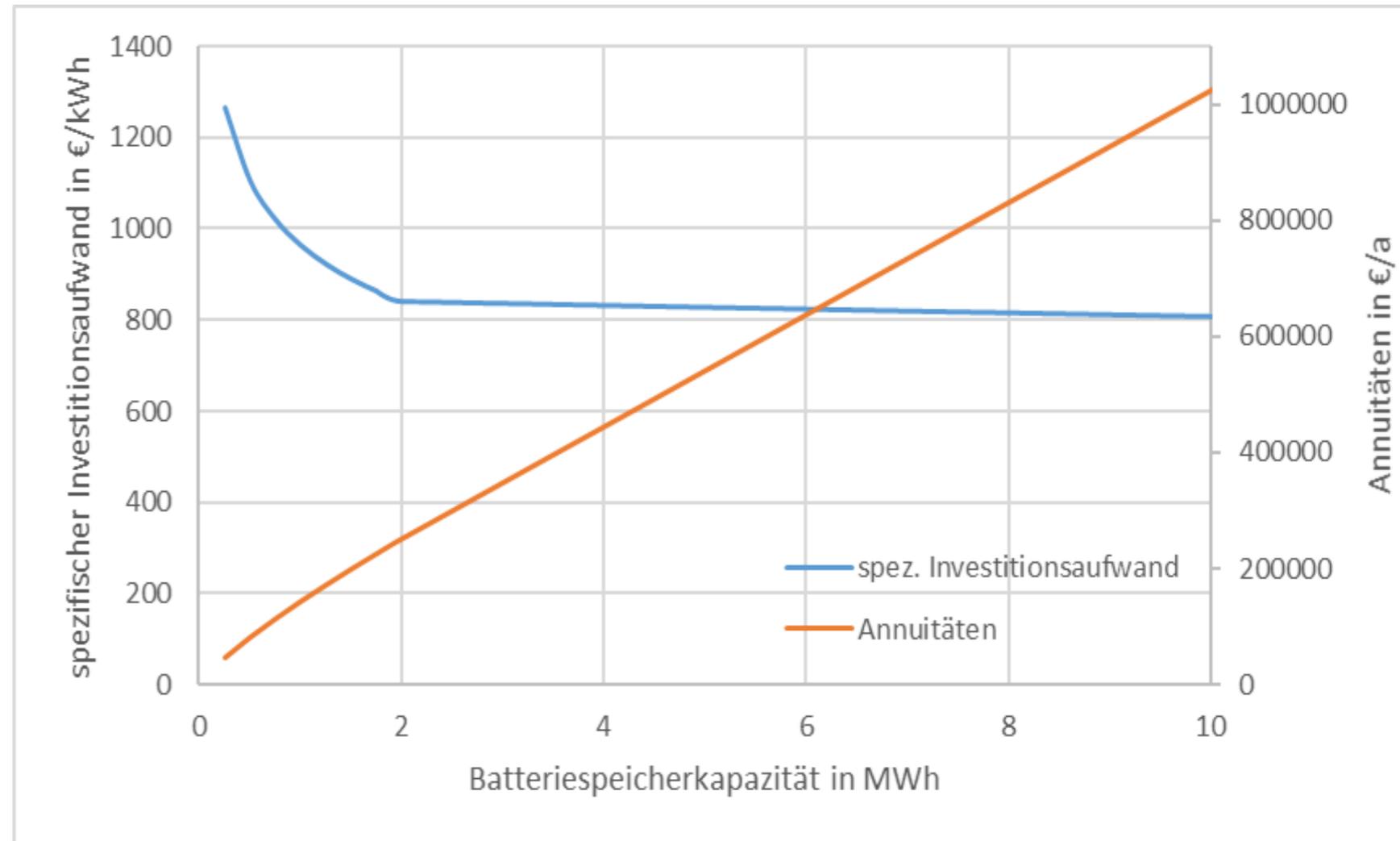
- Sinkende spezifische Kosten:
1 MWh = 960 €/kWh,
10 MWh = 800 €/kWh
- Keine Batteriespeicherverluste:
Lade- und Entladewirkungsgrad
100%
- C-Koeffizient = 4C

Elektrolyse:

- Konstante Kosten = 1.470 €/kW
- Konstanter Wirkungsgrad = 65%
- Kaltstartzeit = 10 Minuten
- Lastbereich = 0% bis 100%

Grünstromlabel:

- Kein Strombezug aus dem öffentlichen Netz



5. Annahmen und Eingangsdaten

Variation der Eingangsdaten



Parameter	Jahr	Windparkleistung	Teiler Batteriekosten	Verkaufspreis Wasserstoff
Parameterwert	2016	10 MW	1	60 €/MWh = 1,80 €/kg H ₂
	2017	20 MW	2	100 €/MWh = 3,00 €/kg H ₂
	2018	30 MW	3	140 €/MWh = 4,20 €/kg H ₂

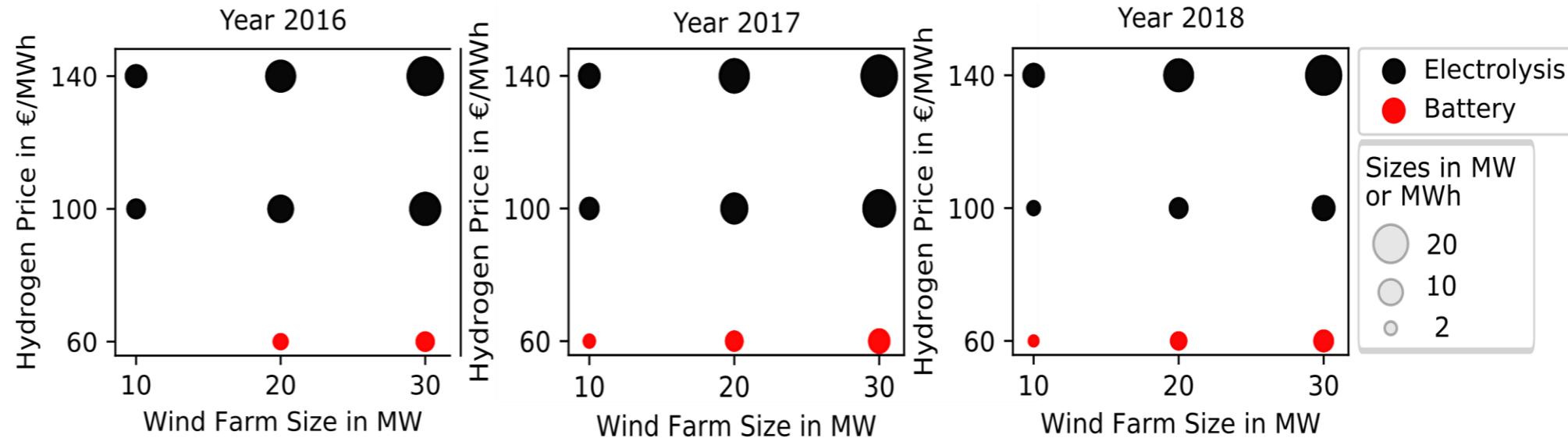
H₂-Herstellkosten in Chemieindustrie = 1 – 2 €/kg H₂ ¹⁾

3 x 3 x 3 x 3 = 3⁴ = 81 Szenarien

1) Quelle: <https://www.plattform-zukunft-mobilitaet.de>

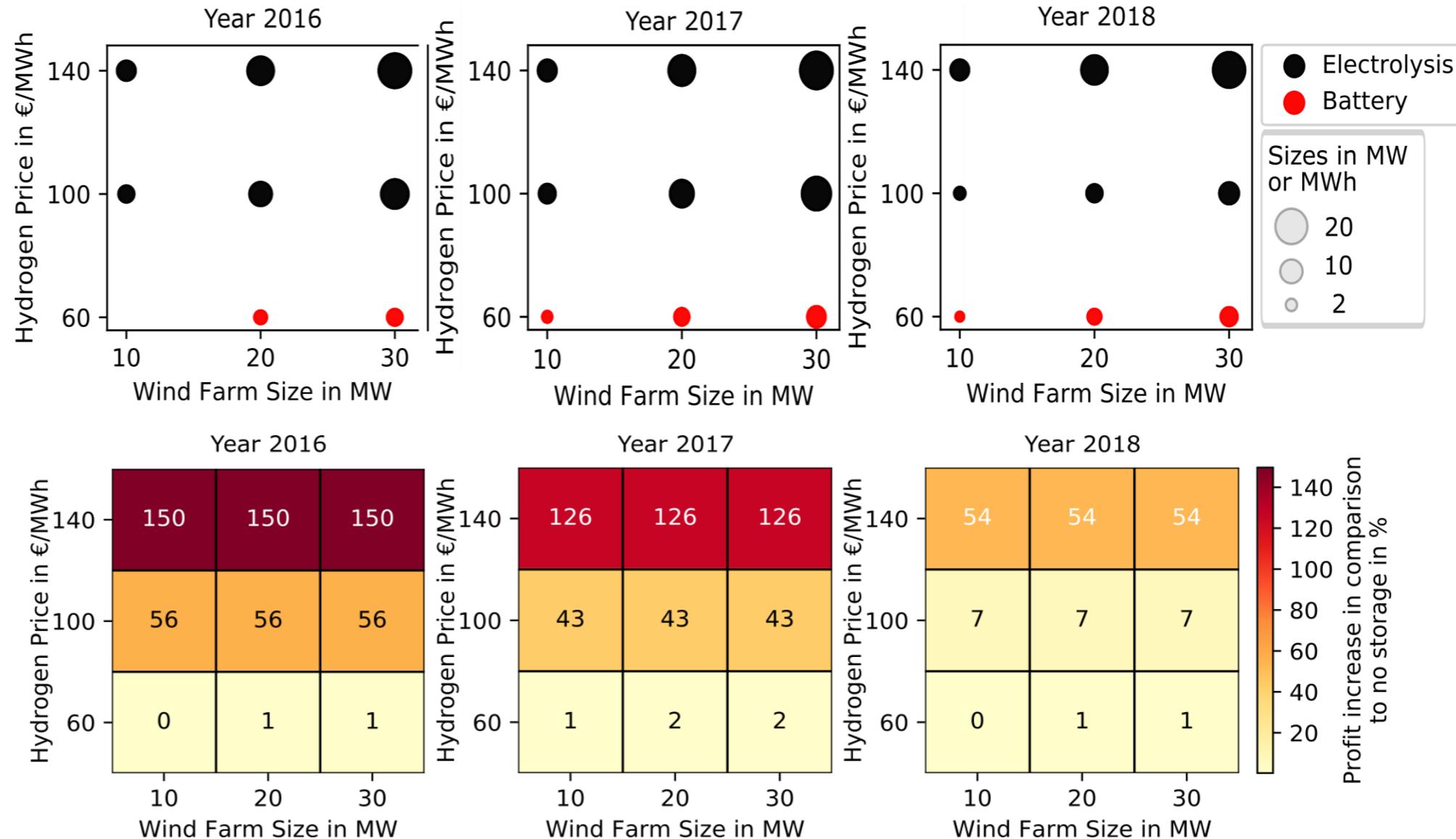
6. Ergebnisse des Optimierungstools

- Batteriewahl erst ab 1/3 der aktuellen Kosten ausgewählt
- Elektrolyseur benötigt mindestens einen Preis von 100 €/MWh H₂
- Elektrolyseur unabhängig von Batteriepreis
- Optimum ist kein Technologiemix
- Batteriespeicher nur geringer Anstieg des Gewinns



6. Ergebnisse des Optimierungstools

- Batteriewahl erst ab 1/3 der aktuellen Kosten ausgewählt
- Elektrolyseur benötigt mindestens einen Preis von 100 €/MWh H₂
- Elektrolyseur unabhängig von Batteriepreis
- Optimum ist kein Technologiemix
- Batteriespeicher nur geringer Anstieg des Gewinns



7. Erkenntnisse und Fazit

Auswirkungen der EPEX-Preise

Von den Ergebnissen abgeleitete qualitative Aussagen zur Auswirkung von EPEX-Preisen:

- EPEX-Preisspanne hat Auswirkung auf die Batteriespeicherkapazität, aber nicht auf die Elektrolyseleistung
- Batteriespeicher und große Preisspannen ermöglichen Erlössteigerung durch Einspeiseverschiebung
- Durchschnittlicher EPEX-Preis hat Auswirkung auf die Elektrolyseleistung, aber nicht auf die Batteriespeicherkapazität
- Elektrolyse ermöglicht Zugang zu neuem Markt (Wasserstoffmarkt)

EPEX-Preisspanne	Batteriespeicher
Hoch	+
Mittel	0
Niedrig	-

Durchschnittlicher EPEX-Preis	Elektrolyse
Hoch	-
Mittel	0
Niedrig	+

Fazit:

- Weder Batteriespeicher noch Elektrolyseur momentan wirtschaftlich
- Batteriespeicher ab 1/3 der hinterlegten Kosten wirtschaftlich
- Elektrolyse ab 100 €/MWh H₂ (3,0 €/kg H₂) wirtschaftlich
- Niedrige EPEX-Preise steigern Gewinn der Elektrolyselösung
- Große EPEX-Preisspannen begünstigen Batteriespeicherlösung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Backup Folien

2. Motivation

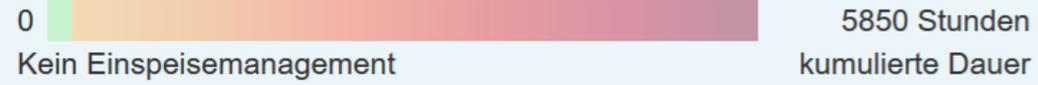
Einspeisemanagementmaßnahmen in Schleswig-Holstein 2019



Einspeisemanagement Historie

← zur Detailkarte

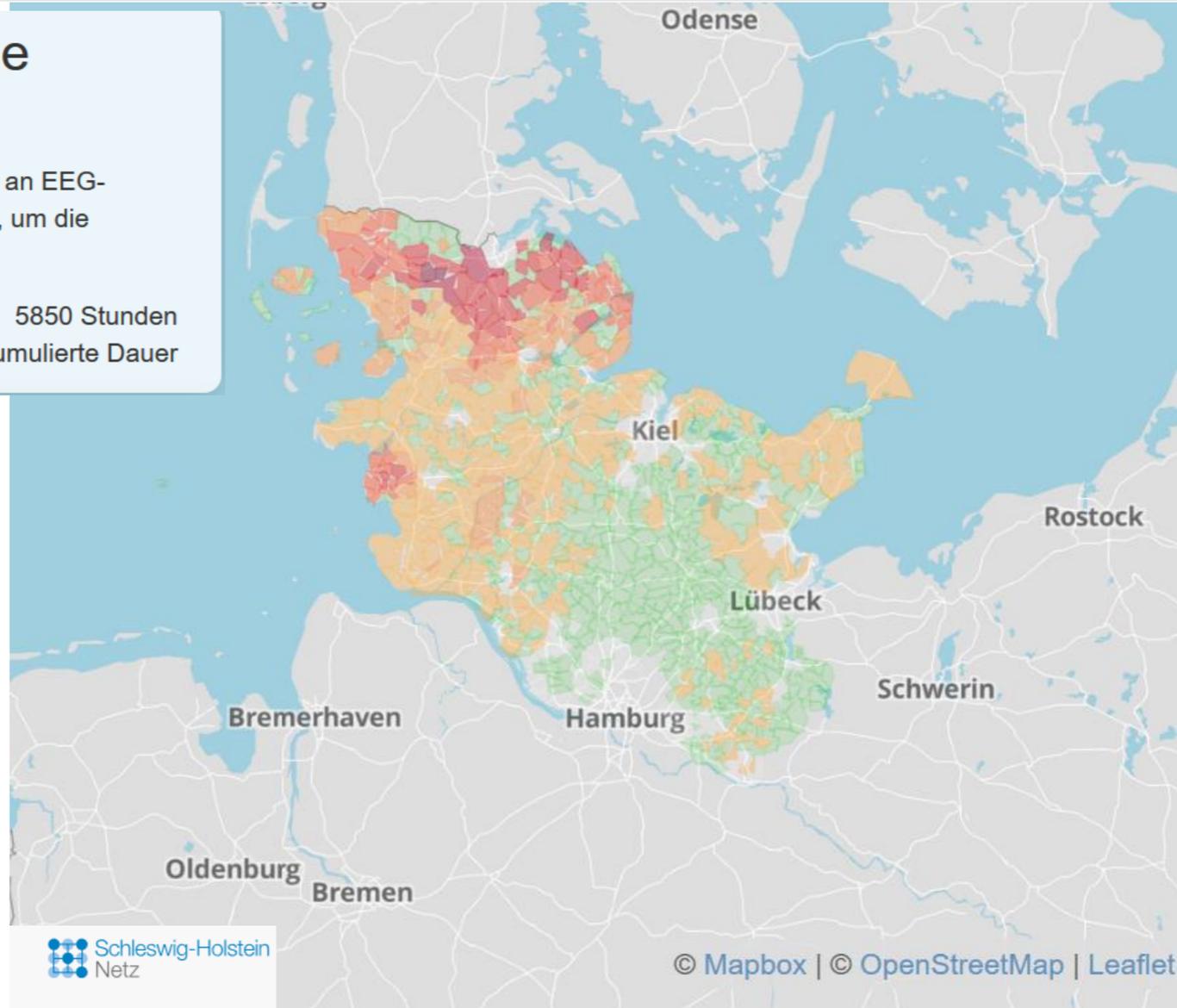
Dargestellt werden die Anzahl an Stunden sowie die Anzahl an EEG-Anlagen, die in ihrer Einspeisung reduziert werden mussten, um die Netzstabilität sicherzustellen.



Höchstwerte der kumulierten Dauer:

- 2015: 2.200 h
- 2016: 3.900 h
- 2017: 4.200 h
- 2018: 4.200 h
- 2019: 5.900 h

→ Steigender Trend erkennbar!



© Mapbox | © OpenStreetMap | Leaflet

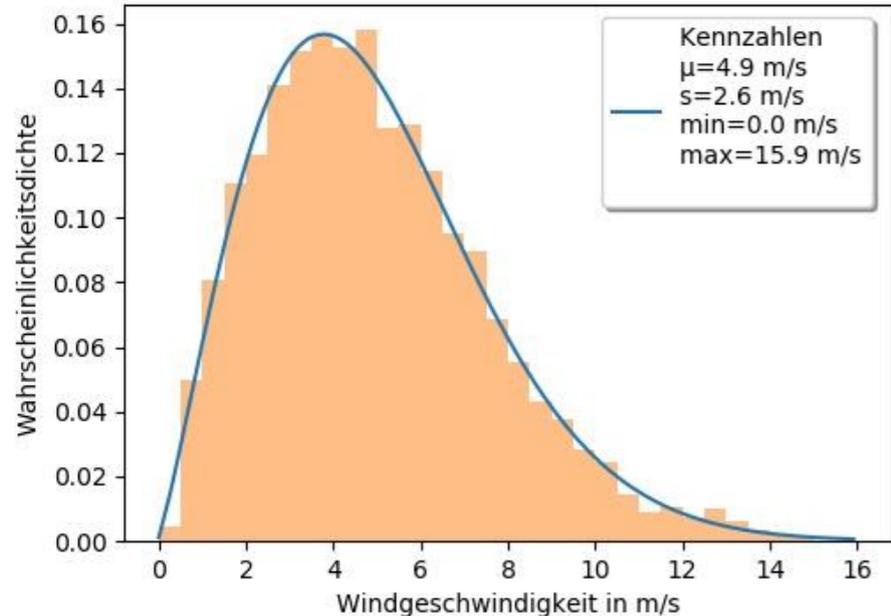
5. Annahmen und Eingangsdaten

Hinterlegte Winddaten von 2016, 2017 und 2018

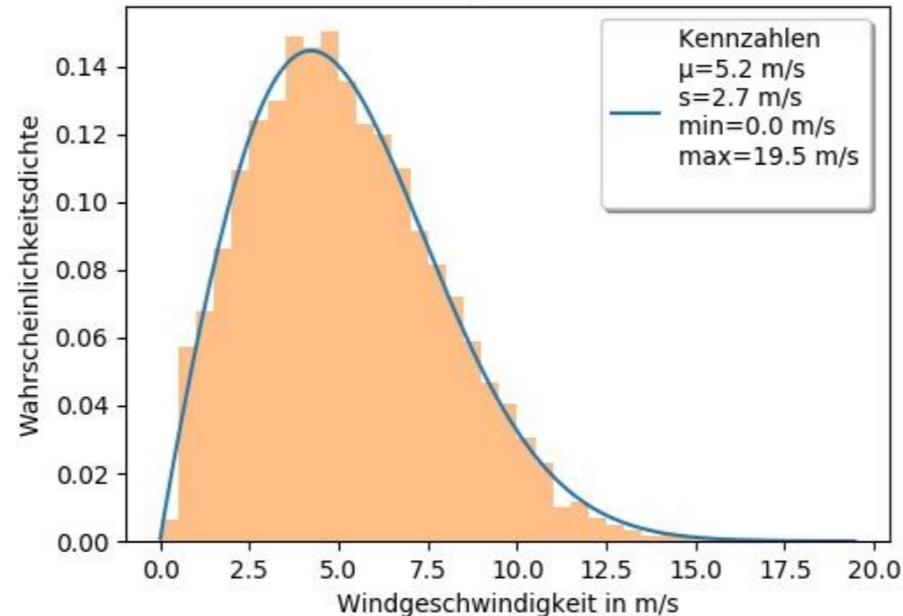


- Daten vom DWD Standort Hamburg Fuhlsbüttel, auf 120m Höhe gerechnet
- 2016 windschwaches Jahr
- 2017 durchschnittliches Windjahr
- 2018 leicht unterdurchschnittliches Windjahr
- Windjahre aus der Literatur bestätigt

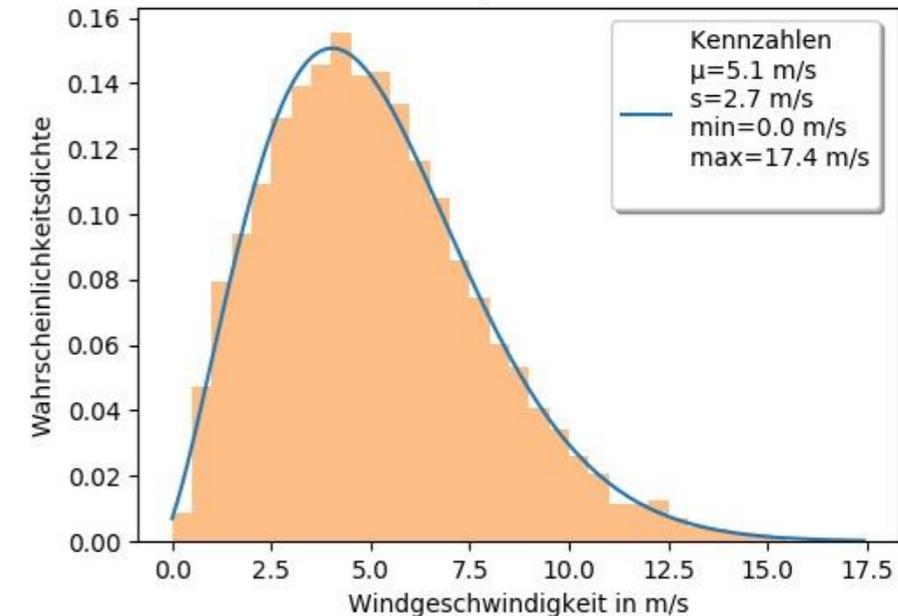
Weibull-Verteilung der Windgeschwindigkeit
2016, 3000 VLS



Weibull-Verteilung der Windgeschwindigkeit
2017, 3000 VLS



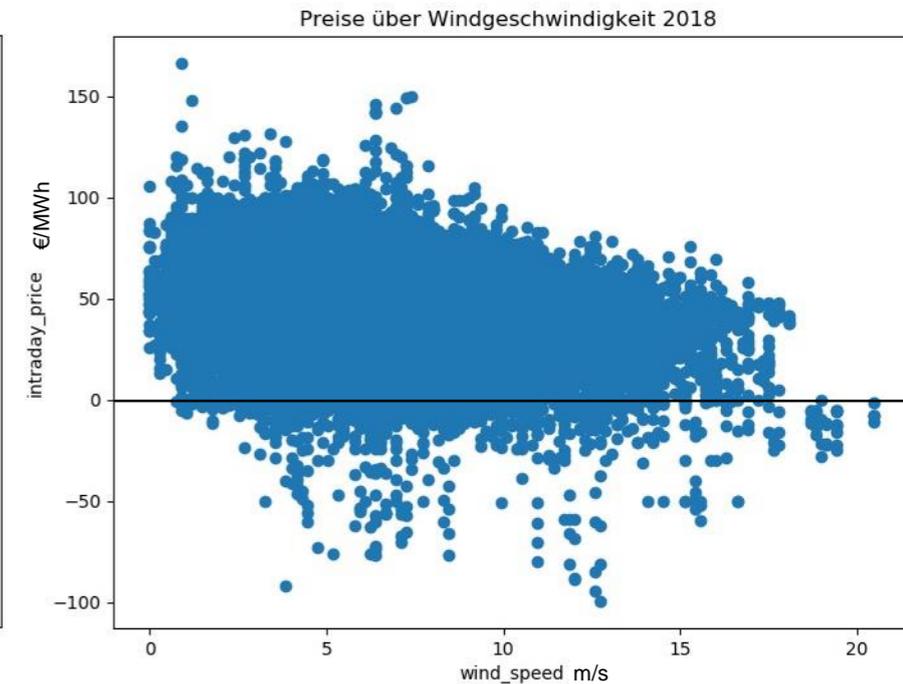
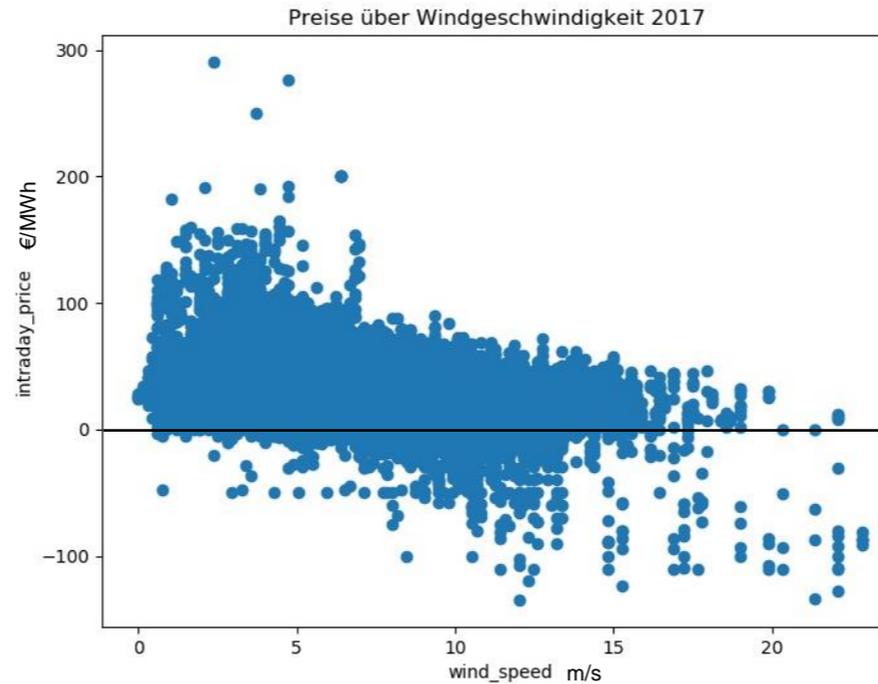
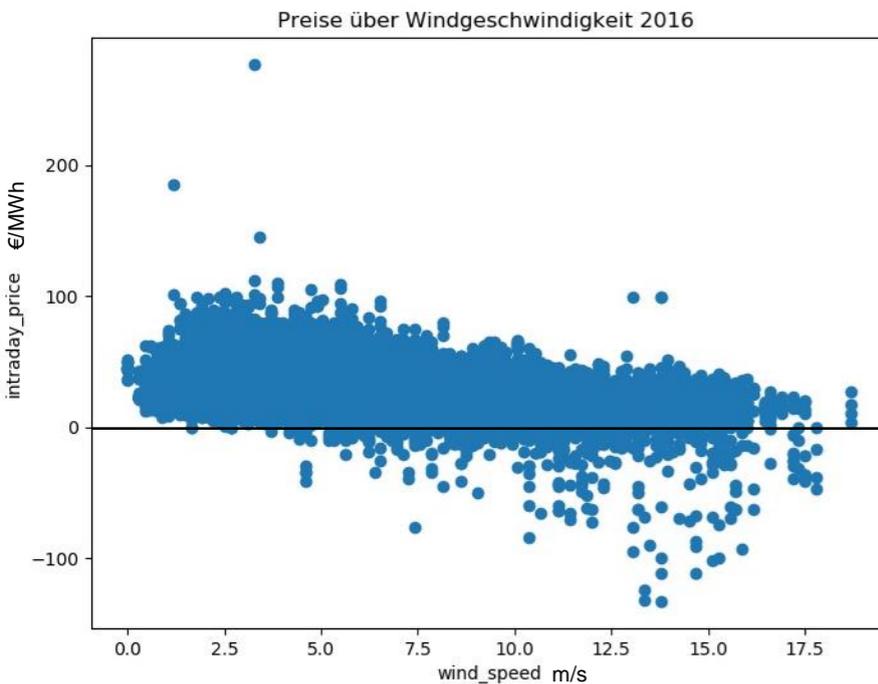
Weibull-Verteilung der Windgeschwindigkeit
2018, 3000 VLS



5. Annahmen und Eingangsdaten

Korrelation Windgeschwindigkeiten und ID-Preisdaten

- Niedrige Windgeschwindigkeiten korrelieren mit hohen Intraday-Auktionspreisen
- Negative Auktionspreise nehmen mit der Windgeschwindigkeit zu
- Anzahl der negativen Auktionspreise mit den Jahren zu genommen



6. Ergebnisse des Optimierungstools

Zeitreihen der Energieflüsse und Preisverläufe

