

# Einfluss unterschiedlicher Ansätze zur Generierung von Ausfallzeitreihen auf die Kenngrößen zur Resource Adequacy

**EnInnov 2024 – 18. Symposium Energieinnovation**

- Einleitung
- Modellbildung & Verfahren
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Name: **Kevin Pacco**

Ort, Datum: **Graz, 15.02.2024**

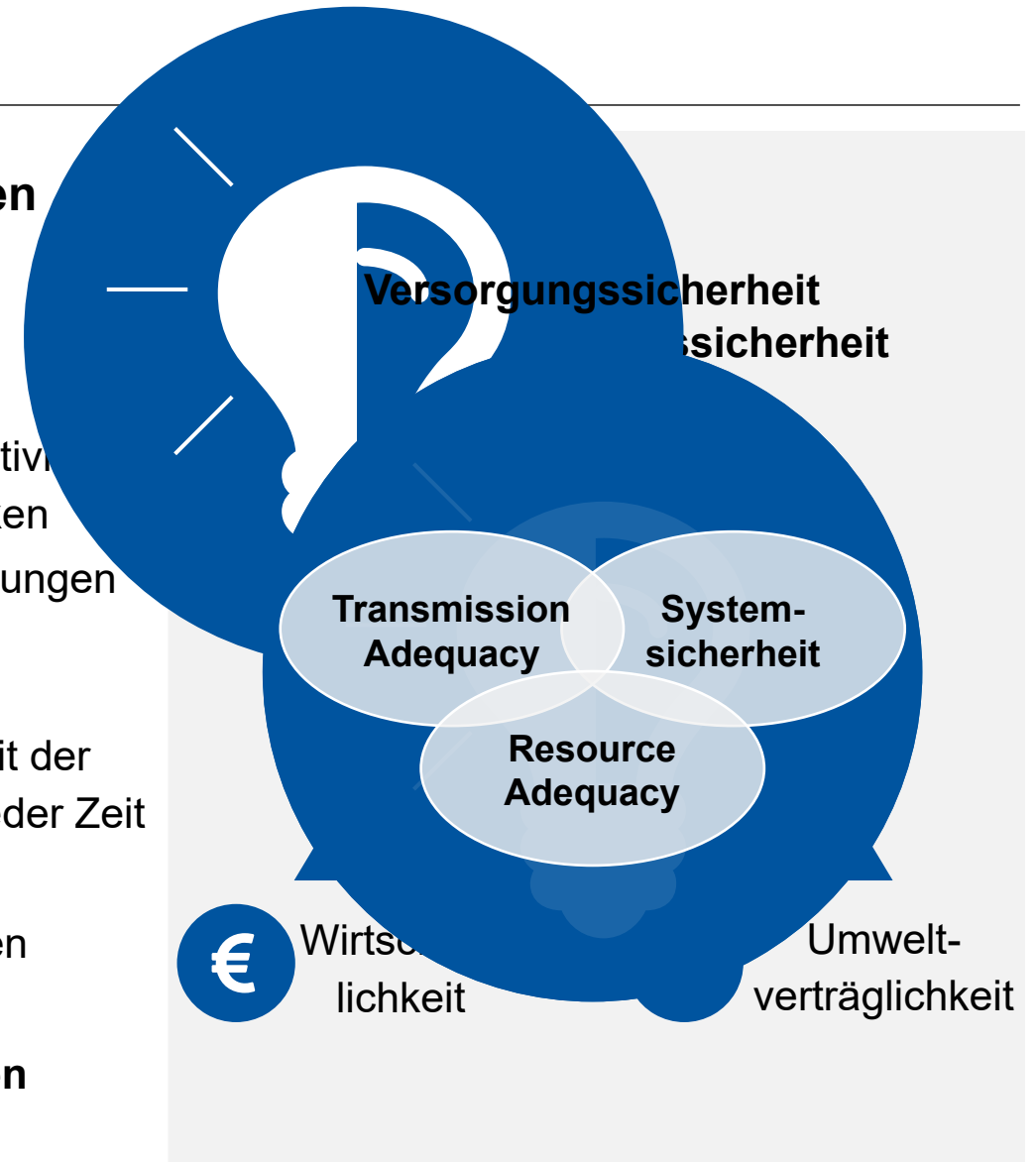
# Einleitung

## Versorgungssicherheit – Zentrales Ziel des energiepolitischen Zieldreiecks

- Struktureller Wandel des EVS<sup>1</sup> aufgrund nationaler und internationaler Ziele vor dem Hintergrund der Energiewende
  - Gesellschaftliche Bedeutung einer sicheren Elektrizitätsversorgung motiviert das Ziel, die Nachfrage nach elektrischer Energie zu jeder Zeit zu decken
- Versorgungssicherheit rückt vermehrt in den Fokus aktueller Fragestellungen

## Erhaltung der Versorgungssicherheit

- Mittelfristige Versorgungssicherheit bedarf einer Erhaltung der Fähigkeit der Ressourcen eines EVS<sup>1</sup>, die Nachfrage nach elektrischer Energie zu jeder Zeit sicher zu decken – auch **Resource Adequacy** genannt
  - Nationale und europäische Rahmenbedingungen (EnWG<sup>2</sup>, CEP<sup>3</sup>) geben regelmäßige Bewertung der Resource Adequacy vor
- **Regelmäßige Bewertung der Resource Adequacy zur mittelfristigen Gewährleistung der Elektrizitätsversorgung notwendig**



## Definition – Resource Adequacy

Die **Angemessenheit** der **Ressourcen** eines EVS<sup>1</sup>, die Nachfrage nach elektrischer Energie zu jeder Zeit sicher zu decken.

### Primärenergieträger



### Erzeugungsanlagen



### Übertragung



### Elektrische Nachfrage



## Bewertung der Resource Adequacy

- Systemweite Betrachtung:
    - Berücksichtigung der am Strommarkt verfügbaren Ressourcen (Status Quo)
    - Abgrenzung von der Versorgungszuverlässigkeit / Versorgungsunterbrechungen beim Letztverbraucher
  - Mittelfristiger Betrachtungszeitraum: bis zu 10 Jahre
  - Abgrenzung von Nichtverfügbarkeiten aufgrund unvorhersehbarer Ereignisse (bspw. Naturkatastrophen, böswillige Angriffe)
- **Berücksichtigung deterministischer und stochastischer Verfügbarkeit der Ressourcen eines EVS notwendig**

# Einleitung

## Verfügbarkeit der Ressourcen

- Stochastische Verfügbarkeiten werden in Form von **Wetter- und Ausfalljahren** abgebildet

## Wetterjahre

- Berücksichtigung klimaabhängiger Unsicherheiten
  - Dargebotsabhängige Erzeugung aus erneuerbaren Energien
  - Hydraulische Zuflüsse für (Pump-)Speicherkraftwerke
  - Nachfrage nach elektrischer Energie

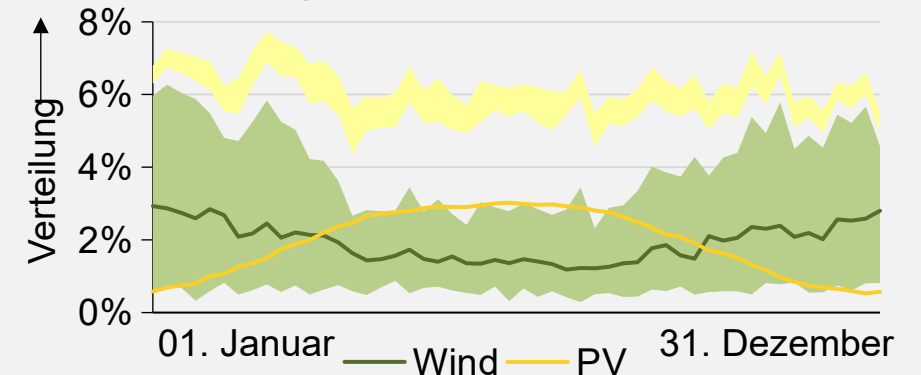
→ **Abbildung auf Basis historischer Daten**

## Ausfalljahre

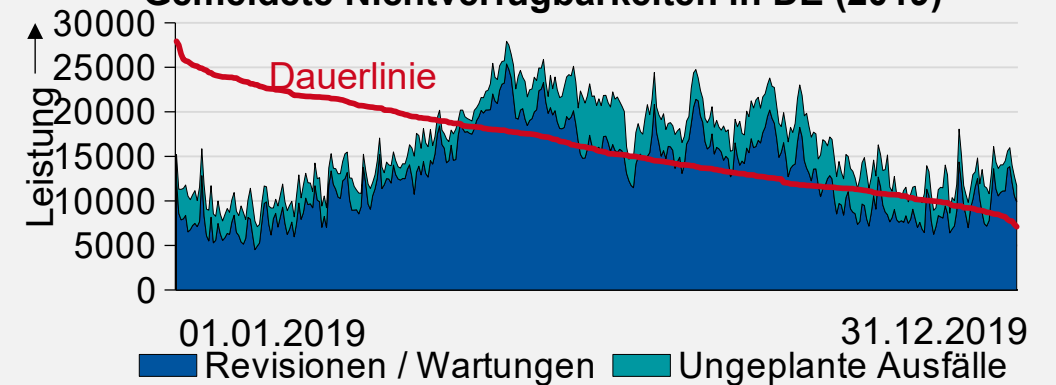
- Geplante Nicht-Verfügbarkeiten (Ausfälle) und ungeplante Nicht-Verfügbarkeiten (Wartungen / Revision)

→ **Ziehung von Nicht-Verfügbarkeiten mittels Ausfallparametern auf Basis historischer Daten**

Wöchentl. Verteilung der Volllaststunden in DE (1982-2016)<sup>2</sup>



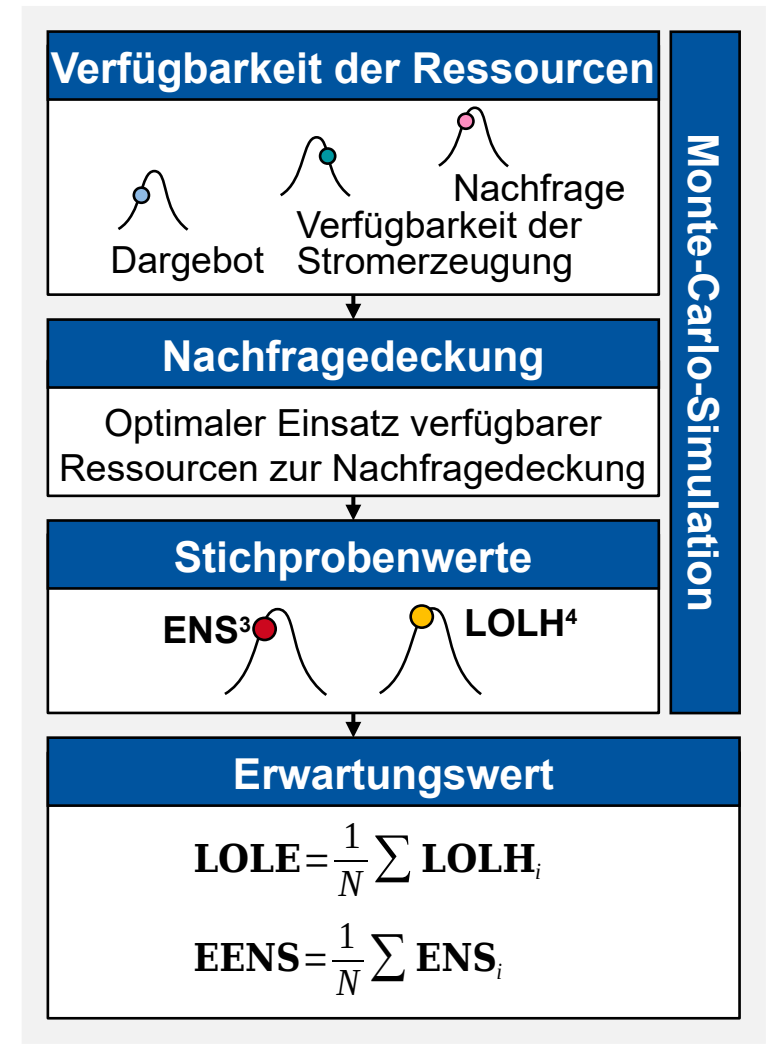
Gemeldete Nichtverfügbarkeiten in DE (2019)<sup>2</sup>





## Probabilistische Kenngrößen zur Resource Adequacy

- Verfügbarkeit der Ressourcen ist nicht rein deterministisch zu bestimmen, sondern mit Unsicherheiten behaftet → Probabilistische Ansätze notwendig
  - Bewertung der Resource Adequacy anhand der probabilistischen Kenngrößen
    - Loss of Load Expectation (**LOLE**, [h/a]) und
    - Expected Energy Not Supplied (**EENS**, [MWh/a])  
ist Stand der Technik
  - **LOLE** – Erwartete Anzahl an Stunden im Jahr, an denen die Nachfrage nicht gedeckt werden kann (zeitliche Perspektive)
  - **EENS** – Erwartete Energiemenge im Jahr, welche nicht gedeckt werden kann (energetische Perspektive)
  - Zudem Betrachtung der freien verfügbaren Erzeugungskapazität (**RCM**<sup>1</sup>, [MW]) für die Ermittlung der Nähe an einer Nachfrageunterdeckung möglich
- Nutzung probabilistischer Kenngrößen, um Stochastizität der unsicheren Verfügbarkeit der Ressourcen des EVS<sup>2</sup> widerzuspiegeln

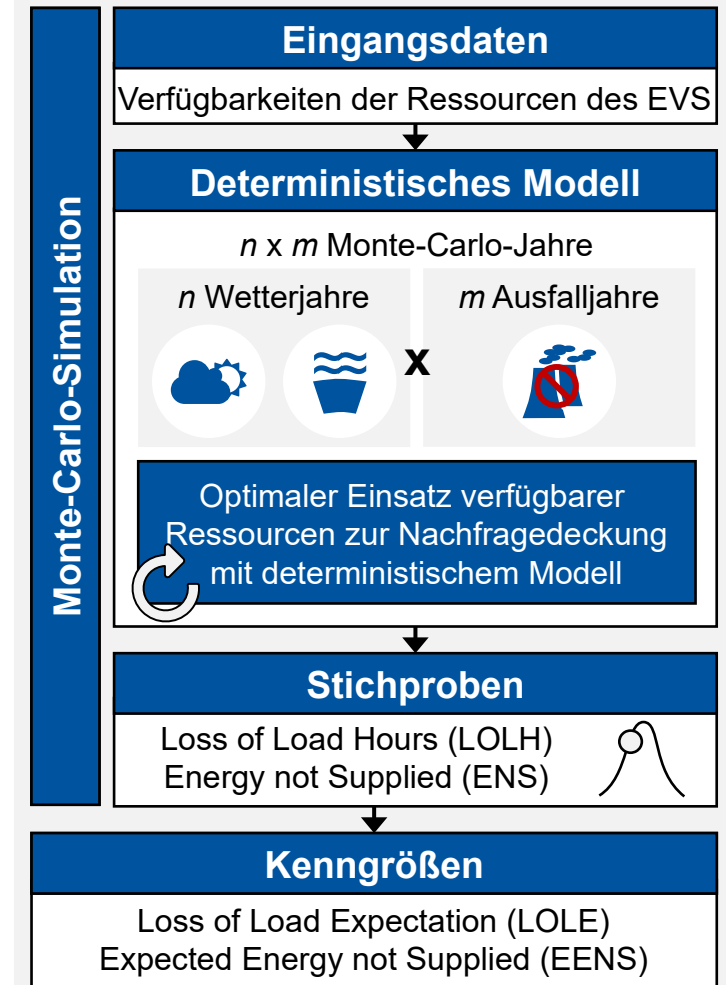


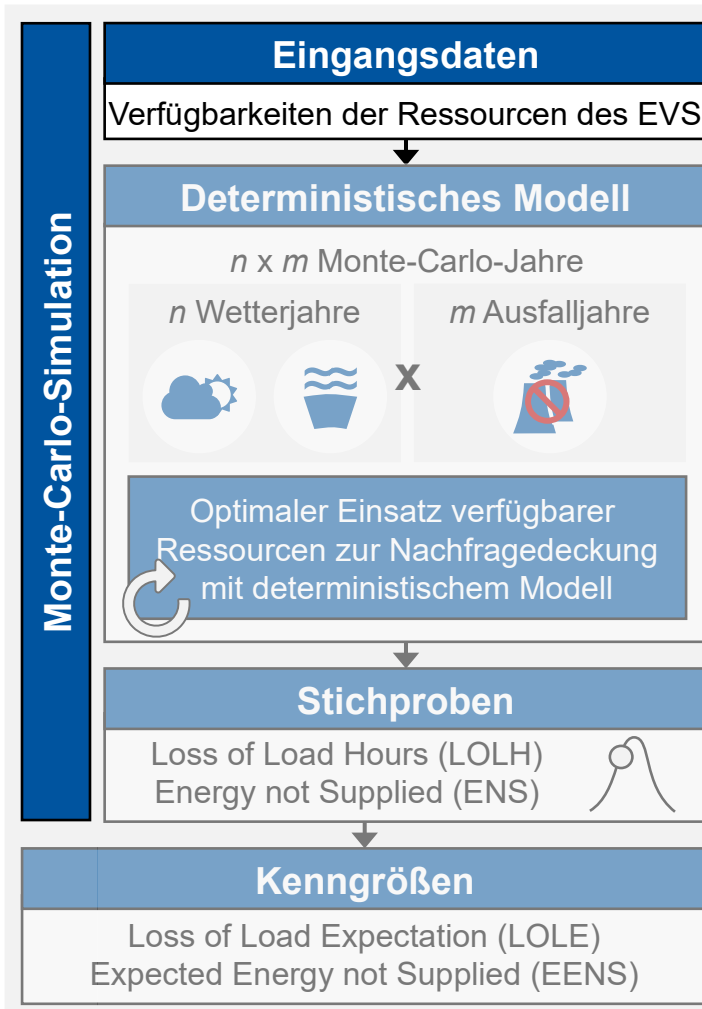
## Probabilistisches Verfahren

- Anwendung eines probabilistischen Verfahrens auf Basis einer **Monte-Carlo-Simulation** gemäß dem Stand der Technik
- Monte-Carlo-Simulation ist ein mathematisches Verfahren aus der Wahrscheinlichkeitstheorie, bei dem wiederholt Stichproben einer Verteilung mithilfe von Zufallsexperimenten gezogen werden
- Gesetz der Großen Zahlen – Konvergenz der Stichproben gegen Erwartungswert bei hoher Anzahl an Monte-Carlo-Jahren

## Probabilistische Kenngrößen zur Bewertung der Resource Adequacy

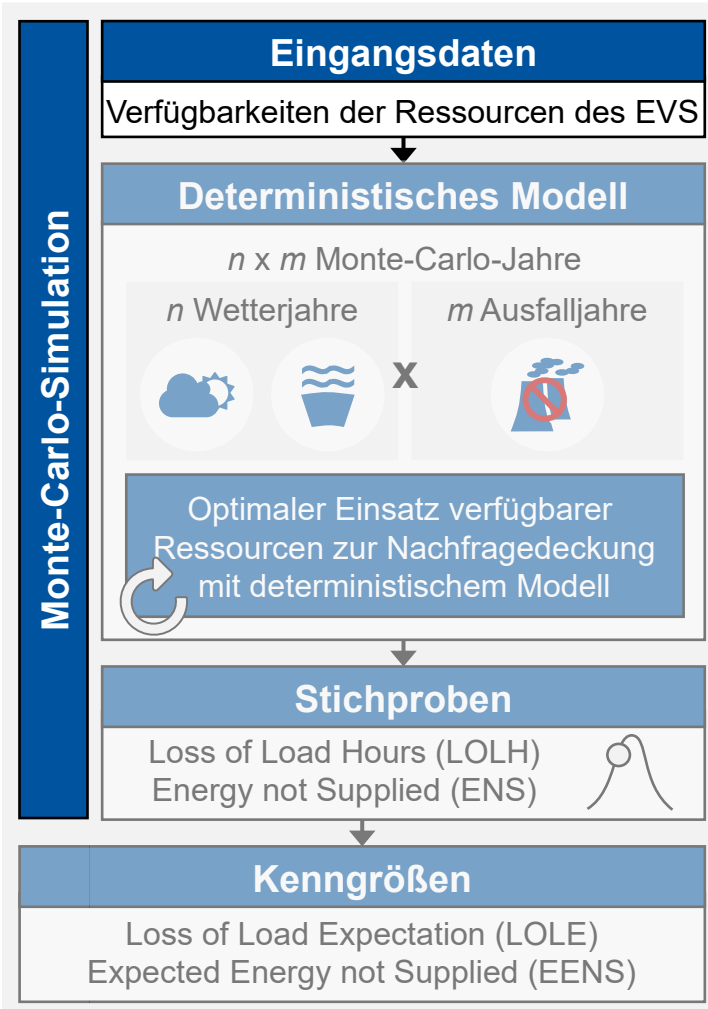
- Bewertung der Resource Adequacy anhand der probabilistischen Kenngrößen...
  - **Loss of Load Expectation** (LOLE, [h/a]) und
  - **Expected Energy Not Supplied** (EENS, [MWh/a])  
... ist Stand der Technik





## Deterministische Verfügbarkeiten

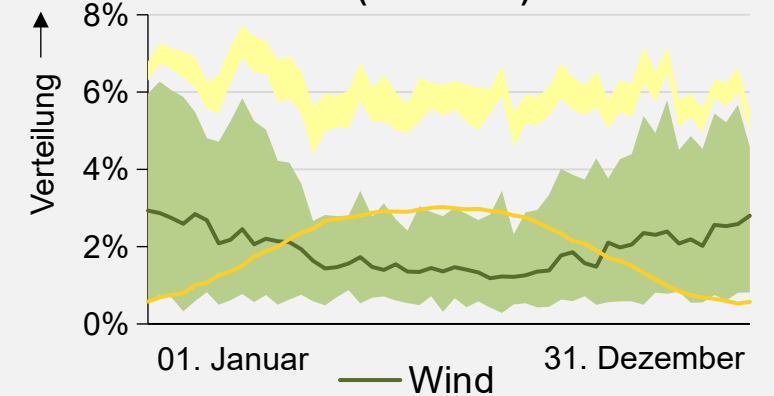
- Installierte Kraftwerks- und Speicherkapazitäten (hydraulische (Pump-)Speicherkraftwerke sowie Batteriespeicher)
- Installierte Leistung an EE-Anlagen (Onshore- & Offshore-Windenergieanlagen, Photovoltaik, Biomasse, Laufwasser)
- Flexibilitätsoptionen auf Nachfrageseite (DSM<sup>1</sup>/DSR<sup>2</sup>, Elektrolyseure)
- Restriktionen des Stromhandels (Flow-based Domain (FBMC<sup>3</sup>) / Nettohandelskapazitäten)
- Europäisches Übertragungsnetzmodell
- Leistungsflusssteuernde Netzbetriebsmittel (Phasenschieber-Transformatoren, HGÜ<sup>4</sup>)
- Weitere Restriktionen (z. B. vorzuhaltende Regelreserve, Energiemengenrestriktion, etc.)



## Wetterjahre

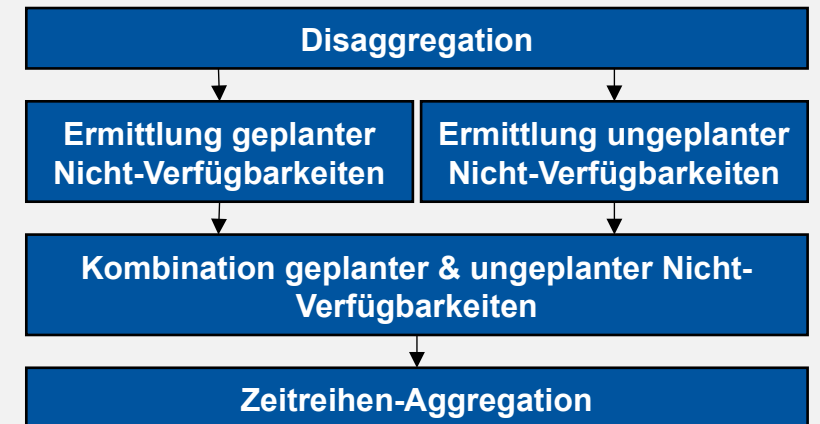
- Zeitreihen auf Basis histor. Wetterjahre
- Umfasst Erzeugungsprofile für EE-Anlagen, Zuflusszeitreihen für hydraulische (Pump-)Speicher-kraftwerke, KWK-Verpflichtungen von thermischen Kraftwerken sowie Zeitreihen für die Last

Wöchentl. Verteilung der Volllaststunden in DE (1982-2016)<sup>1</sup>



## Ausfalljahre

- Mehrstufiges Verfahren zur Herleitung von Ausfalljahren
- Berücksichtigung von
  - geplanten Nicht-Verfügbarkeiten und
  - ungeplanten Nicht-Verfügbarkeiten





## Geplante Nicht-Verfügbarkeiten

- Ermittlung geplanter Nicht-Verfügbarkeiten auf Basis eines gemischt-ganzzahligen Optimierungsproblems je betrachtetes Marktgebiet

## Freiheitsgrade

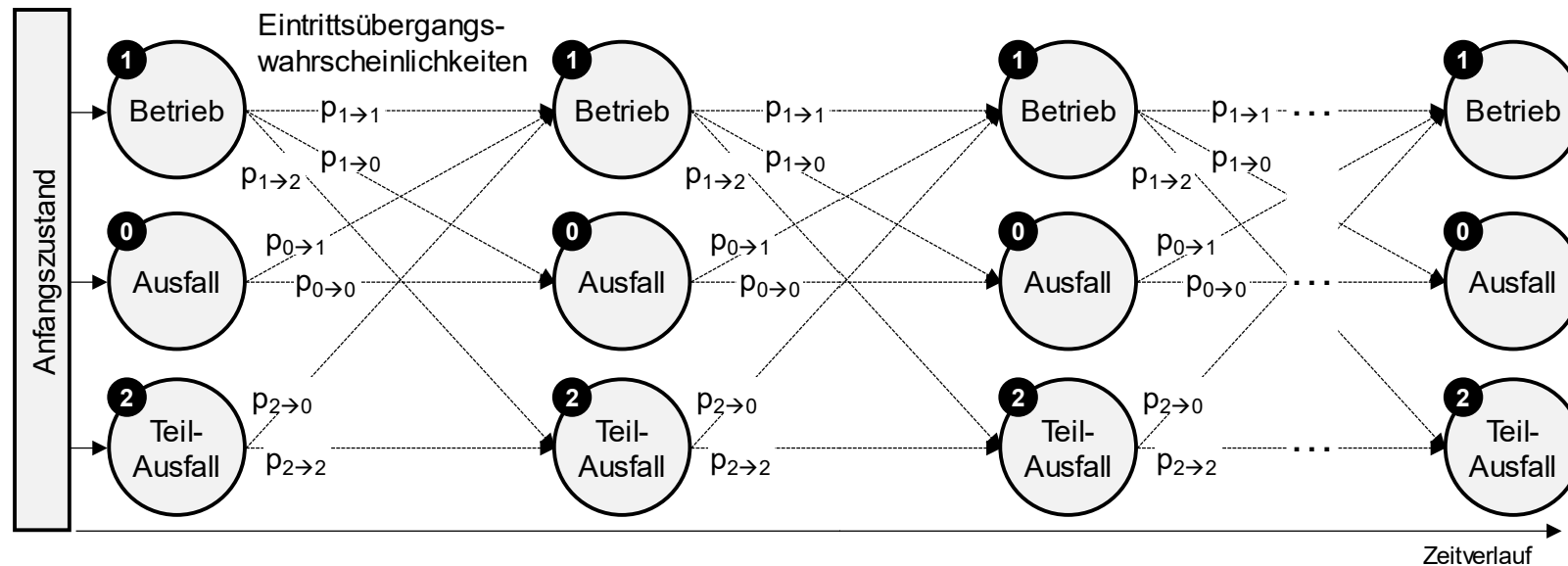
- Zustandsvariable beschreibt, ob Anlage im Zeitpunkt in Betrieb () ist oder nicht ()
- Hilfsvariable zur Formulierung der Zielfunktion

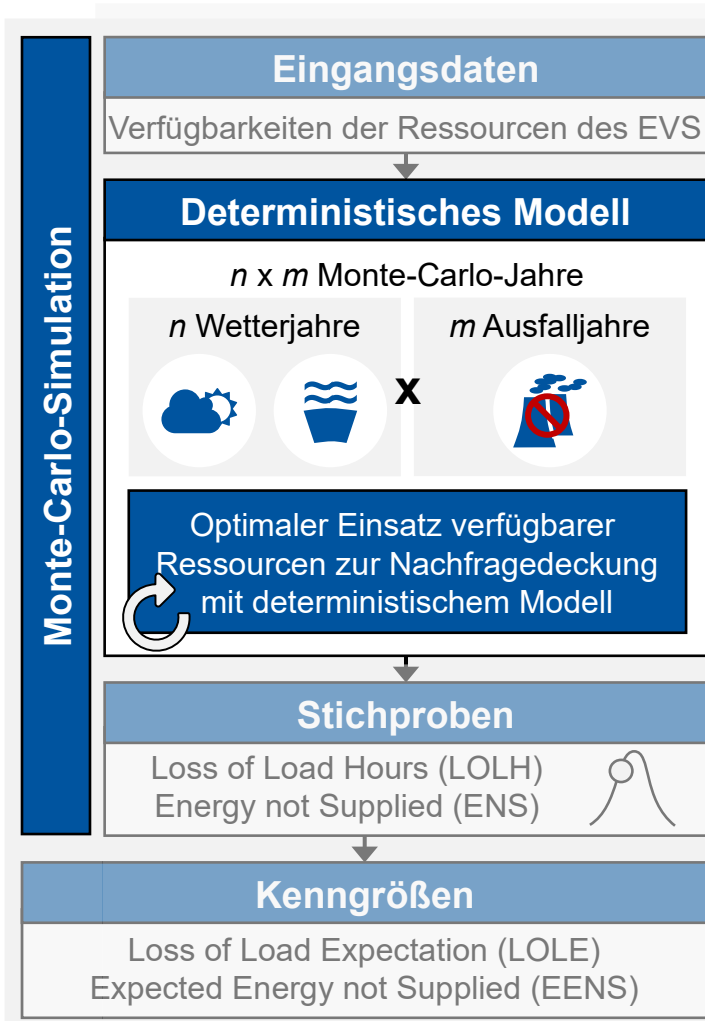
## Nebenbedingungen

- Berücksichtigung der geplanten Dauer der Nicht-Verfügbarkeit im Betrachtungszeitraum
- Bei Übergang von Betrieb in Nicht-Betrieb muss die Anlage die nächsten Zeitschritte in Nicht-Betrieb verweilen
- Die Hilfsvariable ist kleiner als die in jedem Zeitschritt noch verfügbare Leistung
- Optional: Berücksichtigung eines max.-Faktors für geplante Nicht-Verfügbarkeiten in den Winter-Monaten

## Ungeplante Nicht-Verfügbarkeiten

- Ermittlung ungeplanter Nicht-Verfügbarkeiten basiert auf Markov-Ketten
- Drei mögliche Zustände: **1** – Betrieb, **0** – Ausfall, **2** – Teilausfall
- Bestimmung der Eintrittsübergangswahrscheinlichkeiten auf Basis der Ausfallrate sowie der Wiederinbetriebnahme
- Optional: Berücksichtigung einer minimalen sowie einer maximalen Ausfalldauer





## Kraftwerkseinsatzoptimierung

- Lineares Optimierungsproblem mit Ziel der Minimierung der Nachfrageunterdeckung innerhalb einer Gesamtkostenminimierung
- Optimierung unter perfekter Voraussicht: 1 Jahr in geschlossener Form in stündlicher Auflösung
- Vorgelagerte Aggregation sowie nachgelagerte Disaggregation von Kraftwerken & Speichern sowie Flexibilitäten der Nachfrageseite zur Reduktion der Problemkomplexität

## Freiheitsgrade

- Einsatz von Kraftwerken & Speichern
- Abregelung der Erzeugung
- Importe / Exporte
- Flexibilität der Nachfrage
- Nachfrageunterdeckung (ENS<sup>1</sup>)
- weitere Slack-Variablen (Überflüsse, Reservevorhaltung, etc.)

## Nebenbedingungen

- Deckung der Nachfrage je Marktgebiet
- Eingeschränkte Verfügbarkeiten der Ressourcen
- Einschränkung des Handels (FBMC<sup>2</sup>/NTC<sup>3</sup>)
- Vorhaltung Regelreserve je Marktgebiet

## Ergebnisse

- Kraftwerkeinsätze, Abregelung der Erzeugung
- Nachfrageunterdeckungen (ENS, LOLH)

# Exemplarische Ergebnisse

## Untersuchungsgegenstand

- Exemplarisches Szenario für das Untersuchungsjahr 2030
- Parametrierung der Mantelzahlen auf Basis des ERAA 2022
- Zeitreihen für EE-Einspeisung, Last & Zuflüsse auf Basis der PECD-Datenbank
- Ausfallparameter in Anlehnung an ERAA 2022
  - Wochen-scharfe Ermittlung der geplanten Nicht-Verfügbarkeiten
  - Stunden-scharfe Ermittlung der ungeplanten Nicht-Verfügbarkeiten

## Untersuchungsprogramm

- 1 Nicht-Verfügbarkeiten lediglich aufgrund ungeplanter Nicht-Verfügbarkeiten
- 2 Nicht-Verfügbarkeiten lediglich aufgrund ungeplanter Nicht-Verfügbarkeiten unter Berücksichtigung einer minimalen Ausfalldauer
- 3 Nicht-Verfügbarkeiten aufgrund ungeplanter und geplanter Nicht-Verfügbarkeiten
- 4 Nicht-Verfügbarkeiten aufgrund ungeplanter und geplanter Nicht-Verfügbarkeiten unter Berücksichtigung von saisonalen Abhängigkeiten geplanter Nicht-Verfügbarkeiten (Faktor 15 %)

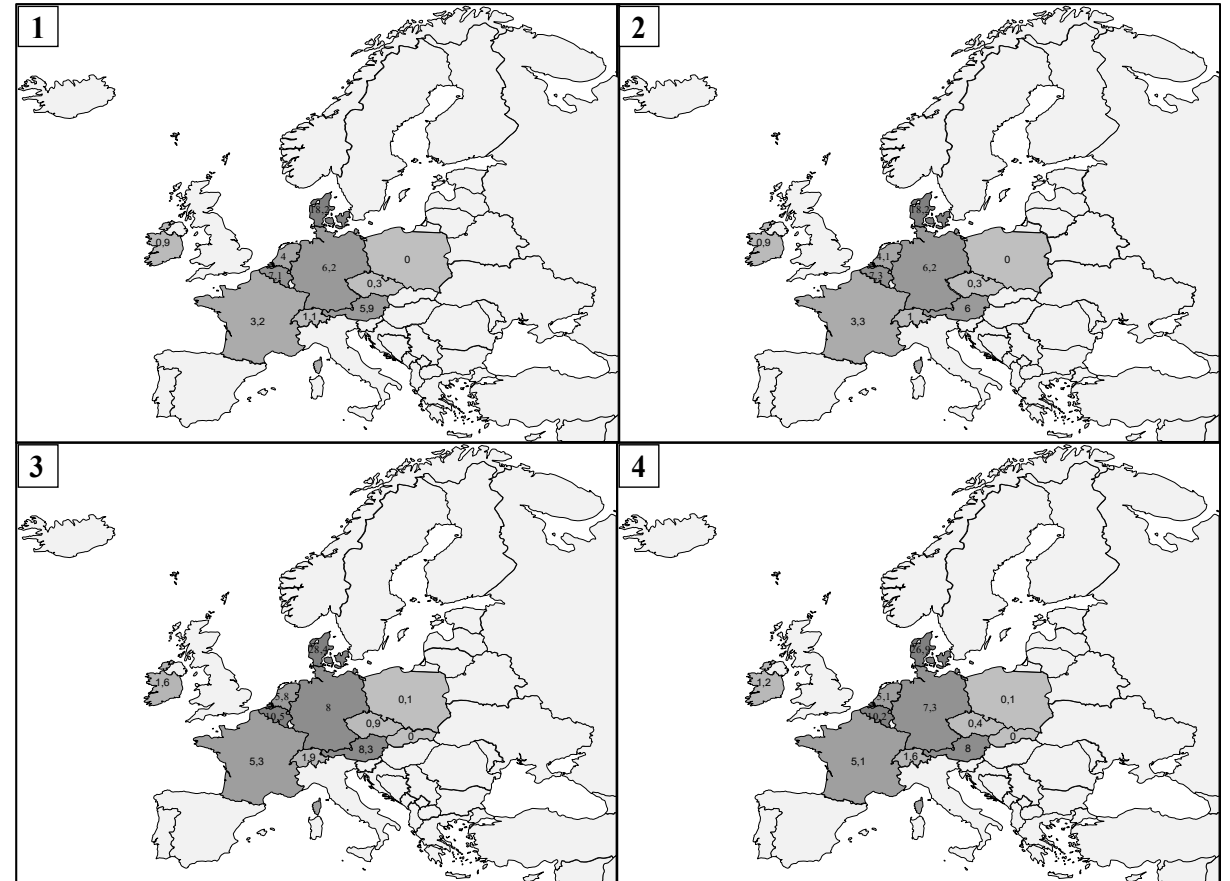


# Exemplarische Ergebnisse

## Loss of Load Expectation (LOLE)

Quantifizierung des Einflusses auf die Kenngrößen zur Resource Adequacy anhand der Kenngröße Loss of Load Expectation (LOLE)

- Berücksichtigung einer minimalen Ausfalldauer hat keinen signifikanten Einfluss auf die Kenngrößen  
→ Ggf. Einfluss auf die Konvergenz
- Vernachlässigung von geplanten Nicht-Verfügbarkeiten führt jedoch zu einer Unterschätzung der Kenngrößen
- Berücksichtigung saisonaler Effekte geplanter Nicht-Verfügbarkeiten (geplante Nicht-Verfügbarkeiten vermehrt in den Sommermonaten) hat ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die Kenngrößen  
→ Realitätsnahe Abbildung der saisonalen Abhängigkeiten notwendig



# Zusammenfassung

---

## Zentrale Fragestellung:

Welchen Einfluss haben unterschiedliche Ansätze zur Generierung von Ausfallzeitreihen auf die Kenngrößen zur Resource Adequacy?

## Ziel dieser Arbeit:

**Entwicklung eines Verfahrens zu Ermittlung von geplanten und ungeplanten Nicht-Verfügbarkeiten sowie die Quantifizierung des Einflusses unterschiedlicher Ausprägungen des Verfahrens auf die Kenngrößen zur Resource Adequacy**

## Fazit

- Einfluss geplanter Nicht-Verfügbarkeiten auf die Kenngrößen zur Resource Adequacy zu erkennen
- Realitätsnahe Abschätzung der saisonalen Effekte geplanter Nicht-Verfügbarkeiten sind zu berücksichtigen

## Ausblick

- Weiterentwicklung des Verfahrens
- Untersuchung saisonaler Effekte ungeplanter Nicht-Verfügbarkeiten