

Holger Becker, Spreewindtage Potsdam, 9. November 2023

---

Wiederaufbau des Stromnetzes  
nach einem Blackout und  
Unterstützungsmöglichkeiten  
durch Windenergieanlagen

## 1. Motivation / Einführung

## 2. Netzwiederaufbau aktuell

- Bottom-Up
- Rumpfnetzstrategie

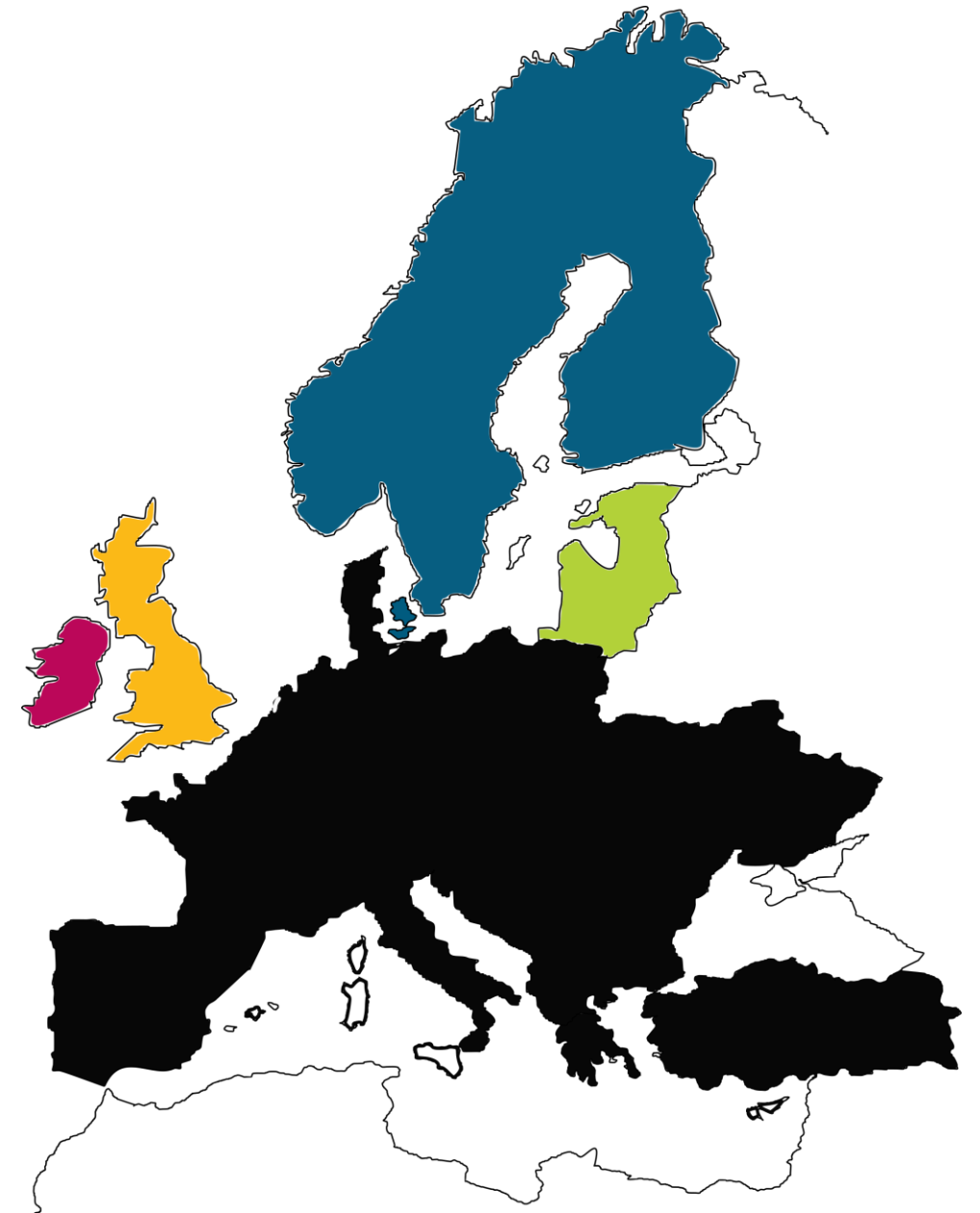
## 3. Aufbau von Netzeinseln

- Schwarzstart
- Synchronisierung von Netzeinseln

## 4. Herausforderung durch die Energiewende

- Außerbetriebnahme thermischer Kraftwerke
- Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen beim NWA
- Steigende Anlagenzahl

## 5. Zusammenfassung / Ausblick



## Kapitel 1

---

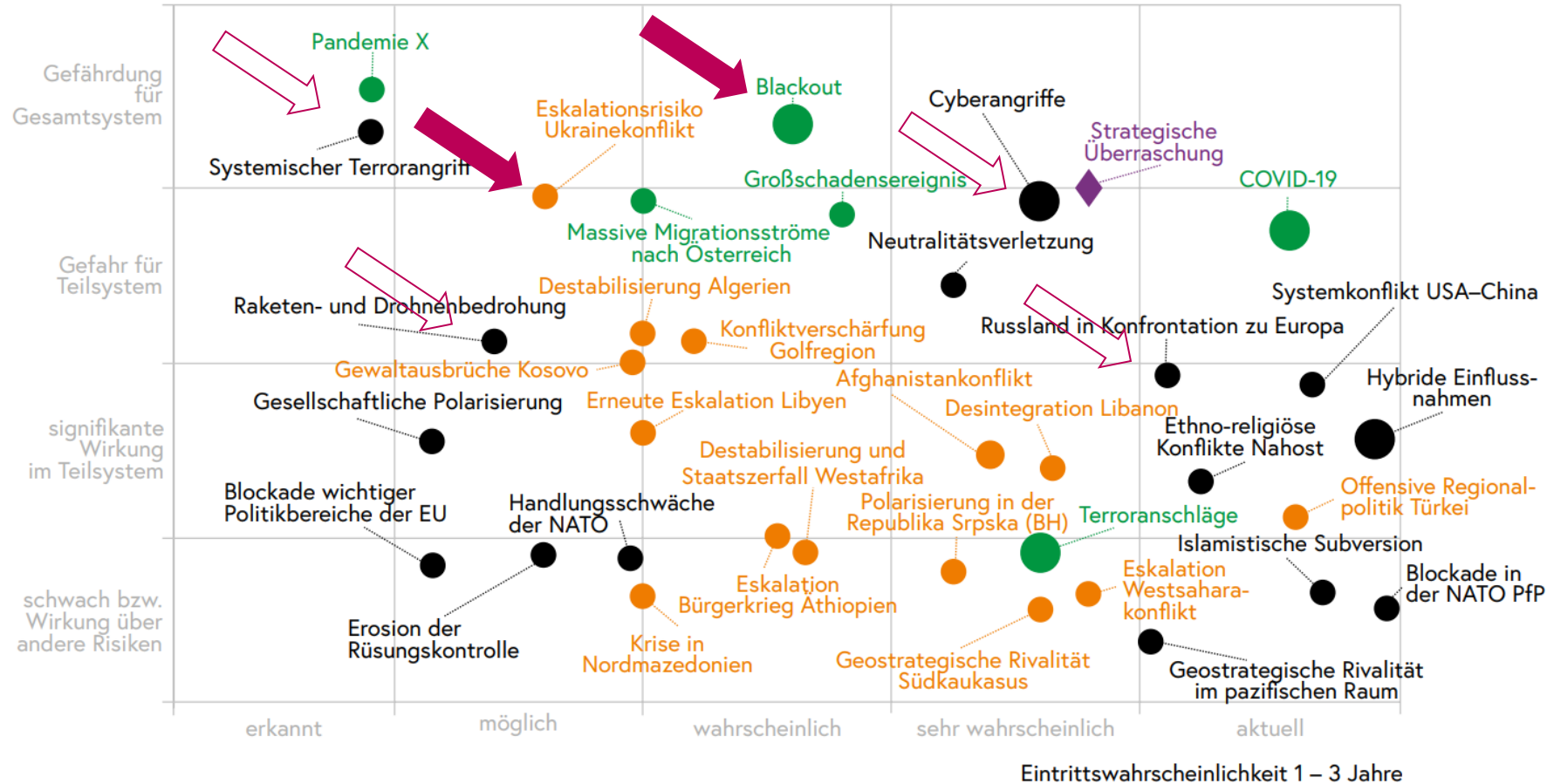
# Motivation / Einführung



# Motivation / Einführung

Ein Blick von außen

## Auswirkungen auf die österreichische Sicherheit 1 – 3 Jahre



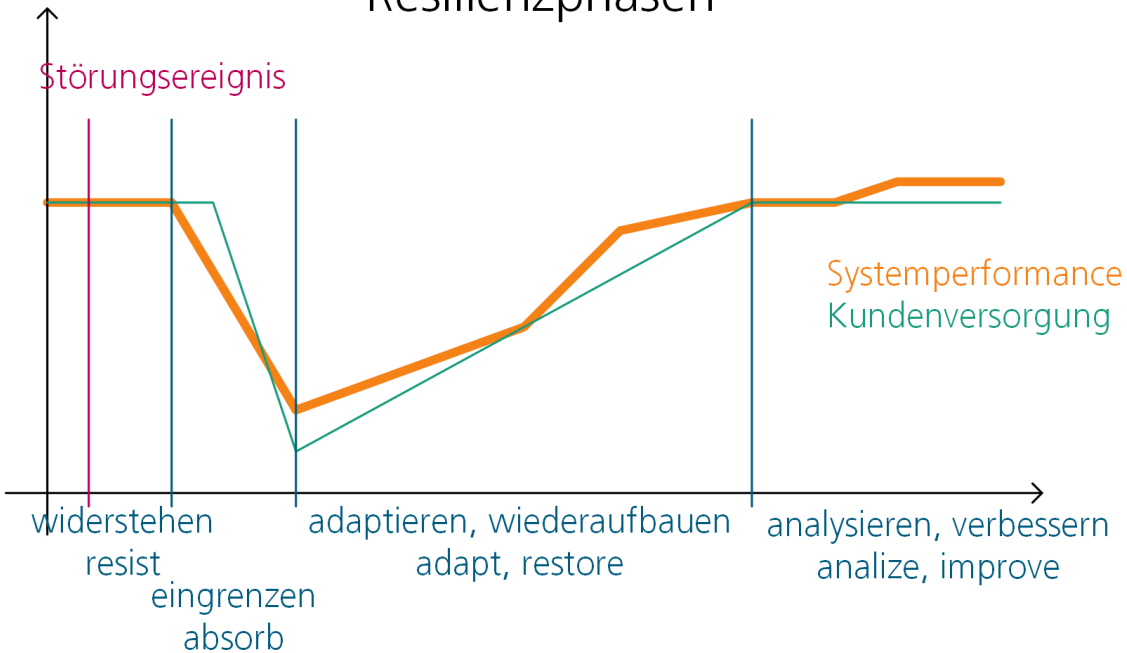
Extremereignisse  
Regionale Konflikte  
Generelle Risiken

Quelle: Institut für Friedenssicherung und Konfliktmanagement im Auftrag des Bundesministerium Landesverteidigung Österreich: Sicherheitspolitische Jahresvorschau 2021

# Motivation / Einführung

## Resilientes elektrisches Energiesystem

### Resilienzphasen



### Klassifizierung von Störungsereignissen

Ausfallereignis	Aufbaustrategie
Lokaler oder regionaler Ausfall	Wenn notwendig: Schaden beheben, wieder zuschalten
Teilnetzbildung (System Split)	Netzinseln stabilisieren, Netzinseln synchronisieren, Verbraucher wiederversorgen
Überregionaler Ausfall mit anstehender ENTSO-E Spannung	Top-Down Wiederaufbau (Spannung sukzessive fortschalten)
Überregionaler Ausfall ohne anstehende ENTSO-E Spannung	Bottom-Up Wiederaufbau (aus eigener Kraft)

## Kapitel 2

---

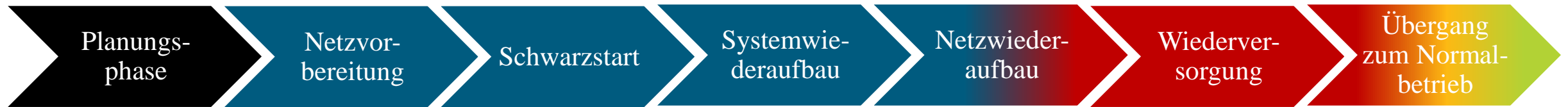
# Netzwiederaufbau aktuell

# Netzwiederaufbau aktuell

## Bottom-Up

### Organisation und Verantwortlichkeit

- Netzwiederaufbau (NWA) gliedert sich in unterschiedliche Phasen
- Jeder Netzbetreiber ist für sein Netzgebiet verantwortlich
- Übertragungsnetzbetreiber hat für seine Regelzone die Systemverantwortung
- Koordiniertes und abgestimmtes Handeln innerhalb des eigenen Verantwortungsbereiches
- Der Einsatz von Kraftwerken, Erzeugungsanlagen und Lasten erfolgt aus der Leitstelle des jew. Anschlussnetzbetreibers



Strommarkt außer Kraft gesetzt

# Netzwiederaufbau aktuell

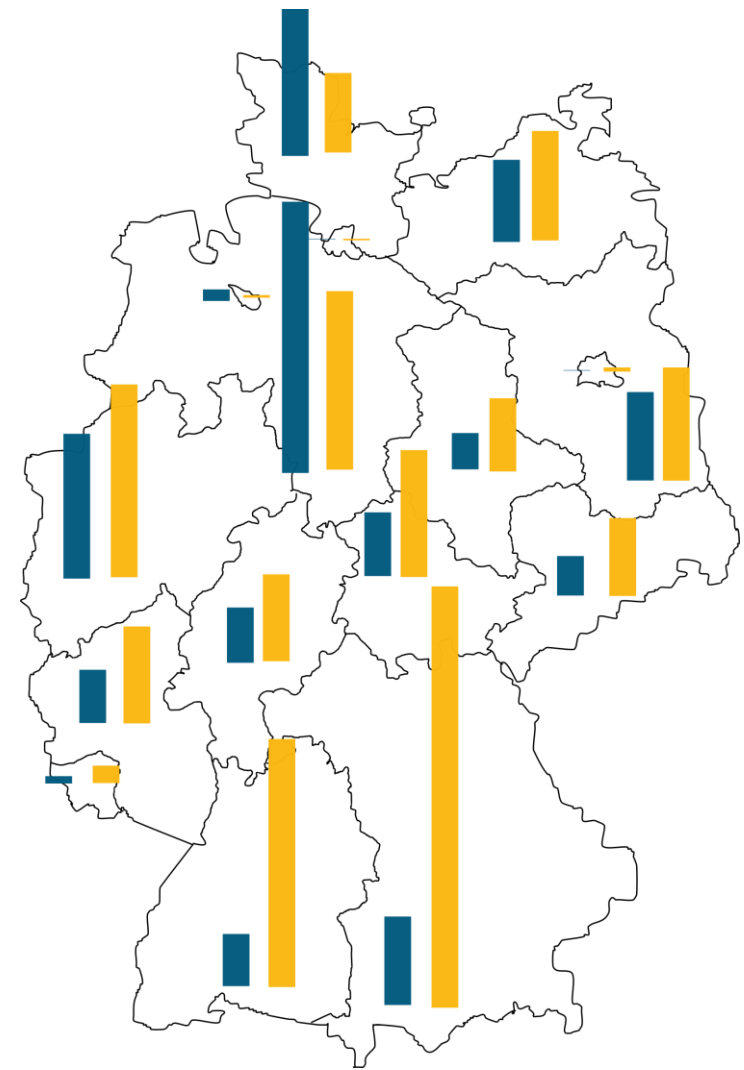
## Rumpfnetzstrategie

### Randbedingungen

- Ein Netzwiederaufbau muss im Wesentlichen mit den Kraftwerken und Erzeugungsanlagen durchgeführt werden, die auch vor dem Ausfall am Netz waren
- Europäischer Netzverbund zunächst nicht verfügbar
- Das Netz muss vor dem Aufbau segmentiert werden
- Beginn mit parallelem Aufbau von Netzinseln

### Herausforderungen

- Zeitweise große nationale Transportaufgaben
- Unterschiedliche wetterabhängige Leistungsflusssituationen



Installierte Leistung Wind (On- und offshore)

Installierte Leistung PV

Quelle: Netzentwicklungsplan Strom 2037, Version 2023, Szenario 2037 B, eigene Darstellung



# Netzwiederaufbau aktuell

## Rumpfnetzstrategie

### Randbedingungen

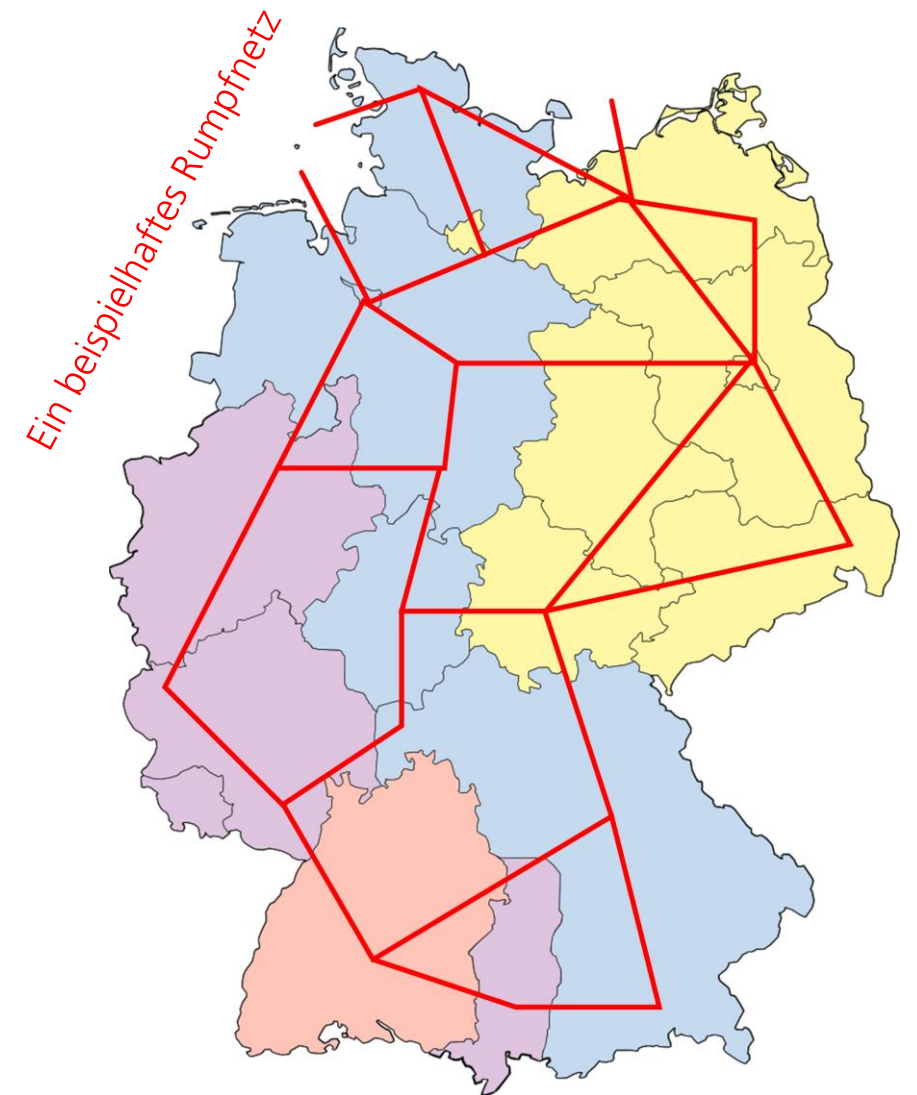
- Ein Netzwiederaufbau muss im Wesentlichen mit den Kraftwerken und Erzeugungsanlagen durchgeführt werden, die auch vor dem Ausfall am Netz waren
- Europäischer Netzverbund zunächst nicht verfügbar
- Das Netz muss vor dem Aufbau segmentiert werden
- Beginn mit parallelem Aufbau von Netzinseln

### Herausforderungen

- Zeitweise große nationale Transportaufgaben
- Unterschiedliche wetterabhängige Leistungsflusssituationen

### Lösungsidee: Vorgeplantes Rumpfnetz

- Schnelle Synchronisierung einzelner Netzinseln zum Rumpfnetz
- Flächendeckende Netzstruktur über Deutschland
- Schnelle Erreichbarkeit relevanter Anlagen in der Fläche
- Betriebliche Flexibilität in unterschiedlichen Situationen
- Überregionale Energietransporte möglich
- Bündelung von Ressourcen (z.B. Systemdienstleistungen)



Quelle: Karte: Wikipedia.de, License: CC Attribution-Share Alike 3.0 Unported (<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/deed.en>)  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Regelzonen\\_%C3%9Cbertragungsnetzbetreiber\\_in\\_Deutschland.svg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Regelzonen_%C3%9Cbertragungsnetzbetreiber_in_Deutschland.svg)  
Eigene Ergänzung um beispielhaftes, stilisiertes Rumpfnetz

## Kapitel 3

---

# Aufbau von Netzeinseln

# Aufbau von Netzinseln

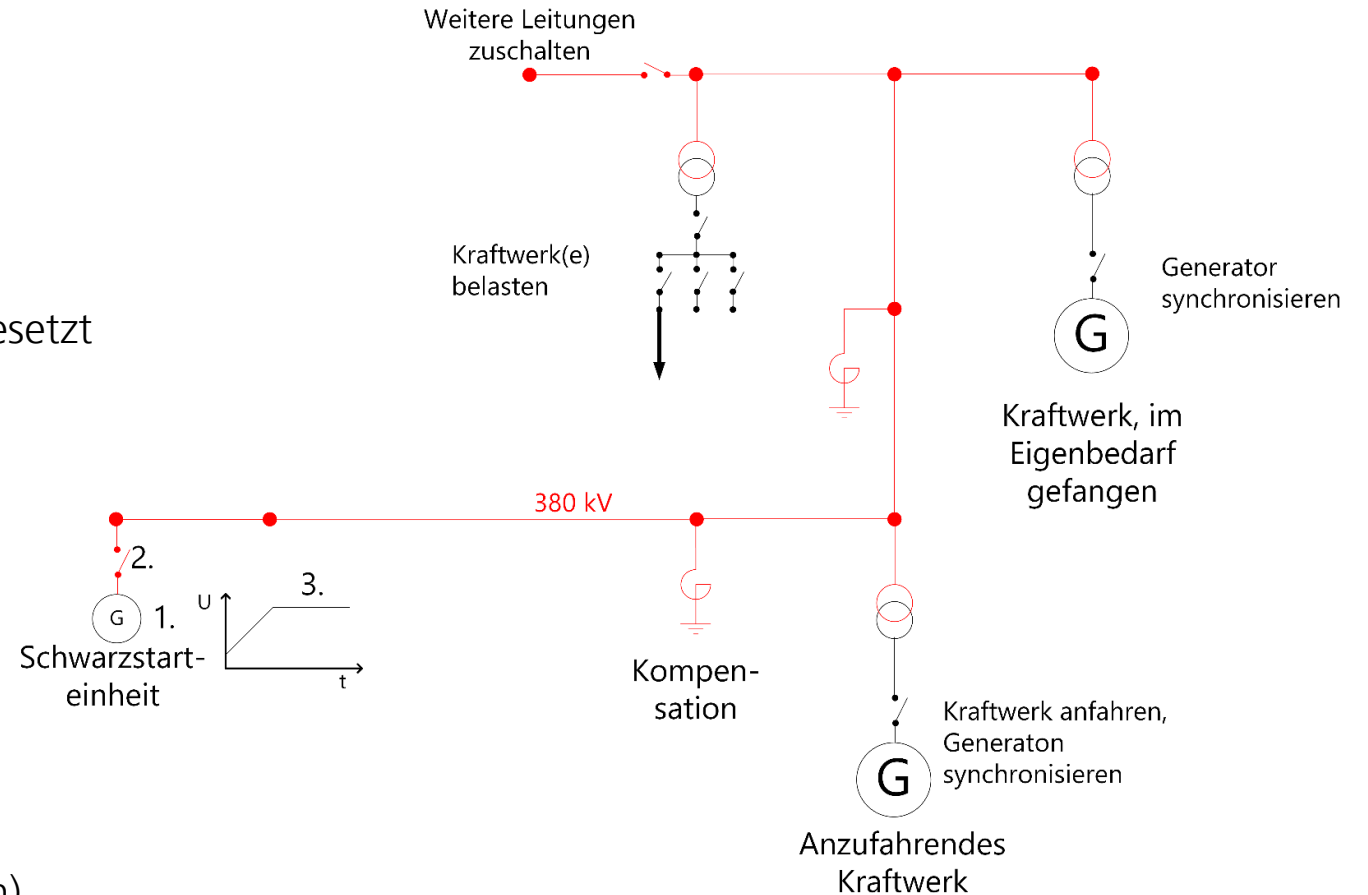
## Schwarzstart

### Hochfahrnetz

- Anfahren der Schwarzstarteinheit
- Hochfahrnetz wird rampenförmig unter Spannung gesetzt
- Systemdienstleistungen benötigt
  - Spannungsregelung (netzbildende Einheit)
  - Frequenzhaltung
  - Spannungshaltung
- Konventionelle Kraftwerke werden angefahren
- Kraftwerke werden zur Stabilisierung belastet

### Weiteres Vorgehen

- Lasten versorgen (im Rahmen verfügbaren Leistung)
- Weitere Kraftwerke anfahren (Systemdienstleistungen)
- Netzinseln erweitern und mit anderen Inseln synchronisieren



# Aufbau von Netzeinseln

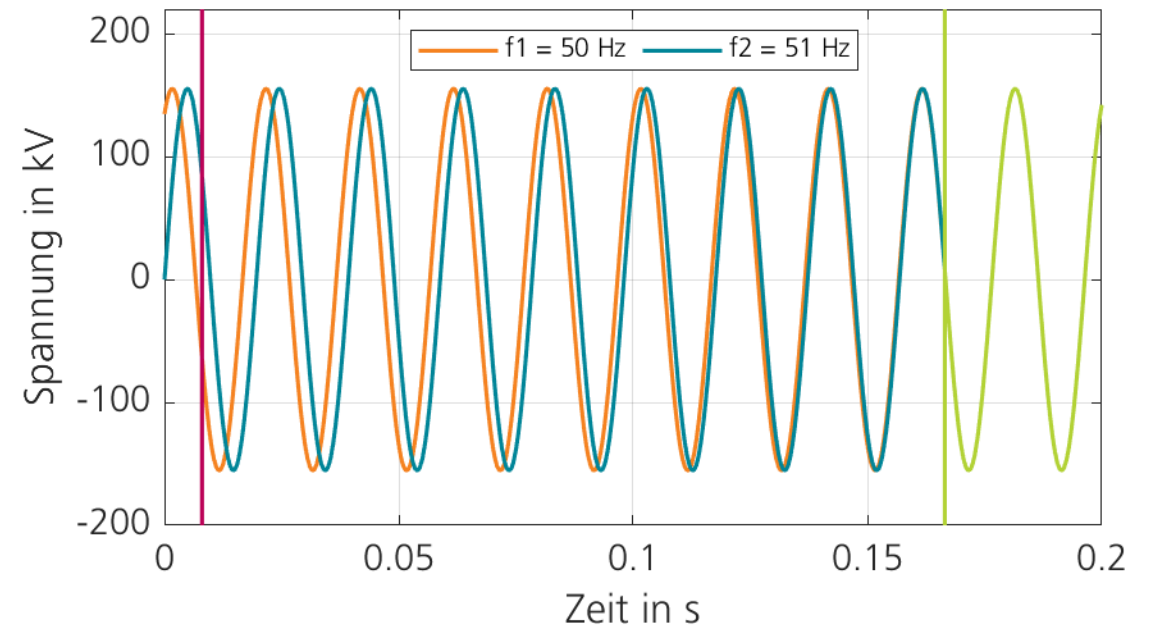
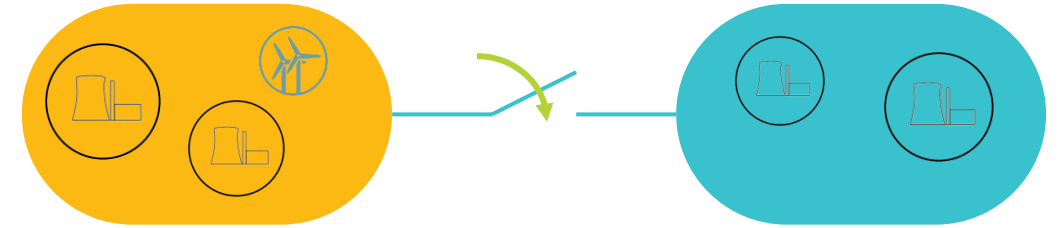
## Synchronisierung von Netzeinseln

### Synchronisierung muss vorgeplant werden

- Durch Null geht immer (eine Insel kollabieren lassen, dann zuschalten)
- Synchronisierung nur mit Synchronisierungsgerät möglich
- Synchronisierungskonzept erforderlich
  - Spannungsbedingung
  - Frequenzbedingung
  - Winkelbedingung
- Angleichung der Frequenz in beiden Netzeinseln

### Nach Synchronisierung

- Gemeinsames Frequenzhaltungs- bzw. Leistungsregelungskonzept notwendig!





## Kapitel 4

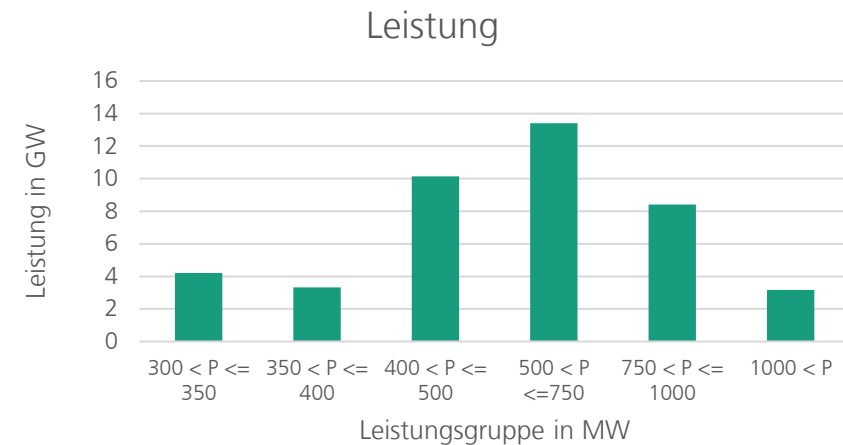
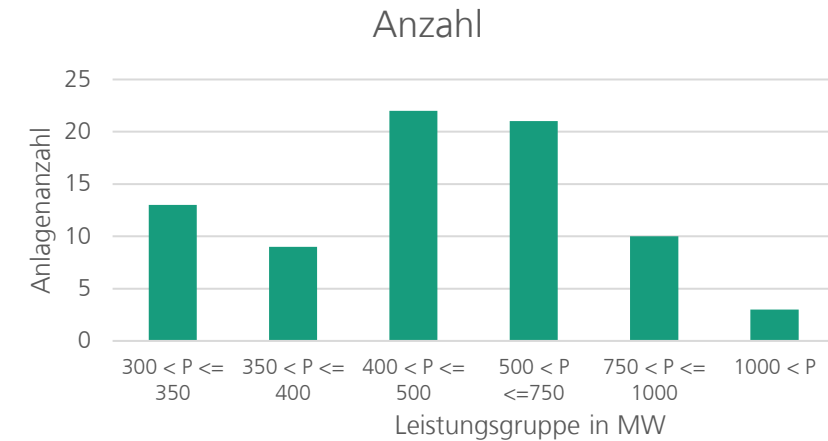
---

# Herausforderungen durch die Energiewende

# Außerbetriebnahme thermischer Kraftwerke

## Einheiten ab 300 MW Nettoleistung

- Kohle- und Gaskraftwerke
- In der Regel Anschluss an das Übertragungsnetz
- Weniger als 80 Anlagen liefern mehr als 40 GW gesicherte Erzeugungslleistung
- Systemdienstleistungen
  - Momentanreserve
  - Spannungshaltung
  - Leistungs-/Frequenzregelung
  - Leistungsreserve
- Besetzter Leitstand, direkte Kommunikationsverbindung zum Anschlussnetzbetreiber
  - Verfügbare Leistung kann mitgeteilt werden
  - Anweisungen können entgegengenommen werden

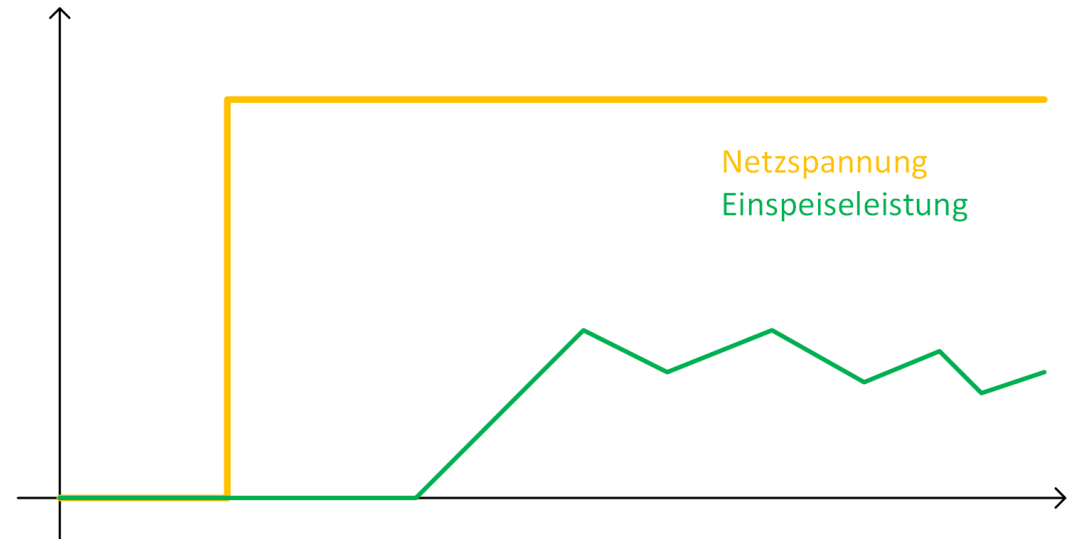


Datengrundlage: Marktstammdatenregister, eigene Auswertung

# Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen beim NWA

## Anlagenbetrieb / Systemdienstleistungen

- Nach Blackout ist Anlagenbetrieb nicht gesichert
- Nach Wiedereinschaltung: Leistungserhöhung (Rampe) bis verfügbare Leistung erreicht, dann MPP-Betrieb
- Eingeschränkte Bereitstellung von Systemdienstleistungen
  - Spannungstützung, keine Spannungsregelung
  - Im leistungsoptimierten Betrieb keine Leistungsreserven verfügbar

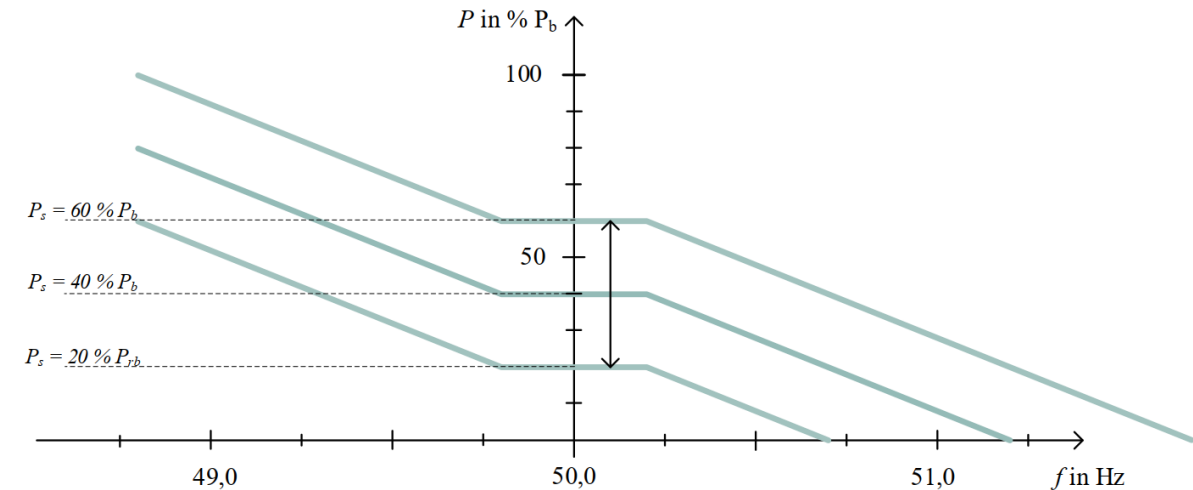


# Einsatz von dezentralen Erzeugungsanlagen beim NWA

## Lösungsansätze

### Hier Fokus: Windparks

- Technische Verfügbarkeit im Blackoutfall erhöhen
- Funktionale Erweiterung der Netzbetreiberschnittstelle
  - Informationsbereitstellung
  - Entgegennahme von Einsatzvorgaben
- Gesonderter Netzwiederaufbaumodus, durch NB aktivierbar
  - Definiertes Anlagenverhalten bei Spannungsausfall inkl. Schaltzustand
  - Geänderte Parkreglereinstellungen
  - Einbindung in die Leistungs-/Frequenzregelung
  - Ggf. Einbindung in die Spannungshaltung
- Übermittlung der möglichen Einspeiseleistung ermöglichen dem Netzbetreiber die Einsatzplanung und den Anlageneinsatz
  - Aktuell
  - Prognosen

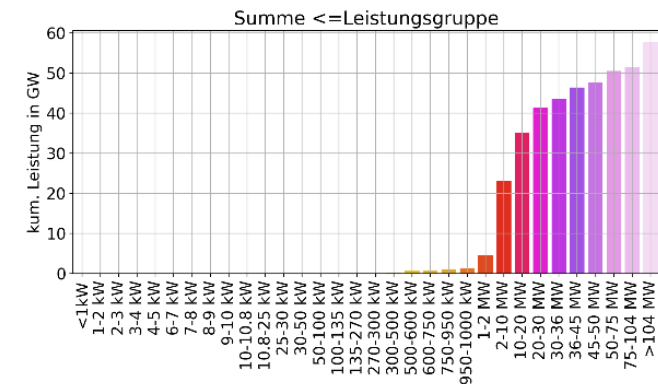
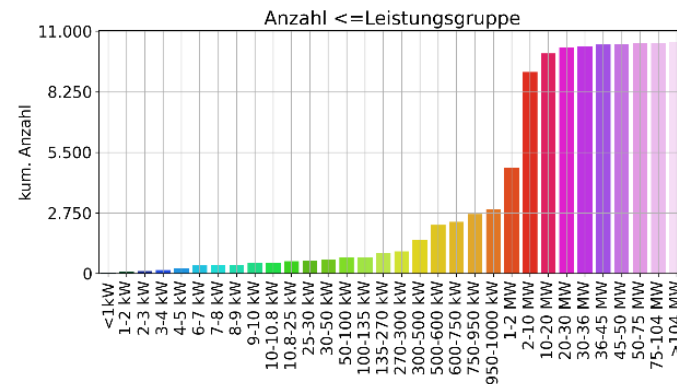
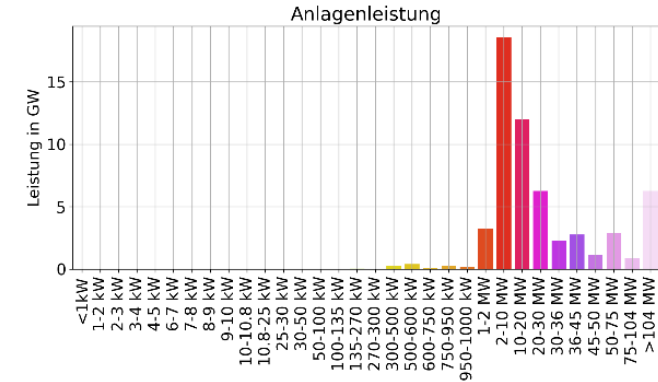
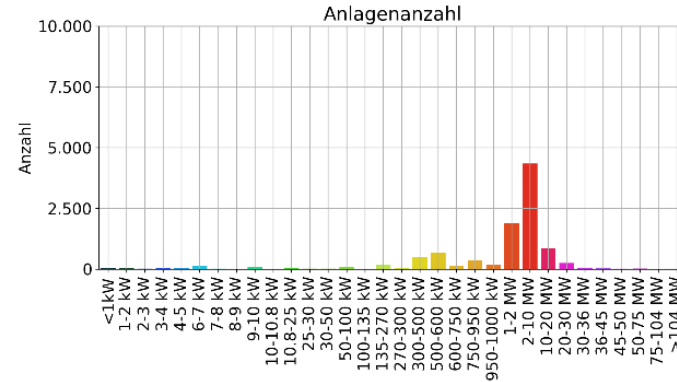




# Steigende Anlagenzahl

## Windenergieanlagen

- Großteil der Anlagen Anschluss an das Hoch- oder Mittelspannungsnetz
- Verlagerung der Erzeugungsleistung vom Übertragungsnetz in die Verteilnetze
- In der Regel in die Leittechnik des Netzbetreibers angebunden
- Rund 10.000 Anlagen mit installierter Gesamtleistung von rund 55 GW



Datengrundlage: Marktstammdatenregister, Analyse im Auftrag des BMWK, Veröffentlichung in Kürze



## Kapitel 5

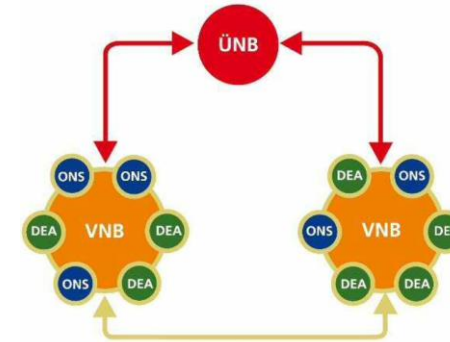
---

# Zusammenfassung / Ausblick

# Zusammenfassung / Ausblick

- Netzwiederaufbau beginnt mit dem Schwarzstart, danach geht es erst richtig los
  - Dezentrale Erzeugungsanlagen müssen in den NWA-Prozess integriert werden
  - Verbesserung der technischen Verfügbarkeit und Erweiterung der technischen Eigenschaften von Erzeugungsanlagen
  - Rollenänderungen bei Netz- und Anlagenbetreibern notwendig
- 
- Entwicklung und Einführung von Aggregations- und Assistenzsystemen
  - Weiterentwicklung / Anpassung bestehender Netzwiederaufbaukonzepte
  - Erweiterte Bereitstellung von Systemdienstleistungen durch Erzeugungsanlagen, z.B. durch netzbildende Umrichter
  - Planung von Verteilnetzinseln

## Forschungsprojekte





# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

## Kontakt

---

**Holger Becker**  
**Netzplanung und Netzbetrieb**  
**Tel. +49 561 7294-426**  
**[Holger.Becker@iee.fraunhofer.de](mailto:Holger.Becker@iee.fraunhofer.de)**

Fraunhofer IEE  
Joseph-Beuys Straße 8  
34117 Kassel  
[www.iee.fraunhofer.de](http://www.iee.fraunhofer.de)

