



Systemstabilität im deutschen Verbundsystem

Stand und Entwicklung im Zuge des Energiewende-Umbaus

01.12.2022 | Dr. Johannes Weidner



Agenda

1. Allgemeine Herausforderungen
2. Werkstatteinblick Frequenzstabilität
3. Fähigkeiten zukünftiger Anlagen

Allgemeine Herausforderungen

Versorgungssicherheit und EE-Integration



Herausforderung im Winter: Sonderanalyse der ÜNB - „Stresstest“

- Grundlage aller Sonderanalysen ist die Bedarfsanalyse 2022 t+1 (gem. § 3 Abs. 2 NetzResV)
- Untersuchung von potentieller Lastunterdeckung und Bewertung der Netzsicherheit
- Szenarien zu Gasverbrauchsreduktion und Kraftwerksverfügbarkeiten

Annahmen	Bedarfsanalyse 2022	Sonderanalyse 2 Bsp. Szenario (++)
 Max. KKW Verfügbarkeit in FR:	61 GW	45 GW
 Marktrückkehrer aus Netzreserve und Sicherheitsbereitschaft: Verfügbarkeit	-	5,0 GW
 Steinkohlekraftwerke: Leistungsreduktion aufgrund der Niedrigwassersituation	-	- 3 GW
 Netzreserve Verfügbarkeit:	6 GW (100 %)	4 GW (67 %)
 Gasverfügbarkeit Süd-DE und AT:	100 %	75 %
 Lasterhöhung Heizlüfter:	-	1,5 GW / 2,5 TWh
 Gaspreis:	68 €/MWh	300 €/MWh

Szenarien (+, ++, +++)	CE	Anteil Deutschland
Anzahl Stunden	14-91 h	0-12 h
Energiemenge	37-682	0-53 GWh
Maximum	6-19 GW	0-8 GW

Stromverbrauch DE:
2021 → 562.000 GWh!





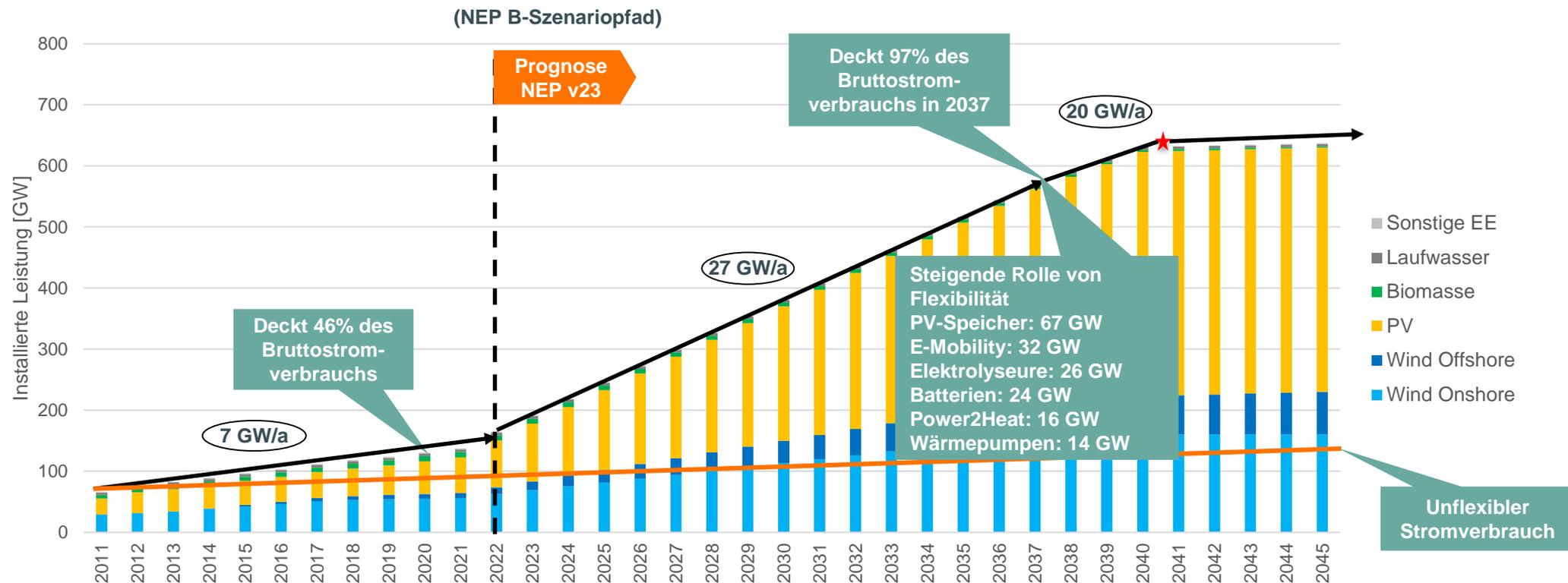
**Das Risiko fehlender
Transportkapazität und fehlender
Redispatch-Leistung ist höher als
das Risiko fehlender
Kraftwerksleistung**

**Umsetzung der ÜNB-
Empfehlungen reduzieren das
Risiko deutlich**

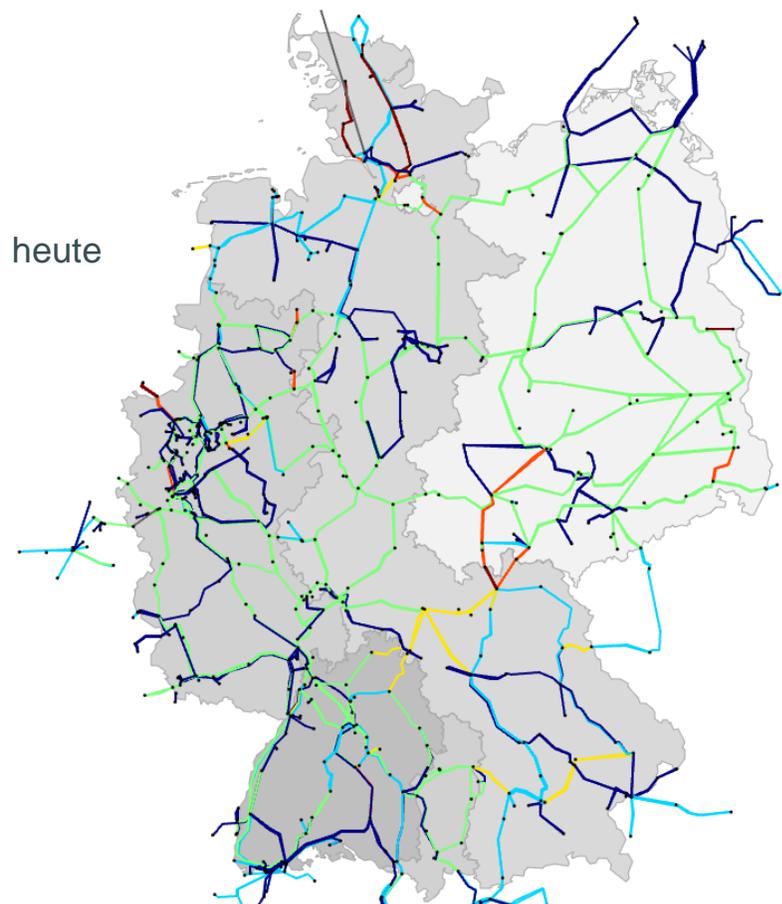
**Der Ausbau der Erneuerbaren und
der Netze muss dramatisch
beschleunigt werden!**



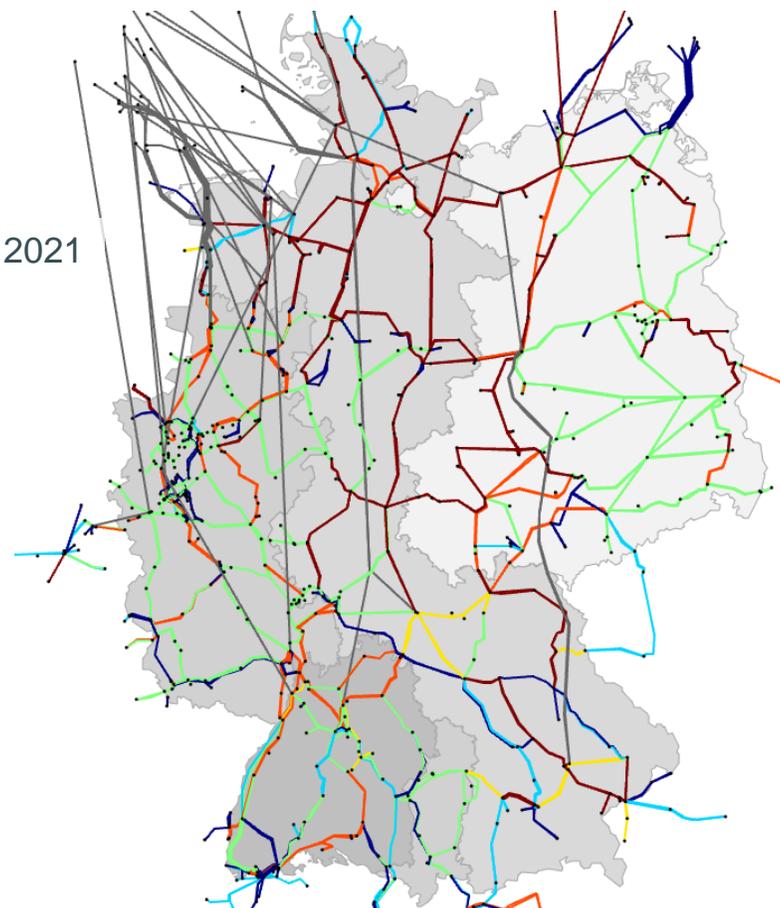
Herausforderung der kommenden Jahre: Ausbau und Integration der Erneuerbaren



Herausforderung der kommenden Jahre: Ausbau und Integration der Erneuerbaren



B2040 NEP 2021





**Erhebliche Steigerung der
Übertragungsfähigkeit der
bestehenden Leitungen**

**Strukturelle Netzerweiterungen
weitgehend als 525 kV DC-Kabel**

Werkstatteinblick Frequenzstabilität

Eine Herausforderung aus dem Bereich der
Systemstabilität

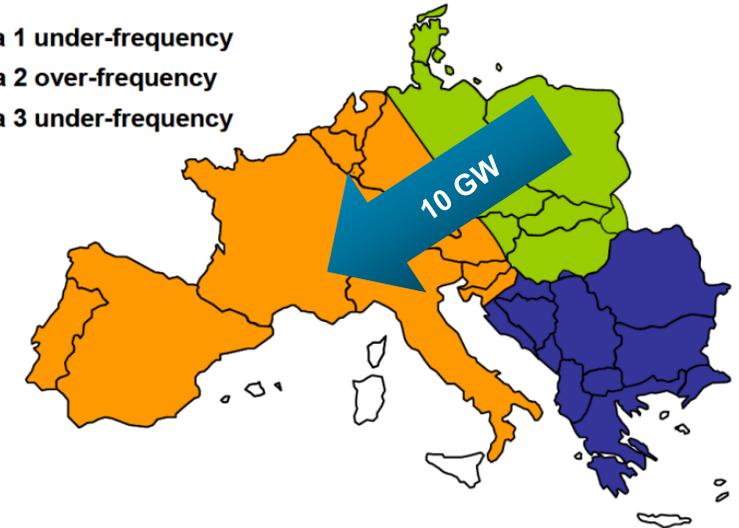


Herausforderung: Frequenzstabilität

- **Im intakten kontinentaleuropäischen Verbundsystem**
 - Auslegungsrelevante Störungen: 3-GW-Leistungsungleichgewicht
 - Kein Bedarf an zusätzlicher Momentanreserve
- **Fundamentaler Unterschied in kleineren Inselnetzen (bspw. Großbritannien oder Irland)**
 - Zusätzlicher Momentanreservebedarf dort bereits bei kleineren Leistungsungleichgewichten notwendig (Auslegungsstörung der Regelernergie)
 - Systemrelevanter Abruf von Momentanreserve tritt häufig auf
- **Bei Großstörungen, insb. Netzauftrennungen (System Splits)**
 - Störungsereignis sorgt für eine lokale Betrachtung der Bedarfe
 - steigender Transportleistungen und Wegfall konventioneller Erzeugung

04.11.2006

- Area 1 under-frequency
- Area 2 over-frequency
- Area 3 under-frequency



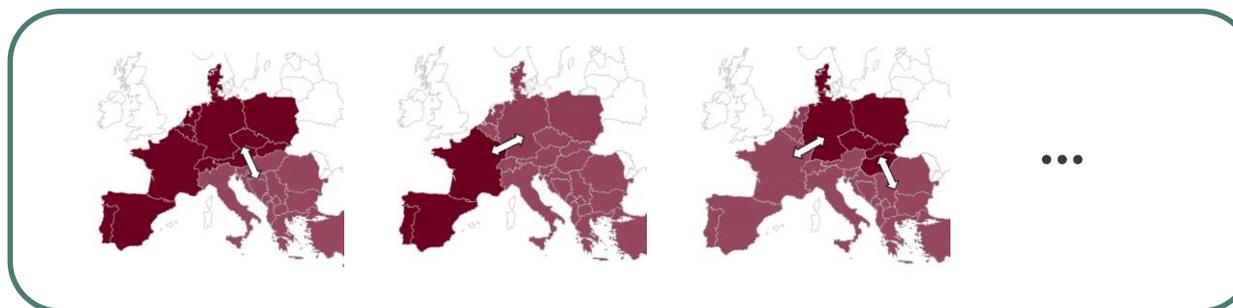
08.01.2021

- North-West area
- South-East area



Netzauftrennungen und Frequenzgradienten

- Auf Basis des TYNDP 2018 wurden eine Vielzahl potentieller Netzauftrennungen (system splits) analysiert

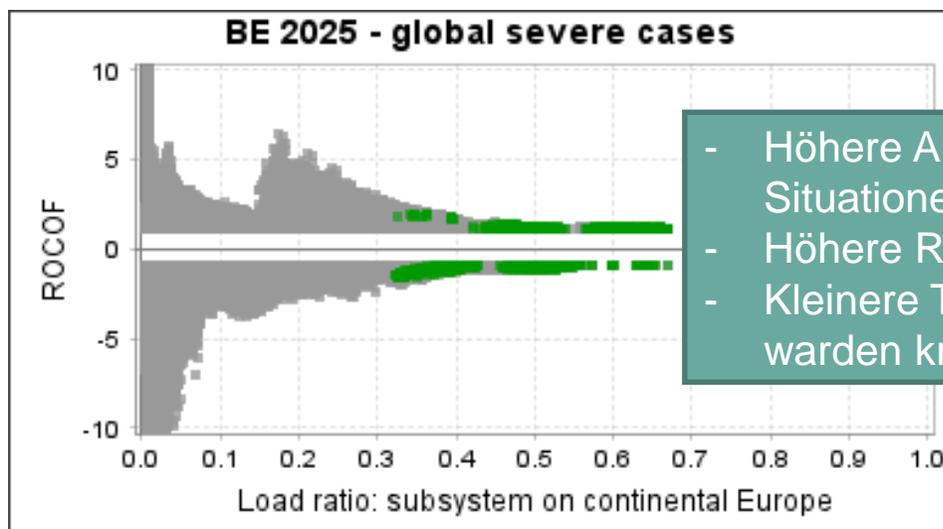


- “**Global severe system splits**” bezeichnet Netzauftrennungen mit einem resultierenden Frequenzgradienten (RoCoF) von mehr als 1 Hz/s in beiden Teilnetzen
- Die so identifizierten Netzauftrennungen werden durch den aktiven Systemschutzplan nicht beherrscht und können zum Blackout führen



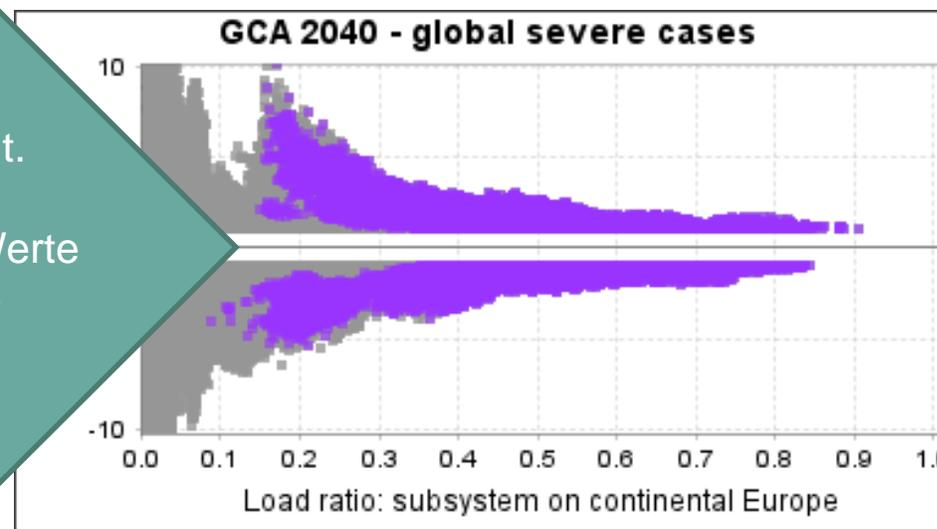
Netzauftrennungen und Frequenzgradienten

2025



- Höhere Anzahl krit. Situationen
- Höhere RoCoF-Werte
- Kleinere Teilnetze warden kritisch

2040



- In nicht auslegungsrelevanten Störungsfällen (grau) können sehr hohe RoCoFs auftreten, die auch mit Gegenmaßnahmen potentiell zum Blackout der betroffenen Teilnetze führen können.

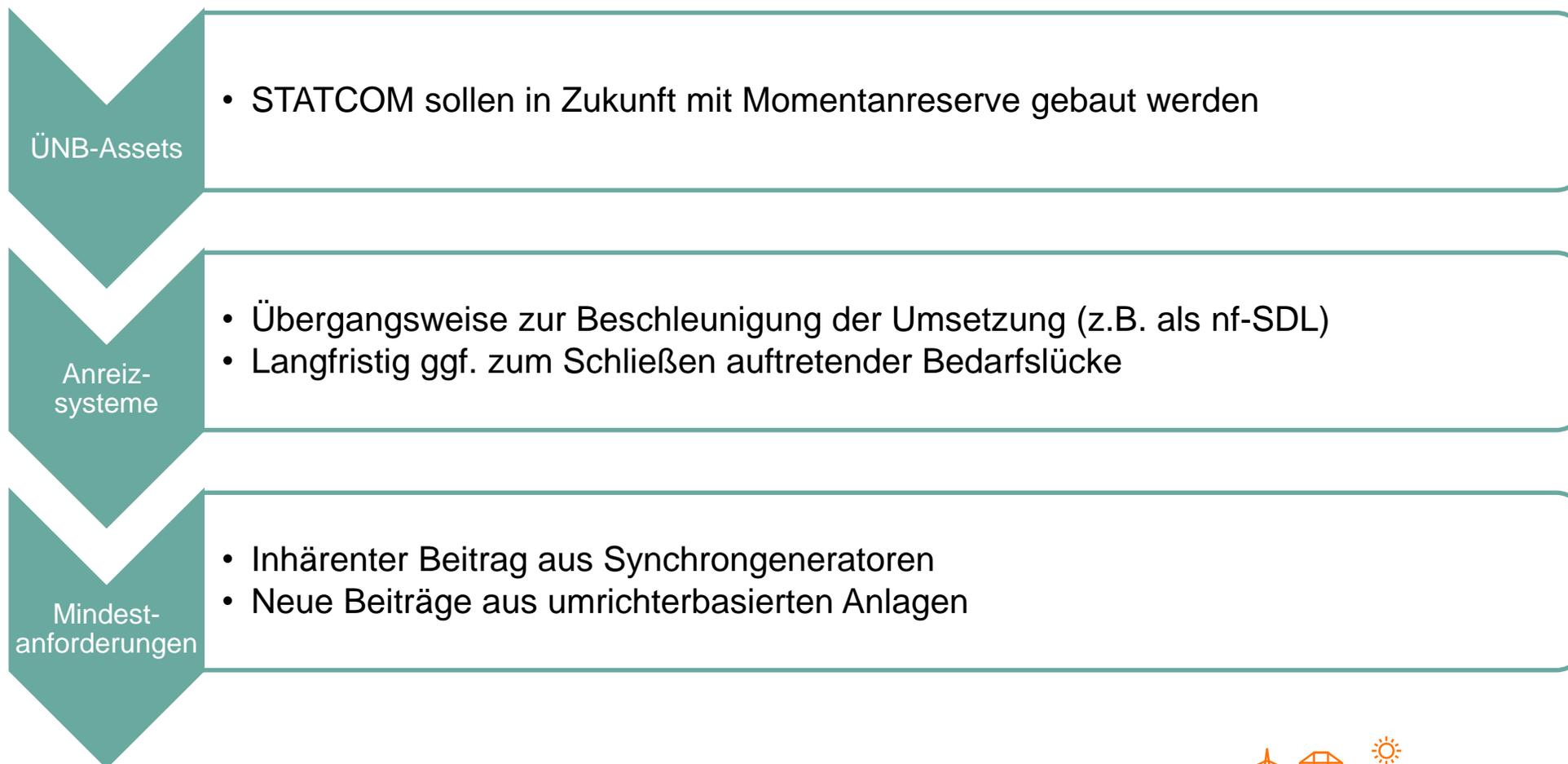




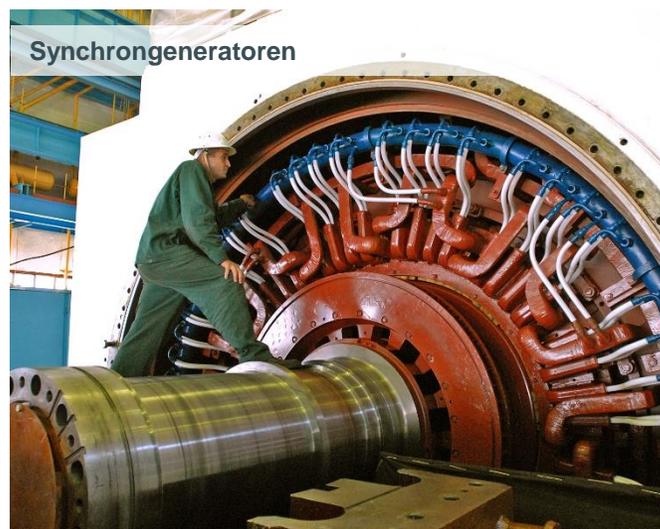
Ohne Gegenmaßnahmen würde ein System Split wie im Jahr 2006 zukünftig in weiten Teilen des Jahres nicht mehr beherrscht werden

Zur Beherrschung solcher Störungen sind Gegenmaßnahmen auf nationaler und europäischer Ebene erforderlich

Bereitstellung von Momentanreserve



Bereitstellung von Momentanreserve



Synchrongeneratoren

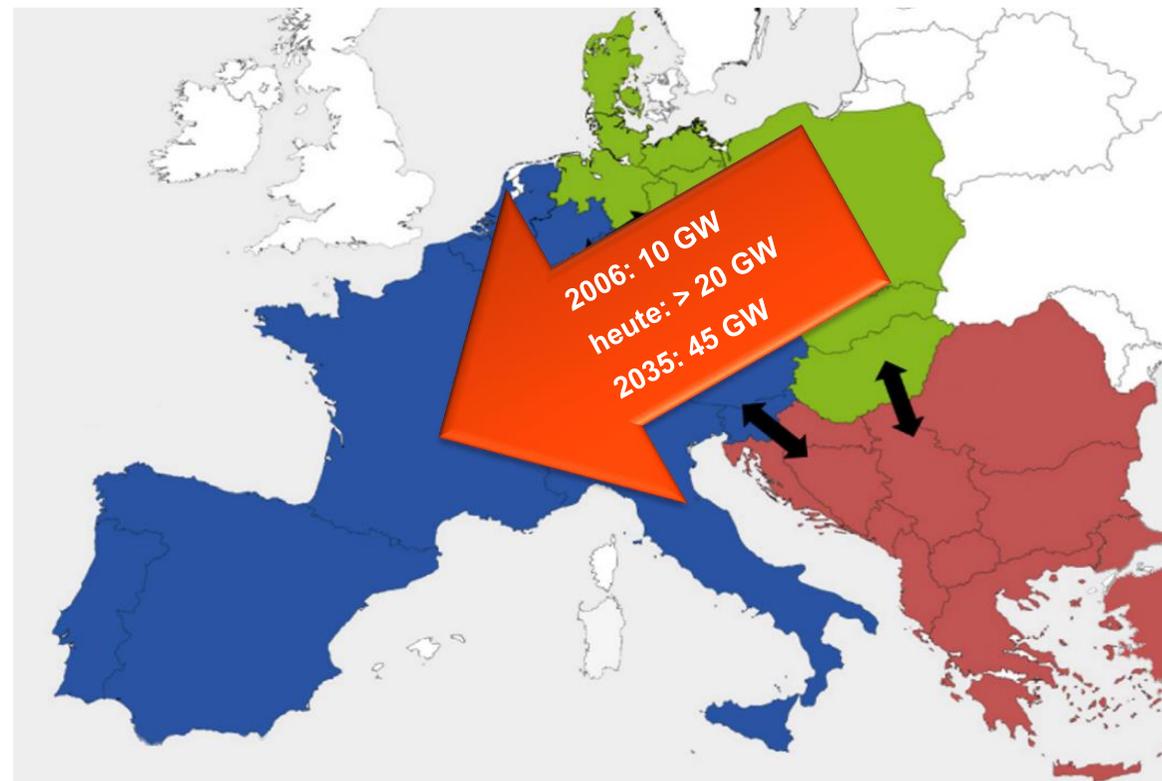
Netzbildende Umrichter HGÜ	HGÜ-Konverter 50Hertz bis 2032: 3 x 2000 MVA 1 x 1000 MVA 1 x 700 MVA
Rotierende Phasenschieber	50Hertz bis 2032: 2 x 300 MVA
STATCOM mit Kurzzeitenergiespeicher	50Hertz bis 2032: 3 x 300 MVA

- Dynamische Blindleistungskompensation wird für die für die Spannungshaltung und die transiente Stabilität im Übertragungsnetz erforderlich
- Die Realisierung erfolgt zukünftig maßgeblich über ÜNB-Assets auf Basis Leistungselektronik
- Wo es möglich ist zukünftig mit Momentanreserve spezifiziert



Bereitstellung von Momentanreserve

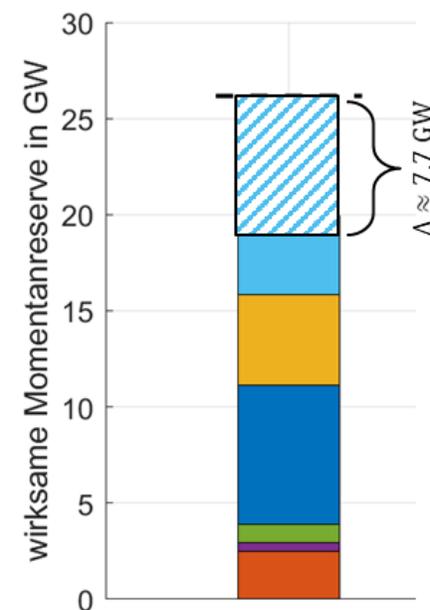
- Im Rahmen des deutschen Netzentwicklungsplans 2021 (NEP) wurden für das Zieljahr 2035 eine Vielzahl potentieller Netzauftrennungsszenarien analysiert
- Der hohe innerdeutsche Leistungstransport führt zu sehr hohen Leistungsungleichgewichten nach einer Netzauftrennung
- Leitungsbilanzfehler, RoCoF und Momentanreserve hängen direkt zusammen



Bereitstellung von Momentanreserve

- Den durchschnittlichen RoCoF auf 1 Hz/s zu begrenzen ist ambitioniert und erfordert große Mengen an Momentanreserve
- Systembedarfe können nur durch Kombination von ÜNB Assets, technischen Mindestanforderungen und einem (ggf. temporären) Anreizsystem gedeckt werden

Anlagenkategorie	Momentanreservebeitrag bei 1 Hz/s
Anteilig benötigte Momentanreserve	26,2 GW
Konventionelle Kraftwerke	2,5 GW
Gaskraftwerke im Phasenschieberbetrieb	0,5 GW
Batteriegroßspeicher	0,9 GW
Windenergieanlagen	7,2 GW
Photovoltaikanlagen	5,0 GW
RPSA & STATCOM	2,5 GW



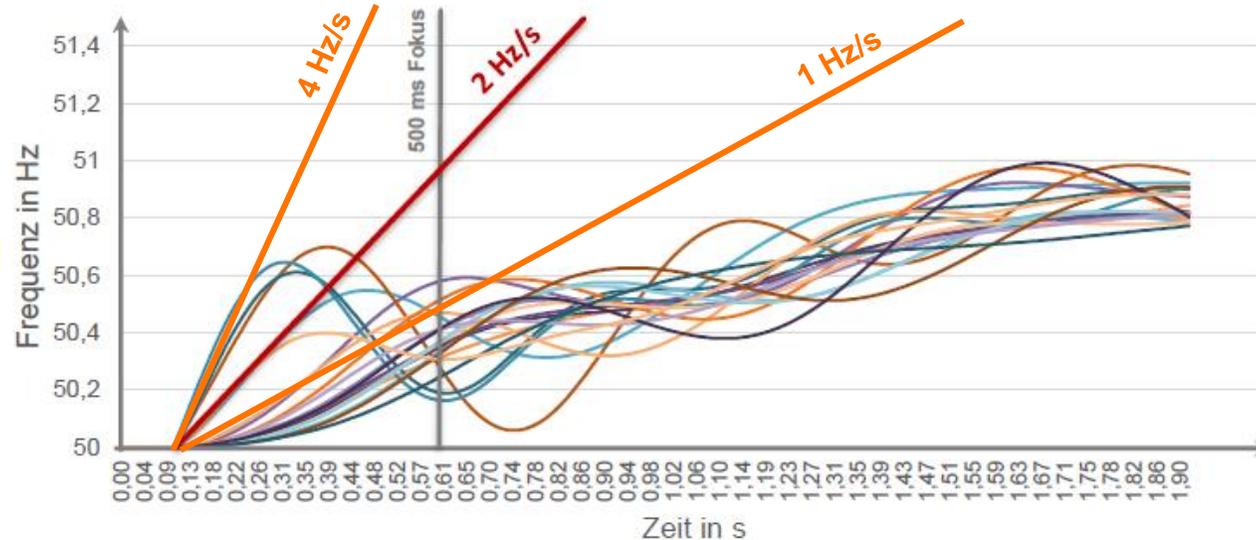


Fehlende Inertia wird vorübergehend durch rotierende Phasenschieber und langfristig künstlich aus STATCOMs mit Supercaps und netzbildenden Umrichtern dezentraler Erzeugungsanlagen erbracht werden.



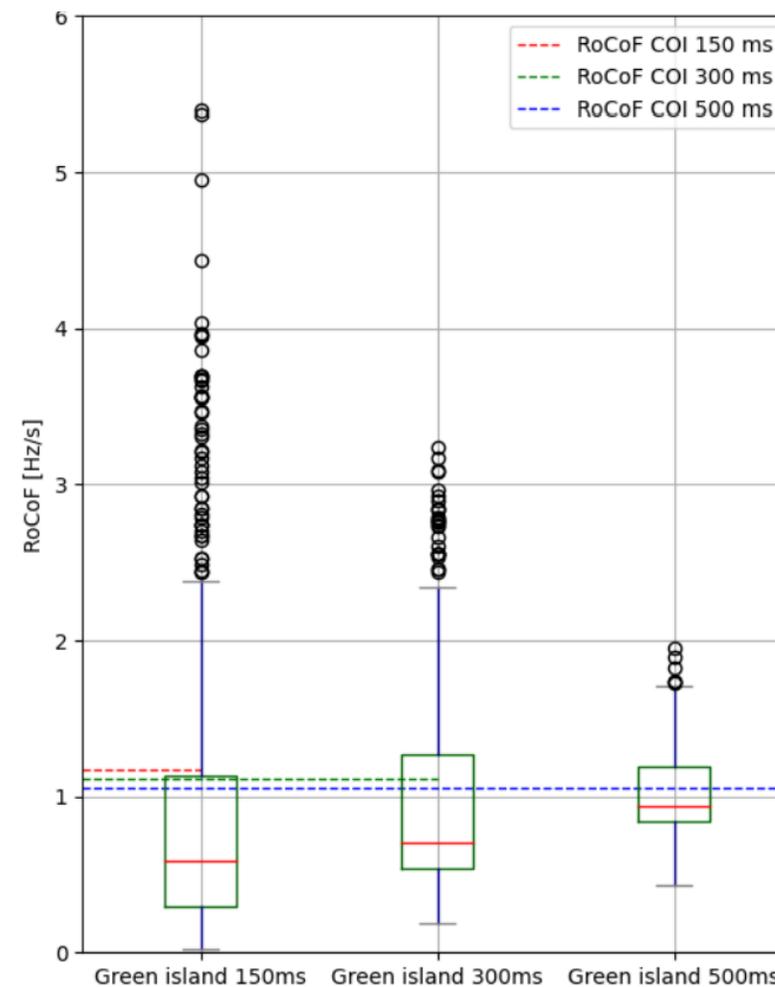
Robustheit gegen Frequenzgradienten

- Bei Netzauftrennung treten hohe Frequenzgradienten auf, die vom Anlagenpark durchfahren werden müssen
 - Eine unkontrollierte Trennung der Anlagen würde den Systemschutzplan unwirksam machen
- 500-ms-Zeitfenster:
 - Bei durchschnittlich 1 Hz/s im Teilnetz treten regional 2 Hz/s auf



Robustheit gegen Frequenzgradienten

- Betrachtung kürzerer Zeitfenster:
 - Regionale Unterschiede werden für kleinere Zeitfenster größer
 - In der Nähe der Split-Grenze können sehr hohe Frequenzgradienten auftreten
 - Anlagen müssen im “1-Hz”-Auslegungsszenario kurzzeitig deutlich höhere RoCoFs aushalten können



Fähigkeiten zukünftiger Anlagen

Nachhaltige Lösungen im Bereich der
Systemstabilität



Neue europäische Mindestanforderungen

- Derzeit werden die technischen Mindestanforderungen auf europäischer Ebene überarbeitet.
- Der Prozess soll bis Ende 2024 abgeschlossen sein.
- Der Verband der europäischen Übertragungsnetzbetreiber ENTSO-E bringt Änderungsbedarfe ein:

NC RfG

63 Themen für Erzeugungsanlagen, z.B.:

- Erweiterung um Speicher und rückspeisefähige E-Mobility
- Detaillierung LVRT-Anforderung
- Neue HVRT-Anforderungen
- forced oscillations
- **Reglerstabilität**
- **Zeitverhalten LFSM**
- **erweiterte Frequenzbereiche**
- **RoCoF-Robustheit**
- **Momentanreserve (grid-forming)**

Zusammenhang mit
Frequenzstabilität

DC DCC

24 Themen für Verbrauchsanlagen und Verteilungsnetze, z.B.:

- Erweiterung auf dezentrale steuerbaren Verbrauchsanlagen (E-Mobility, Power2Gas, Thermal Control Devices)
- Weiterentwicklung Blindleistungsaustausch an der ÜNB/VNB-Schnittstelle

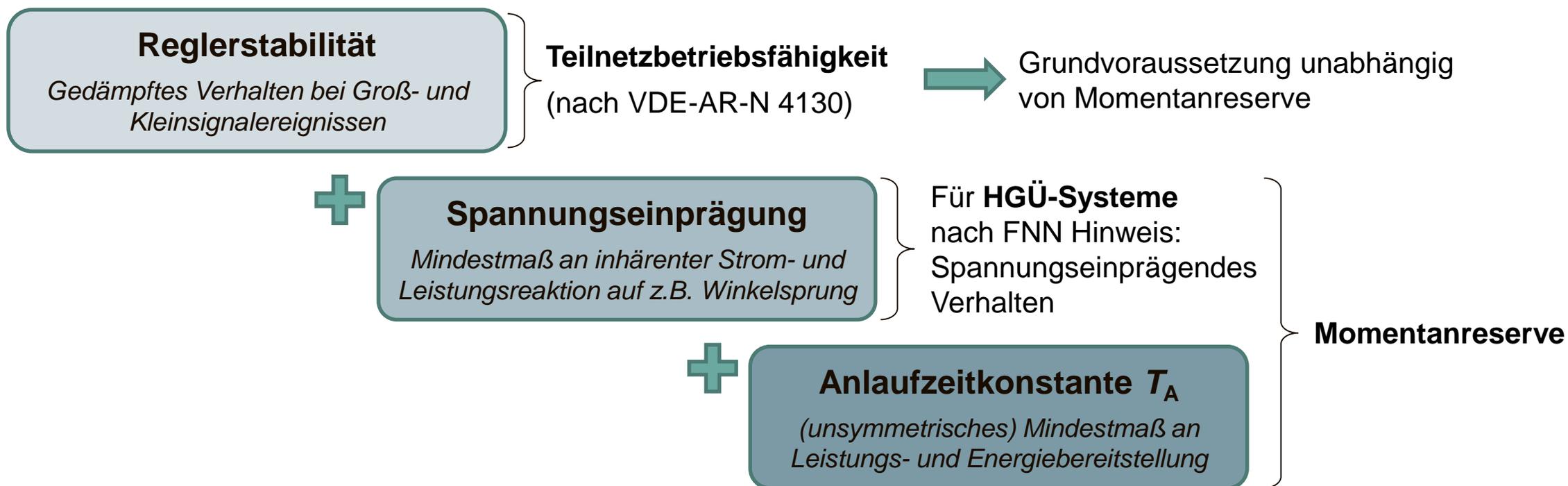


Neue nationale Mindestanforderungen

- Nationale Weiterentwicklung und Vorbereitung auf RfG 2.0
- **VDE FNN PG TARs** befassen sich u.A. mit:
 - Vereinfachung und Vereinheitlichung des Anschlussprozesses
 - Praxistauglichkeit erhöhen (Bsp. Modelle, Wegfall Q/U-Schutz))
 - Anforderungen an aktive Lasten
 - Überfrequenzleistungsreduktion (LFSM-O) für E-Mobility
 - FRT-Fähigkeit für Elektrolyseure
 - Überprüfung von Ausnahmeregelungen (z.B. für Gaskraftwerke)
- **VDE FNN PG Systemanforderung**
 - Bis Mitte 2023: Technische Beschreibung von Reglerstabilität und Momentanreserve (Grundlage für Anreizsystem)
 - Bis Ende 2024: Technische Mindestanforderungen für Reglerstabilität und Momentanreserve

Nationale Umsetzung: Momentanreserve

- Es sind **drei Nachweise zur Qualifizierung** erforderlich:





“
Im VDE FNN erstellen wir die notwendigen Anwendungsregeln und entwickeln entsprechende Standards.

Vielen Dank

