

Ausblicksvortrag

Ein stabiles Energiesystem

efzn
Energie-Forschungszentrum
Niedersachsen



15. Göttinger Energietagung
Die Spannung steigt:
Was gehört ins „Lastenheft“
für ein stabiles Energiesystem?

16. Mai 2024, Prof. Dr.-Ing. Jutta Hanson

19. Jahrhundert
1850

21. Jahrhundert
2045

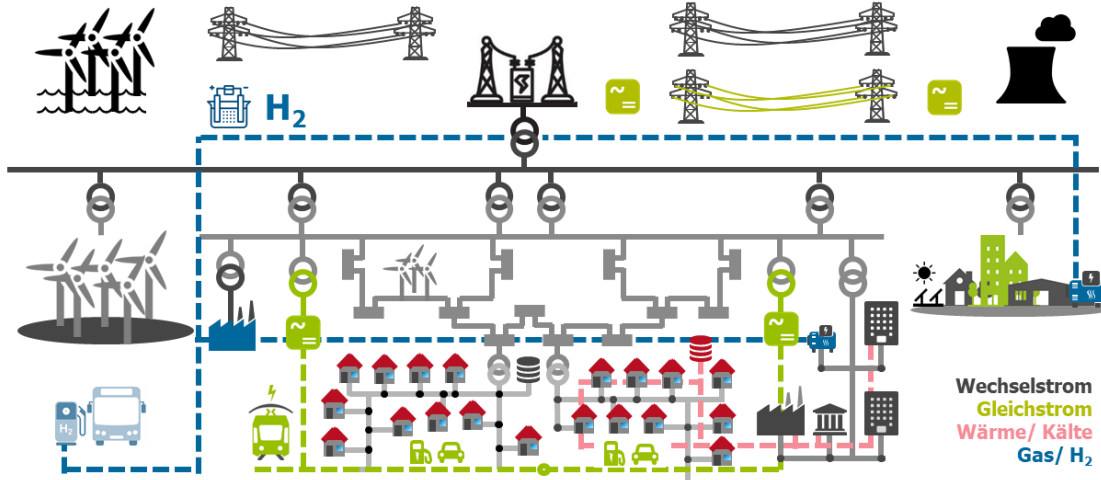
22. Jahrhundert
2100

Höchstspannung
380 kV, 220 kV

Hochspannung
110 kV

Mittelspannung
20 kV

Niederspannung
0,4 kV

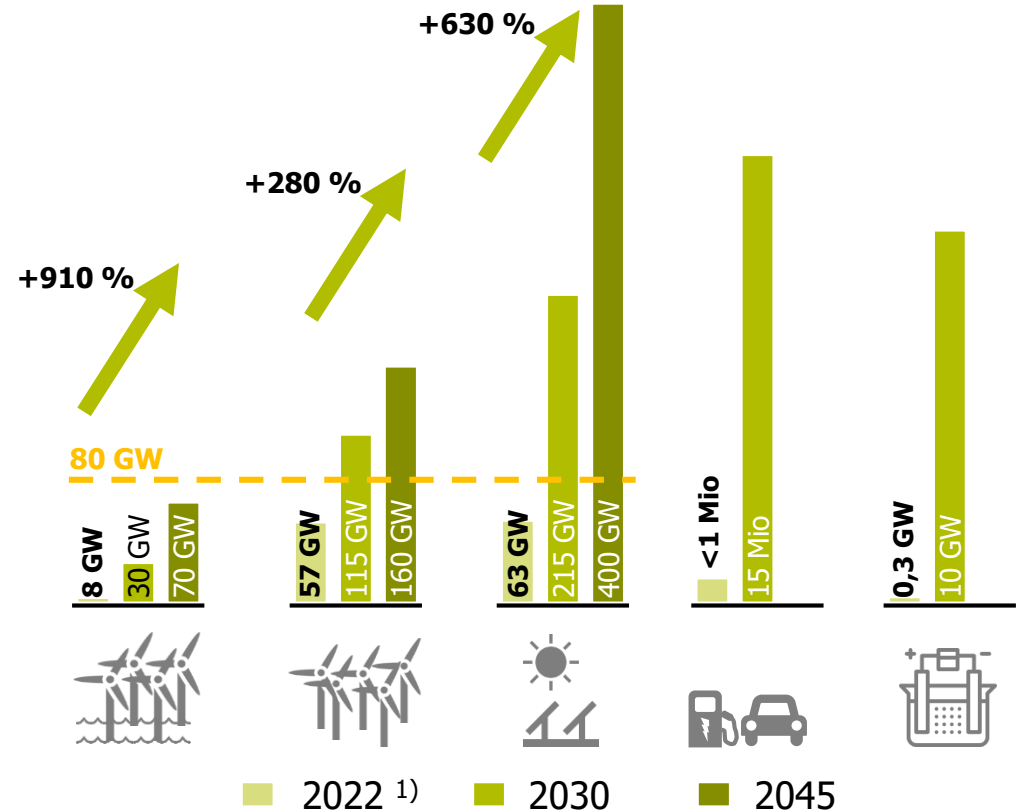


Wechselstrom
Gleichstrom
Wärme/ Kälte
Gas/ H₂

Energiesektor: Ziele der Bundesregierung und Status Quo

Beherrschung der Stromübertragung

- Treibhausgasneutralität im Jahr 2045 ³⁾
- Ausstieg Kernenergie, Kohleenergie
- Anteil der Erneuerbaren Energien am elektrischen Bruttostromverbrauch bis 2030 bei 80% (von 750 TWh) ³⁾
- Stromerzeugung ab 2035 nahezu vollständig aus erneuerbaren Energien ³⁾
- Flexibilisierung des Energieverbrauchs ²⁾



Quelle:

- 1) <https://www.umweltbundesamt.de/themen/erstes-halbjahr-2022-deutlich-mehr-strom-aus-wind>
- 2) <https://www.ewi.uni-koeln.de/de/aktuelles/ewi-analyse-das-bedeutet-der-koalitionsvertrag-fuer-den-stromsektor/>
- 3) https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Downloads/Energie/0406_ueb_erblickspapier_osterpaket.pdf?__blob=publicationFile&v=14

Wo?

- **Dezentrale** Erzeugung in kleinen Einheiten
- **Verbrauchsferne** Erzeugung in großen Einheiten
 - Windenergie, insbesondere Offshore
 - Wasserkraft – Alpen, Skandinavien

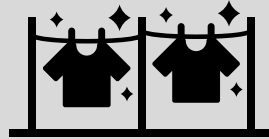
Wie?

- **Volatile** Erzeugung
- **Vorrang der Erneuerbaren Energien** bei der Einspeisung
- **Leistungselektronische** Erzeugungseinheiten ohne **Schwungmasse**

1. Der Ausgleich der Volatilität benötigt **Flexibilitäten**
2. Ein Energieversorgungsnetz mit diesem neuen Energiemix verhält sich tendenziell
 - **"weicher"** (weniger spannungsstabil)
 - **"schneller"** (weniger frequenzstabil)

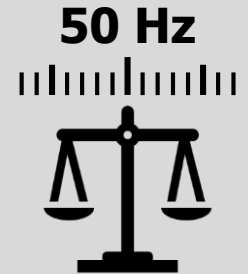
Spannungshaltung

- Spannungshaltung
- Dynamische Netzstützung
- Kurzschlussstrombeitrag



Frequenzhaltung

- Momentanreserve
- Regelleistung
- Beherrschung Teilnetzbildung



Betriebsführung

- Einspeisemanagement
- Redispatch
- Dimmen der Verbraucher



Versorgungswiederaufbau

- Schwarzstartfähigkeit
- Koordinierte Inbetriebnahme



HERAUSFORDERUNG



Volatilität



Schnelles Netz



Lastferne Erzeugung



Weiches Netz // Inselnetz



Komplexität

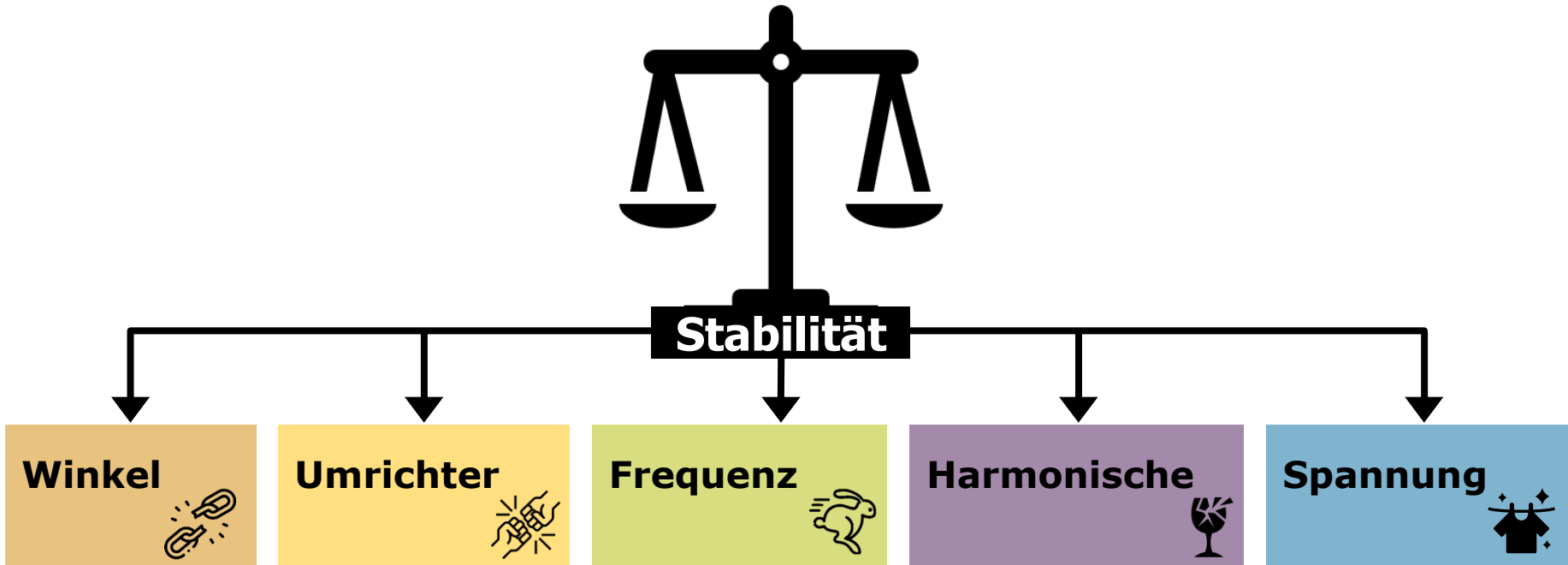
SCHWERPUNKTE



Stabilität

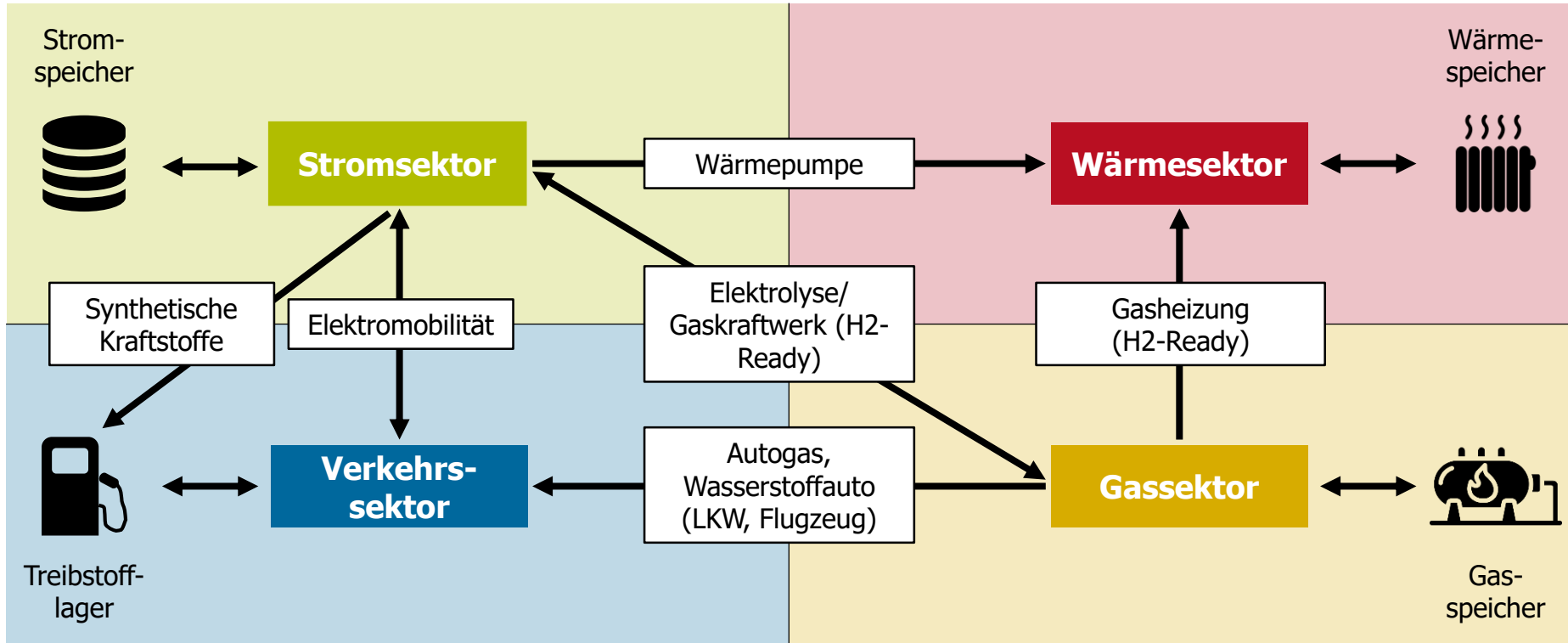


Flexibilität



Zukünftige Herausforderungen der Energietransformation

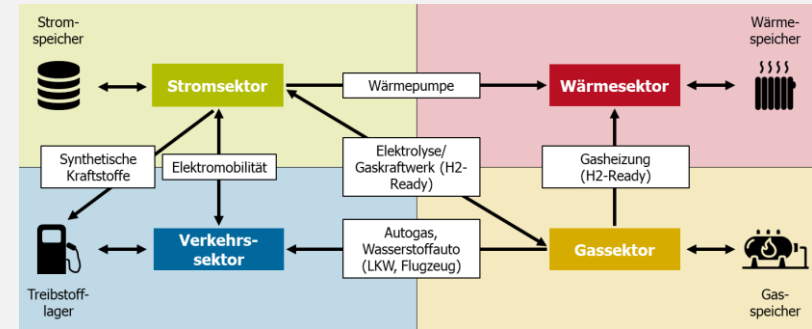
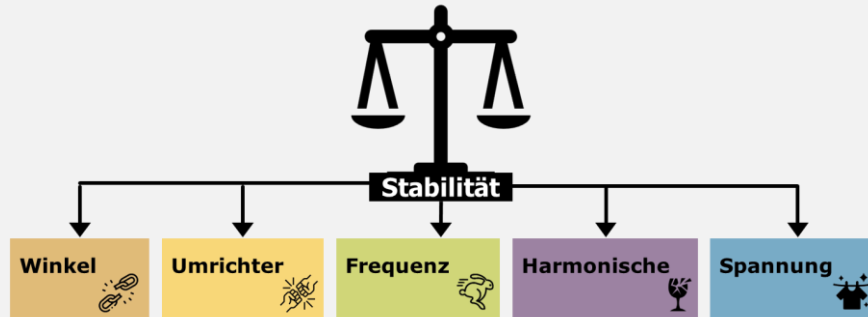
Flexibilität



Quelle: In Anlehnung an: Energieatlas 2018/AGORA

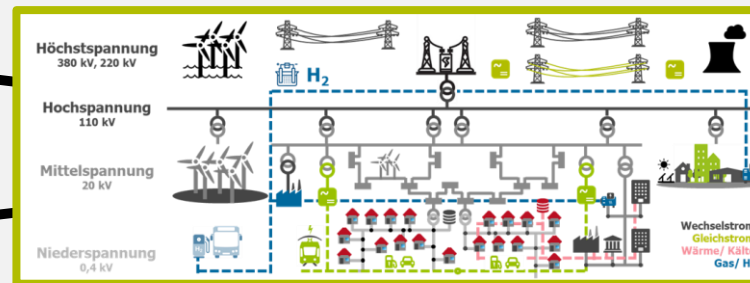
Zukünftige Herausforderungen der Energietransformation

Stabilität und Flexibilität



Umrichter netzfolgend, netzbildend

Netzdienlichkeit der Erzeuger, Verbraucher



Flexibilitäten für den Netzbetrieb

Ausbau der Stromnetze

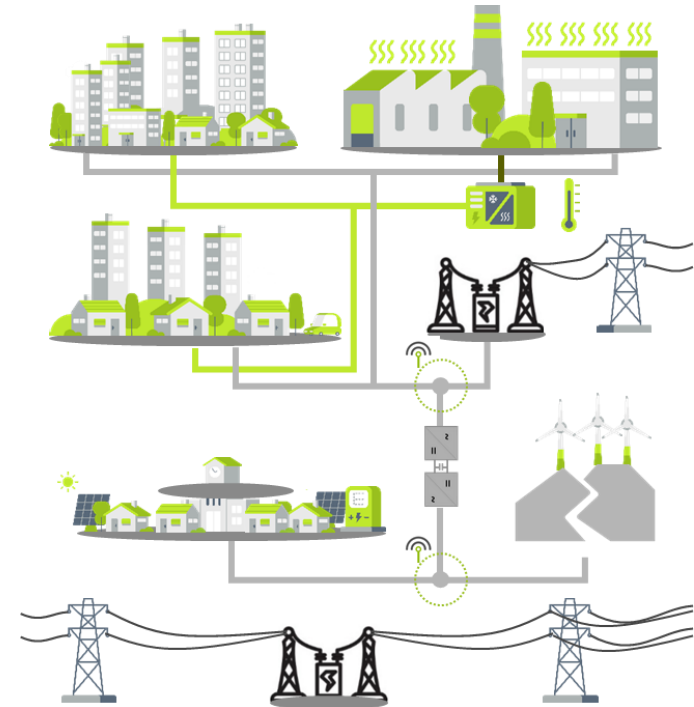
Die zukünftigen Verteilnetze - Land und Stadt



So dezentral wie möglich, so zentral wie nötig



- Zusammenführen der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität bei gleichzeitiger Flexibilisierung (Stadt)
- Integration der erneuerbaren Energien in zellulare Energiesysteme zur erhöhten Netznutzung (Land)
- Beherrschung der Betriebszustände
- Fehlende Messinfrastruktur
- Übernahme von Aufgaben in der Netzführung
- Stabilität im Verteilnetz mit einer Vielzahl dezentraler Einspeiser



1. Modellierung

- Definition neuer Standard-nutzerprofile
- Schnittstelle ÜNB/VNB
- Aggregation aktiver Verteilnetze



2. Netzplanung, -berechnung

- Zielnetzplanung Hochspannungsnetz
- Probabilistische oder KI-basierte Berechnungsmethoden
- Weiterentwicklung der Netzanschlussregeln und Normen

6. Stabilität

- Stabilitätsberechnungen im Verteilnetz
- Netzdienlichkeit der Erzeuger und Verbraucher
- Microgrid
- Netzbildende Umrichter



3. Quartierslösung

- Integrierte Systemplanung der verschiedenen Sektoren
- Interagierende Quartiere
- Autarkiegrad

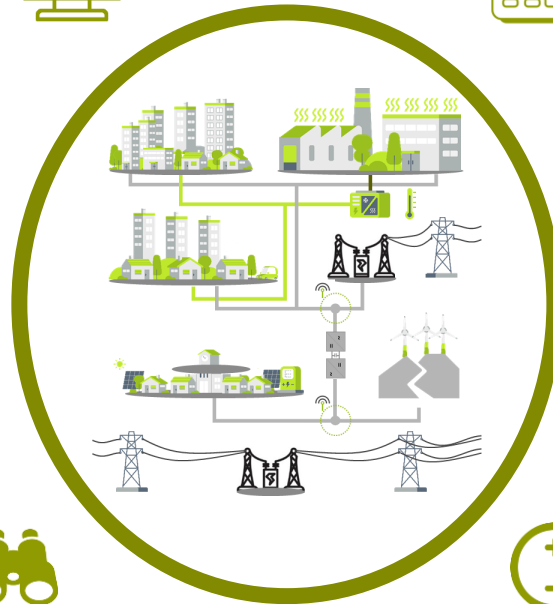
5. Systemführung

- Assistenzsysteme
- Zustandsschätzung für den Ersatz fehlender Messinfrastruktur
- Digitaler Zwilling



4. (Nicht-)öffentliche Verteilnetze

- Energieeffizienz, Energiesuffizienz
- Netzanschluss Industrienetze
- DC-Verteilnetze

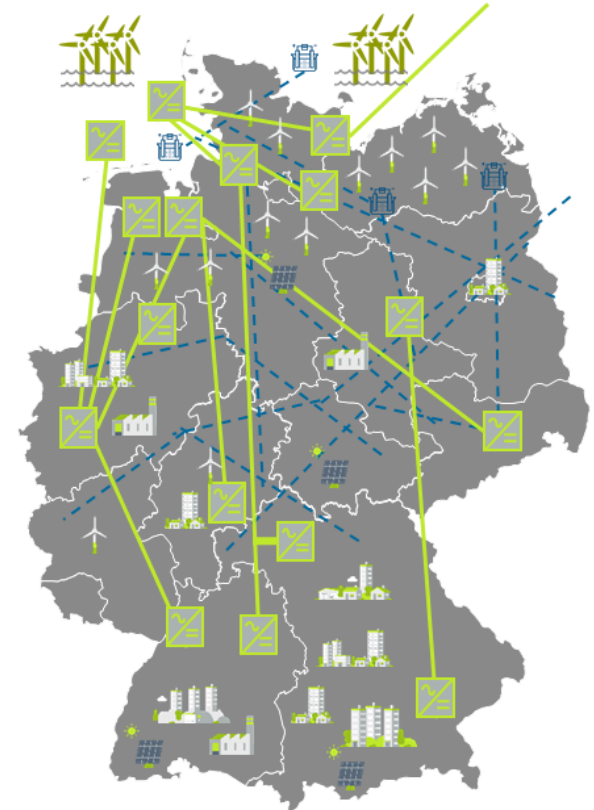




Selbst bei einem starken Ausbau dezentraler Stromerzeugung ist der Ausbau der Übertragungsnetze langfristig unvermeidbar.



- Netzstabilität als große Herausforderung aufgrund der Erzeugungsstruktur
- Betriebsführung ohne Großkraftwerke Onshore, zentrale Großkraftwerke Offshore
- Beherrschung der Netzengstellen (Netzkuppelstellen)
- Flexibilität zur Erhöhung der Netzauslastung (präventive/kurative Maßnahmen)
- Akzeptanz



1. Modellierung

- Simulation RMS/EMT, Co-Simulation
- Modellbildung HGÜ, FACTS
- Schnittstelle ÜNB/VNB: Vertikale und horizontale Randnetznachbildung (stationär und dynamisch)



6. Systemführung

- Netzdienlichkeit der Elektrolyseure mit systemkritischem Verbrauch
- Engpassmanagement
- Präventive/kurative Systemführung



2. Netzplanung, -berechnung

- Integrierte Systemplanung der Sektoren Strom und Gas
- Stabilitätskriterien
- Netzbildende Umrichter
- Weiterentwicklung der Netzanschlussregeln und Normen



3. Hybride AC/DC-Netze

- Beitrag zur Höherauslastung des AC-Netzes
- Einfluss und Beitrag zur Stabilität
- (Schutz-)Konzepte für den Multi-Terminal Betrieb

5. Technologie

- Halbleiter (Material, Topologie)
- DC-Kabel (-muffen)
- Schalten von Gleichstrom,
- (Gasisolierte) Schaltgeräte, -anlagen



4. Offshore-Netze

- Multiterminal-Hubs für den Netzanschluss Onshore
- DC-Netze, vermaschte AC-Netze



HERAUSFORDERUNG



Volatilität



Schnelles Netz



Lastferne Erzeugung



Weiches Netz // Inselnetz



Komplexität

WERKZEUGKOFFER



Methoden

- Probabilistik
- KI
- Optimierungsverfahren
- ...



Hardware Digitalisierung

- PMU
- Smart Meter
- Leitsysteme
- etc.



Transformation des Wärmesektors durch Gebäudesanierung hin zur Klimaneutralität und **vollständige Sektorenkopplung** in Strom, Wärme, Gas und Transport



Umbau der Industrie- und Fertigungsprozesse hin zur CO₂-neutralen Fertigung von Stahl, Zement, Papier. Ersatz von Rohstoffen und Entwicklung von neuen Methoden zur Gewinnung neuer und alter Rohstoffe



Neue elektrische Energieerzeugungstechnologien weiter erforschen, um neue **Ressourcen** zu erschließen, **Volatilität** zu reduzieren und den erhöhten **elektrischen Energiebedarf** zu decken

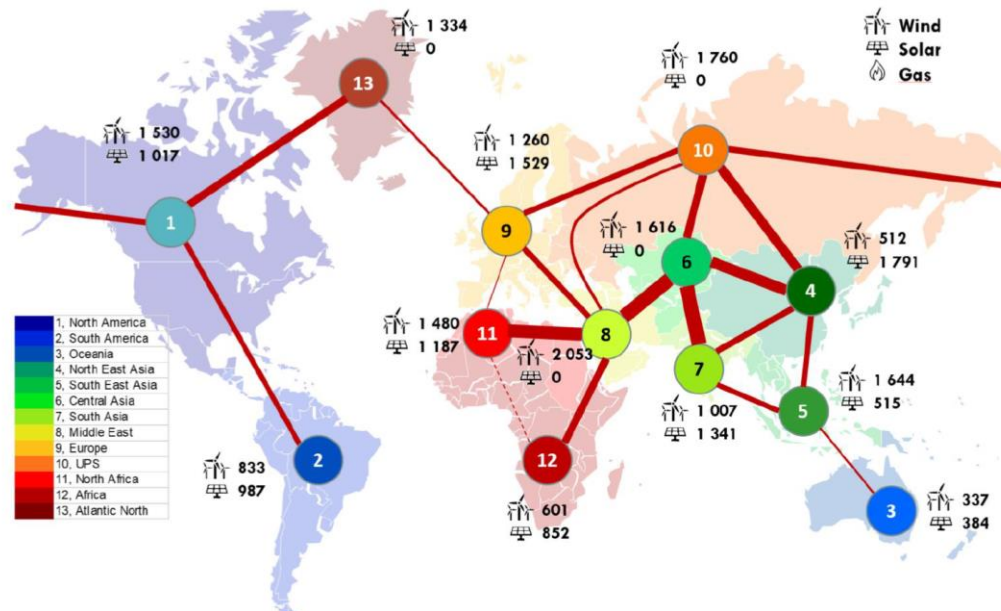


CO₂-Vermeidung wird ergänzt durch **CO₂-Abscheidung**



Disruptive Neuerungen im Transportsektor durch Drohnen, autonome Fahrzeuge, individueller Verkehr, Last- und Fernverkehr (Straße, Luft, Schiene)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Quelle: Cigre WG C1.35