

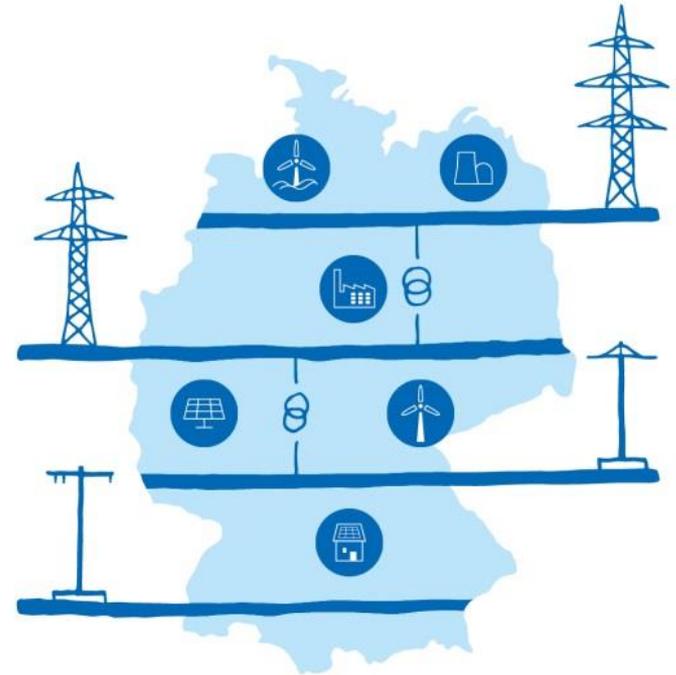
**Die neuen VDE-Anwendungsregeln  
des FNN zur Umsetzung der  
europäischen Netzkodizes  
- was können dezentrale  
Erzeugungsanlagen zur Systemstabilität  
beitragen?**

IEEE-Workshop

**Stabile Netze mit  
Erneuerbare Energien**

Bernd Engel, Lisa Hankel, Ole Marggraf

Kassel, 26.09.2018

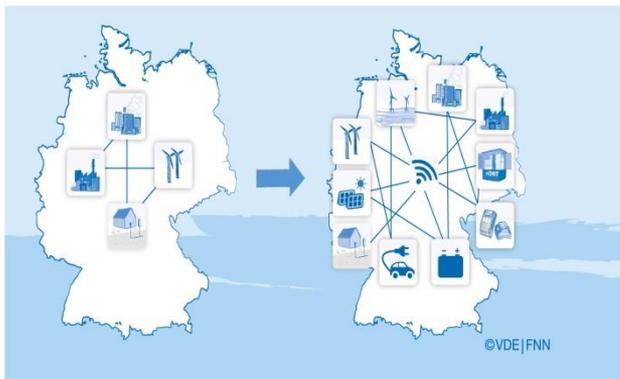


©VDE/FNN



## Europäischer Binnenmarkt

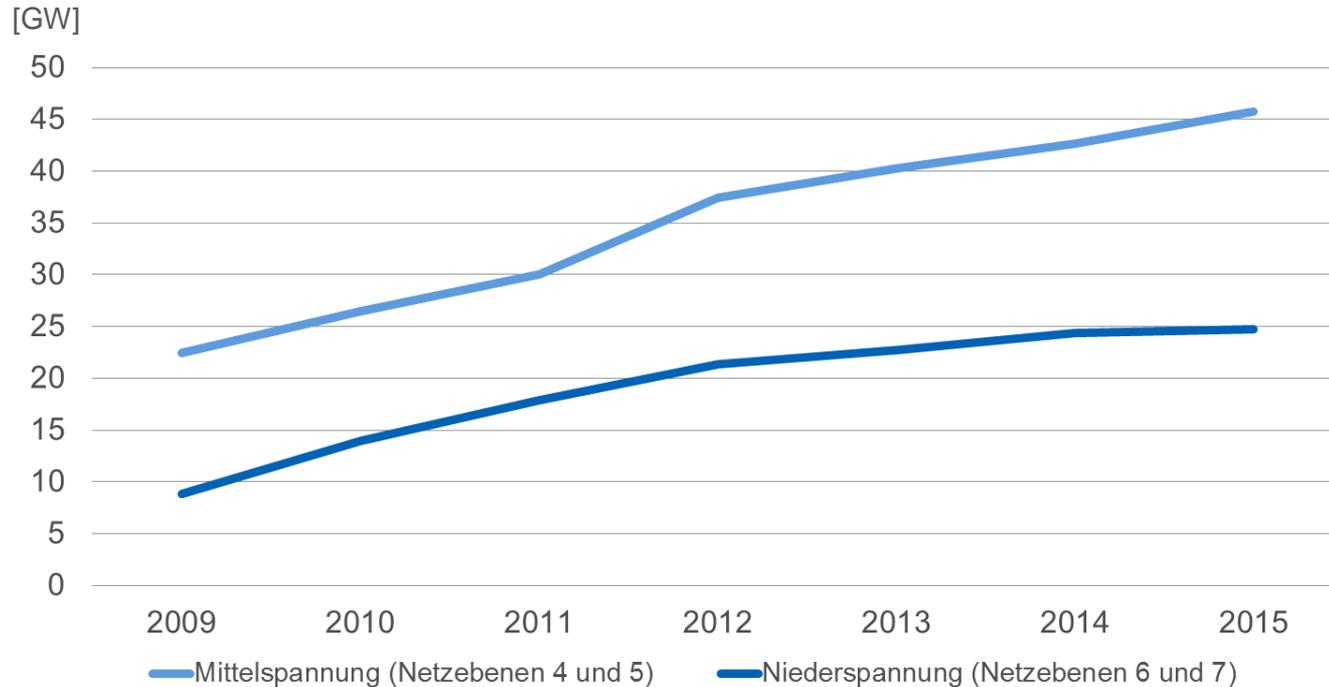
- Europäische Network Codes (NCs) regeln grenzüberschreitende Aspekte
- NC RfG beschreibt Anforderungen an Erzeugungsanlagen
- Frist für Umsetzung ins nationale Regelwerk: 17.05.2018



## Umsetzung der Energiewende (80% EE in 2050)

- weniger rotierende Massen
- Ausbau wechselrichtergekoppelter Erzeugung
- Verschiebung der installierten Erzeugung auf unterlagerte Netzebenen
- Vorausschauende Regelsetzung notwendig

# Treiber: Entwicklung der installierten Leistungen (EEG-Anlagen) in der Nieder- und Mittelspannung

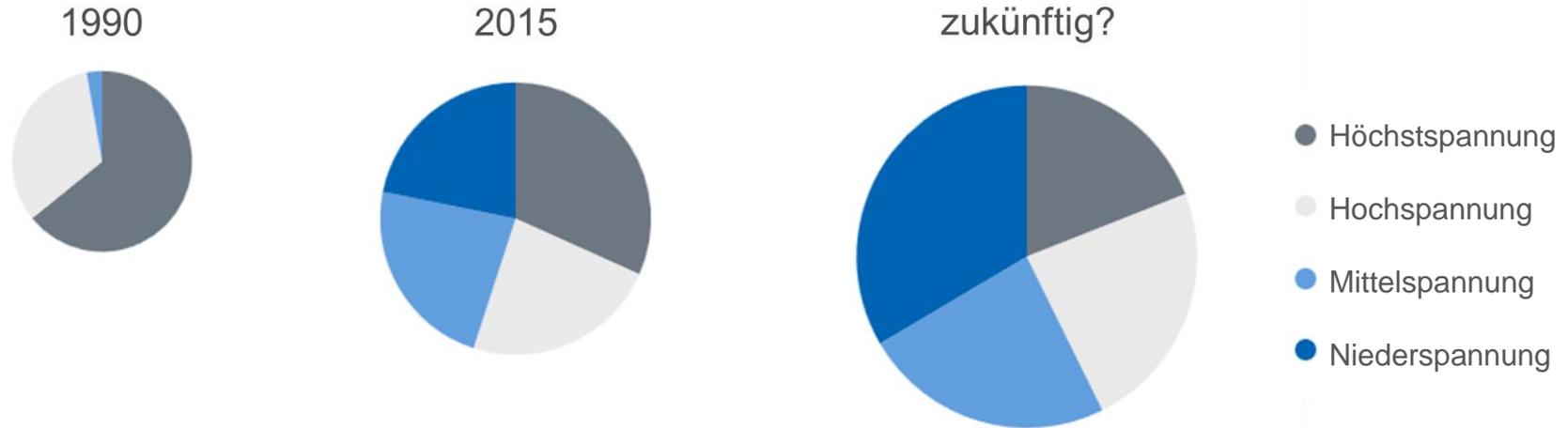


Entwicklung der installierten Leistung von 2009 bis 2015

- Verdopplung in der Mittelspannung
- Verdreifachung in der Niederspannung

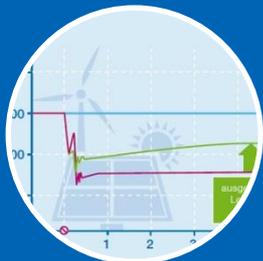
Quelle: Statistikberichte 2009 – 2011 und EEG in Zahlen 2012 – 2015 der Bundesnetzagentur

# Treiber: Verschiebung der installierten Erzeugungsleistung auf die unterlagerten Netzebenen



Systemrelevanz der installierten Leistung im Nieder- und Mittelspannungsnetz nimmt zu.

# Treiber: Ergebnisse FNN-Studien sind in die Weiterentwicklung eingeflossen



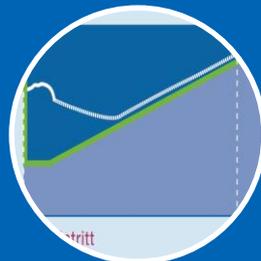
## Verhalten im Fehlerfall

- Fähigkeit wird künftig von Erzeugungsanlagen am NS-Netz gefordert (VDE-AR 4105)



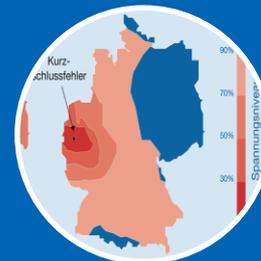
## Spannungshaltung

- Q(U) für breitere Anwendung in Praxis empfohlen
- Fähigkeit zur Q(U)-Regelung wird künftig von Erzeugungsanlagen am NS-Netz gefordert (VDE-AR 4105)



## Inselnetz

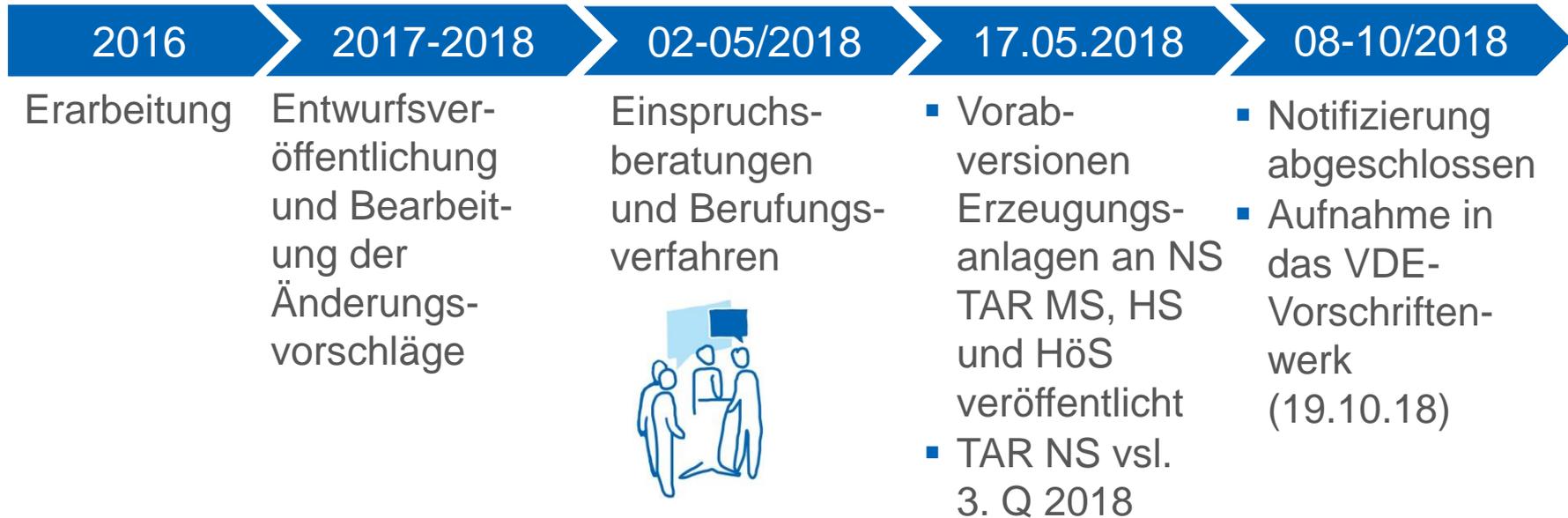
- Empfehlungen und Änderungsvorschläge sind in VDE-AR Erzeugungsanlagen an NS eingeflossen (VDE-AR N 4105)



## Systemische Kurzschlussauswirkungen

- Fähigkeit zur Q(U)-Regelung wird künftig von Erzeugungsanlagen am HS-Netz gefordert (VDE-AR N 4120 und 4130)

# Europäische Network Codes implementieren und gleichzeitig Integration der Erneuerbaren vorantreiben



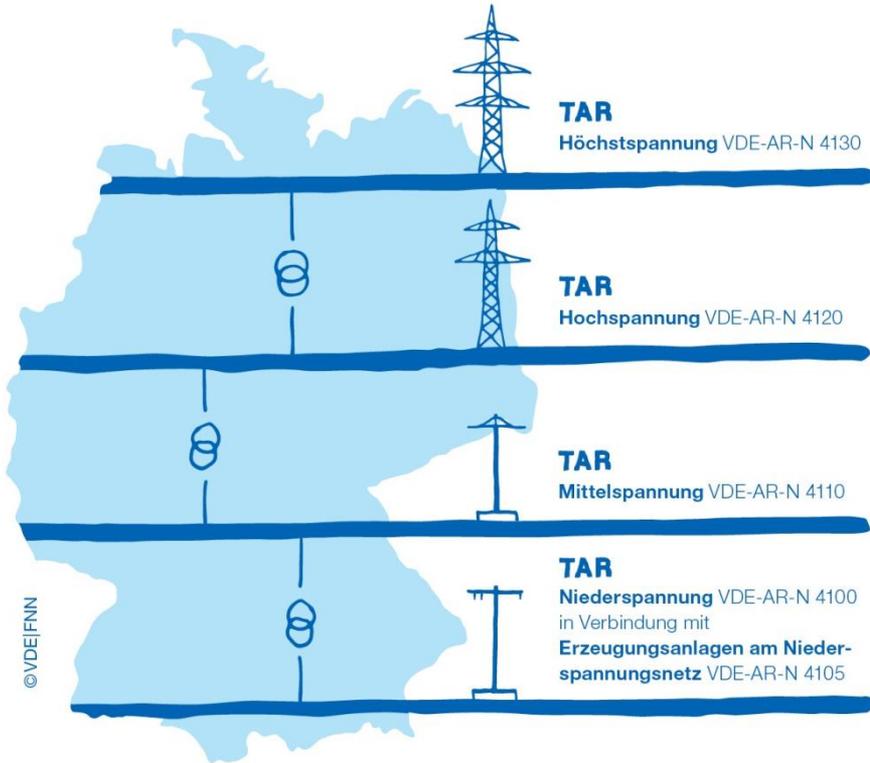
FNN hat europäischen Network NC RfG fristgerecht umgesetzt!

# Umsetzung NC RfG - Übersicht



|                | Entwurf    | Einspruchs-<br>beratung | Vorabversion<br>zur<br>Notifizierung | Notifizierung | Aufnahme<br>VDE-Vorschrif-<br>tenwerk<br>(geplant) |
|----------------|------------|-------------------------|--------------------------------------|---------------|--|
| TAR HÖS        | 31.07.2017 | 26./27.03.18            | 17.05.2018                           | abgeschlossen | 19.10.2018   |
| TAR HS         | 28.04.2017 | 01./02.03.18            | 17.05.2018                           | abgeschlossen | 19.10.2018   |
| TAR MS         | 17.02.2017 | 26.-28.02.18            | 17.05.2018                           | abgeschlossen | 19.10.2018   |
| TAR NS         | 28.04.2017 | 21.-23.02.18            | Anfang Q4<br>/2018 (geplant)         | offen         | im Anschluss                                       |
| EZA am NS-Netz | 23.06.2017 | 06.-08.03.18            | 17.05.2018                           | abgeschlossen | 19.10.2018   |

# Neues Regelwerk des VDE ab April 2019



- VDE|FNN hat alle vier TAR - eine je Spannungsebene - und die Anwendungsregel Erzeugungsanlagen an der Niederspannung überarbeitet
- TAR fassen wesentliche Anforderungen für den Anschluss von Kundenanlagen zusammen
- VDE-AR-N 4105, 4110, 4120 und 4130 erscheinen am 19.10.2018 im VDE-Vorschriftenwerk



© VDE/FNN

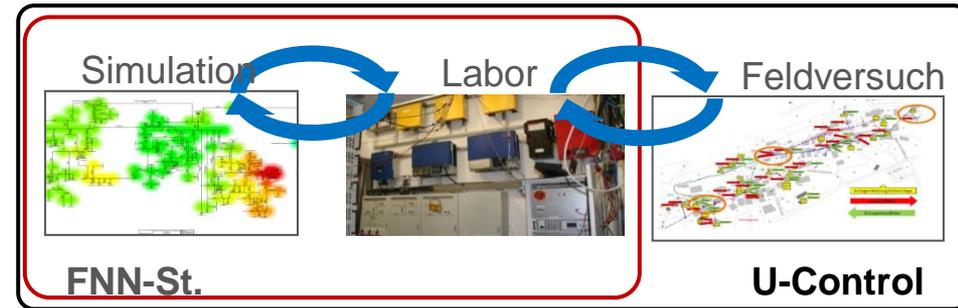
- TAR NS
  - Anforderungen an Ladeeinrichtungen für Elektrofahrzeuge berücksichtigt
  - Symmetrie: Einführung eines Managementsystems
- Erzeugungsanlagen an der NS
  - Speicher berücksichtigt
  - Anforderungen an Frequenzänderungsgeschwindigkeit eingeführt (RoCoF)
  - Wirkleistungsanpassung bei Unterfrequenz weiterentwickelt
  - Statische Spannungshaltung: Q(U)-Kennlinien-Regelung

Systemstützende Eigenschaften in NS ausgeweitet

## FNN-Studie – U-Control

- Laufzeiten und Förderung
  - **FNN-Studie:** 10 Monate (Abschluss: 15.12.2014)      0,2 Mio. €
  - **U-Control:** 36 Monate (Abschluss 31.12.2017)      2,5 Mio. €

- Beteiligte Partner
  - **FNN-Studie:** Forschungseinrichtungen
  - **U-Control:** Zusätzliches Know-How von Netzbetreibern, Herstellern



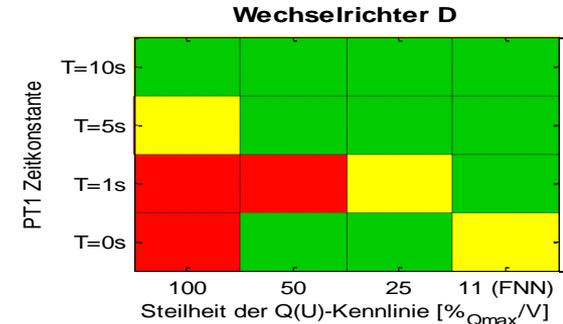
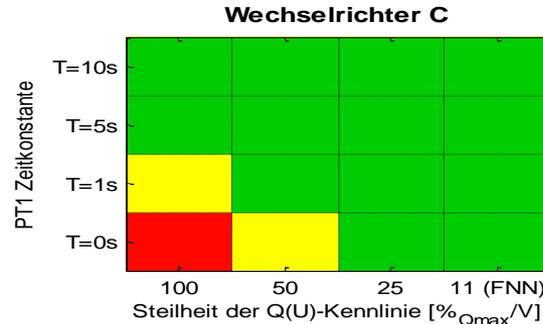
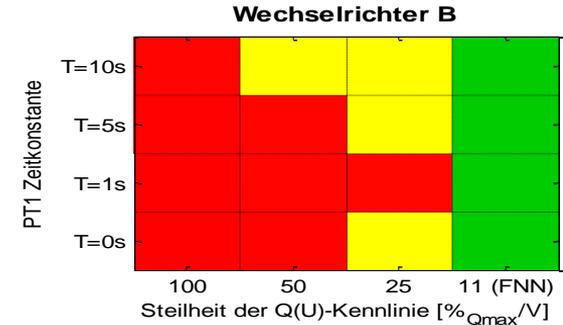
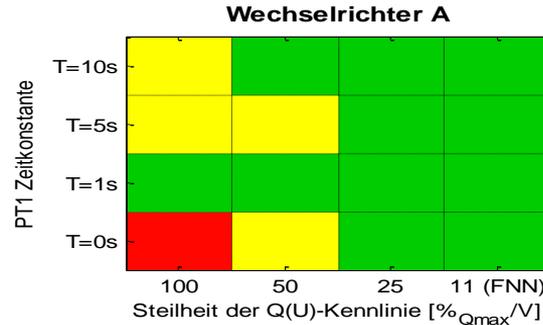
- Überprüfung von Simulationen
  - **FNN-Studie:** 1 Labor
  - **U-Control:** 3 Labore + 3 Feldversuche

# Ergebnis: Ampel zur WR-Parametrierung

(grün: alle Kriterien erfüllt, gelb: 1 Kriterium verletzt, rot:  $\geq 2$  Kriterien verletzt)

## Kriterien:

- $\cos(\phi)$ -Fehler  $< 0,01$
- Schwingungsgehalt  $< 20\%$
- Überschwinger  $< 15\%$
- Ausregelzeit  $< 10s$
- Stationärer Blindleistungsfehler  $< 50 \text{ Var}$



## Kernaussagen der FNN-Studie zu Q(U) und $\cos\phi(P)$

1.

Q(U) und  $\cos\phi(P)$  ermöglichen ähnliche Steigerung des Integrationspotenzials um bis zu 80 %.

2.

Für geringen bis mittleren Zubau an DEA sind Blindleistungskonzepte alleine wirtschaftlicher. In ländlichen Netzen mit hohem Zubau an DEA ist der rONT (auch mit Q(U)) vorteilhaft.

3.

Mit Q(U) werden bis zu 82 % weniger Blindenergie als mit  $\cos\phi(P)$  benötigt.

4.

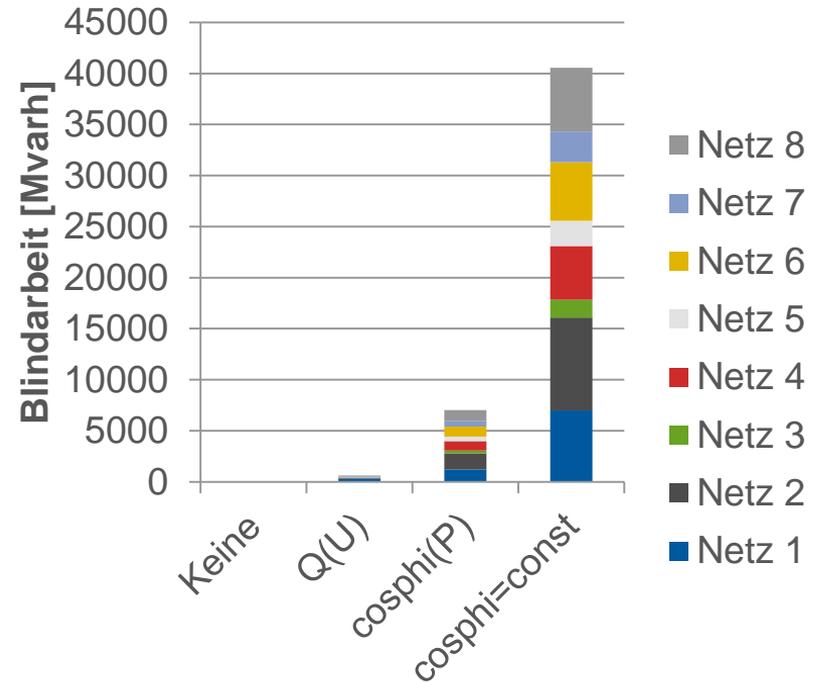
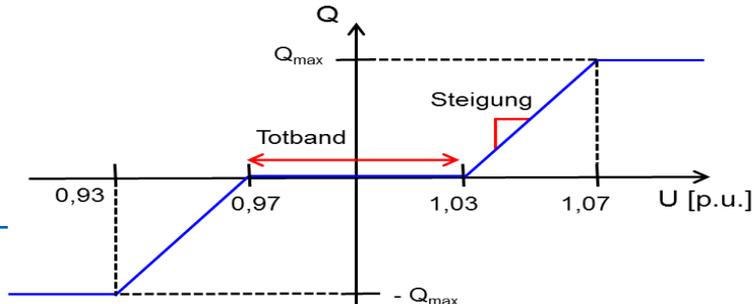
Q(U) gewährleistet bei vorgeschlagener Parametrierung auch mit dem rONT zusammen einen sicheren und stabilen Netzbetrieb.

### Empfehlungen für die neue VDE-AR-N 4105:

- Q(U) als Standardeinstellung für neue VDE-AR-N 4105 mit Standardkennlinie und definiertem dynamischem Verhalten.
- Prüfung der dynamischen Eigenschaften durch Dritte, um netzkritisches Verhalten zu vermeiden.

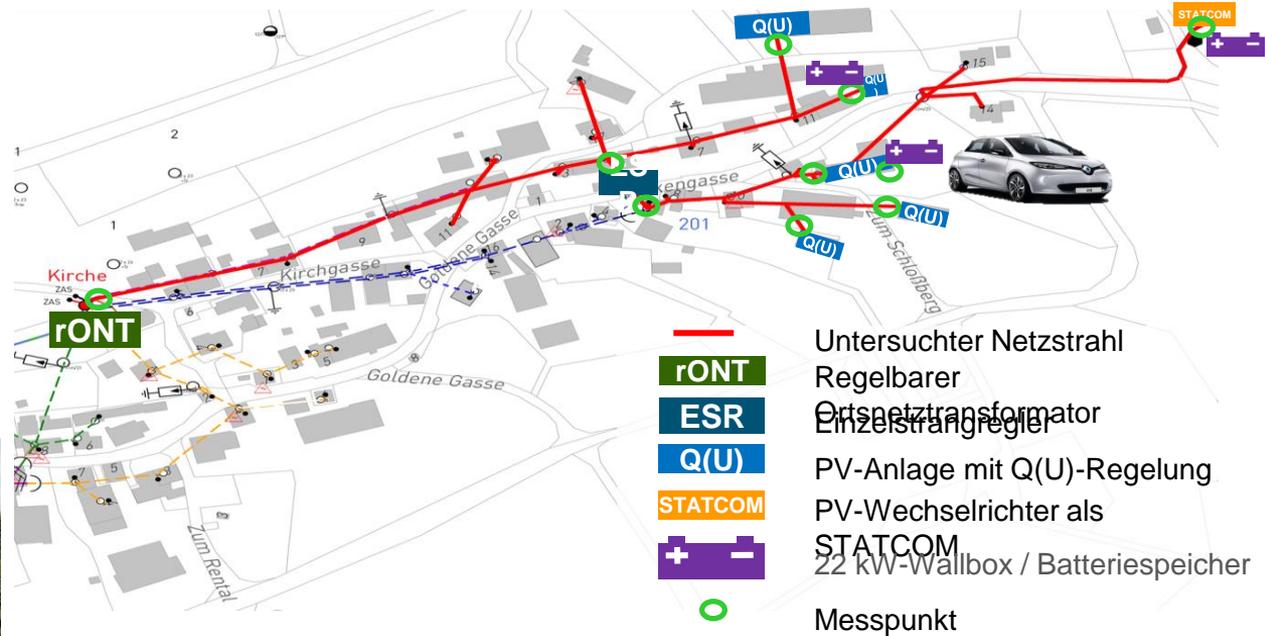
# U-Control: Simulationsergebnisse Vergleich Q(U) – $\cos\phi(P)$

- Die **Jahresblindenergie** ist bei Verwendung der Q(U)-Regelung um über **90% geringer** als bei  $\cos\phi(P)$  (Bestätigung der FNN-Studie)
- Wenn Q(U)-Regelung, dann Kennlinie mit Totband
- Steigung** der Q(U)-Kennlinie als **Kompromiss** zwischen **Stabilität** und **Einsparung von Blindenergie**
- Vergleichende Simulationen mit verschiedenen Q(U)-Kennlinien **bestätigen** den Vorschlag aus der **FNN-Studie**



# U-Control: Feldversuch im NETZlabor Sonderbuch der Netze BW

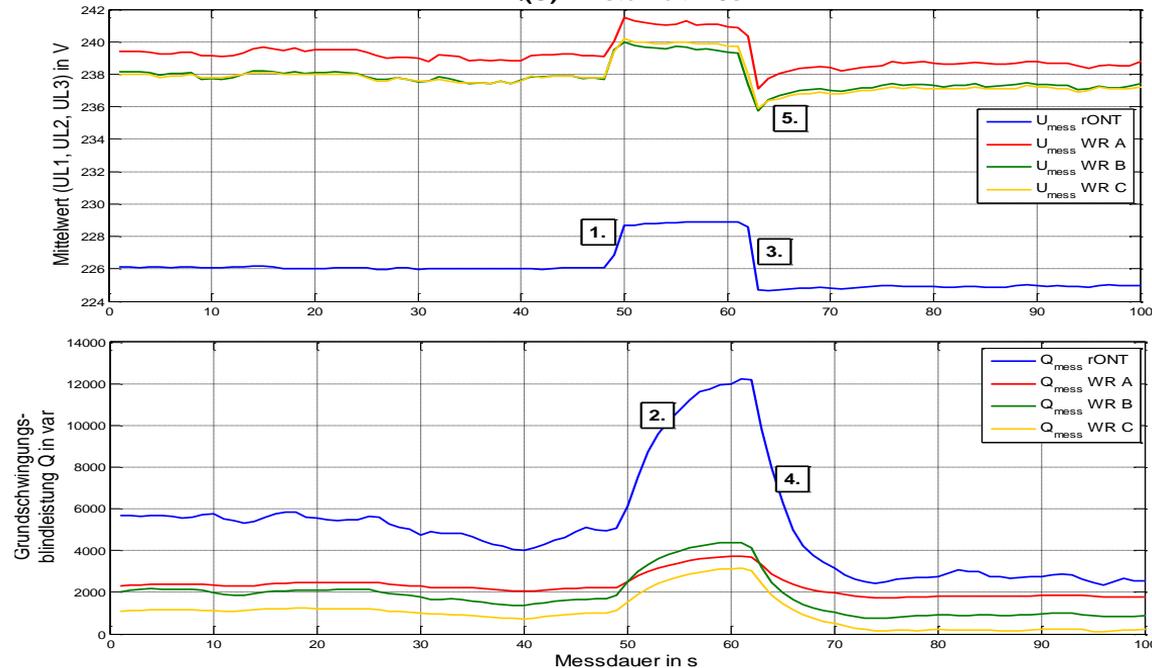
- 25.07. bis 23.08.2016
- Test von: rONT, Strangregler, Q(U), STATCOM (einzeln und in Kombination)
- 200 kWp PV an Netzstrahl
- Länge des untersuchten Netzstrahls etwa 510 m
- 90 kVA Wechselrichterleistung Q(U)-fähig



NETZlabor Sonderbuch

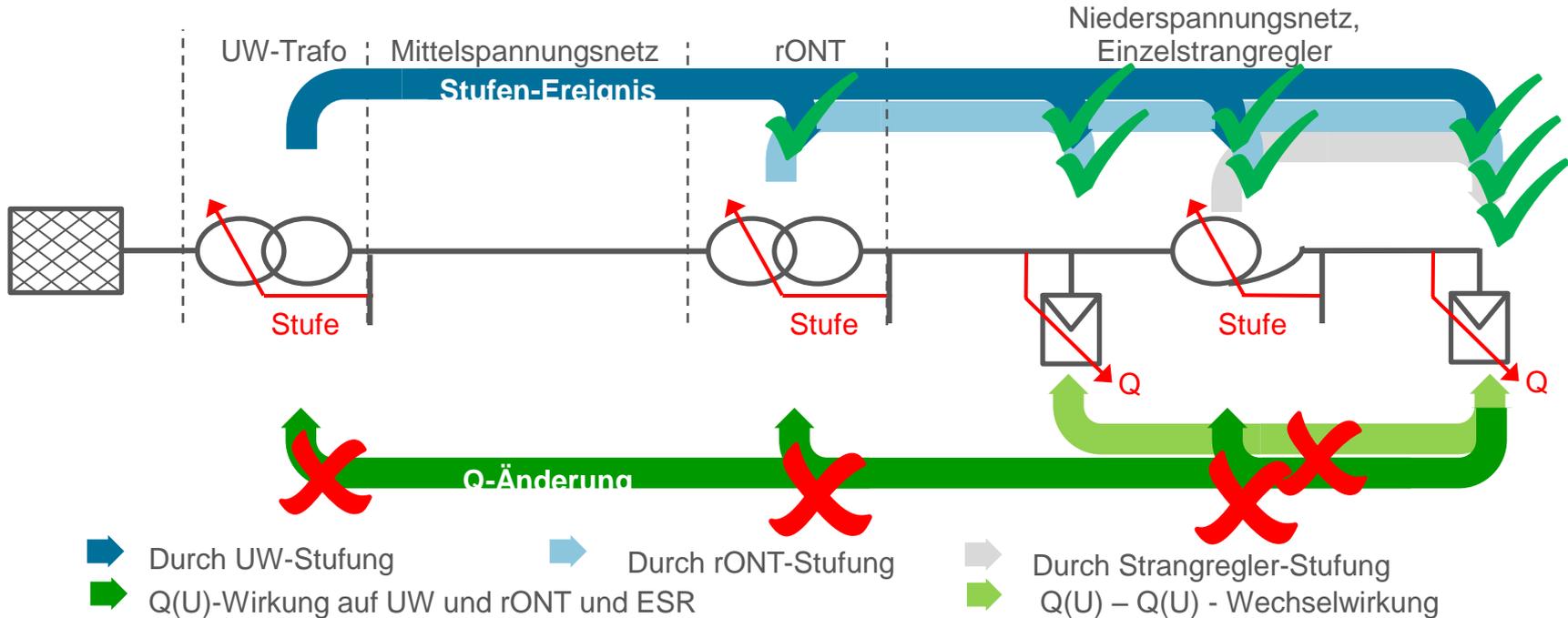
# U-Control: Feldversuch UW-Stufung – rONT-Stufung – Q(U)-Regelung

rONT:  $U_{\text{soil}}$ : 0,98 p.u.;  $T_{\text{tot}}$ : 2s; Totband: +/- 3,7V  
 Q(U)-Einstellzeit: 15s



1. UW-Stufung "hoch"
2. Reaktion der Q(U)-Regler auf UW-Stufung (sprungartige Regleranregung)
3. rONT-Stufung "runter"
4. Reaktion der Q(U)-Regler auf rONT-Stufung (entgegengesetzte sprunghafte Regleranregung)
5. Nur kleine Auswirkung der Blindleistungsänderung auf Spannung an WR-Anschlussort  
Kaum messbare Auswirkung auf Spannung an rONT Sammelschiene

# Im NETZlabor Sonderbuch tatsächlich beobachtete Reglerinteraktionen



# Neu: Dynamische Spannungshaltung für Erzeugungsanlagen und Speicher



- > Betrifft **alle Erzeugungsanlagen und Speicher**
  - > **Speicher mit Inselbetrieb dürfen Kundenanlage trennen**
- > Fehlerbeginn: Spannung an Generatorklemmen Spannung  $< 0,80 \times U_n$  oder  $> 1,15 \times U_n$
- > Fehlerende: Spannung an Generatorklemmen Spannung  $> 0,85 \times U_n$  und  $< 1,1 \times U_n$  oder **5 s nach Fehlerbeginn**
- > Wechselrichter dürfen beim FRT **nach 60 ms höchstens 20%** und nach 100 ms 10% des **Nennstroms** fahren
- > Nach Fehlerende sofort wieder Vorfehlerstrom (WR max. 1s Anschlagzeit)
- > Nachweis nur für **120%  $U_n$  für max. 500 ms**

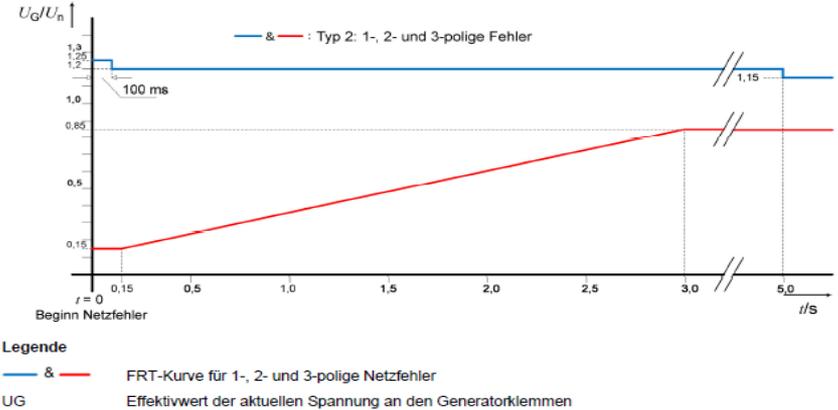


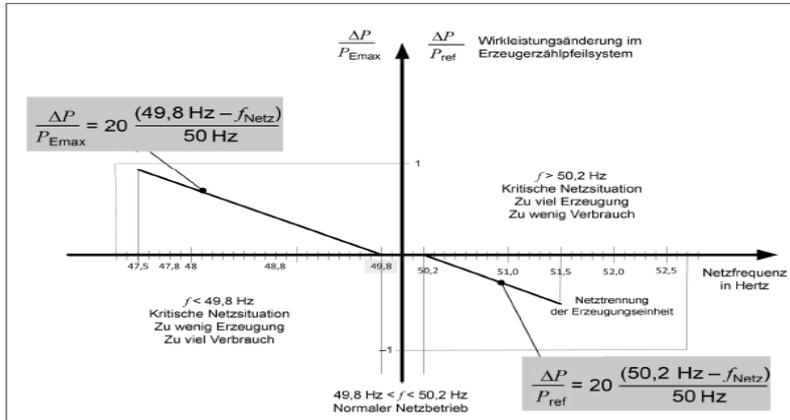
Bild 12 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve für den Spannungsverlauf an den Generatorklemmen für eine Erzeugungseinheit vom Typ 2 und für Speicher

# Änderung: Frequenzabhängige Wirkleistungseinspeisung bei Über- und Unterfrequenz (Neu)



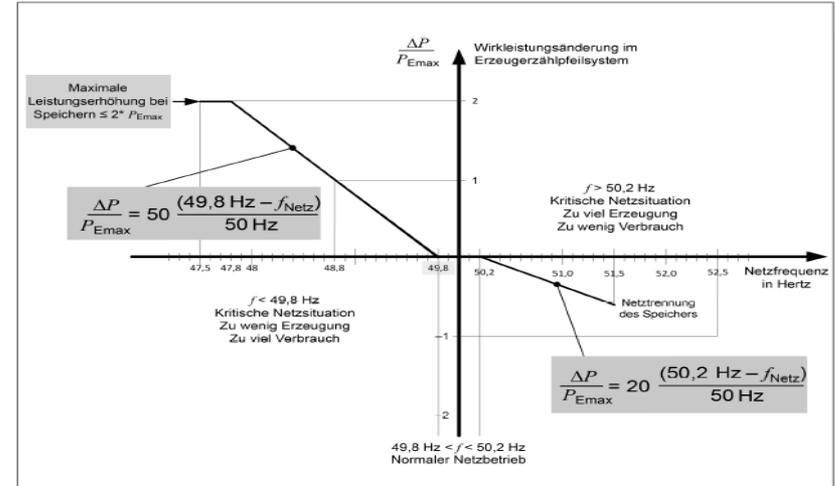
- > P(f) auch bei Unterfrequenzen
  - > Speicher sollen bei Unterfrequenzen solange noch Energie vorhanden ist auch in Netz entladen.

## Erzeugungseinheiten Typ 1 und Typ 2



- Legende**
- $P_{E\max}$  höchste Wirkleistung einer Erzeugungseinheit (10-Minuten-Mittelwert)
  - $P_{\text{ref}}$  entspricht  $P_{E\max}$  für Erzeugungseinheiten vom Typ 1 bzw. entspricht  $P_{\text{mom}}$  für Erzeugungseinheiten vom Typ 2 zum Zeitpunkt der Überschreitung von 50,2 Hz
  - $\Delta P$  Leistungsänderung
  - $f$  Netzfrequenz

## Speicher



- Legende**
- $P_{E\max}$  höchste Wirkleistung einer Erzeugungseinheit (10-Minuten-Mittelwert)
  - $\Delta P$  Leistungsänderung
  - $f$  Netzfrequenz

> Erstmals auch klare Anforderungen an die Regelzeiten



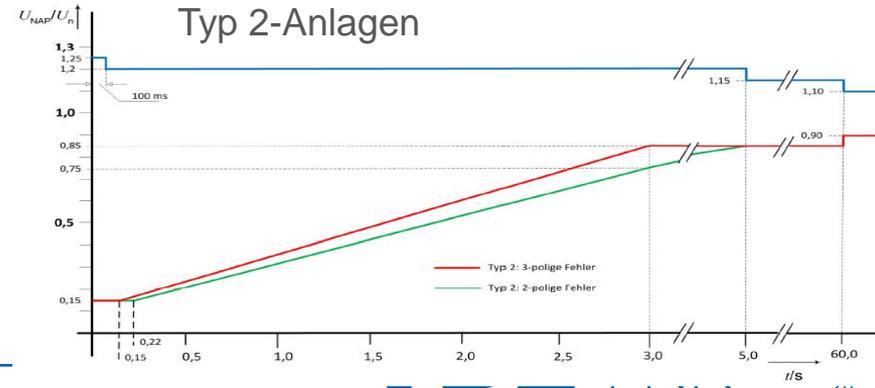
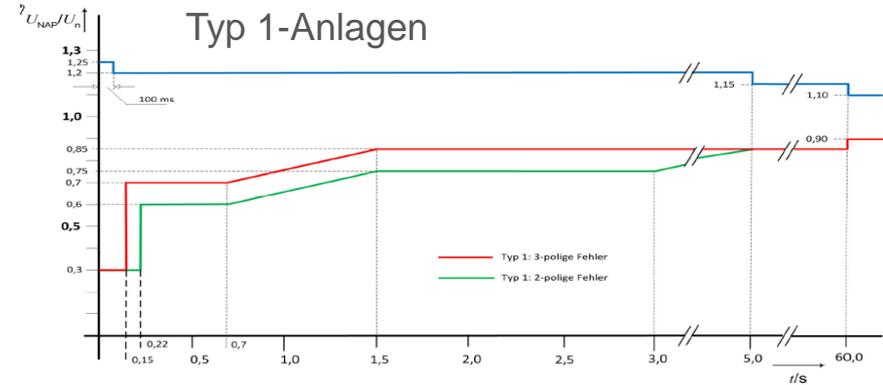
- Anforderungen an Frequenzänderungsgeschwindigkeit eingeführt (RoCoF)
- Wirkleistungsanpassung bei Unterfrequenz weiterentwickelt
- Max. zulässiger Leistungsgradient eingeführt
- Anforderungen an Netzurückwirkungen weiterentwickelt (in Abstimmung mit D-A-CH-CZ)

Einheitliches, aufeinander abgestimmtes Regelwerk für alle Kundenanlagen

# Dynamische Netzstützung in der AR-N-4110 - Grundsätzliches



- Erzeugungsanlagen müssen *symmetrische und unsymmetrische* Netzfehler durchfahren
- zu beurteilen: kleinste/größte der drei verketteten Spannungen am NAP (Halbschwingungs-Effektivwert)
- Dynamische Blindstromstützung im Mit- und Gegensystem
- Auch Mehrfachfehler sind zu durchfahren
- Spannungssprünge innerhalb der FRT-Kurven dürfen nicht zu Netztrennung führen





- Anforderung an Frequenzänderungsgeschwindigkeit eingeführt
- Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärregelleistung
- Max. zulässiger Leistungsgradient eingeführt
- Störschreiber: Funktionen auch in Erzeugungseinheiten
- Weiterentwickelte Nachweisverfahren

Netzintegration der Erneuerbaren durch Erweiterung der TAR verbessert



- Erstmals TAR von FNN für die Höchstspannung
- Anforderung an Frequenzänderungsgeschwindigkeit und Modelle definiert
- Netzanschluss von Offshore-Windparks mit Drehstromtechnik
- Einheitliches Nachweisverfahren

Einheitliches, aufeinander abgestimmtes Regelwerk für Erzeugungs- und Kundenanlagen

# Typ 2-Anlagen: Vollständige Dynamische Netzstützung



- Bereitstellung eines zusätzlichen Blindstromes ab Fehlerbeginn
- Ziel: Optimale Netzstützung von symmetrischen und **unsymmetrischen Fehlern**
- Minimierung der Überspannung in nicht fehlerbehafteten Phasen → Netzstützung im **Mit- und Gegensystem**
- Spannungsmessung und Bereitstellung des zus. Blindstromes an der EZE
- Blindstrom wird priorisiert; Sollwert ergibt sich kontinuierlich aus der Kennlinie; Wirkstrom wird kontinuierlich nachgeregelt
- Nach Fehlerende:
  - Steigerung des Wirkstromes auf Vorfehlerwert **innerhalb** maximal einer Sekunde (Anschwingzeit)
  - Übergang zur statischen Spannungshaltung

# 2018: technische Mindestanforderungen an Erzeugungsanlagen



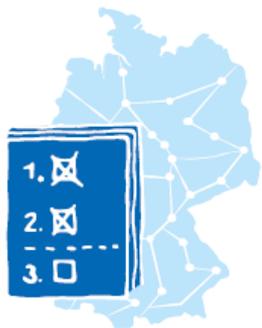
|                            | NS | MS | HS  | HöS |
|----------------------------|----|----|-----|-----|
| Unterfrequenz              | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Überfrequenz               | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Momentanreserve            | ✗  | ✗  | ✗   | ✗   |
| RoCoF                      | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Primärregelleistung        | ✗  | ✗  | ✓   | ✓   |
| Statische Spannungshaltung | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Dynamische Netzstützung    | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Netzurückwirkungen         | ✓  | ✓  | ✓   | ✓   |
| Schwarzstartfähigkeit      | ✗  | ✗  | (✓) | (✓) |

# Fahrplan für die nächsten fünf Jahre - FNN-Roadmap Vom Netz zum System



- Veröffentlichung Dezember 2017
- Fahrplan für die nächsten fünf Jahre
- Download und aktueller Stand zu den Arbeitspaketen unter:  
<https://www.vde.com/de/fnn/themen/vom-netz-zum-system/fnn-roadmap>





## Mindestanforderungen und Zusatzleistungen bei Kundenanlagen

- Zeitraum: 2017 – 2021
- Ergebnis: Positionierung und Prozessbegleitung



## Smart Home: Schnittstellen zum Verteilnetz

- Zeitraum: 2017 – 2020
- Ergebnis: Positionierung und Weiterentwicklung Regelwerk



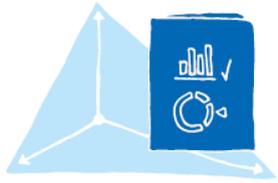
## Solidarität im Verbundsystem

- Zeitraum: 2017 – 2019  
Ergebnis: Positionierung und Weiterentwicklung Regelwerk



## Voraussetzungen für Transparenz des Systemzustands

- Zeitraum: 2018 – 2020
- Ergebnis: Studie



## Entwicklung von Kurzschlussleistung und Spannungsqualität

- Zeitraum: 2018 – 2020
- Ergebnis: zwei Studien



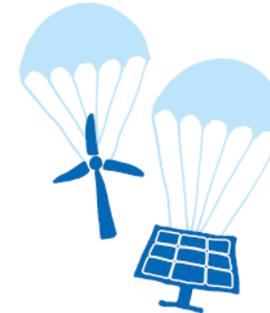
## Möglichkeiten und Grenzen der Netznutzung in Verteilnetzen

- Zeitraum: 2017 – 2019
- Ergebnis: Metastudie



## Netzregelung mit Stromrichtern

- Zeitraum: 2017 – 2021
- Ergebnis: Weiterentwicklung Regelwerk



## Vorsorge für den Notbetrieb ohne IKT

- Zeitraum: 2017 – 2019
- Ergebnis: Studie



## Auswirkungen des dynamischen Verhaltens auf den Netzschutz

- Zeitraum: 2018 - 2020
- Ergebnis: Studie



## Intelligentes Messsystem für Steuerungsaufgaben

- Zeitraum: 2017– 2021
- Ergebnis: Hinweise, Lastenhefte, Umsetzungshilfen



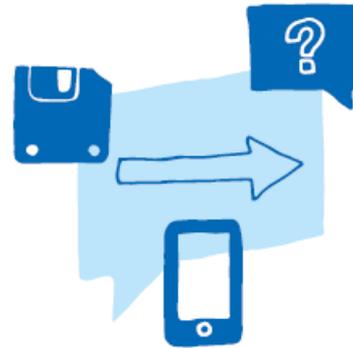
## Reaktionen auf IT-Angriffe

- Zeitraum: 2018 – 2020
- Ergebnis: Hinweis



## IKT-Sicherheitsanforderungen an Marktakteure

- Zeitraum: 2018 – 2020
- Ergebnis: Positionierung



## Digitalisierung: Anforderungen an den langfristig sicheren Betrieb mit IKT

- Zeitraum: 2018 – 2021
- Ergebnis:  
Weiterentwicklung  
Regelwerk

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

FNN – wir entwickeln Netze weiter



## **Ihr Ansprechpartner:**

Lisa Hankel

Referentin

Forum Netztechnik/Netzbetrieb im  
VDE (FNN)  
Bismarckstraße 33  
10625 Berlin



Technische  
Universität  
Braunschweig

**elentia**  
Institut für Hochspannungstechnik  
und Elektrische Energieanlagen



## Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Bernd Engel

Bernd.Engel@TU-Braunschweig.de

0531/391-7740

Ole Marggraf

O.Marggraf@TU-Braunschweig.de

0531/391-9718