

Netzanschlussregeln in Europa

Technische Anforderungen
und Nachweisverfahren –
Ausgewählte Ergebnisse einer FGH-Studie

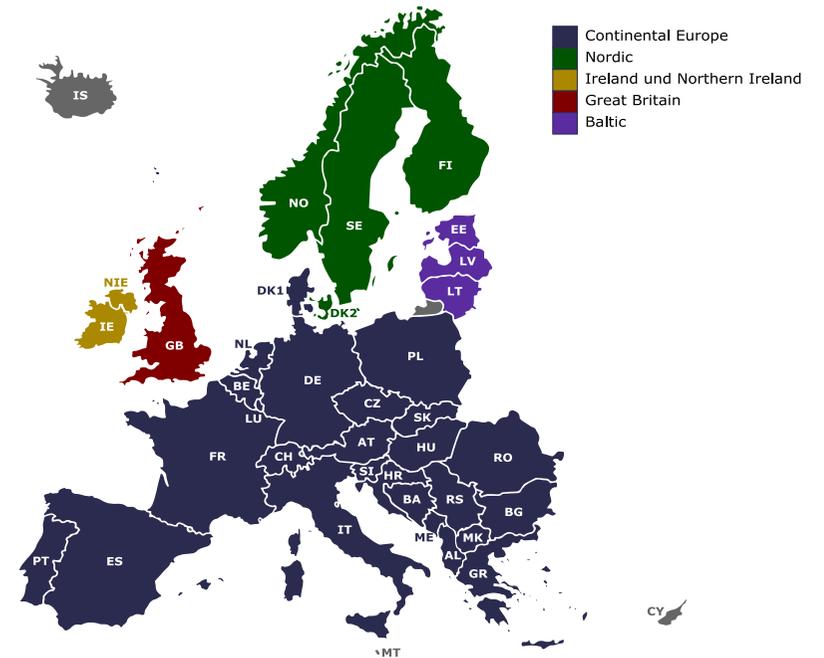


Windenergietage 2022,
Forum 3, 09.11.2022: *Internationale Märkte*
Bernhard Schowe-von der Brelie, FGH



Agenda

- **Grid Codes – warum und wofür**
- Scene Setting: European Network Codes – der ENC RfG
- Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung
- Fazit und Ausblick



Research and knowledge transfer since 1921

Our basis – exploring & networking knowledge; for 100 years



■ Research and Development

- Basic and applied research for an efficient and secure supply of electrical energy in a non-profit research association since 1921

■ FGH Academy

- conferences, seminars, workshops, forums, and webinars on FGH's fields of competence

■ Committee work for technical standards

- Participating in international, European and national working groups and steering committees on standardization activities



Research and knowledge transfer since 1921

Turning research into application – solution for tomorrow's power systems

Three competence clusters for power systems' reliability

■ Electrical grids

- Network optimisation with modular software and algorithms
- Network and system analyses – low to extra high voltage systems

■ Power system & power generation equipment

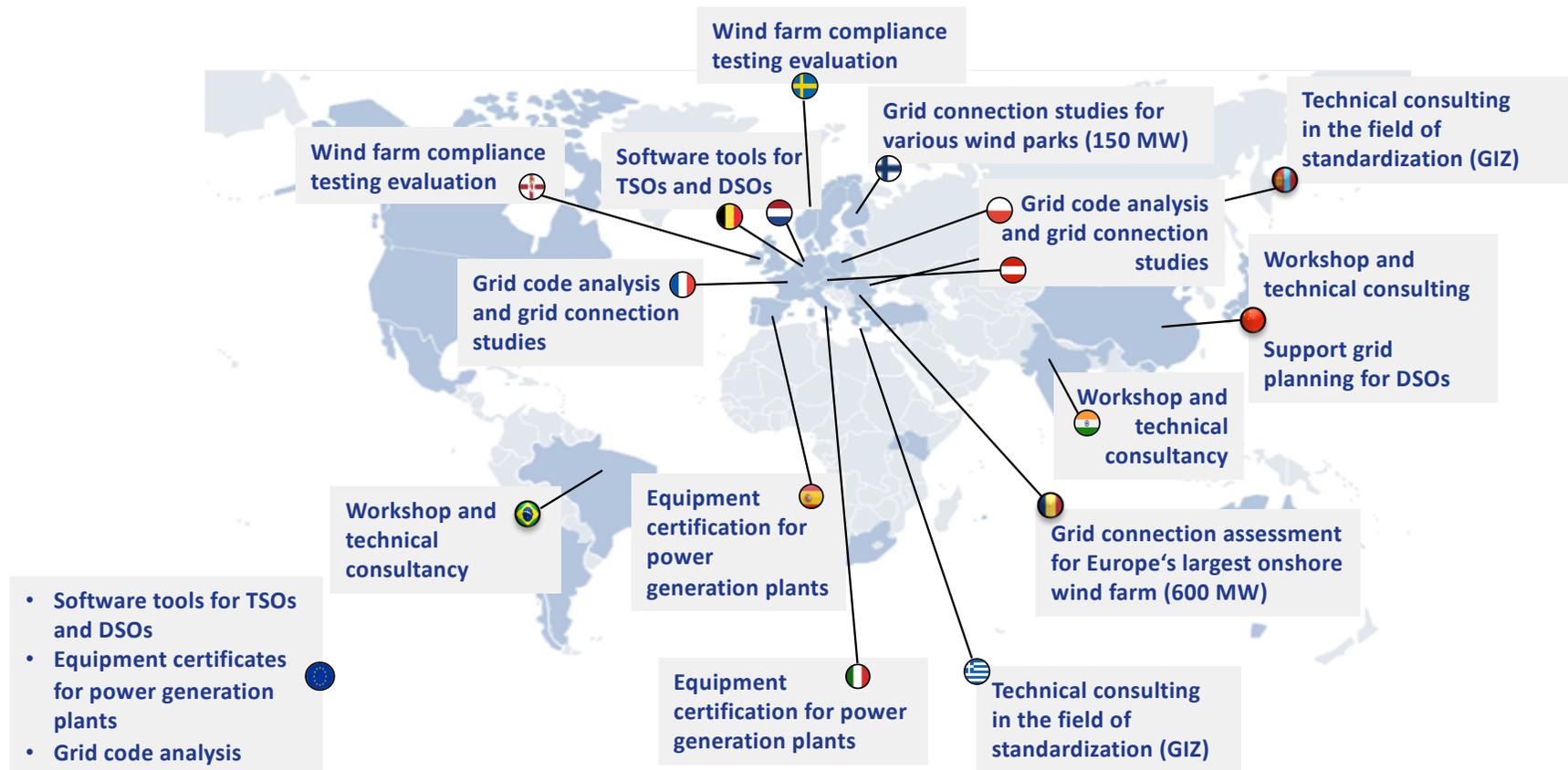
- Grid code analyses & monitoring and respective services
- Grid integration studies & services, PGU/PGM modelling, electrical planning of PGMs
- (Classical) Power System Equipment – asset management, fault analyses, ICT, ...

■ Certification, testing and inspection

- Laboratory and field measurement type testing,
- PGU, component & PGM certification



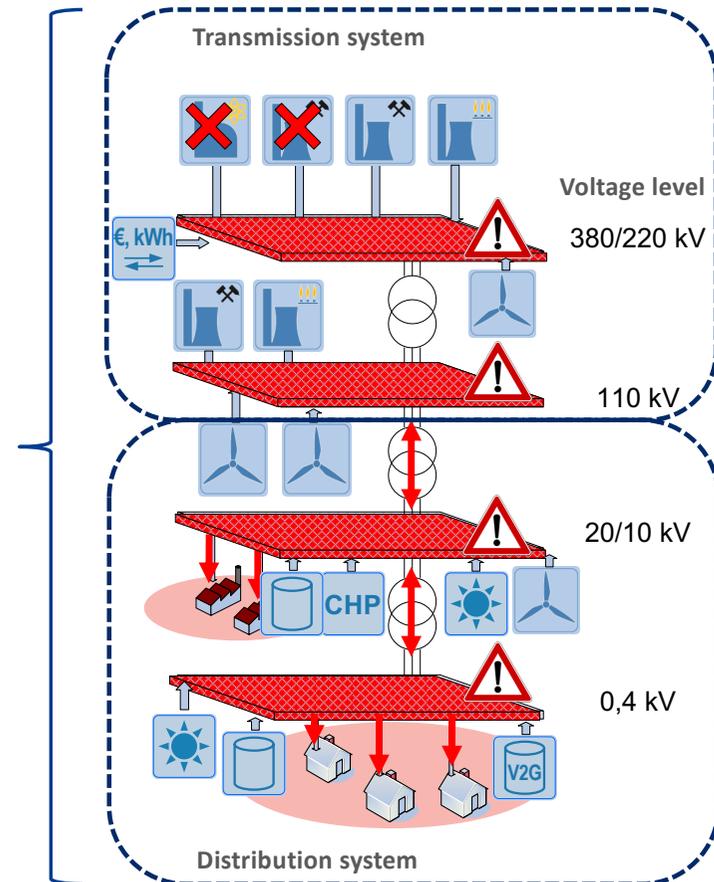
Energising expertise – extensive grid code consulting and services



Einleitung – Motivation Grid Codes

Energiewende & ihre Implikationen – Paradigmenwechsel in den Netzen

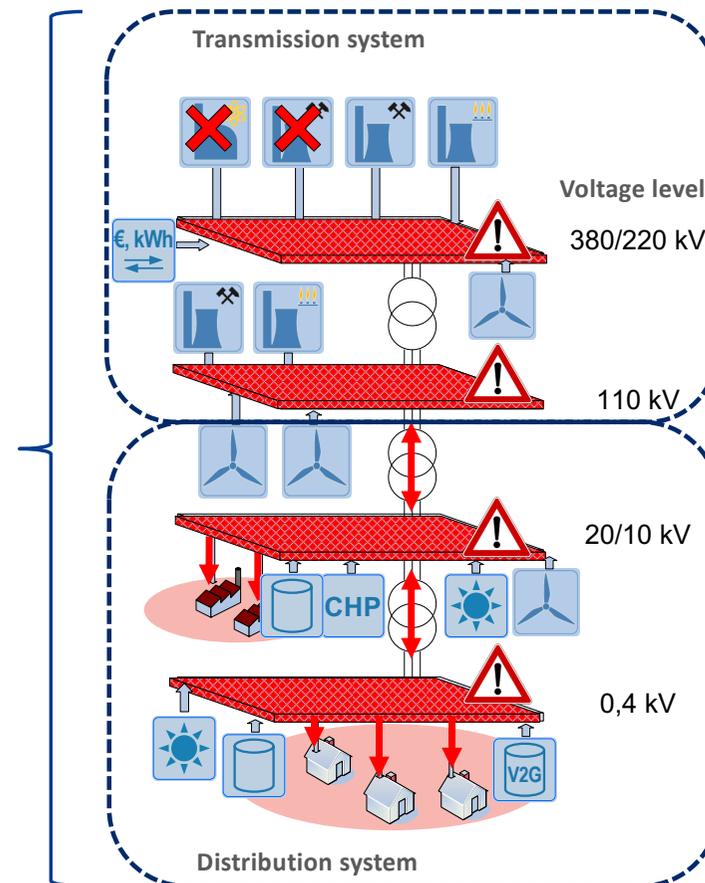
- Abbau thermischer Kraftwerke
- Zubau Erneuerbare Energien, hoch-volatil, dezentral / lastfern
- Einsatz innovativer Netzbetriebsmittel
- Energiespeicher
- Sektorenkopplung (Verkehr, Wärme, Gas)
- Verstärkter Einsatz IKT
- Neue Geschäftsmodelle und Akteure im Energiemarkt
- Horizontale Lastflüsse
- Neue **Netzstrukturen** (overlay...zellulär)
- Nutzung von **Flexibilitäten** im Netzbetrieb
- **Netzstützende Systemdienstleistungen auf allen Netzebenen**



Einleitung – Motivation Grid Codes

Energiewende & ihre Implikationen – Systemdienstleistungen in allen Netzebenen

- **Wegfall rotierender Massen**
Frequenzhaltung / Wirkleistungsregelung
- **Neue Lastflüsse**
Spannungshaltung / Blindleistungsregelung
- **Lastflussumkehr**
Schutzkonzepte
- **Fluktuierende Einspeisung (und Verbrauch)**
Regelfähigkeit / Wiederaufbau
- **Netzstützung in Fehlerfällen**
FRT-Fähigkeiten, Primärregelung
- ...



Einleitung – Motivation Grid Codes

Energiewende & ihre Implikationen – Systemdienstleistungen in allen Netzebenen

- **Wegfall rotierender Massen**
Frequenzhaltung / Wirkleistungsregelung
- **Neue Lastflüsse**
Spannungshaltung / Blindleistungsregelung
- **Lastflussumkehr**
Schutzkonzepte
- **Fluktuierende Einspeisung (und Verbrauch)**
Regelfähigkeit / Wiederaufbau
- **Netzstützung in Fehlerfällen**
FRT-Fähigkeiten, Primärregelung
- ...

**(Erneuerbare)
Erzeugungsanlagen müssen
sich an diesen
Systemdienstleistungen
beteiligen !**

**Festlegung in den
Netzanschlussregeln /
Grid Codes !
Wirksamkeit durch
Nachweise !**

Einleitung – Motivation Grid Codes

Energiewende & ihre Implikationen – Systemdienstleistungen in allen Netzebenen

Für wen ist das wichtig??

- **Netzbetreiber**
Systemstabilität: Versorgungsqualität und -sicherheit
- **Hersteller von EZE und Reglern**
Auslegung der Betriebsmittel
- **Planer & Projektierer**
Auslegung der Anlagen
- **Investoren**
Bankability der Projekte
- **Gesellschaft**
Sichere Energieversorgung

**(Erneuerbare)
Erzeugungsanlagen müssen
sich an diesen
Systemdienstleistungen
beteiligen !**

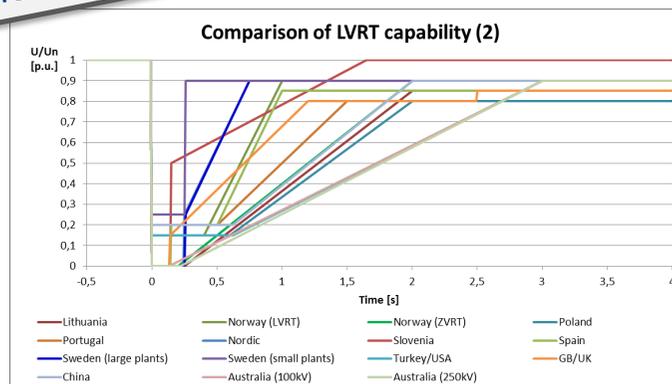
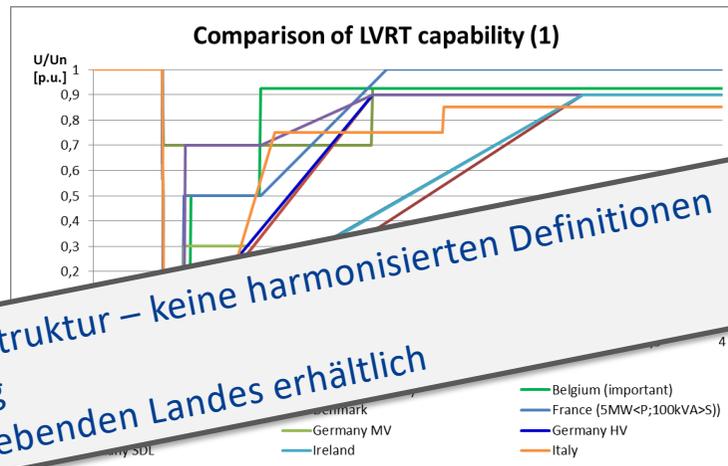
**Festlegung in den
Netzanschlussregeln /
Grid Codes !
Wirksamkeit durch
Nachweise !**

Einleitung

Vielfalt technischer Vorgaben in den verschiedenen nationalen Grid Codes



Beispiel 1: Betriebsbereiche über f und U



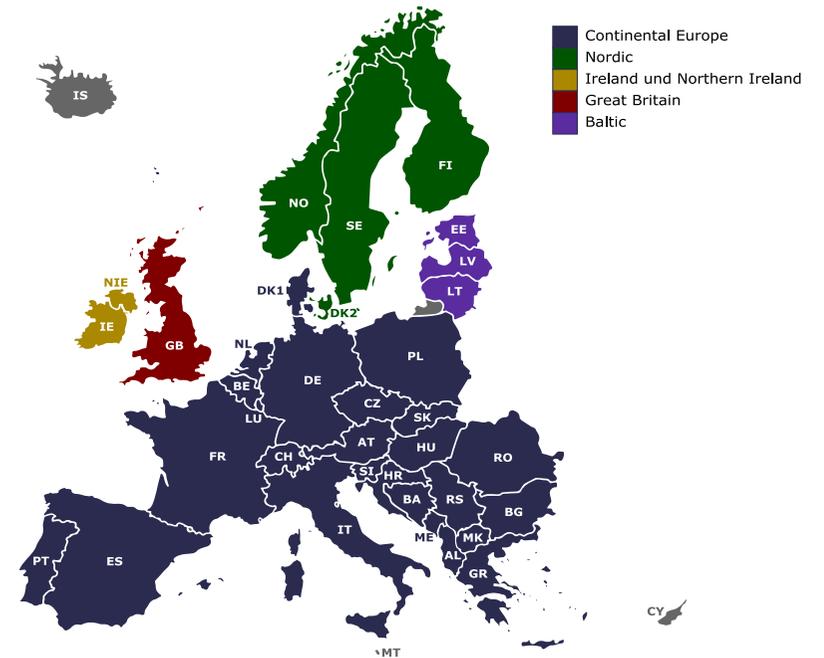
Beispiel 2: FRT-Grenzzlinien

➔ Grundsätzlich keine harmonisierte Struktur – keine harmonisierten Definitionen
 ➔ Unterschiedlicher Regelungsumfang
 ➔ Oft nur in der Sprache des herausgebenden Landes erhältlich

(Quelle: Eigene Darstellung FGH)

Agenda

- Grid Codes – warum und wofür
- **Scene Setting: European Network Codes – der ENC RfG**
- Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung
- Fazit



Scene Setting: European Network Codes

Einordnung – Kontext 3. Europäisches Energiepaket 2009

Netzkodizes basierend auf Regulation EC 714/2009 zum **dritten Energy Package**

- Einhaltung der **Dekarbonisierungsziele** der EU
- Beibehaltung der **Versorgungssicherheit**
- Schaffung eines **einheitlichen Europäischen Elektrizitätsmarkt**

Unter anderem: drei Netzanschluss-Netzkodizes

- **Requirements for Generators network code, RfG NC**
- **Demand Connection code, DCC**
- Network code on **High Voltage Direct Current Connection, NC HVDC**

Ziele (u.a.)

- **Harmonisierung** der nationalen Netzanschluss-Netzkodizes zur **Vermeidung von Handelsbarrieren**
- Abdeckung **mehrerer Märkte** durch Produkte mit möglichst **einheitlichen Spezifikationen**
- **Vereinfachter Markteinstieg** durch Produktqualifizierung über standardisierte **Konformitätsnachweise**



Scene Setting: European Network Codes

Festlegung der technischen Anforderungen

Spezifiziert nach

- **Anschlussleistungen/Spannungsebenen (Typ A-D) – startend bei 800 W**
- **Erzeugungstechnologieclustern**
(synchron-direktgekoppelt; umrichter- asynchronegekoppelt; Offshore) und
- **Netzgebiet** (Continental Europe, Nordic, North-/Ireland, GB, Baltic)

Unterteilung in

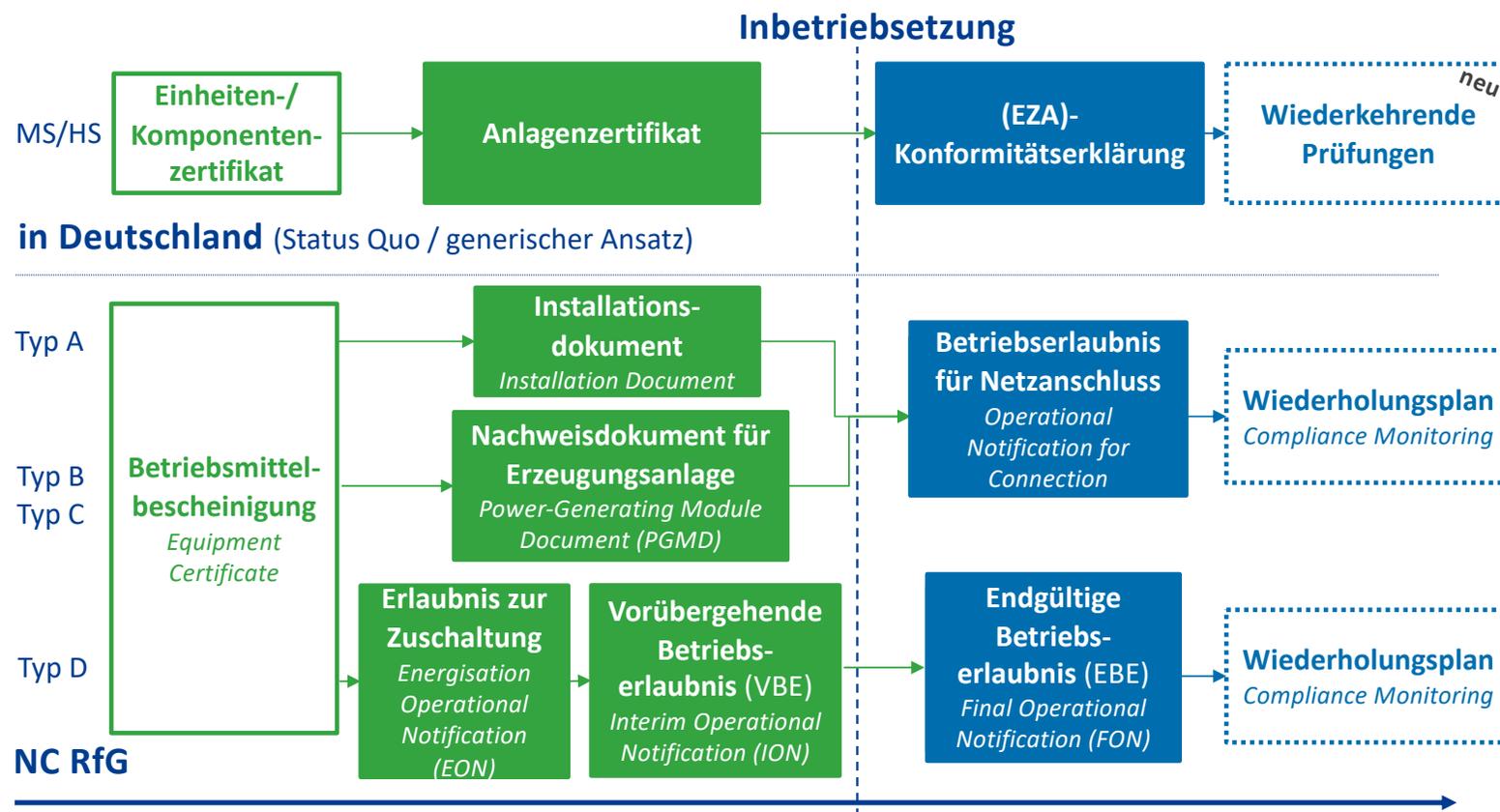
- **exhaustive requirements** – fix definiert
- **non-exhaustive requirements** – RfG gibt Maximalrahmen vor

Anforderungen orientieren sich an cross-border-issues

- steigende Anforderungen Typ A ... Typ D

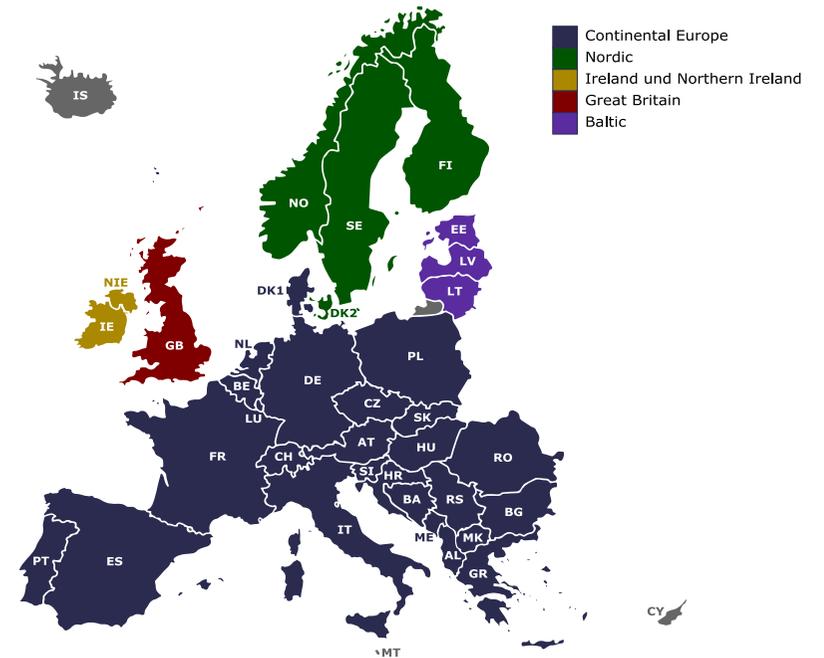
Scene Setting: European Network Codes

ENC-RfG – Übersicht Compliance Scheme



Agenda

- Grid Codes – warum und wofür
- Scene Setting: European Network Codes – der ENC RfG
- **Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung**
- Fazit und Ausblick



Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Studienauftrag

- Weitreichende Umsetzungsspielräume auf nationaler Ebene unter Berücksichtigung
 - der bestehenden Netzinfrastruktur
 - des Anteils dezentraler Stromerzeugung (insbesondere durch erneuerbare, volatile Energiequellen)
- Dies führt zu Abweichungen in
 - der **Definition von Type A, B, C & D Erzeugungsanlagen** (power generation modules/PGM), abhängig von installierter Leistung und der anzuschließenden Spannungshöhe
 - der **Spezifizierung der non-exhaustive requirements** innerhalb des RfG NC
 - der Einführung **zusätzlicher technischer Anforderungen** außerhalb des RfG NC

Auch: große Unterschiede in den Compliance-Anforderungen – hohe Diversität in den Nachweispflichten
- **Zugleich ist die Erfüllung der Anforderungen aber Voraussetzung für die Inbetriebnahme!**
- **FGH-Studie hat im Auftrag der EU-Kommission den Harmonisierungsgrad bei der nationalen RfG NC Implementierung in Europa analysiert**

Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Studien Design – Definition der Grundgesamtheit

- Nationale Umsetzung der Technischen Anforderungen in **26 MS** (MT ausgeschlossen)
- **9 zusätzliche Staaten wurden mit einbezogen:**
BA, CH, ME, RS, MK, GB, NIE, IS, NO
- **Sechs Staaten ohne frei verfügbare** Umsetzungsdokumente in 2020:
BG, BA, ME, MK, RS, CY
- Insgesamt wurden **29 MS+** analysiert (= Grundgesamtheit)
- Ende der Datenerfassung: **30.05.2020**

National implementation of the technical requirements of the RfG NC				
available / found?	YES		NO	
approved / completed?	YES	NO*	YES	NO*
MS+	AT, BE, CH*, CZ*, DE, DK, EE, FI, GB, HR*, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, NIE, NL*, PL, PT, RO, SE, SI*, SK*	ES, FR, GR, NO	BG*	BA, ME, MK, RS, CY**
Number of MS+	25	4	1	5
Note	*Amendments expected	*Proposals already submitted for approval	*According to ENTSO-E, implementation has been completed ^[1]	*Proposals in elaboration **excluded

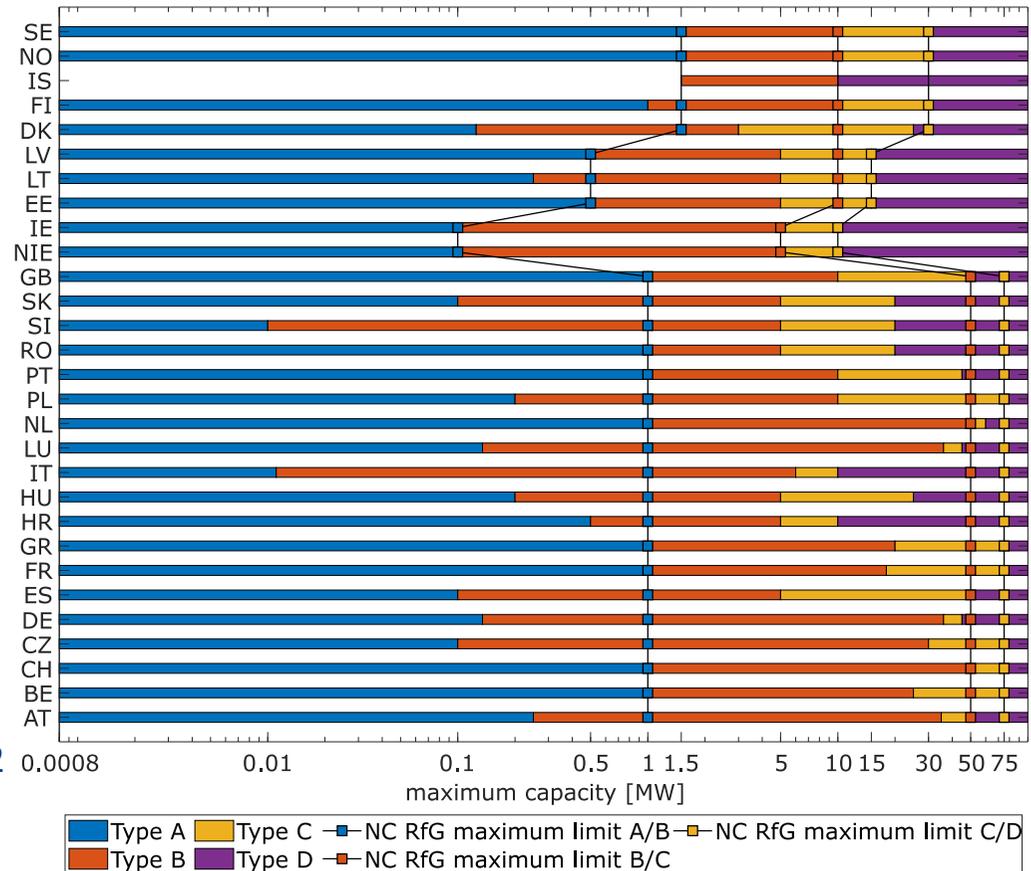
Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Studien Design – Konvergenz- & Inzidenzlevel als Maß der Kohärenz in der europäischen Grid Code Implementierung

- **Konvergenzlevel für RfG NC Anforderungen (exhaustive / non-exhaustive)**
 - Fehlende Umsetzung oder Überschreitung der RfG NC Bandbreiten gilt als Abweichung
 - Konvergenzlevel definiert sich als Anzahl der nicht-abweichenden MS+ ./ Grundgesamtheit
- **Inzidenzlevel für zusätzliche, nicht-RfG NC Anforderungen**
 - Definition entsprechender Anforderungen (außer des RfG NC) wird als Inzidenz gezählt
 - Inzidenzlevel definiert als Anzahl MS+ mit Inzidenz ./ Grundgesamtheit
 - Hinweis: Inzidenzen umfassen auch Fälle, in denen der RfG NC die explizite Ausgestaltung der Anforderung dem Netzbetreiber überlässt
- **Zusätzliche Analyse**
 - nationaler Festlegungen zu Konformitätsnachweisen & -methoden (Compliance-Anforderungen)
 - nationaler Festlegungen von Netzanschlussbedingungen für (Batterie-) Speichersysteme
 - der Konvergenz nationaler Implementierungen mit der EN 50549-1/-2

Zentrales Studienergebnis#1: Variationen in der Typen-Definition unter den MS+

- Ergebnis: Alle Typen-Definitionen sind innerhalb der RfG NC-Vorgaben
- Aber: Typen-Definitionen variieren stark innerhalb der möglichen Bandbreite
 - Beispiel 1: Ein 200kW BHKW mit Standort Eupen ist eine Typ A EZA, am Standort Aachen eine Typ B Typ Typ B EZA
 - Beispiel 2: Eine 7 MW Typ B EZA in DE wird in 13 anderen MS+ als Typ C EZA gewertet
- Weitere Unterschiede:
 - CZ unterscheidet Untertypen A1/2 und B1/2
 - Island definiert nur Typ B und D



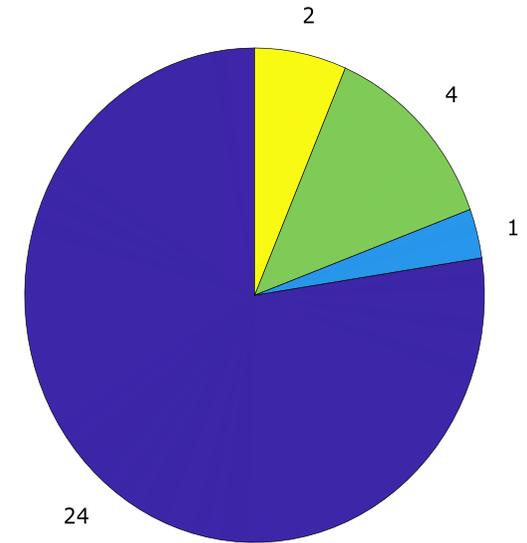
Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Ausgewählte Ergebnisse:

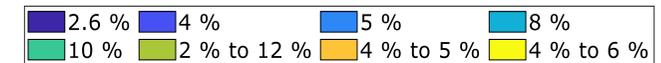
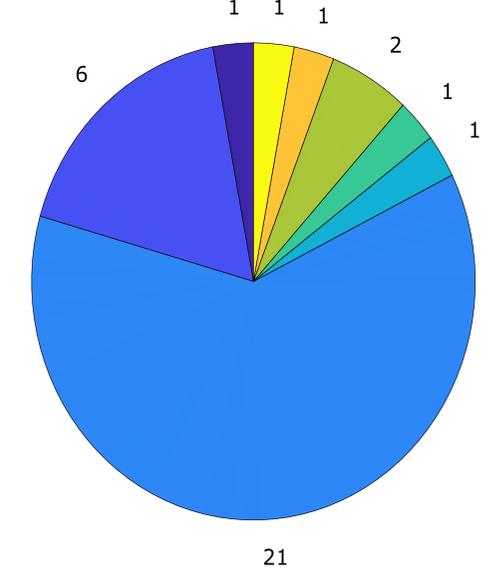
Frequenzstabilität – Limited Frequency Sensitive Mode - Overfrequency (LFSM-O)

- Non-exhaustive requirement für A-, B-, C- & D-EZAs
- Nationale Freiheitsgrade:
 - Droop value: 2...12% (alle Netzgebiete)
 - Frequenzschwelle: 50,2...50,5 Hz (alle Netzgebiete)
- Ergebnis: 100% Konvergenz

Standard frequency threshold (LFSM-O)



Standard droop value (LFSM-O)



Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Ausgewählte Ergebnisse: Spannungsstabilität – Q-U-Bereiche (PPM)

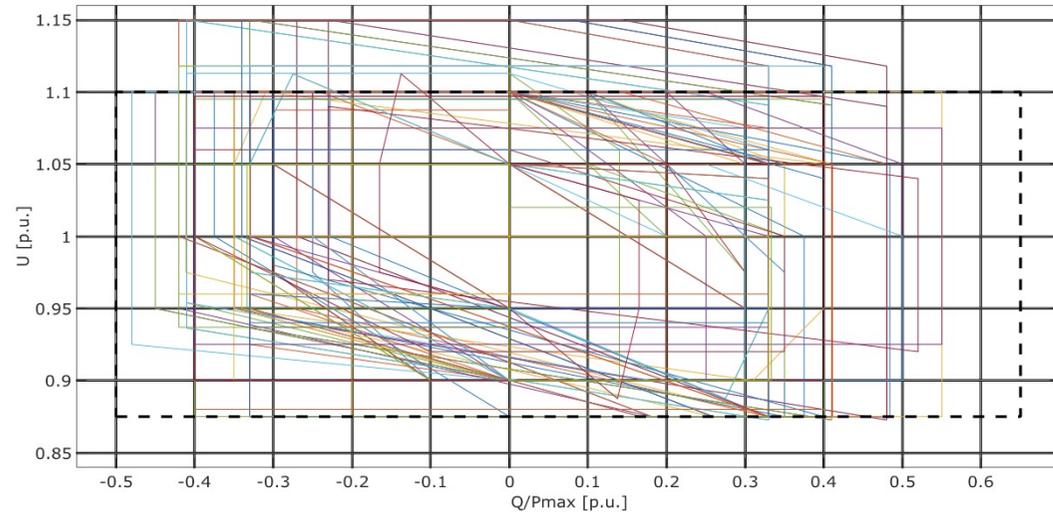
- Non-exhaustive requirement für Typ C- & D-PPMs (spezifische Vorgaben für SPGMs)

- Nationale Freiheitsgrade:

- Q: $-0,5 \dots 0,65 Q/P_{\max}$
- U: $0,875 \dots 1,1$ p.u.

- Ergebnis: 83% Konvergenz

- DE, IE, LT, LU, LV unter-/überschreiten U_{\min} und U_{\max}



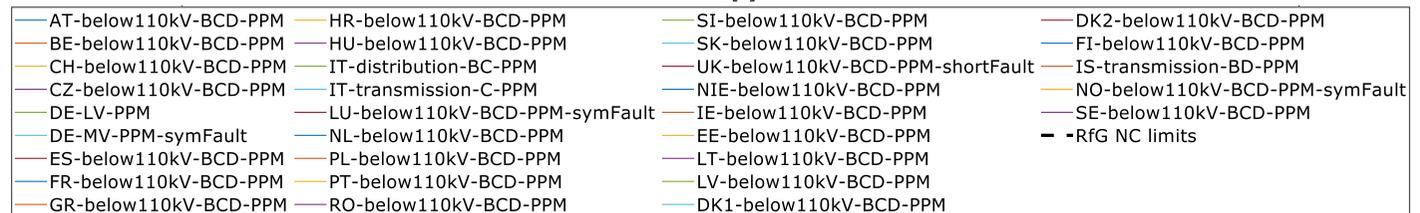
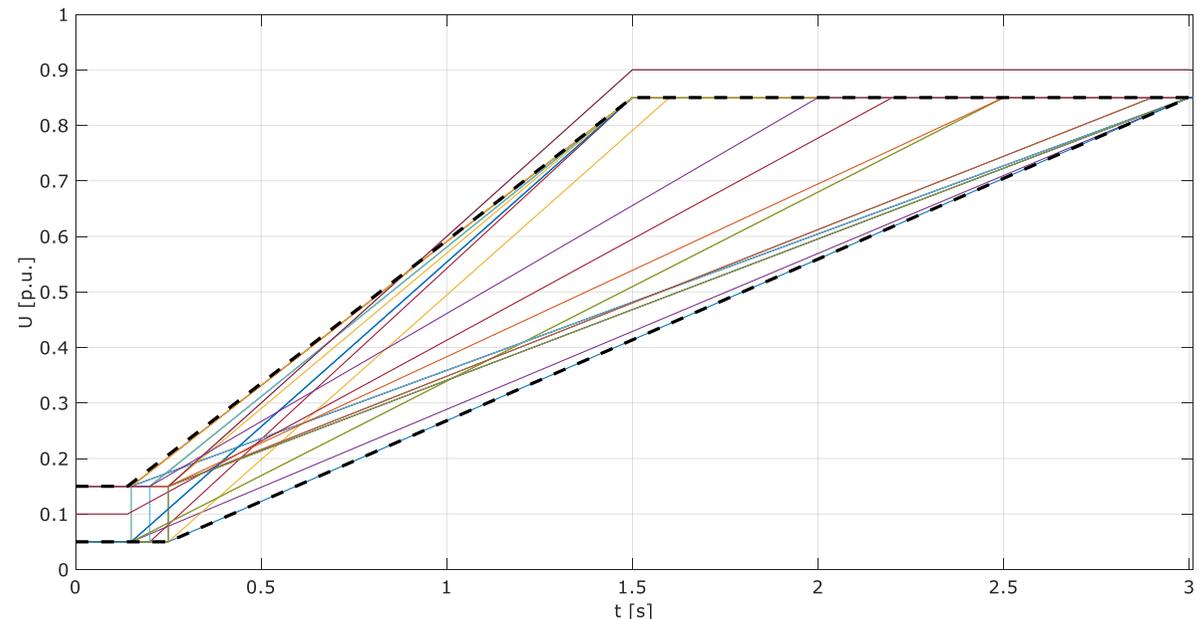
AT-CD-PPM-V1	DE-150kVand220kV-D-offshorePPM-Vb	NL-below300kV-CD-PPM-V2	IE-10kVand20kV-CD-PPM-Topology2
AT-CD-PPM-V2-standard	ES-below300kV-B-Cbelow15MW-PPM	NL-300kVandAbove-D-PPM-V1	IE-10kVand20kV-CD-PPM-otherTopologies
AT-CD-PPM-V3	ES-below300kV-C15MWandAbove-D-PPM	NL-300kVandAbove-D-PPM-V2	IE-38kV-CD-PPM-Topology2
BE-below300kV-CD-PPM-Vright	ES-300kVandAbove-D-PPM	NL-below300kV-CD-offshorePPM	IE-38kV-CD-PPM-otherTopologies
BE-below300kV-CD-PPM-Vleft	FR-HTA-BC-PPM	PL-110kVand220kV-D-PPM	IE-110kVand220kV-D-PPM
BE-300kVandAbove-CD-PPM-Vright	GR-below110kV-CD-PPM	PL-400kV-D-PPM	IE-400kV-D-PPM
BE-300kVandAbove-CD-PPM-Vleft	GR-150kV-D-PPM	PT-below110kV-BCD-PPM	EE-CD-PPM
CZ-CD-PPM	GR-400kV-D-PPM	PT-150kVand220kV-D-PPM	LT-below110kV-CD-PPM
DE-MV-PPM	HR-CD-PPM	PT-400kV-D-PPM	LT-110kV-D-PPM
DE-110kV-PPM-V1	HU-CD-PPM	RO-CD-PPM	LT-330kV-D-PPM
DE-110kV-PPM-V2	IT-TransNW-CD-windPPM	SI-MV-BCD-PPM	LV-below110kV-CD-PPM
DE-110kV-PPM-V3	IT-TransNW-CD-PVPPM	SI-110kV-D-PPM	LV-110kV-D-PPM
DE-220kV-PPM-V1	LU-C-PPM-V1	SI-above110kV-D-PPM	LV-330kV-D-PPM
DE-220kV-PPM-V2	LU-C-PPM-V2	SK-CD-PPM	DK-above1kV-C-PPM
DE-220kV-PPM-V3	LU-C-PPM-V3	GB-33kVandBelow-CD-PPM	DK-above1kV-D-PPM
DE-400kV-PPM-V1	LU-D-PPM-V1	GB-above33kV-CD-PPM	FI-CD-PPM
DE-400kV-PPM-V2	LU-D-PPM-V2	GB-CD-offshorePPM-config1	IS-transmission-D-PPM
DE-400kV-PPM-V3	LU-D-PPM-V3	GB-CD-offshorePPM-config2	SE-CD-PPM
DE-150kVand220kV-D-offshorePPM-Va	NL-below300kV-CD-PPM-V1	NIE-below110kV-CD-PPM	- - Outer envelope of the NC RfG

Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Ausgewählte Ergebnisse:

FRT Vermögen bei symmetrischen Fehlern <110kV (Typ B-, C- and D-PPM)

- Non-exhaustive requirement für Typ B-, C- & D-PPMs (spezifische Vorgaben für SPGMs)
- Nationale Freiheitsgrade:
 - 3 Stützpunkte im U-t-Profil
- Ergebnis: 97% Konvergenz (28/29 MS+)
 - U_{rec2} überschreitet in Dänemark mit 0,9 p.u die feste RfG-Vorgabe von 0,85 p.u.
 - Mehr als ein Profil in AT, DE, IT definiert



Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Ausgewählte Ergebnisse:

Zusätzliche Anforderungen für Typ B-, C- & D EZA – Inzidenz-Level

- Sind im RfG NC für "höhere" PGM-Typen definiert und werden nun auf "untere Typen" adaptiert, oder
- Sind komplett außerhalb der RfG NC Anforderungen (z.B. OVRT)
(allerdings i.d.R. relevant für die Konvergenzanalyse der EN 50549-1/-2)

Evaluated aspect (RfG NC requirement)	Incidence degree [%]
Voltages ranges and minimum operation periods (types B, C)	52
U-Q/Pmax for SPGMs on type B generators	59
U-Q/Pmax for PPMs on type B generators	66
P-Q/Pmax for SPGMs on type B generators	35
P-Q/Pmax for PPMs on type B generators	62
OVRT on types B, C, D	21
Additional reactive power control modes for type B, C, D PGMs	38
Total number of requirements: 7	Average incidence level: 48

Achtung: eine Inzidenz in 2(+) Ländern bedeutet nicht, dass die Anforderungen in der Ausprägung identisch sind (z.B. verschiedene Q-Stellbereiche, verschiedene OVRT-Kurven)!!

Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Zentrales Studienergebnis#2:

Divergenzen in den technischen Anforderungen (Typ A-PGMs)

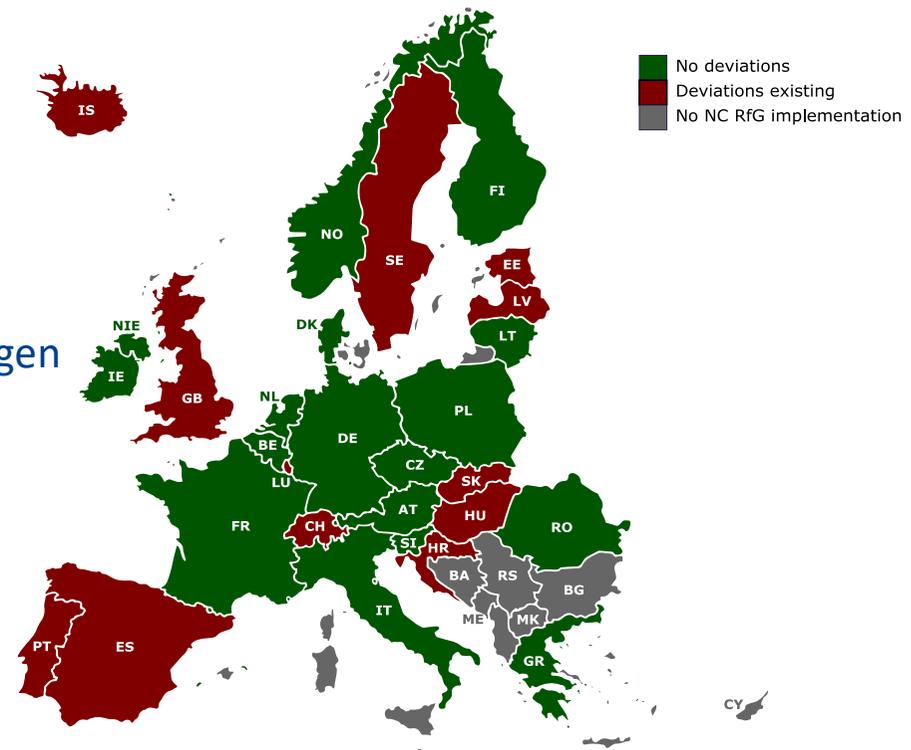
- kumulierte Konvergenz der RfG NC (non-exhaustive requirements)

91%

- kumulierte Inzidenz zusätzlicher Anforderungen

17%

21 zusätzliche Anforderungen
in allen 29 MS+



Status Quo – FGH-Studie zur RfG-Implementierung in Europa

Zentrales Studienergebnis#2:

Divergenzen in den technischen Anforderungen (Typ B-D-PGMs)

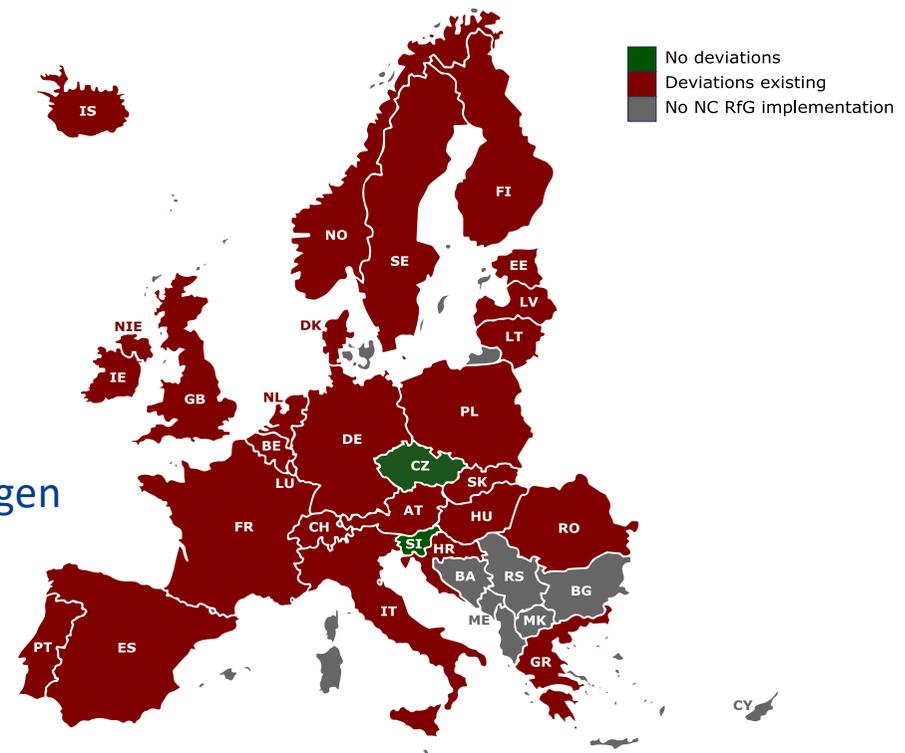
- kumulierte Konvergenz der RfG NC (non-exhaustive requirements)

84%

Aber: 27 MS+ haben mindestens eine Abweichung in der nationalen Umsetzung

- kumulierte Inzidenz zusätzlicher Anforderungen

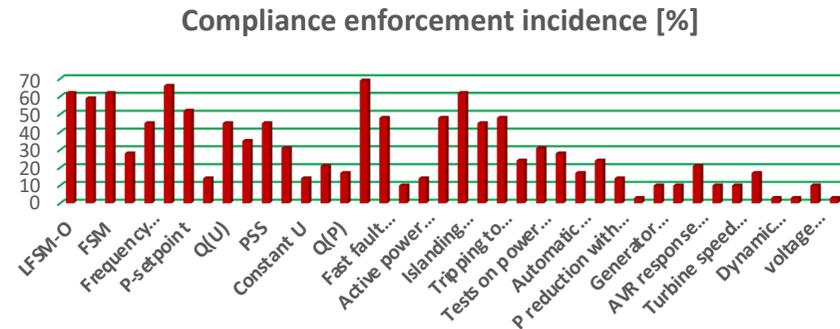
48%



Studienergebnis #4: sehr geringe Koheränz bei Compliance Definitionen

■ Results of FGH study

- 51% of investigated countries have at least defined one measure;
But: mostly without concrete definitions;
focussing on PGM-level via testing & simulation



■ Preliminary results of EN HCF survey in summer 2022 (on PGU/ component compliance)

- Accredited certification programmes in DE and ES only (FGW-TR8; NTS)
- The admissibility of PGU / component certificates is designated in a further seven countries (AT, BE, DK IT, NL, PL, RO) – however no concrete definitions are provided;
nor links to above certification programmes

■ And the International level?

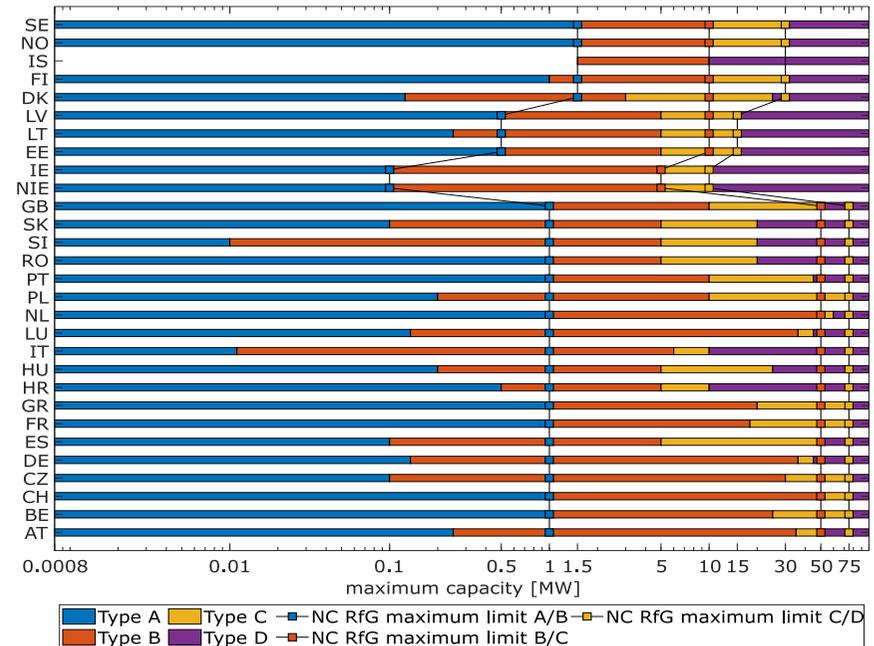
- IECRE certification programme is being prepared on grid code compliance
- EN 50549-10 will provide testing procedures on PGU/ component level (to be published in 2022!)
- IEC 61400-21 – Typenvermessung für Windenergieanlagen

Einschub– Internationale Ansätze

EN 50549-2 als europäischer Standard

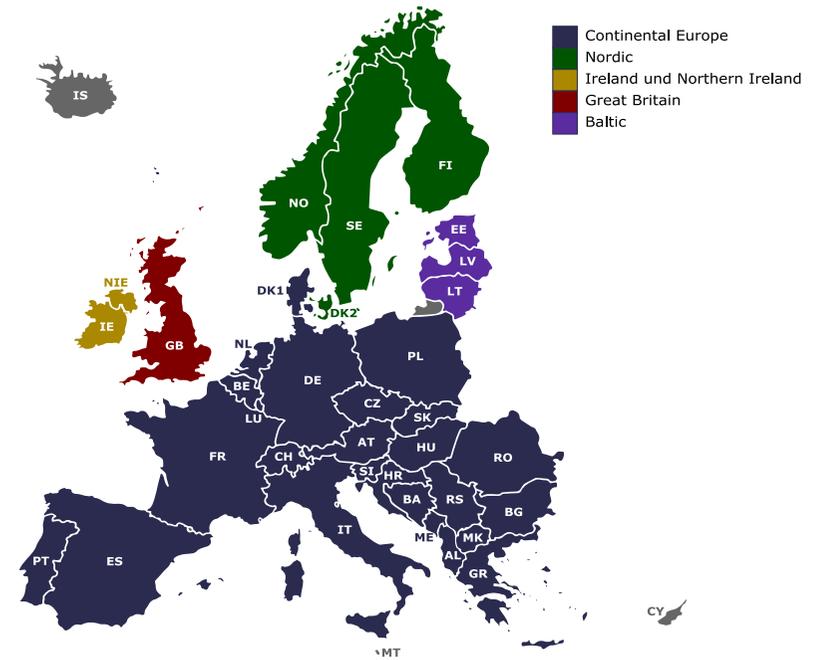
■ EN 50549-Standards

- CENELEC hat mit den europäischen Standards EN 50549-1 und EN 50549 einen äußeren Rahmen der ca. bis 2019 verfügbaren Grid Codes gezogen, die damit den damaligen Stand der RfG-Umsetzungen darstellen.
- EN 50549-1 stellt die Anforderungen an Typ A-EZA zusammen.
- EN 50549-2 stellt die Anforderungen an Typ B-EZA zusammen; diese decken je nach Land EZA bis zu 40 MVA ab. Damit ist die EN 50549-2 auch für Windenergieanlagen ein möglicher äußerer Rahmen.
- CENELEC plant 2023 eine Revision der Standards, die dann zwischenzeitlich weitergehende Anforderungen beinhalten wird.



Agenda

- Background & Objectives
- Formal requirements & General Approach
- Status Quo
- **Fazit und Ausblick**



Fazit und Ausblick

Take aways

- Netzanschlussregeln bilden die technische Basis des sicheren Netzbetriebs
- Deren Ausprägung bleibt aber auch unter dem Rahmen des Europäischen Netzwerkodizes RfG sehr unterschiedlich
 - Überschreitungen der äußeren Rahmen des RfG (non-exhaustive und exhaustive requirements)
 - Hinzunahme zusätzlicher Anforderungen
- Die Nachweisführung – als prinzipielle Voraussetzung für die Inbetriebnahme – bleibt oftmals undefiniert.
- CENELEC Standard EN 50549-2 bildet eine mögliche übergreifende Grid Code Grundlage für Typ B-Anlagen
- **FGH bietet Grid Code- und Gap-Analysen auf Produkt- und Projektebene sowie umfangreiche Dienstleistungen zur Nachweisführung (Equipment Certificates; Testing; Grid Connection Studies)**
- ACER hat **Revisionsprozess der ENCs** eingeleitet. Stärkere Harmonisierung ist ein Ziel.
Geplante Veröffentlichung RfG: 2024
- Neue Anforderungen in Sichtweite, insb. **netzbildende Umrichter!**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



- Bernhard Schowe-von der Brelie
- bernhard.schowe@fgh-ma.de
- www.fgh-ma.de/en
- URL zur Studie: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/7ff90e84-dae0-11eb-895a-01aa75ed71a1/>

