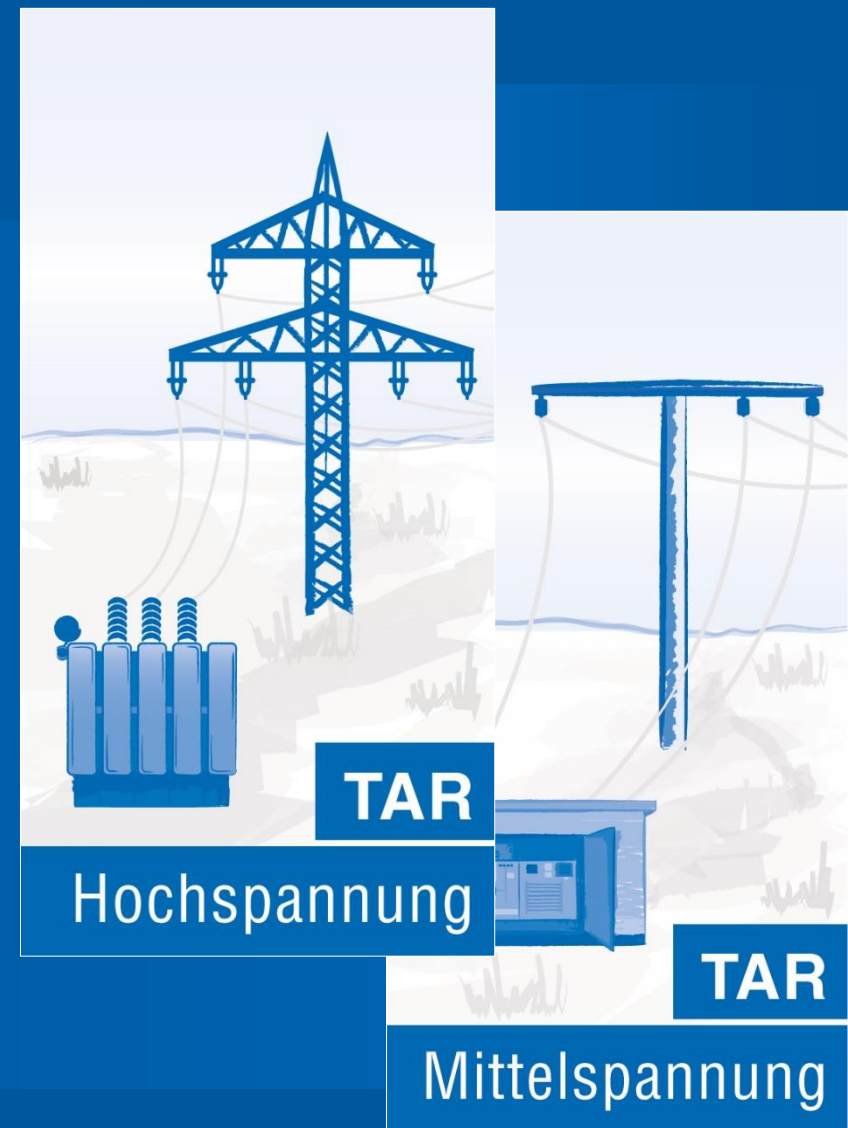


Dynamische Netzstützung

Thorsten Bülo
SMA Solar Technology AG

TAR Infotage Mittel- und Hochspannung
2. / 3. April 2019 in Leipzig



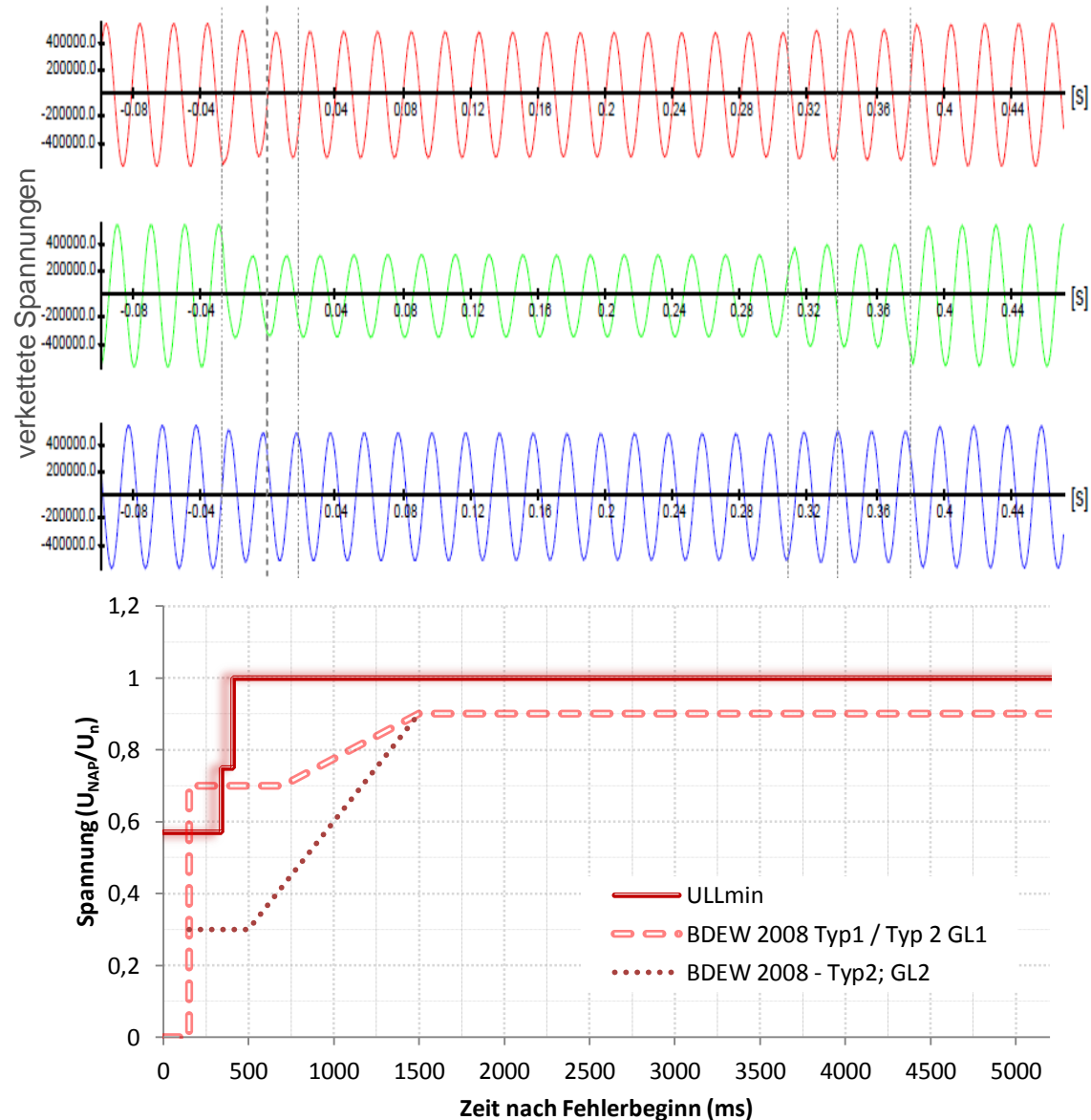
Gliederung

- Einleitung und kurzer Rückblick auf bisherige Regelwerke
- AR-N 4110 und AR-N 4120 - Allgemeines
- Typ 1-Anlagen
 - Zeitliche Anforderungen
 - Sonstige Anforderungen
 - Mehrfachfehler
- Typ 2-Anlagen
 - Fehlerbeginn / Fehlerende
 - Zeitliche Anforderungen
 - Vollständige und Eingeschränkte Dynamische Netzstützung
 - Mehrfachfehler
- Verhalten nach Fehlerende (Typ1 und Typ 2)

Einleitung mit Rückblick

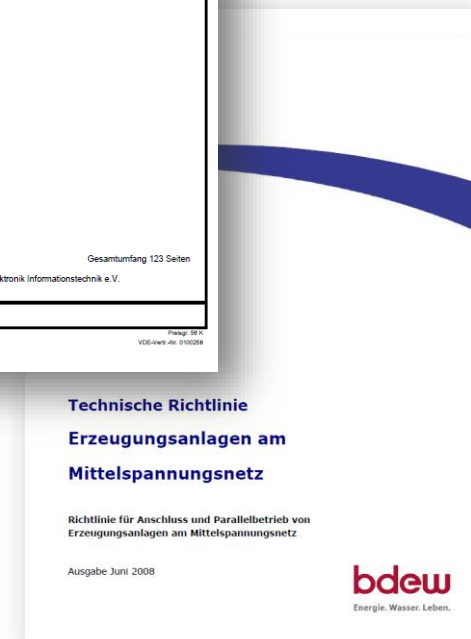
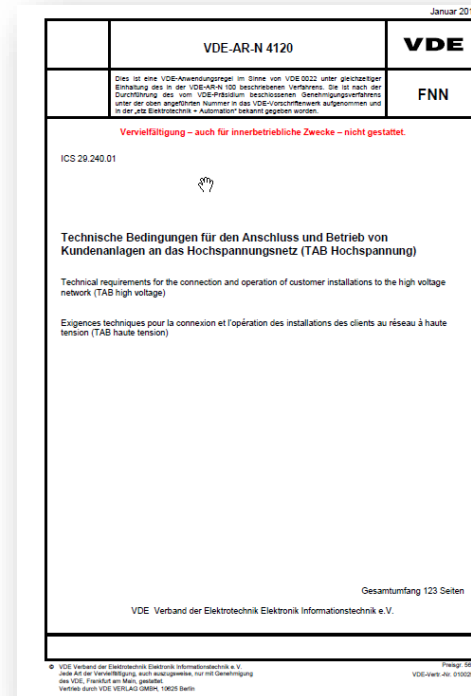
Motivation

- Beispiel: 2-poliger Fehler im HSp.-Netz
- max. Spannungsänderung:
Mitsystem: 20%
Gegensystem: 21%
- Unsymmetrische Fehler weit häufiger als symmetrische
- auch fehlerferne Anlagen in die Spannungsstützung einbinden
- Stützung auch nach dem Fehler, um Blindleistungshaushalt aufrecht zu halten



Status Quo: dyn. Netzstützung in der BDEW Mittelspannungsrichtlinie und TAB Hochspannung

- Durchfahren von Netzfehlern definierter zeitlicher Grenzlinsen
 - BDEW:
 - Einspeisen eines dynamischen Blindstromes
 - Typ-2-Anlagen: Kurzzeitige Trennung u.U. erlaubt
 - Netzstützung auch bei einer wiederholten Automatischen Wiedereinschaltung (AWE)
 - Wirkleistungswiederkehr mind. 10% P_n/s
 - TAB HS:
 - dyn. Blindstrom im Mit- und Gegensystem, auch bei kleinen Spannungssprüngen
 - Durchfahren von Mehrfachfehlern
 - Wirkstromwiederkehr mind. 20% I_f/s
- ➔ TAB HS ist Basis für neue AR-N 4110/4120



AR-N 4120:2018-11

AR-N 4110:2018-11

November 2018		
	VDE-AR-N 4120	VDE
	<p>Das ist eine VDE-Anwendungsregel im Sinne von VDE 0022 unter gleichzeitiger Einhaltung des in der VDE-AR-N 100 (VDE-AR-N 4000) beschriebenen Verfahrens. Sie ist nach der Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.</p>	FNN
<p>Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.</p> <p>ICS 29.240.01</p> <p>Ersatz für VDE-AR-N 4120:2015-01 und VDE-AR-N 4120 Berichtigung 1:2017-02 Siehe Anwendungsbeginn</p>		
<p>Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb</p> <p>Technical requirements for the connection and operation of customer installations to the high voltage network (TAR high voltage)</p> <p>Exigences techniques pour la connexion et l'opération des installations des clients au réseau à haute tension (TAR haute tension)</p>		
<p>VDE Verband der Elektrotechnik</p>		
<p><small>© DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des VDE, Frankfurt am Main, gestattet. Vertrieb durch VDE VERLAG GMBH, 10625 Berlin</small></p>		

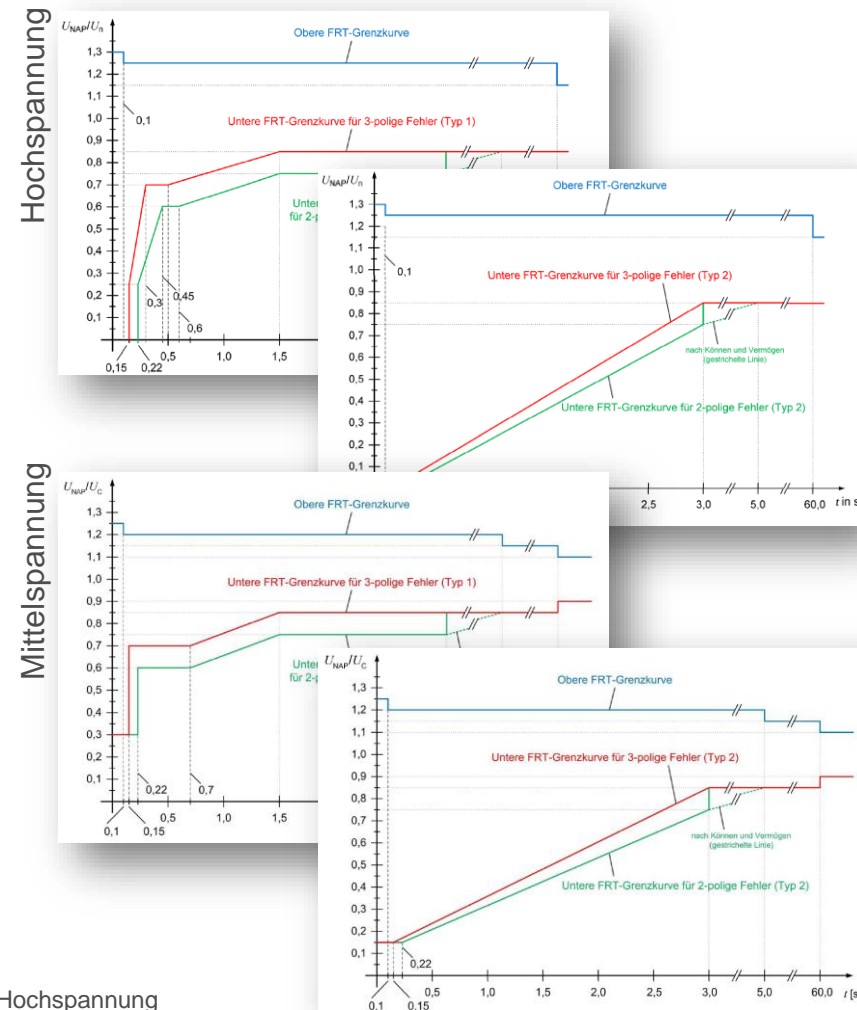
November 2018		
	VDE-AR-N 4110	VDE
	<p>Das ist eine VDE-Anwendungsregel im Sinne von VDE 0022 unter gleichzeitiger Einhaltung des in der VDE-AR-N 100 (VDE-AR-N 4000) beschriebenen Verfahrens. Sie ist nach der Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.</p>	FNN
<p>Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.</p> <p>ICS 29.240.01</p>		
<p>Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Mittelspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Mittelspannung)</p> <p>Technical requirements for the connection and operation of customer installations to the medium voltage network (TAR medium voltage)</p> <p>Exigences techniques pour la connexion et l'opération des installations des clients au réseau à moyenne tension (TAR moyenne tension)</p>		
<p>Gesamtumfang 257 Seiten</p>		
<p>VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.</p>		
<p><small>© DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e.V. Jede Art der Vervielfältigung, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung des DIN, Berlin, und des VDE, Frankfurt am Main, gestattet. Vertrieb durch VDE VERLAG GMBH, 10625 Berlin</small></p>		

Dynamische Netzstützung in der AR-N-4120 / 4110

- Erzeugungsanlagen, sowie Speicher (Energiebezug¹ und -Lieferung) müssen **symmetrische und unsymmetrische** Netzfehler durchfahren
- Spannungssprünge **innerhalb** der FRT-Kurven dürfen nicht zu Netztrennung führen
- zu beurteilen: kleinste/größte der drei **verketteten Spannungen** am NAP
- Unter- und Überspannungsgrenzkurven gelten **unabhängig** voneinander
- Auch beliebige Folge von **Mehrfachfehlern** sind zu durchfahren
- Anforderungen gelten auch für die **Hilfsaggregate!**
- Dynamische Blindstromstützung im **Mit- und Gegensystem**

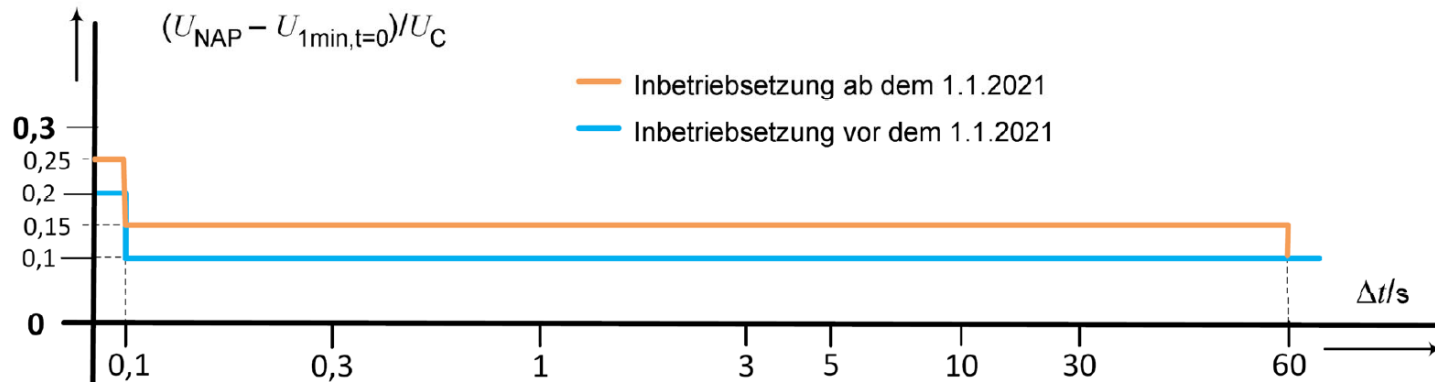
¹Ab 1.1.2021

Typ 1-Anlagen Typ 2-Anlagen



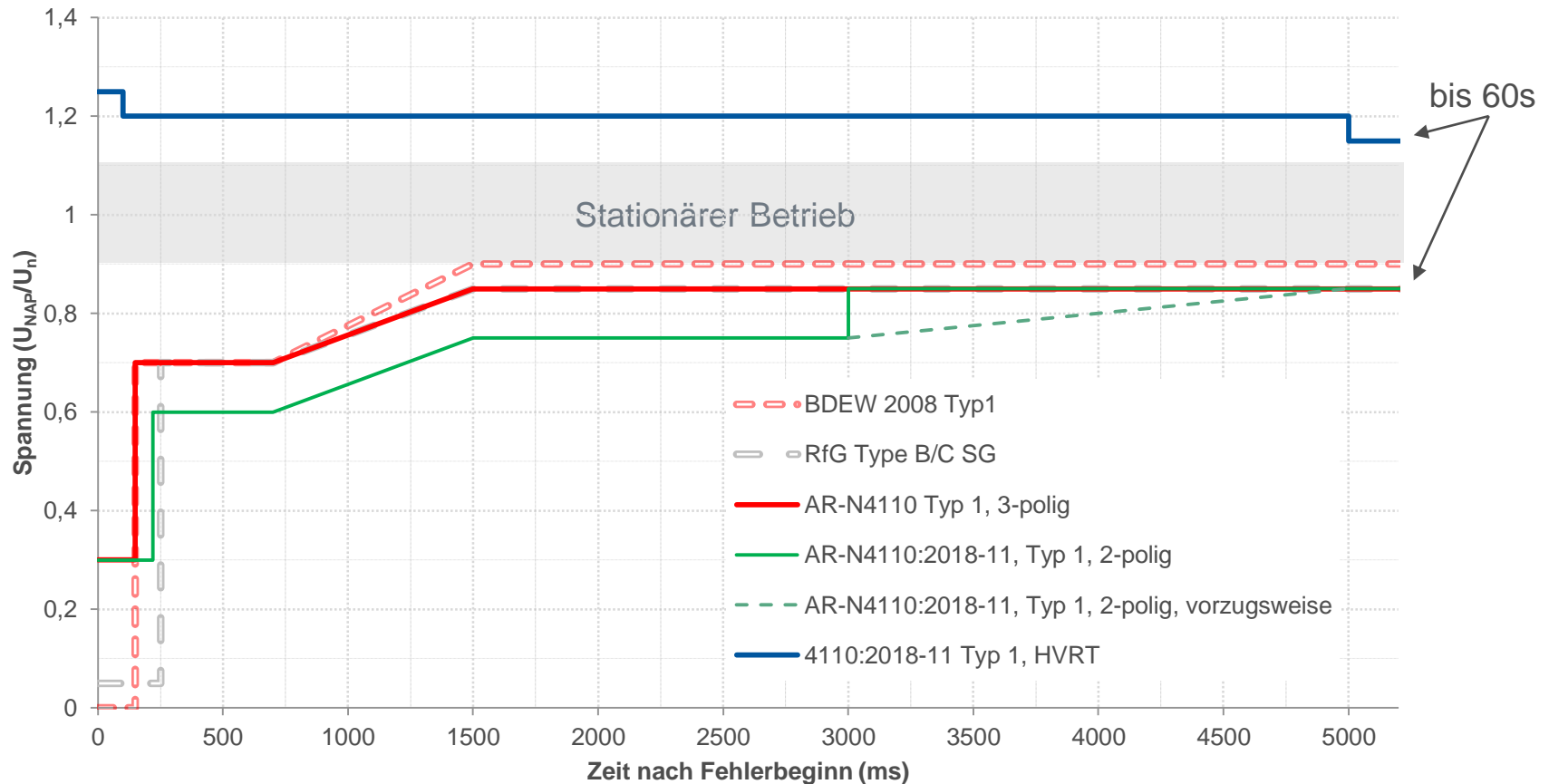
Robustheit ggü. Spannungssprüngen

- Einschränkung der Überspannungs-Grenzkurve
- Relative Spannungsänderungen oberhalb u.g. Grenzkurven müssen nicht durchfahren werden



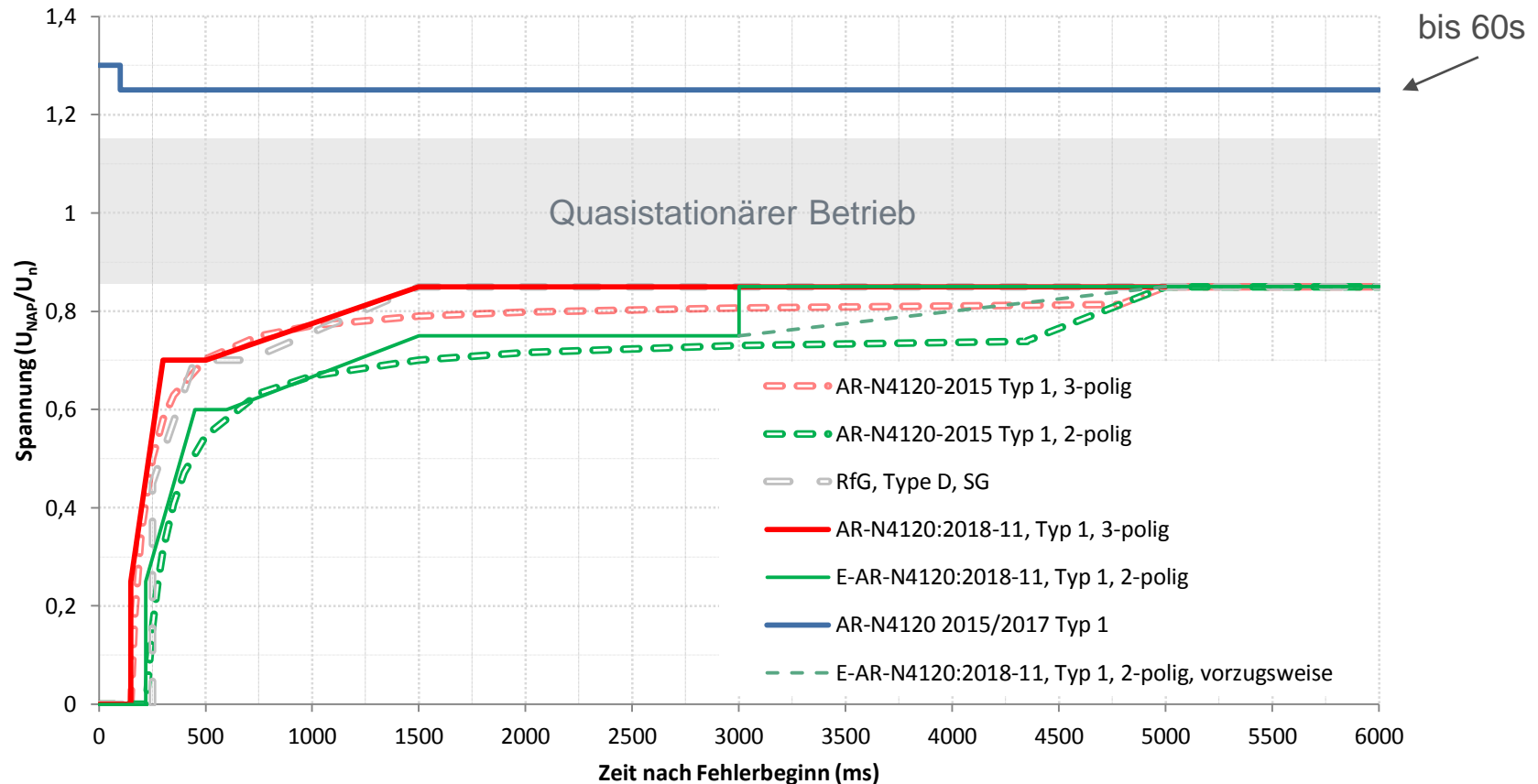
Typ 1-Anlagen (Direkt gekoppelte Synchrongeneratoren)

Typ 1-Anlagen: Zeitliche Anforderungen (AR-N 4110)



- LVRT-Anforderungen wurden **geringfügig angepasst** (RfG-Kurve für **symm. Fehler**)
- **2-polige Fehler**: häufig bes. tiefer Einbruch, i.d.R. unkritisch für EZA (grüne Kurve)
- Neu: Anforderungen an das Durchfahren von **Überspannungen** (HVRT)

Typ 1-Anlagen: Zeitliche Anforderungen (AR-N 4120)



- Untere Grenzkurven wurden **geringfügig angepasst** (Anlehnung an RfG-Kurve für **symm. Fehler**)
- **2-polige Fehler**: häufig bes. tiefer Einbruch, i.d.R. unkritisch für EZA (grüne Kurve)
- Anforderungen an das Durchfahren von **Überspannungen** (obere Grenzkurve) ggü. AR-N-4120-2015 unverändert (**Absenkung bei 60s auf $U=1,15$**)

Sonstige / Allgemeine Anforderungen Typ 1-Anlagen (AR-N 4110)

- Einstellwerte der Spannungsregler, sowie Softwarestände müssen definiert **nachvollziehbar** sein
- Spannungseinbrüche innerhalb der o.g. Grenzkurven sind zu durchfahren, wenn S_k nach Fehlerklärung $> 5 S_{A, Ges}$ in dem betreffenden Netz ist
- maximale erlaubte Spannungsanhebung in den gesunden Außenleitern unter diesen Bedingungen auf Höhe der oberen FRT-Grenzkurve
- Verhalten nach **Fehlerende**
 - Steigerung des **Wirkstromes** so schnell wie möglich, Anschlagzeit maximal **3 Sekunden** (GuD-Prozesse: **6s**)

Sonstige / Allgemeine Anforderungen Typ 1-Anlagen (AR-N 4120)

- Spannungseinbrüche innerhalb der o.g. Grenzkurven sind zu durchfahren, wenn S_k am Anschlusspunkt nach Fehlerklärung $> 6 S_{A,Ges}$ in dem betreffenden Netz ist
- Einstellwerte der Spannungsregler, sowie Softwarestände müssen definiert nachvollziehbar sein
- Bei Anlagen $> P_{AV,E} 10MW$ sind Einrichtungen zur Pendeldämpfung vorzusehen und auf Anforderung bestücken
- Nach Fehlerende: Steigerung des Wirkstromes so schnell wie möglich, Anschlagzeit maximal 3 Sekunden (bei Restspannungen $\leq 20\%$ und bei GuD-Prozessen: 6 Sekunden)

Mehrfachfehler

- Mehrere aufeinander folgende Fehler müssen durchfahren werden können
- Thermische Auslegung des Generators nach DIN EN 60034-1 muss gewährleistet sein
- Trennung erlaubt, wenn diese thermischen Grenzen durch Mehrfachfehler überschritten werden

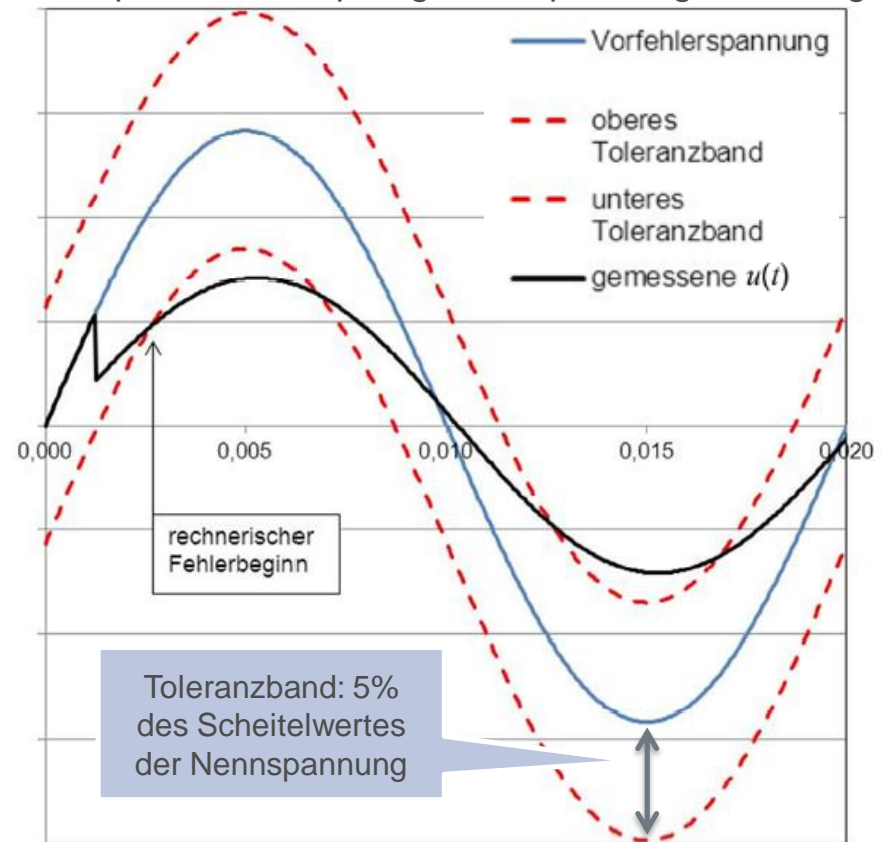
Typ 2-Anlagen

Generatoren, die nicht Typ 1 entsprechen

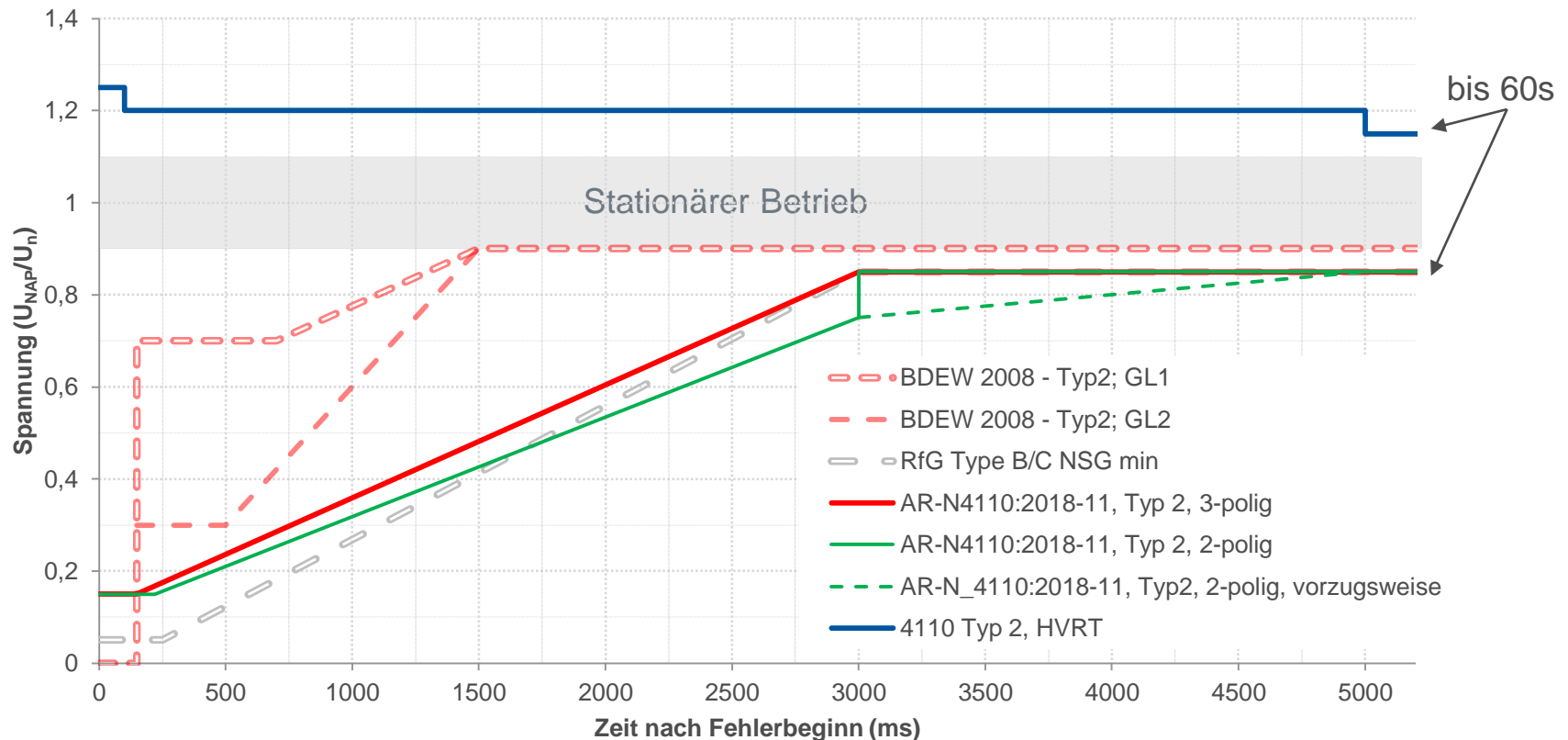
Typ 2-Anlagen: Fehlerbeginn und Fehlerende

- Kriterien für den **Fehlerbeginn**:
 - Sprunghafte Spannungsänderung ggü. 50 Perioden-Vorfehlerspannung
 - Spannungen $> 1,1 U_C$ oder $< 0,9 U_C$ (4120: U_{MS})
 U_C : Vereinbarte Versorgungsspannung, in der Regel gleich U_n
- Kriterien für **Fehlerende**:
 - 5s nach Fehlerbeginn
 - Wiedereintritt aller L-Spannungen in den Bereich $0,9 U_C < U < 1,1 U_C$
- **Neuer** Fehler, sobald ein Kriterium für Fehlerende erfüllt war
- Dies sind rechnerische Kriterien, um Verhalten prüfbar zu gestalten

Beispiel für eine sprunghafte Spannungsänderung

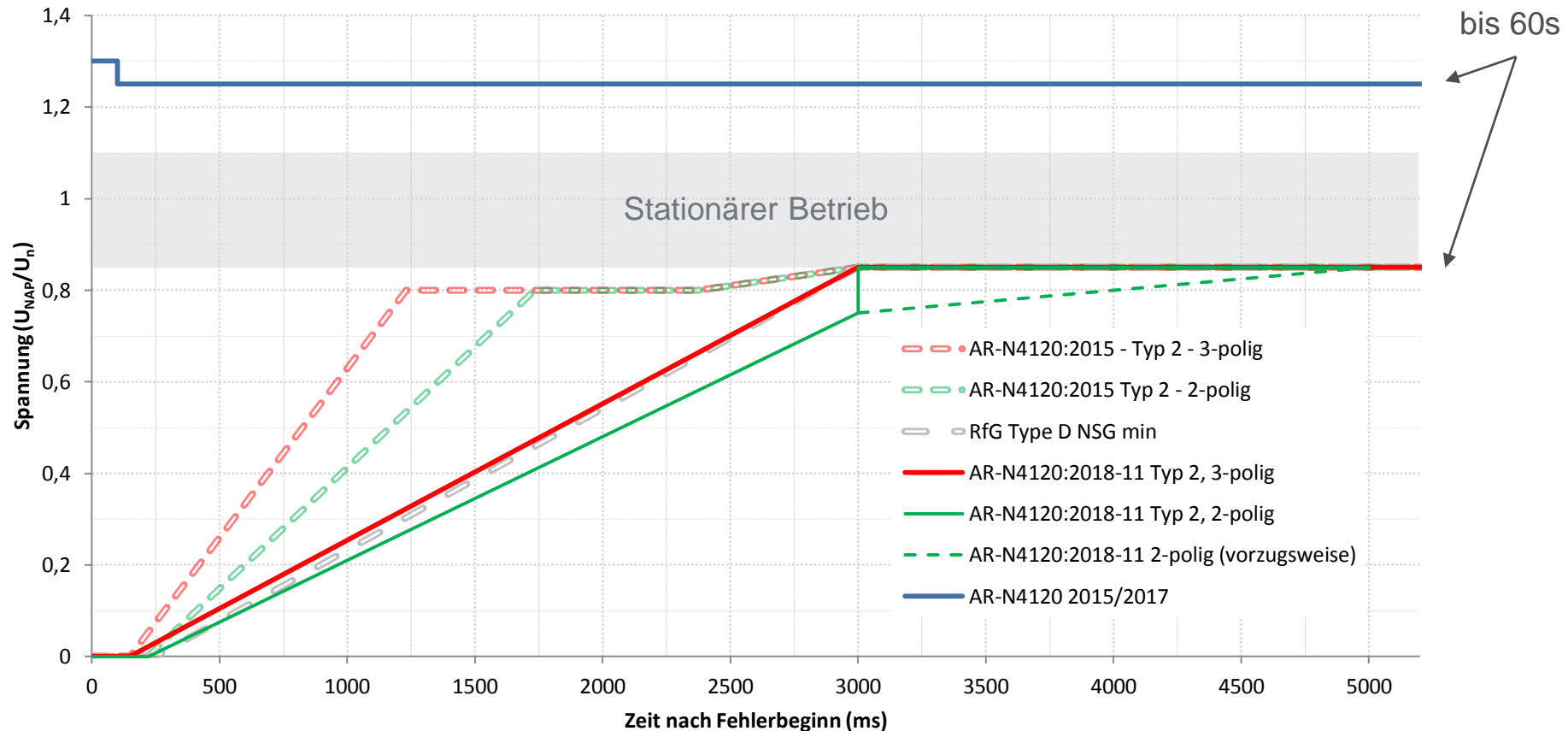


Typ 2-Anlagen: Zeitliche Anforderungen (AR-N 4110)



- Anforderungen an Typ 2-Anlagen **ausgeweitet**, in Anlehnung an RfG-Grenzkurve
- **2-polige Fehler**: häufig bes. tiefer Einbruch, i.d.R. unkritisch für EZA (grüne Kurve)
- Neu: Anforderungen an das Durchfahren von **Überspannungen** (HVRT)
- Kurven gelten bei gleichen Kurzschlussleistungen nach dem Fehler wie bei Typ 1-Anlagen

Typ 2-Anlagen: Zeitliche Anforderungen (AR-N 4120)



- Anforderungen an Typ 2-Anlagen **ausgeweitet**, in Anlehnung an RfG-Grenzkurve
- **2-polige Fehler**: häufig bes. tiefer Einbruch, i.d.R. unkritisch für EZA (grüne Kurve)
- Anforderungen an das Durchfahren von **Überspannungen** ggü. AR-N-4120-2015 unverändert
- Kurven gelten bei gleichen Kurzschlussleistungen nach dem Fehler wie bei Typ 1-Anlagen

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**

Typ 2-Anlagen: Vollständige Dynamische Netzstützung

- Bezugspunkt: 1-min-Mittelwert der Netzspannung ($U_2 \rightarrow 0$)
 → unveränderte Referenz über die gesamte Fehlerdauer

$$\Delta u_1 = \frac{U_1 - U_{1min}}{U_C}$$

$$\Delta u_2 = \frac{U_2}{U_C}$$

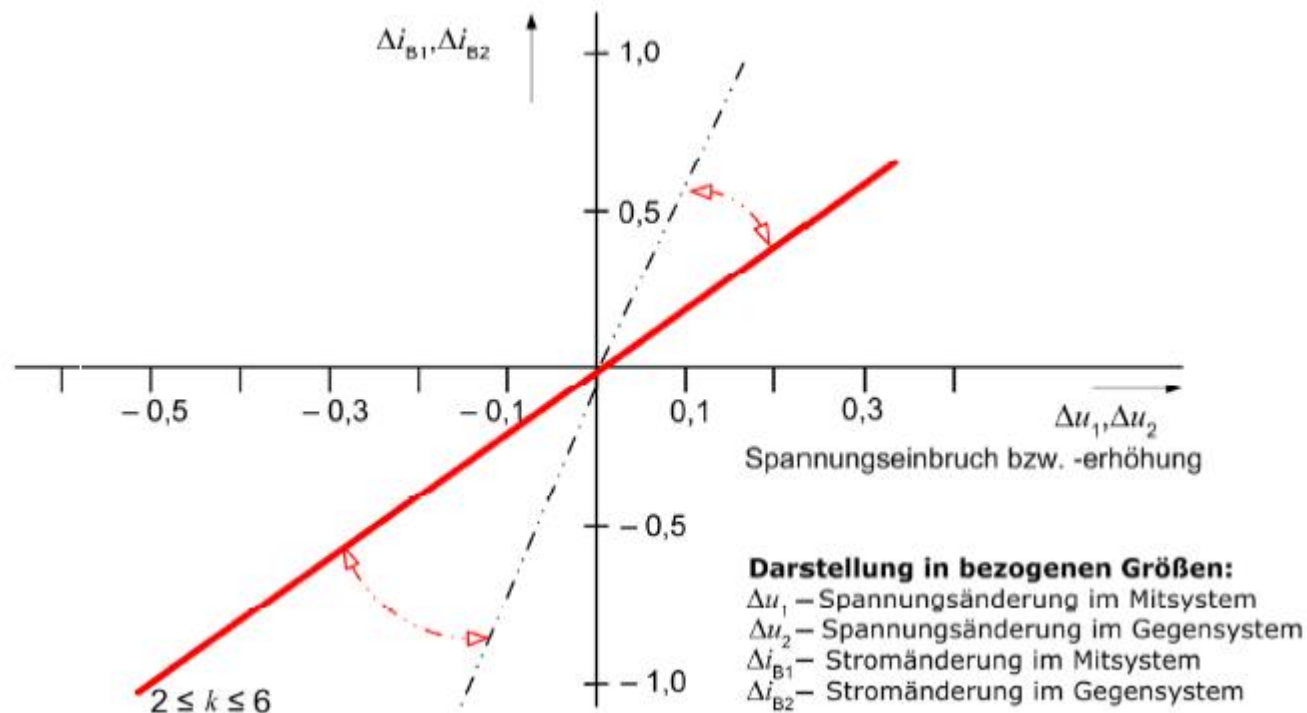
- zus. Blindstrom:

$$\Delta i_{B1,2} = k \cdot \Delta u_{1,2}$$

- Dynamik:

$$T_{an_{90\%}} \leq 30 \text{ ms}$$

$$T_{ein_{\Delta x}} \leq 60 \text{ ms}$$



Eingeschränkte Dynamische Netzstützung (nur AR-N 4110)

- Zwischeneinspeisung im Netz durch eine vollständige dynamische Netzstützung kann die **Wirksamkeit einer Automatischen Wiedereinschaltung (AWE)** verringern
- Daher: Netzbetreiber kann ein Durchfahren von Netzfehlern **ohne Stromeinspeisung** fordern
- Schwelle für Reduktion des Stromes: $U \leq 0,7 U_C$ (bzw. U_n)
- Bei Spannungssprüngen oberhalb dieser Grenze: vollständige dynamische Netzstützung durchführen (ab 1.1.2021)

Wirkstromwiederkehr

- Während des Fehlers muss ggf. reduzierter Wirkstrom so schnell wie möglich auf Vorfehlerwert gesteigert werden (z.B. wenn der durch die Blindstromstatik vorgegebene Blindstrombedarf reduziert wird)
- Nach Fehlerende / Wiedereintritt in statisches Spannungsband muss Wirkstrom innerhalb einer Sekunde wieder angefahren werden
- DFIG: verlängerte Anschlagzeit (max. 5s) zulässig nach zweitem, aufeinanderfolgendem, tiefem Netzfehler (Restspannungen <25%)

Ausnahmeregelung für direkt gekoppelte Asynchrongeneratoren (nur AR-N-4110, Summenleistung $S_{rE} \leq 700\text{kVA}$)

- Geregelter k-Faktor ist nicht gefordert, jedoch
 - Bei Spannungseinbrüchen darf kein untererregter Betrieb erfolgen, bei Spannungserhöhung kein übererregter Betrieb
 - Nach Fehlerklärung des Spannungseinbruchs Stützung durch Kondensatoren für 0,5-5s (einstellbar)
- Eingeschränkte dyn. Netzstützung ist nicht gefordert
- Unverzögerte Deaktivierung der Spannungsstützung durch Kondensatoren bei Spannungen über $1,1U_C$
- Drehzahlregelung: $\pm 3\%$, maximaler Schlupf 5-faches des Schlupfes bei Bemessungsleistung

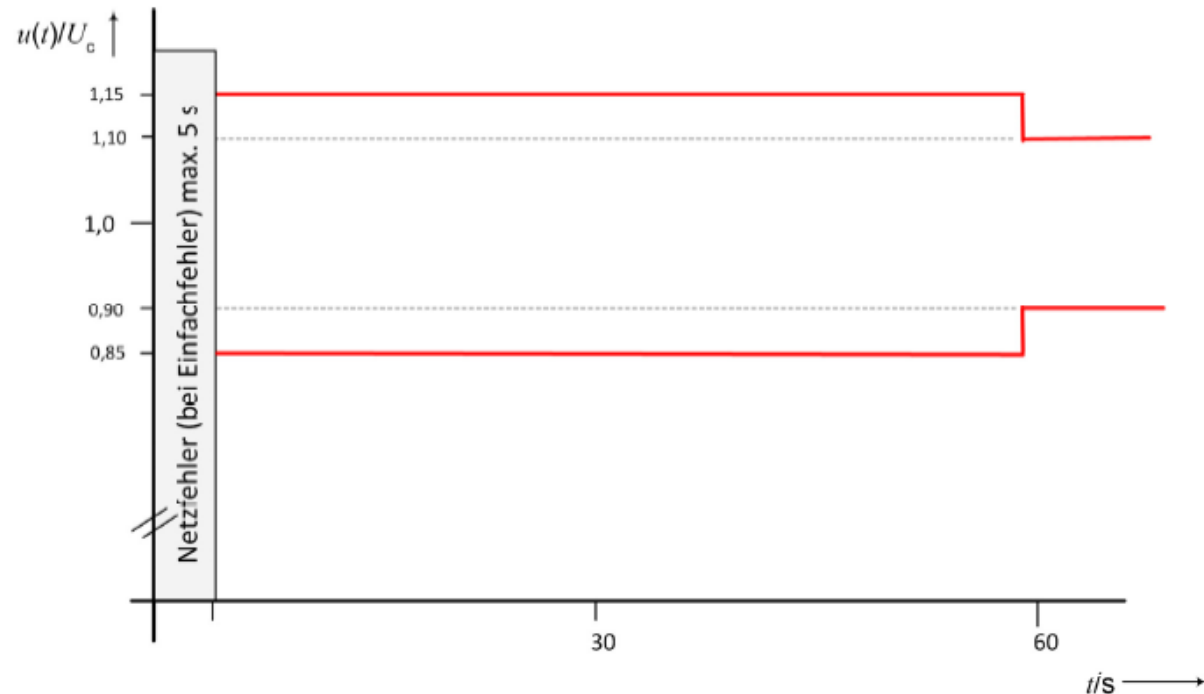
Mehrfachfehler

- **Beliebige Folge** von Netzfehlern muss durchfahren werden können
- Bei einigen Anlagentypen gibt es ggf. Limitierungen (z.B. thermische Limits beim Einsatz von Choppern)
 - Anforderung ist limitiert auf eine abzuführende, bzw. nicht ins Netz einspeisbare Energie von $PE_{\max} \cdot 2s$
- zwischen mehreren Netzfehlerfolgen wird eine Zeit von **30 min** veranschlagt

Verhalten nach Fehlerende (AR-N 4110 Typ 1 und Typ 2)

Verhalten zwischen Fehlerende und station. Betrieb (Typ 1 u. 2) (AR-N-4110)

- nach Fehlerende liegt die Netzspannung ggf. noch außerhalb des Bandes $U_C \pm 10\%$ bis der Stufenschalter des HS/MS Trafos nachregelt
- Anlagen müssen ggf. weiterhin Blindstrom bereitstellen, um Auslösung des Eigenschutzes zu verhindern
- ggf. Unterstützung durch Anpassen der Wirkleistung



Nachweis

- Einheitenzertifikat:
 - exemplarische Messungen von Spannungseinbrüchen, mit und ohne Blindleistung vor dem Fehler
 - Sprunghafte Spannungsänderung (Erhöhung von $\leq 105\%$ auf $\geq 115\%$ bzw. 120%)
 - Übergang zum quasistationären Betrieb (Spannungseinbruch und –Erhöhung)
 - Verhalten nach Fehlerende / Wirkstromwiederkehr
- Anlagenzertifikat
 - Modellierung mit validiertem Modell (verschiedene Spannungseinbrüche und –erhöhungen)
 - Wechselwirkungen mit anderen Komponenten wie z.B. Q-U-Schutz, Bewertung der resultierenden Klemmenspannung

Zusammenfassung

- Die Anforderungen der AR-N 4110/4120 an die dynamische Netzstützung sind weiterreichend als bisher und wurden an den Rahmen des RfG angepasst
- Das geforderte Verhalten wurde konkretisiert bzgl.
 - unsymmetrischer Fehler
 - Definition von Fehlerbeginn / - Ende bei Typ 2-Anlagen
 - Verhalten nach dem Fehler
 - Dynamik
 - Mehrfachfehler
 - Mindest-Kurzschlussleistung
 - Verhalten direkt gekoppelter Asynchrongeneratoren (4110)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Dr.-Ing. Thorsten Bülo

System Development Engineer

SMA Solar Technology AG

Thorsten.Buelo@SMA.de

Tel.: +49 561 9522-2587

IMPRESSUM

FNN Fachtagung
„TAR-Infotage Mittel- und Hochspannung“
2. bis 4. April 2019, Leipzig

Veranstalter und Herausgeber
EW Medien und Kongresse GmbH
Reinhardtstraße 32
10117 Berlin
www.ew-online.de

April 2019

Copyright:
Sämtliche Texte, Bilder und andere veröffentlichten Informationen sind urheberrechtlich geschützt und unterliegen dem Copyright von EW Medien und Kongresse GmbH. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung von EW Medien und Kongresse GmbH unzulässig und strafbar. Das gilt vor allem für Vervielfältigungen in jeglicher Form, Übersetzung, die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen, sowie Verlinkung, Weiterleitung per Mail oder Verbreitung auf Websites oder im Intranet.