

Zusammenfassung des Entwurfs VDE-AR-N 4110:2017-02

Die folgende Zusammenfassung umfasst:

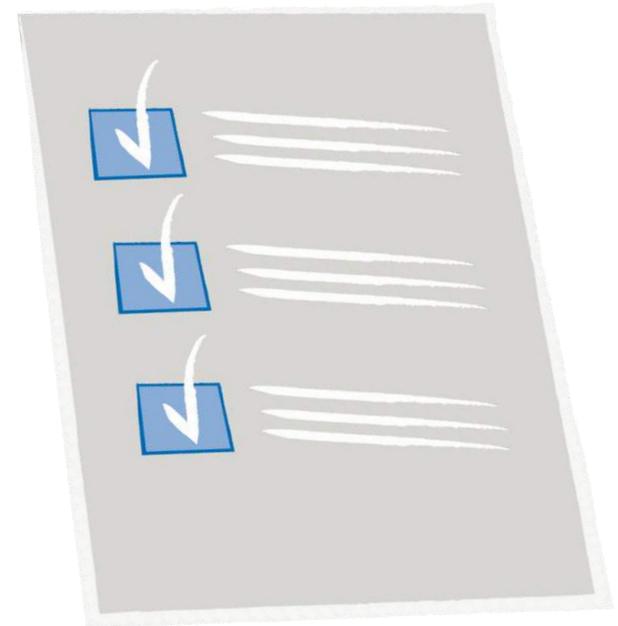
- nicht alle Teile der E VDE-AR-N 4110 und ist demnach nicht abschließend;
- vornehmlich die Anforderungen an die technischen Fähigkeiten von Kundenanlagen;
- und hat rein informativen Charakter.

Stand: Februar 2017



Übersicht

- Abschnitt 5 und 10.2.2 Statische Spannungshaltung
- Abschnitt 10.2.3 Dynamische Netzstützung
- Abschnitt 10.2.4 Wirkleistungsabgabe
- Abschnitt 10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen



Abschnitt 5 und 10.2.2

Statische Spannungshaltung

10 Erzeugungsanlagen

Allgemeines

Anforderungen für

- Erzeugungsanlagen und Erzeugungseinheiten
- Mischanlagen
- Speicher

Insbesondere ist bei Mischanlagen zu beachten

- Schutzkonzept (10.3)
- Nutzung Notstromaggregate (8.9)
- Frequenzabhängiges Wirkleistungsverhalten (10.2.4.3)
- Dynamische Netzstützung (10.2.3)
- Wirkleistungsanforderung durch Netzbetreiber (Reduktion) (10.2.4.2)
- Statische Spannungshaltung (10.2.2)
- Nachweis elektrische Eigenschaften (11)

10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz Quasistationärer Betrieb

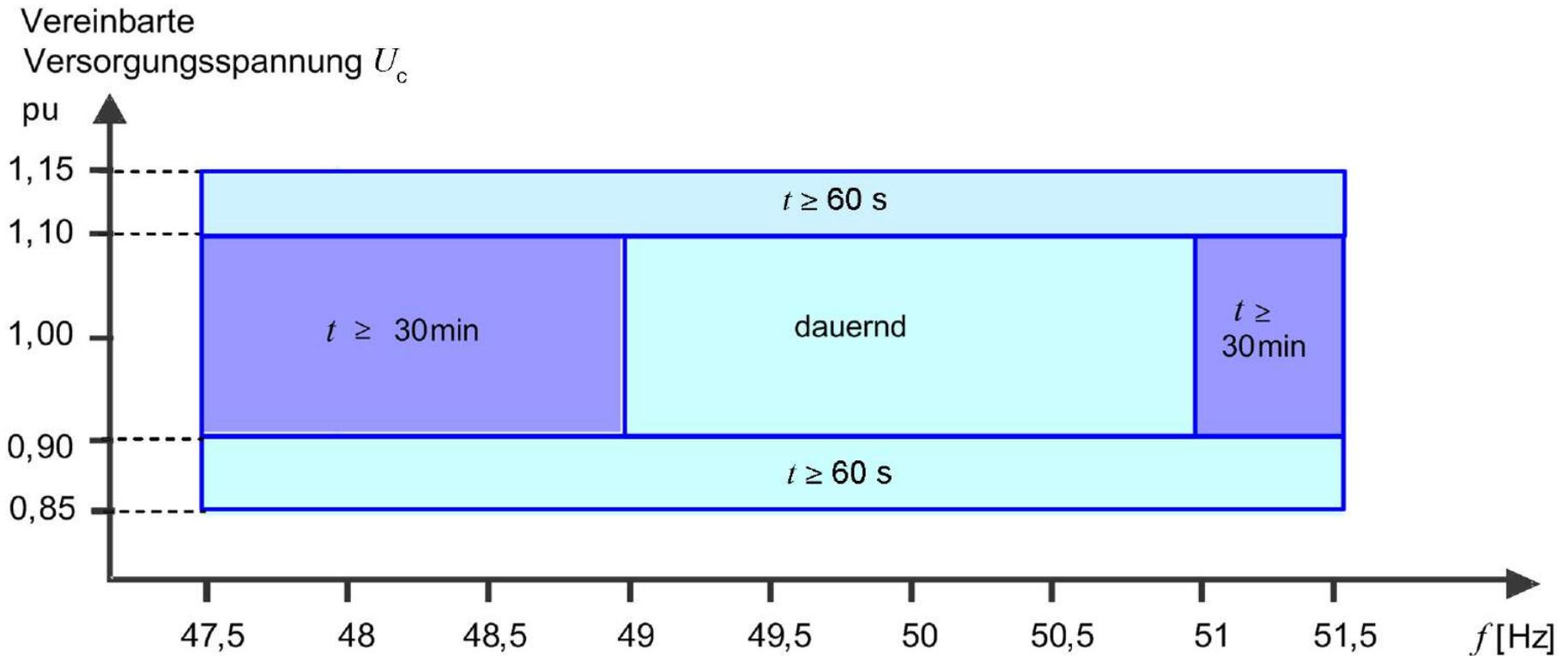


Bild 4 – Anforderungen an den quasistationären Betrieb von Erzeugungsanlagen

10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz Quasistationärer Betrieb

Definition des quasistationären Betriebes

- Spannungsgradient $< 5 \% U_c \text{ min}^{-1}$
- Frequenzgradient $< 0,5 \% f_n \text{ min}^{-1}$

Erzeugungsanlagen müssen nach Bild 4 im quasistationären Betrieb am Netz verbleiben

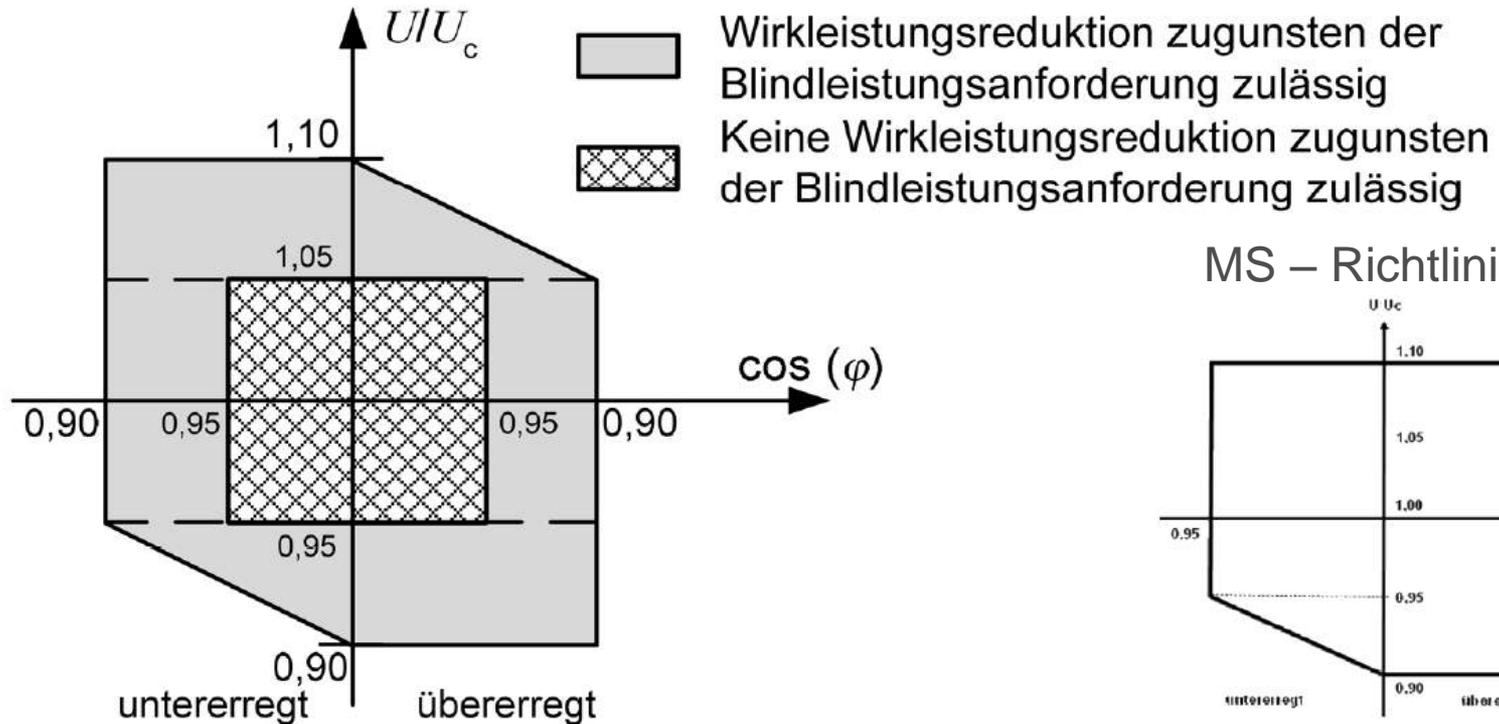
10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz Quasistationärer Betrieb

- Im Spannungsband von 90 % U_c bis 110 % U_c können auch größere Spannungsgradienten als $5\% U_c \text{ min}^{-1}$ auftreten.
- Bei Spannungen außerhalb des Spannungsbandes 90 % U_c bis 110 % U_c kann zum Schutz der Erzeugungsanlage die Wirkleistung und die Blindleistungseinspeisung reduziert werden.

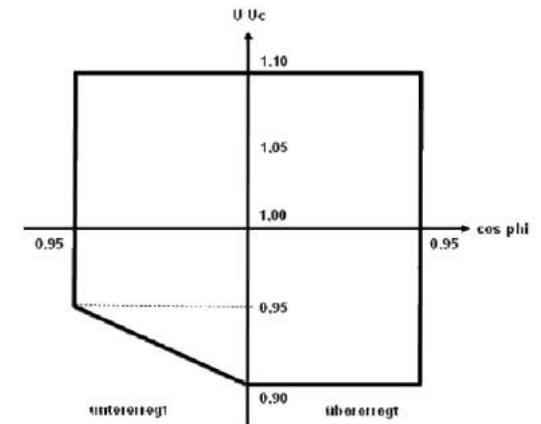
10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz: Polrad- bzw. Netzpendelungen, Teilnetzbetriebs- und Schwarzstartfähigkeit

- Pendelungen im kontinentaleuropäischen Netz mit Frequenzen von 0,15 – 1,5 Hz
 - Dabei kann die Spannung für Sekunden außerhalb Bild 4 sein
 - Deshalb keine Netztrennung von Erzeugungsanlagen bei symmetrischen Spannungsverlauf im Betrieb von $0,8 U_c - 1,2 U_c$ für 5 sec.
 - Während der Netzpendelung kann die Wirkleistung reduziert werden zur Vermeidung von Überlastung
- Bei Verlust der Stabilität müssen sich Erzeugungseinheiten vom Netz trennen
- Teilnetzbetriebsfähigkeit, Schwarzstartfähigkeit
Inselnetz- und Schwarzstartfähigkeit sind keine Mindestanforderungen

10.2.2 Statische Spannungshaltung Blindleistungsbereitstellung



MS – Richtlinie 2008



keine maßstäbliche Darstellung

Bild 5 – Anforderungen an Erzeugungsanlagen an die Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt

10.2.2 Statische Spannungshaltung Blindleistungsbereitstellung

- Bereitstellung von Blindleistung der Erzeugungsanlage zur Spannungshaltung bei langsamen (quasistationären) Spannungsänderungen
- Anforderungen gelten am Netzanschlusspunkt
- Wirkleistungsreduktion (Einspeisung) von max. 10 % $P_{b \text{ inst}}$ zulässig außerhalb des schraffierten Bereichs in Bild 5

Hinweis: Der Blindleistungsbereich im Entwurf ist in der Projektgruppe noch nicht final beendet (siehe Vorwort)

10.2.2 Statische Spannungshaltung

Blindleistungsbereitstellung unterhalb von $P_{b\ inst}$

 Mindestanforderung der
Blindleistung-Stellfähigkeit

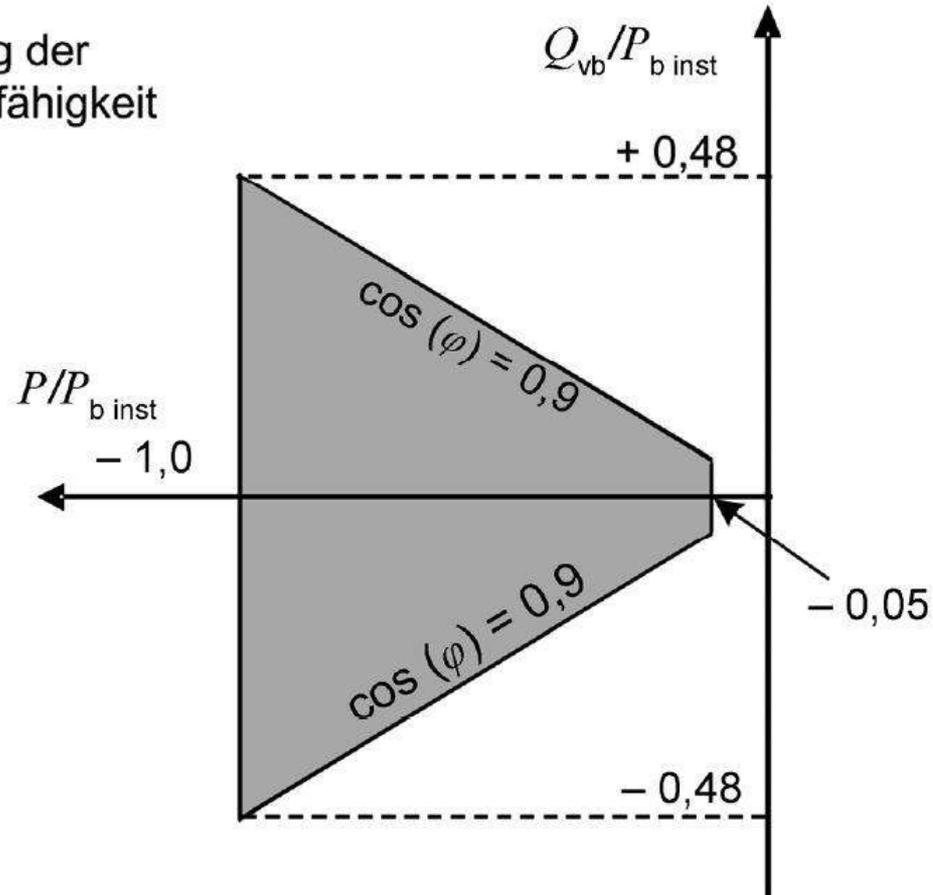


Bild 6 – P/Q -Diagramm der Erzeugungsanlage am Netzanschlusspunkt im Verbraucherzählpfeilsystem

10.2.2 Statische Spannungshaltung

Blindleistungsbereitstellung unterhalb von $P_{b\ inst}$

- Anforderung an die Blindleistungsbereitstellung bei Teillast P_{mom}
- $(0,05 < P_{mom} / P_{b\ inst} < 1)$ am Netzanschlusspunkt
- Maximale bleibende Abweichung $\pm 2,0\ %$ bezogen auf P_{inst} , bei Erzeugungsanlagen $< 300\ kVA$ maximal $\pm 4,0\ %$ bezogen auf P_{inst} .
- Blindleistung im Bereich $0 \leq P_{mom} / P_{b\ inst} < 0,05$ nicht mehr als $5\ %$ des Betrages der vereinbarten Anschlusswirkleistung $P_{AV, E}$.

10.2.2 Statische Spannungshaltung: Verfahren zur Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt

MS – Richtlinie 2008

- | | |
|---------------------------------------|--|
| a) Q (U) | a) fester Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ |
| b) Q (P) | b) $\cos \varphi$ (P) |
| c) Blindleistung kvar | c) feste Blindleistung MVar |
| d) Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$ | d) Q (U) |
- Regelverhalten der Blindleistung qualitativ nach PT1 – Verhalten für Verfahren a), b) und c)
 - Vorgabe fester Sollwert oder variabel einstellbarer Sollwert per Fernwirkanlage (oder anderer Steuertechnik)
 - Blindleistungseinregelung der Erzeugungsanlage im Bereich 6 s – 60 s (für 95 % des Sollwertsprungs)

Hinweis: Prüfung der Einregelzeiten von der Arbeitsgruppe steht aus

10.2.2 Statische Spannungshaltung Sollwertsprung allgemein

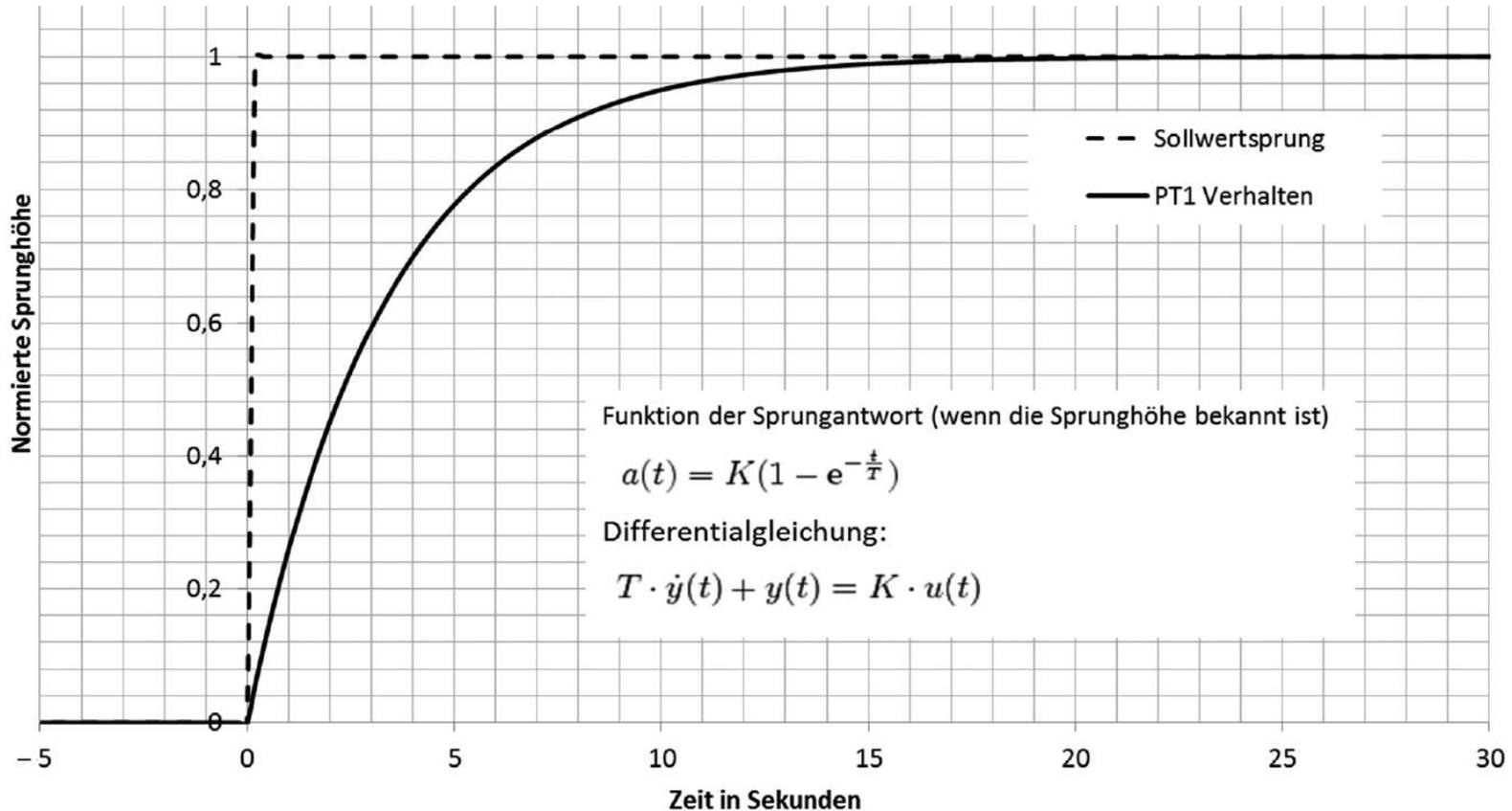


Bild 7 – Beispiel des Regelverhaltens bei einem Sollwertsprung mit der Höhe 1 (normiert) und einer Zeitvorgabe (3 Tau) von 10 s

10.2.2 Statische Spannungshaltung

Sollwertsprung mit den auswertungsrelevanten Toleranzen

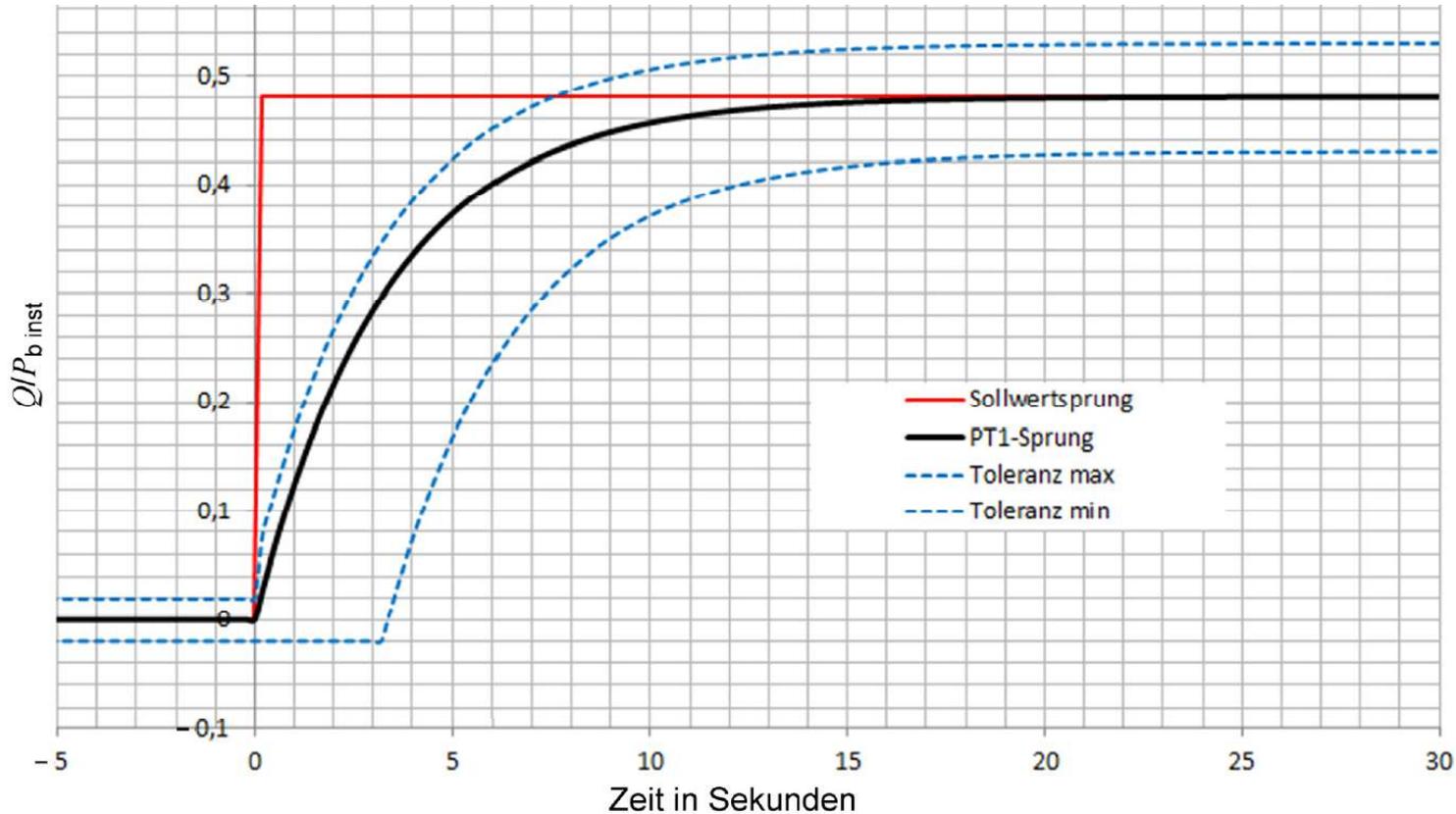


Bild C.3 – Veranschaulichung bei 3 Tau = 10 s

a) Blindleistung – Spannungskennlinie Q (U)

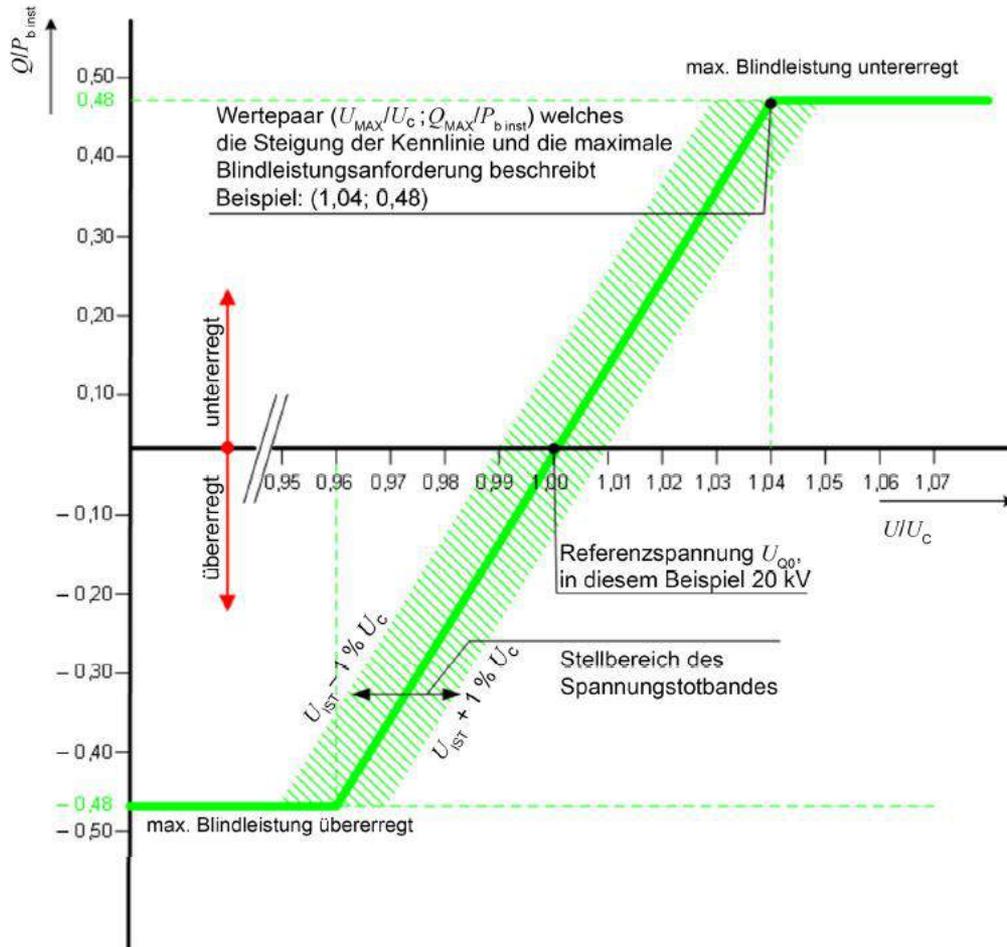


Bild 8 – Beispiel für die Standard-Q (U)-Kennlinie

a) Blindleistungs - Spannungskennlinie Q (U)

- Die Größen für die Kennlinie sind fest vorgegeben (im Rahmen der Planung)
- Anpassung der Kennlinie vom Netzbetreiber nur über die Referenzspannung U_{Q0} / U_C per Fernwirktechnik. D. h. horizontale Parallelverschiebung der Kennlinie in 0,5 % U_C Schritten.
- Ein-/ Ausschalten der Q (U) – Kennlinien – Regelung via Fernwirktechnik oder manuell.

b) Kennlinie Blindleistung als Funktion der Leistung Q (P)

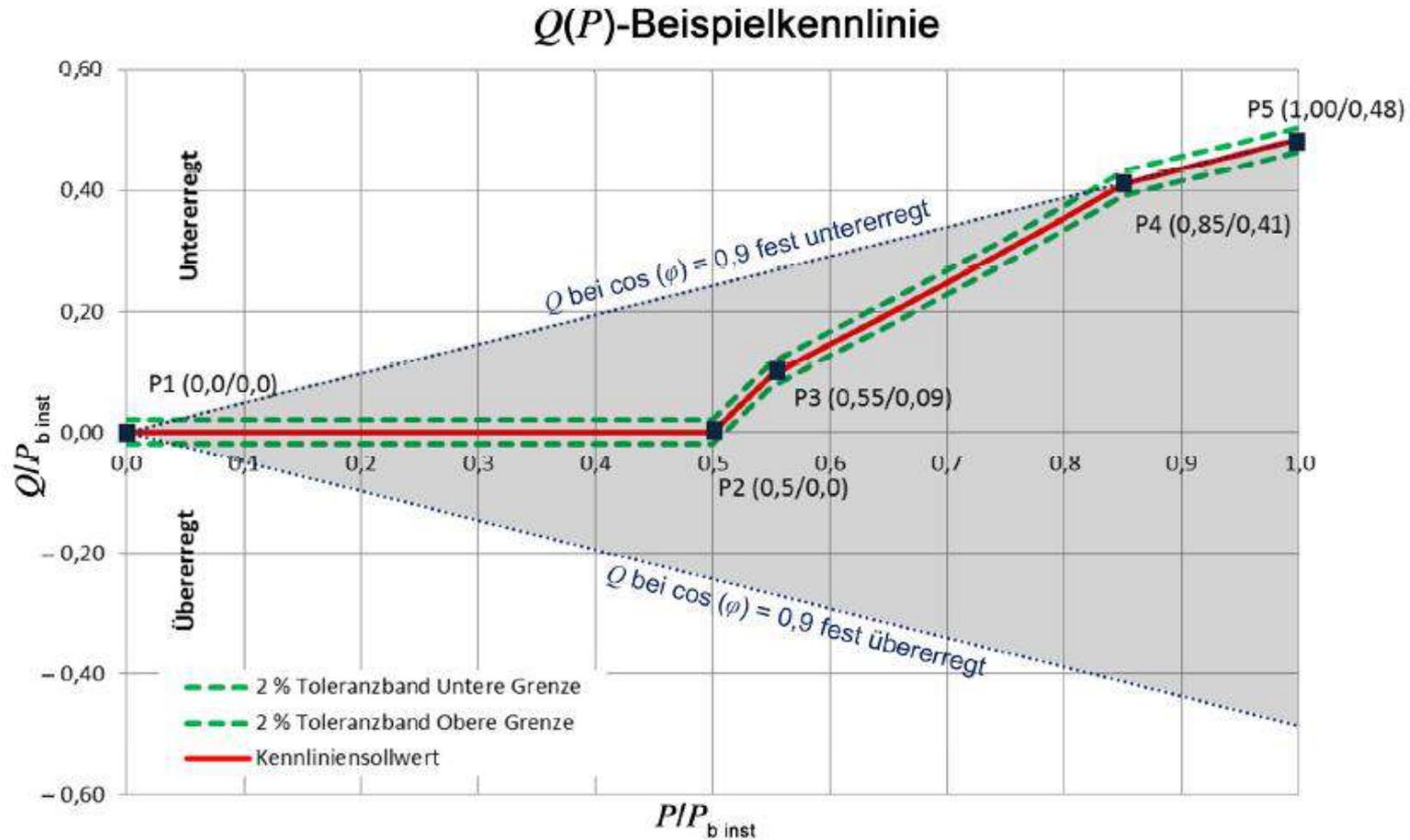


Bild 9 – Beispiel für eine Q (P)-Kennlinie

b) Kennlinie Blindleistung als Funktion der Leistung Q (P)

- Einspeisung von Blindleistung in Abhängigkeit der aktuellen Wirkleistungsabgabe $Q = f (P_{\text{mom}})$
- Die Anpassung der Kennlinie via Fernwirkbefehl ist nicht vorgesehen. Sie wird über max. 10 Stützstellen definiert, die manuell einstellbar sind.
- Aus- und Einschaltung der Q (P) – Kennlinie über Fernwirktechnik (Ausgeschaltet $\cos \varphi \sim 1$)

c) Blindleistung

- Einspeisung von Blindleistung unabhängig der Wirkleistungseinspeisung
- Sollwert im Verhältnis zur vereinbarten Anschlusswirkleistung ($Q_{EA, \text{ soll}} / P_{b \text{ inst}}$ [%]) Auflösung max. $1\% P_{b \text{ inst}}$.
- Sollwerte sind im Bereich nach dem P/Q – Diagramm (Bild 6)
- Bei Ausfall der Fernwirktechnik ($> 1 \text{ min}$) ist der Default – Sollwert von 0 % anzufahren, wenn es vom Netzbetreiber keine Vorgaben gibt.

d) Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$

- Einspeisung in das Netz von Blindleistung mit einem konstanten Verhältnis aus Wirk- und Scheinleistung.
- Vorgabe des Sollwertes mit minimalen Schritten von $\Delta \cos \varphi = 0,005$.
- Maximale Fehlertoleranz der Blindstromeinspeisung berechnet sich aus der Fehlertoleranz von $\pm 2 \%$ bzw. $\pm 4 \%$ bezogen auf $P_{b \text{ inst}}$.
- Netzbetreiber gibt Sollwert vor (ohne Vorgabe $\cos \varphi = 1$)
- Sollwertvorgabe über Fernwirktechnik möglich.
- Einschwingzeit max. 1 min bei Sollwertänderung.

10.2.2.6 Besonderheiten bei Mischanlagen mit Bezugsanlagen

- Anforderungen an die statische Spannungshaltung/ Blindleistungsbereitstellung für Erzeugungsanlagen und Speicher ist am Netzanschlusspunkt einzuhalten.
- Einfluss von Lasten bleibt unberücksichtigt
- Für die Blindleistungsbereitstellung $Q(U)$; $Q(P)$; kvar; $\cos \varphi$ kann eine vereinfachte Lösung zum Einsatz kommen, wenn
 - P_{inst} , installierte Wirkleistung der Erzeugungsanlage $\leq 50\%$ der vereinbarten Bezugsleistung $P_{AV, B}$ der Mischanlage
 - Abstimmung mit dem Netzbetreiber

10.2.2.6 Besonderheiten bei Mischanlagen mit Bezugsanlagen

Vereinfachte Lösung

- Bei $Q(P)$; kvar; $\cos \varphi$ kann die Messung der Blindleistung und der Wirkleistung an den Erzeugungseinheiten erfolgen (mit rechnerischer Korrektur)
- Bei $Q(U)$ ist die Spannungsmessung in der Spannungsebene des Netzanschlusspunktes durchzuführen. Verschiebung des Messpunktes innerhalb der Spannungsebene möglich, wenn $\Delta U \leq 0,2 \% U_C$ ist.
- Messung der Blindleistungseinspeisung an der Erzeugungseinheit.

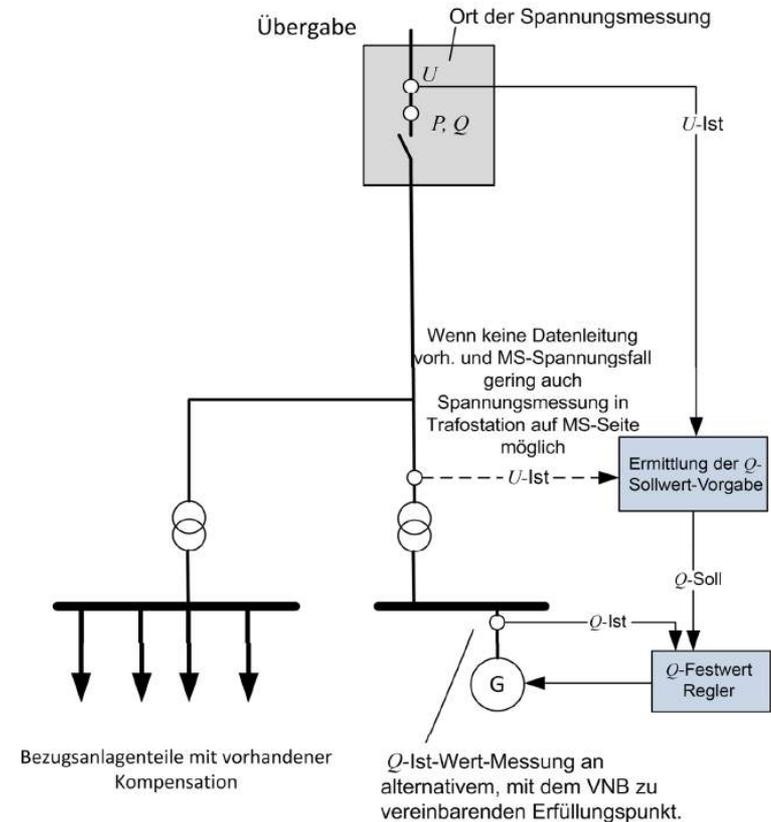


Bild 11 – Beispiel der Erfüllung der $Q(U)$ -Kennlinien-Regelung an zu vereinbarem Ort bei Mischanlagen

Abschnitt 10.2.3

Dynamische Netzstützung

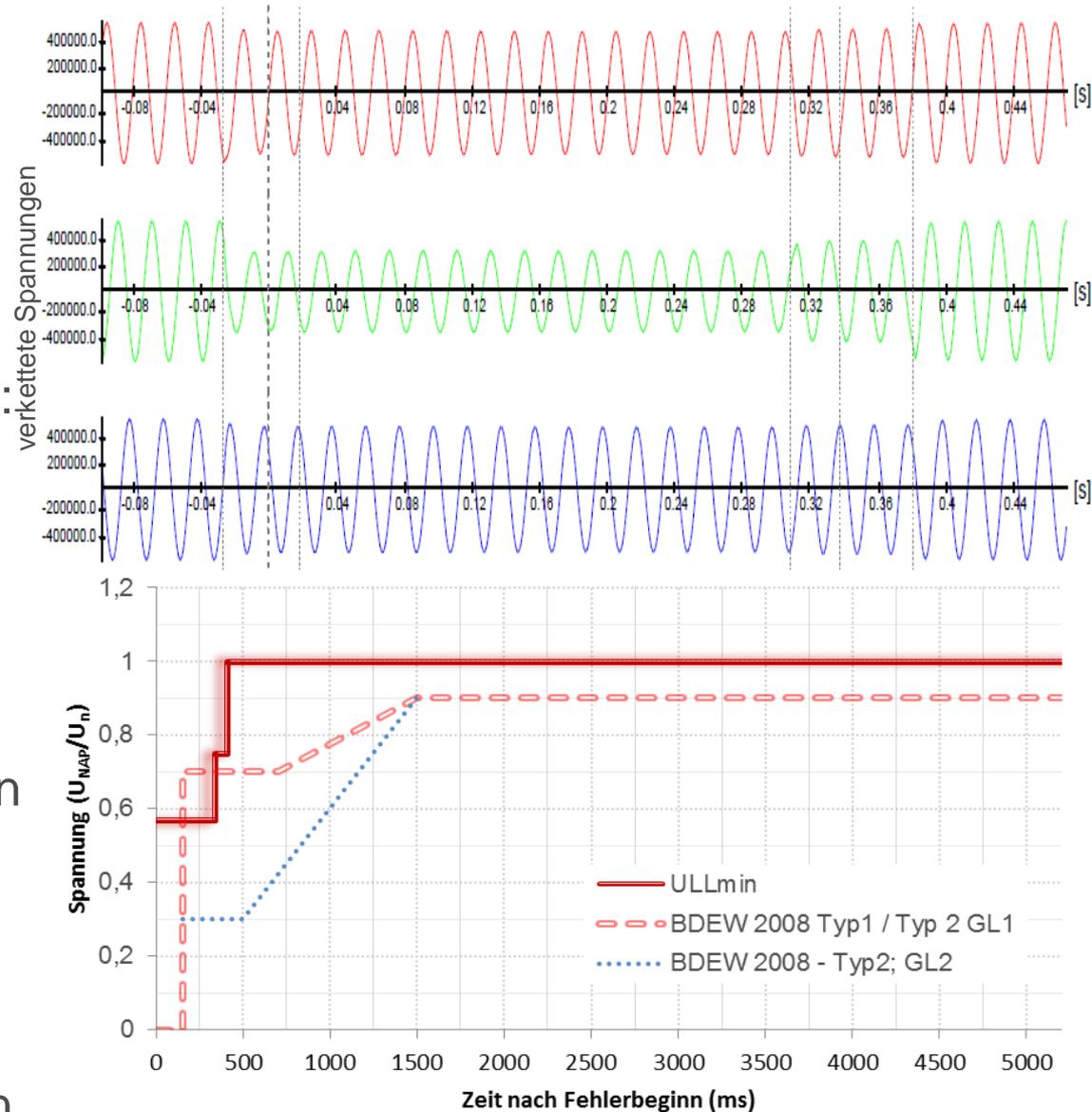
Gliederung

- Einleitung und kurzer Rückblick BDEW-Mittelspannungsrichtlinie
- Entwurf AR-N 4110 - 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

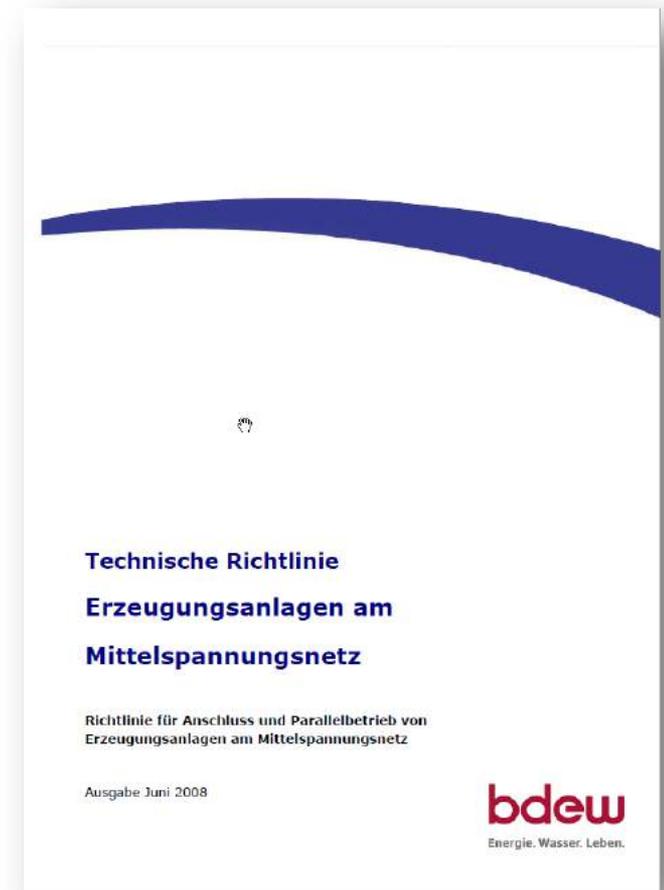
Motivation

- 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

- Durchfahren von Netzfehlern definierter zeitlicher Grenzlinsen
- Einspeisen eines Kurzschlussstromes nach Abstimmung mit dem Netzbetreiber, Analog zum TransmissionCode 2007 (TC2007)
- Anhebung der Spannung in nicht fehlerbehafteten Phasen ist zu begrenzen
- Typ-2-Anlagen: Kurzzeitige Trennung u.U. nach Abstimmung mit dem Netzbetreiber prinzipiell erlaubt
- Netzstützung auch bei einer wiederholten Automatischen Wiedereinschaltung (AWE)
- Wirkleistungswiederkehr mind. $10\% P_n/s$

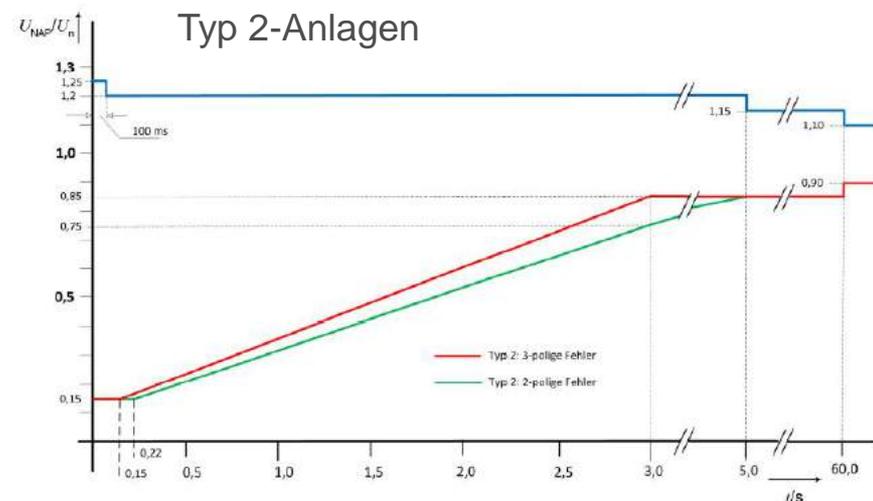
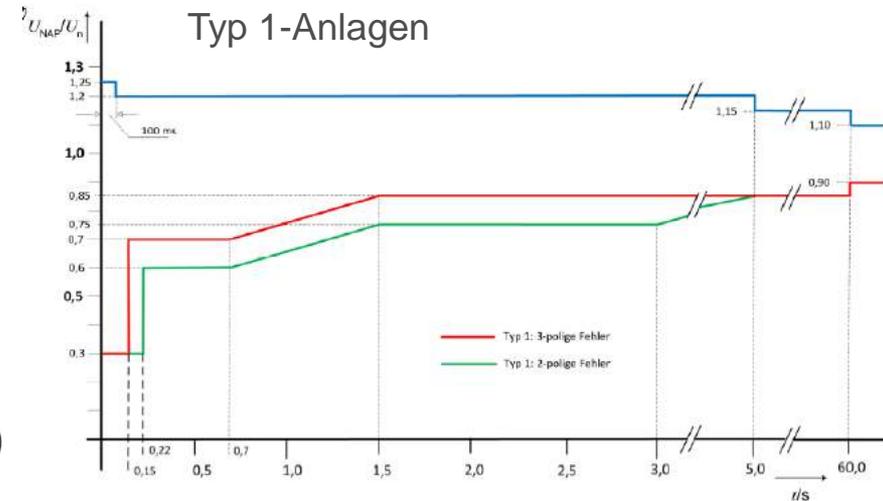


Entwurf AR-N 4110

| | |
|---|----------------------|
| <i>Entwurf</i> März 2017 | |
| 87 | VDE-AR-N 4110 |
| VDE | |
| <p><small>Dies ist eine VDE-Anwendungsregel im Sinne von VDE 0022 unter gleichzeitiger Einhaltung des in der VDE-AR-N 100 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 „zelektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.</small></p> | |
| FNN | |
| <p>Vervielfältigung – auch für innerbetriebliche Zwecke – nicht gestattet.</p> <p>ICS 29.240.01 Einsprüche bis 2017-04-17</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> <p style="text-align: center;">Entwurf</p> </div> <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>Anwendungswarnvermerk</p> <p>Dieser VDE-Anwendungsregel-Entwurf mit Erhebungsdatum 2017-02-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</p> <p>Weil die beabsichtigte VDE-Anwendungsregel von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.</p> <p>Stellungnahmen werden erbeten</p> <ul style="list-style-type: none"> – vorzugsweise online im Entwurfsportal des VDE-Verlags unter www.entwurfs.nomenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben, – oder als Datei per E-Mail an fnf@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.vde.com/fnn-stellungnahme abgerufen werden, – oder in Papierform an den VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V., FNN, Bismarckstr. 33, 10525 Berlin. <p>Die Empfänger dieses VDE-Anwendungsregel-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</p> <p style="text-align: right;">Gesamtumfang 231 Seiten</p> <p style="text-align: center;">VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V.</p> | |
| <p><small>© VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik e. V. Alle in der Vorbestellung zum Ausdruck gebrachten, nur mit Genehmigung des VDE-Präsidiums an Waff. gebildet. Vertrag durch VDE VERLAG GMBH, 10525 Berlin</small></p> | |
| <p><small>Planig. k. VDE-waff-01</small></p> | |

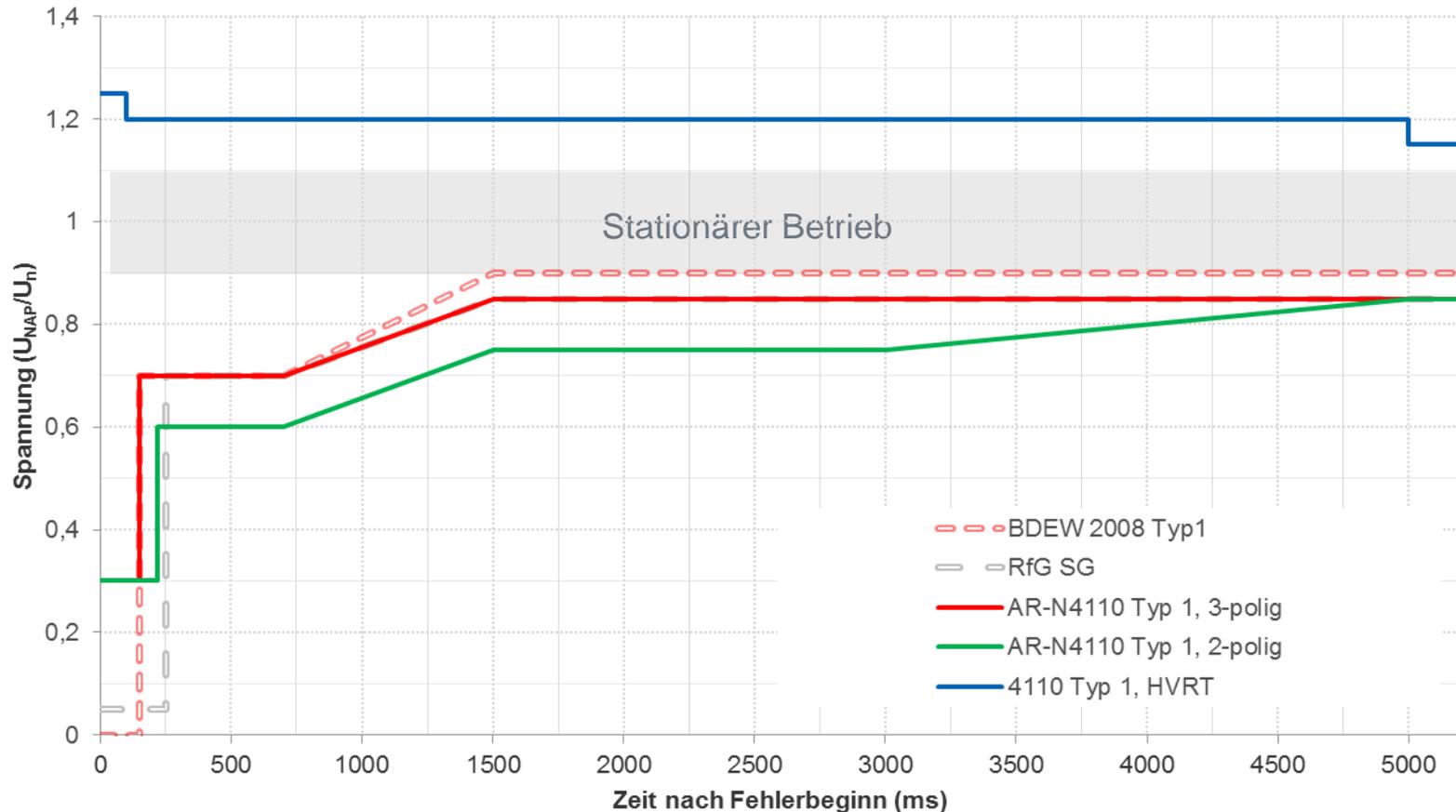
Dynamische Netzstützung in der AR-N-4110 - Grundsätzliches

- 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



Typ 1-Anlagen (Direkt gekoppelte Synchrongeneratoren)

Typ 1-Anlagen: Zeitliche Anforderungen



- 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)

Sonstige / Allgemeine Anforderungen Typ 1-Anlagen

- Spannungseinbrüche innerhalb der o.g. Grenzkurven sind zu durchfahren, wenn S_k nach Fehlerklärung $> 5 S_{A,Ges}$ in dem betreffenden Netz ist
- Einstellwerte der Spannungsregler, sowie Softwarestände müssen definiert **nachvollziehbar** sein
- maximale Spannungsanhebung in den gesunden Außenleitern **maximal 5% U_C** ggü. der Vorfehlerspannung
- Verhalten nach **Fehlerende**
 - Steigerung des Wirkstromes so schnell wie möglich, Anschwingzeit maximal 3 Sekunden

Mehrfachfehler

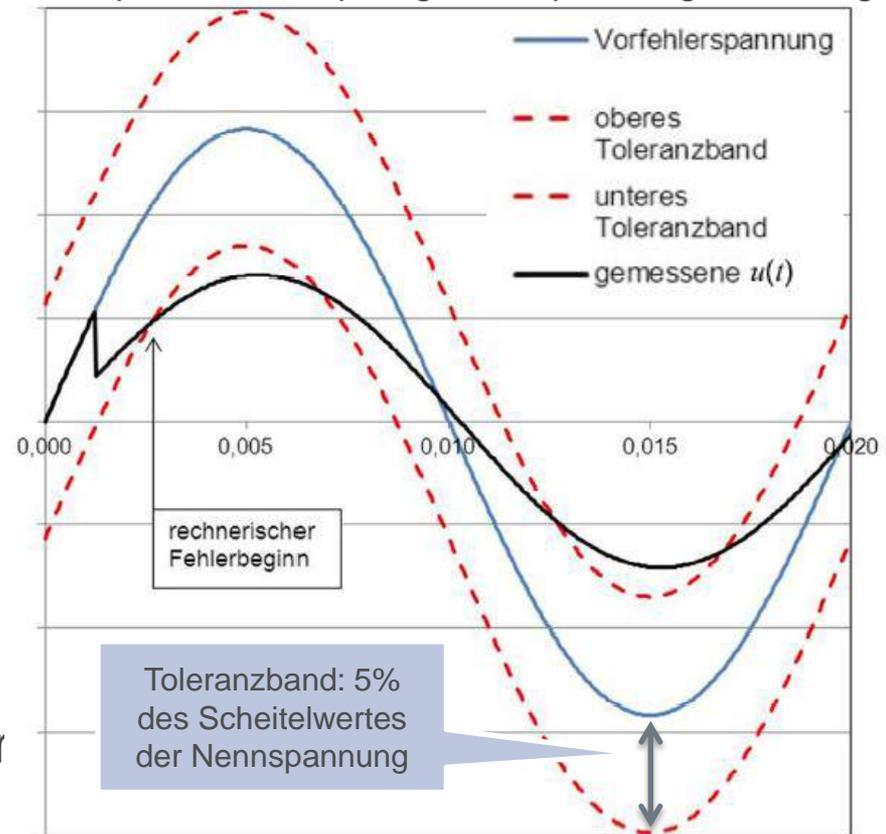
- Mehrere aufeinander folgende Fehler müssen durchfahren werden können
- Thermische Auslegung des Generators nach DIN EN 60034-1 muss gewährleistet sein
- Trennung erlaubt, wenn diese thermischen Grenzen durch Mehrfachfehler überschritten werden

Typ 2-Anlagen
Generatoren, die nicht Typ 1 entsprechen

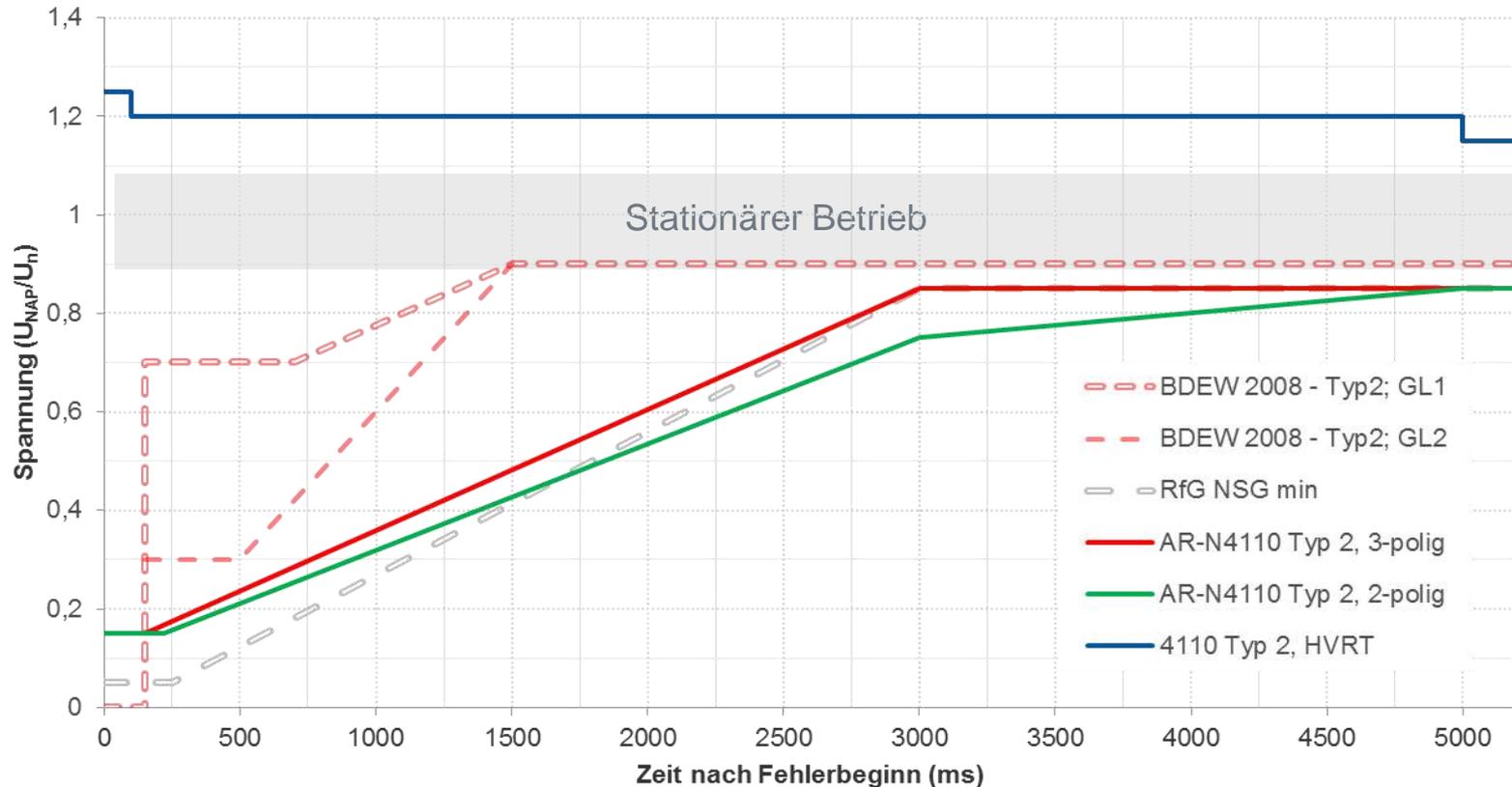
Typ 2-Anlagen: Fehlerbeginn und Fehlerende

- Kriterien für den **Fehlerbeginn**:
 - Sprunghafte Spannungsänderung ggü. 50 Perioden Vorfehlerspannung
 - Spannungen $> 1,1 U_C$ [max. $1,15 U_C$] oder $< 0,9 U_C$
 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

Beispiel für eine sprunghafte Spannungsänderung



Typ 2-Anlagen: Zeitliche Anforderungen



- 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)

Typ 2-Anlagen: Vollständige Dynamische Netzstützung

- Bereitstellung eines zusätzlichen Blindstromes ab Fehlerbeginn (Standardparametrierung, falls nicht explizit anders gefordert)
- 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
- Nach **Fehlerende**:
Steigerung des Wirkstromes auf Vorfehlerwert innerhalb **maximal einer Sekunde (Anschwingzeit)**

Typ 2-Anlagen: Vollständige Dynamische Netzstützung

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

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

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

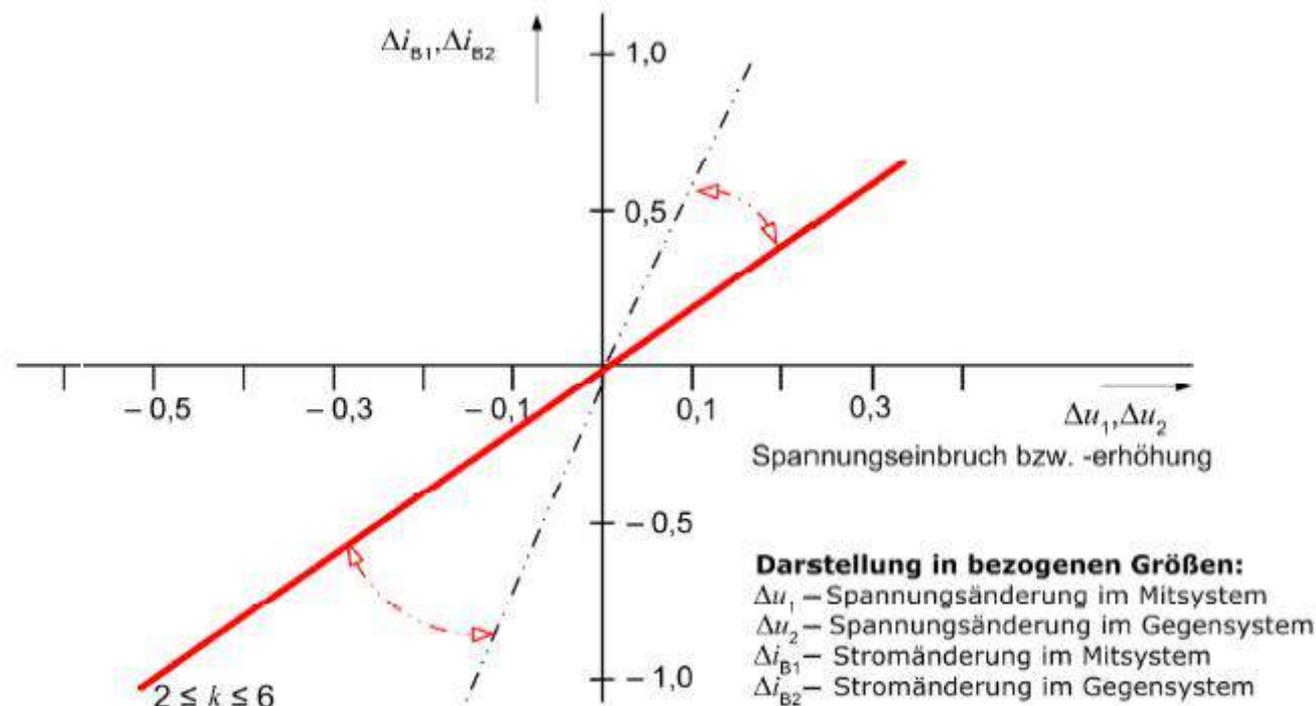
- zus. Blindstrom:

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

- Dynamik:

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

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



Eingeschränkte Dynamische Netzstützung

- 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
- Kriterium für **Fehlerbeginn**: $U < 0,8 U_C$
- Bei Spannungssprüngen oberhalb dieser Grenze: vollständige dynamische Netzstützung durchführen

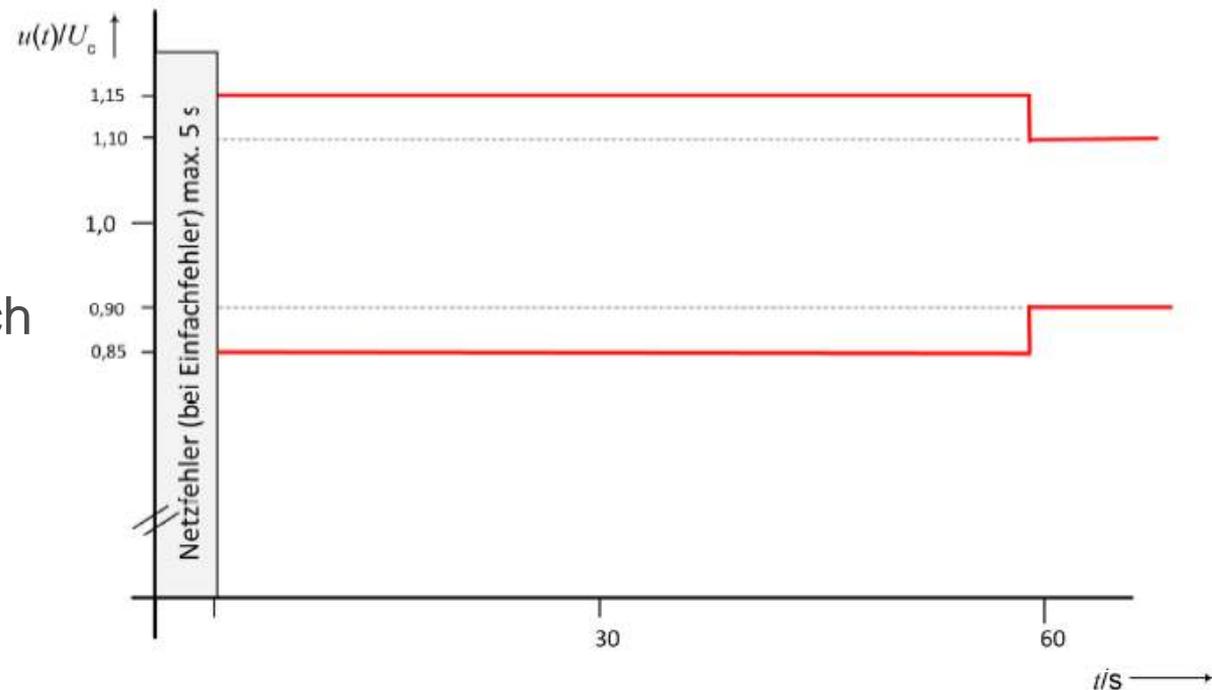
Mehrfachfehler

- **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 $P_{E_{max}} \cdot 2s$
- zwischen mehreren Netzfehlerfolgen wird eine Zeit von **30min** veranschlagt

Verhalten nach Fehlerende (Typ 1 und Typ 2)

Verhalten zwischen Fehlerende und station. Betrieb (Typ 1 u. 2)

- 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



Zusammenfassung

- Die Anforderungen der AR-N 4110 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

Abschnitt 10.2.4

Wirkleistungsabgabe

Anforderungen an Erzeugungsanlagen – Wirkleistungsabgabe

■ 10.2.4.1 Allgemeines

- Geschwindigkeitsbegrenzung
- Priorisierung

■ 10.2.4.2 Netzsicherheitsmanagement

- Anforderung des VNB
- Umsetzung bei Mischanlagen

■ 10.2.4.3 Wirkleistungseinspeisung bei Über- und Unterfrequenz

- Anforderungen Netzverbleib
- P-f-Kennlinie

EZA – Wirkleistungsabgabe / Allgemeines

■ Probleme:

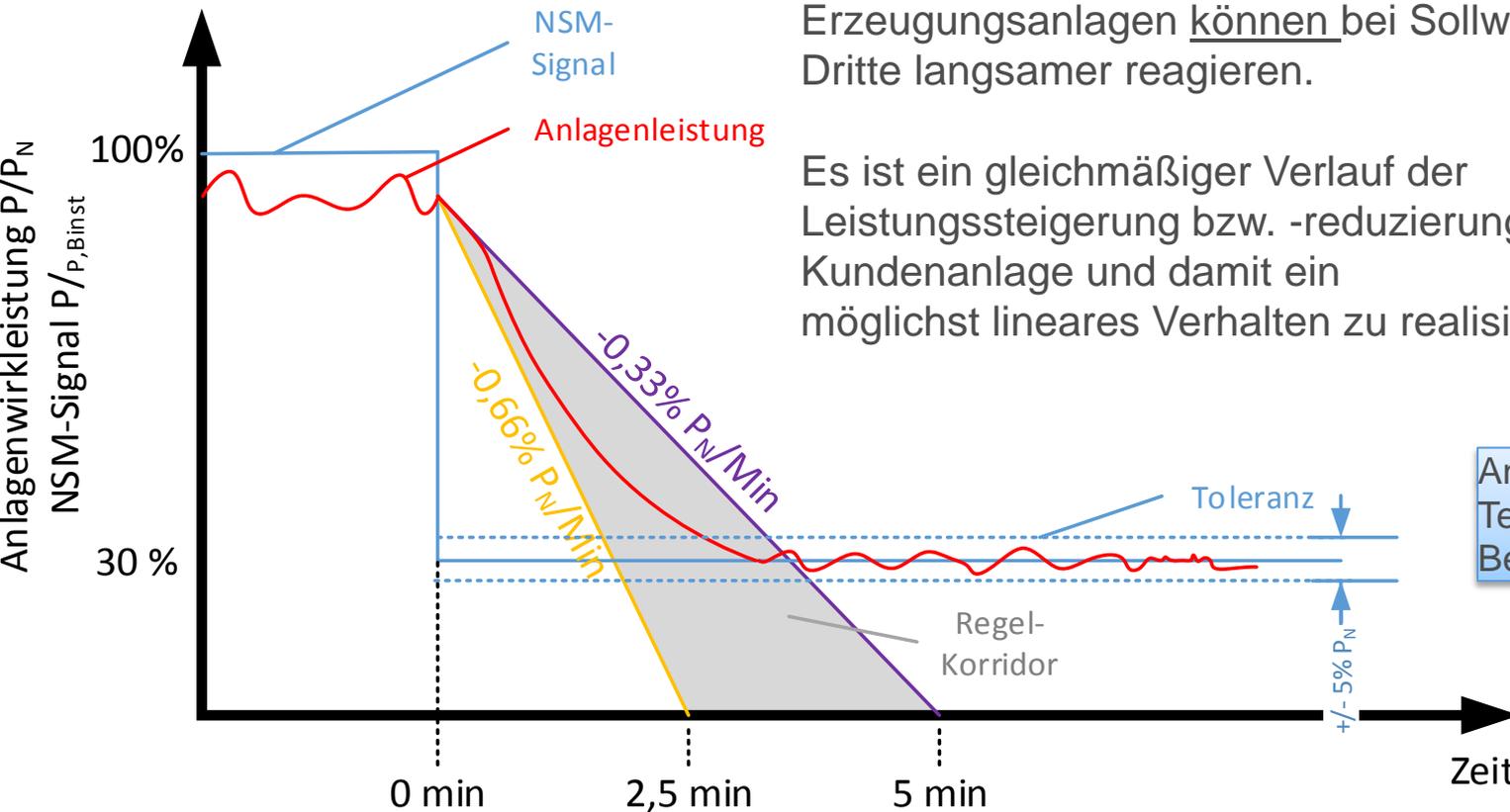
- Immer mehr Anlagen in Direktvermarktung
- Es resultieren hohe Leistungsgradienten zum 15-min-Wechsel
- Sprunghafte Leistungsänderungen immer gefährlich
- Zeitsynchrones Anlagenverhalten potentiell kritisch
- Bei der Anlagenleistung mischen immer öfter „viele Köche“ mit.
- Auch bei Flächenschaltungen durch VNB (Kaskade) ist hohe Leistungsänderung erforderlich.
- Künftig ist auch mit steuerbaren Bezugs-Lasten zu rechnen

EZA – Wirkleistungsabgabe / Gradientenbegrenzung

Begrenzung des Leistungsgradienten sind für das Steigern und Reduzieren der Wirkleistungsabgabe und des Wirkleistungsverbrauchs

- nicht schneller als in 2,5 min ($0,66\% P_N$ je Sekunde);
 - nicht langsamer als in 5 min ($0,33\% P_N$ je Sekunde).
- Erzeugungsanlagen können bei Sollwertvorgaben durch Dritte langsamer reagieren.

Es ist ein gleichmäßiger Verlauf der Leistungssteigerung bzw. -reduzierung der Kundenanlage und damit ein möglichst lineares Verhalten zu realisieren.



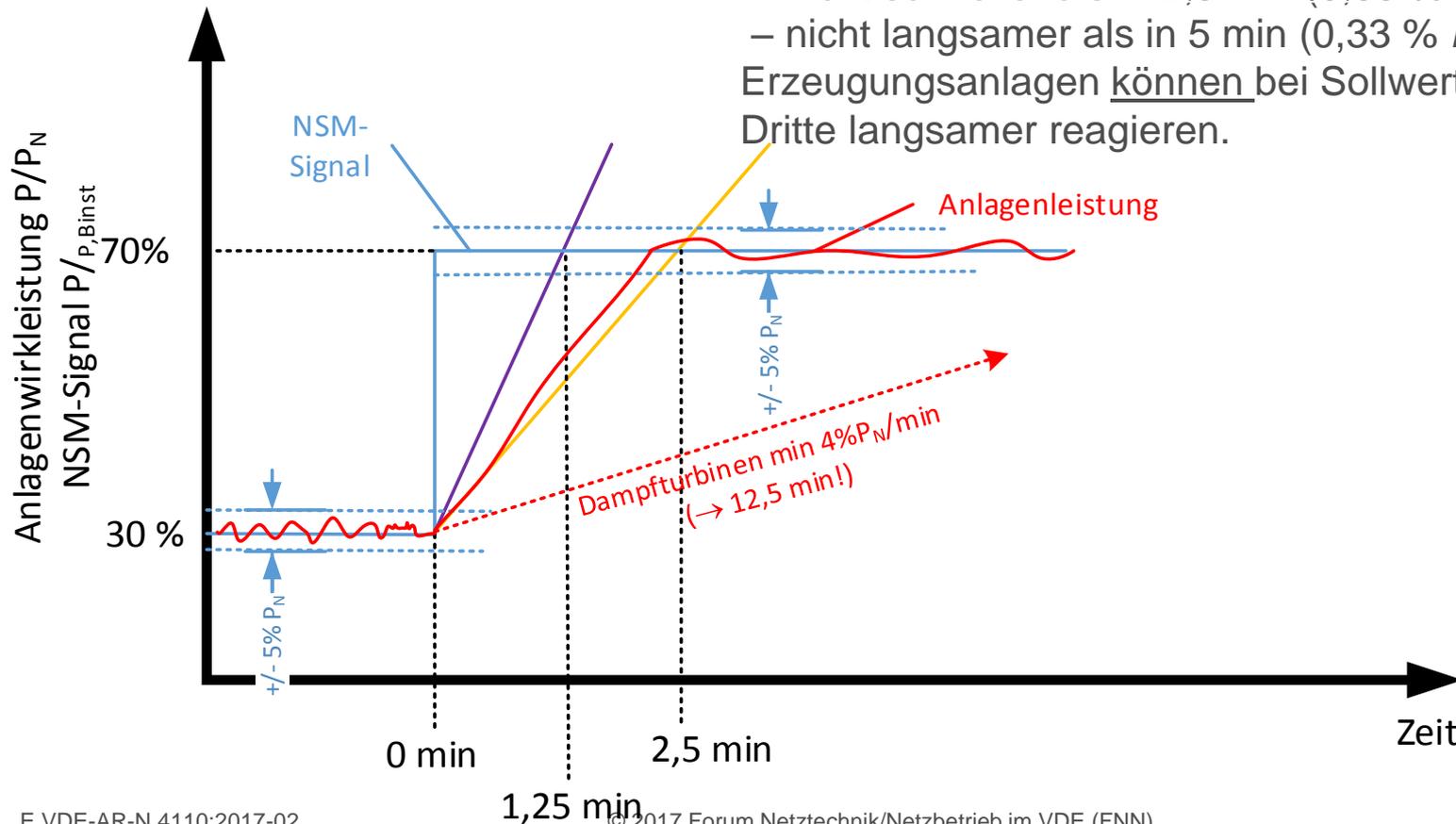
Anmerkung:
Techn. Mindestleistung
Bei VKM mit genannt

EZA – Wirkleistungsabgabe / Leistungssteigerung

Begrenzung des Leistungsgradienten sind für das Steigern und Reduzieren der Wirkleistungsabgabe und des Wirkleistungsverbrauchs

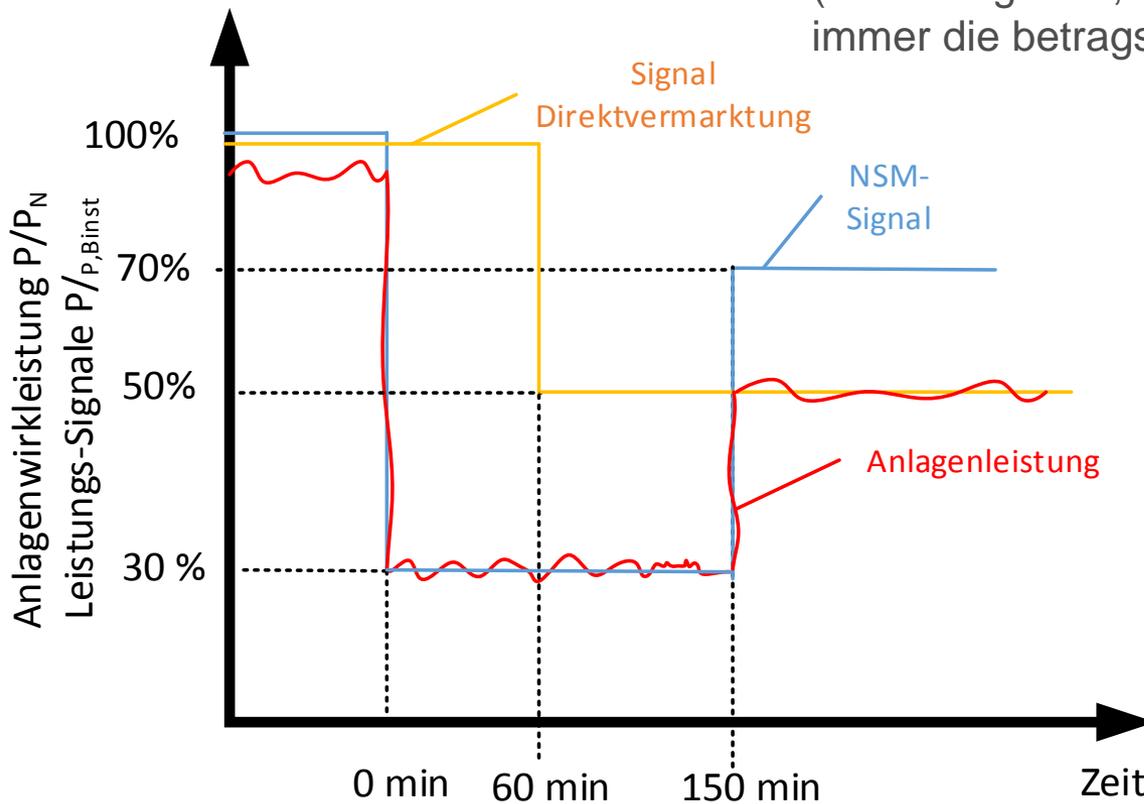
- nicht schneller als in 2,5 min ($0,66 \% P_N$ je Sekunde);
- nicht langsamer als in 5 min ($0,33 \% P_N$ je Sekunde).

Erzeugungsanlagen können bei Sollwertvorgaben durch Dritte langsamer reagieren.



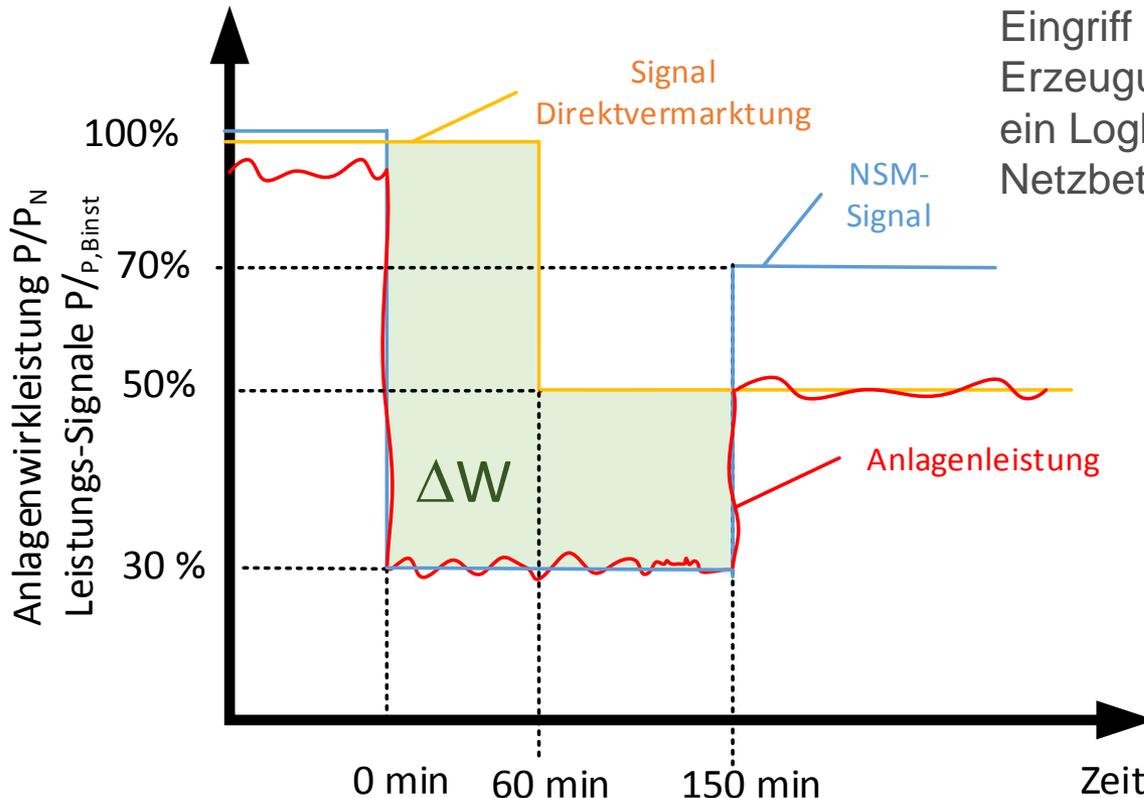
EZA – Wirkleistungsabgabe / Vorrangregelung

Bei sich zeitlich überschneidenden Wirkleistungsvorgaben durch den Netzbetreiber (Netzsicherheitsmanagement) und durch Dritte (Marktvorgaben, Eigenbedarfsoptimierung usw.) gilt immer die betragsmäßig kleinere Leistung

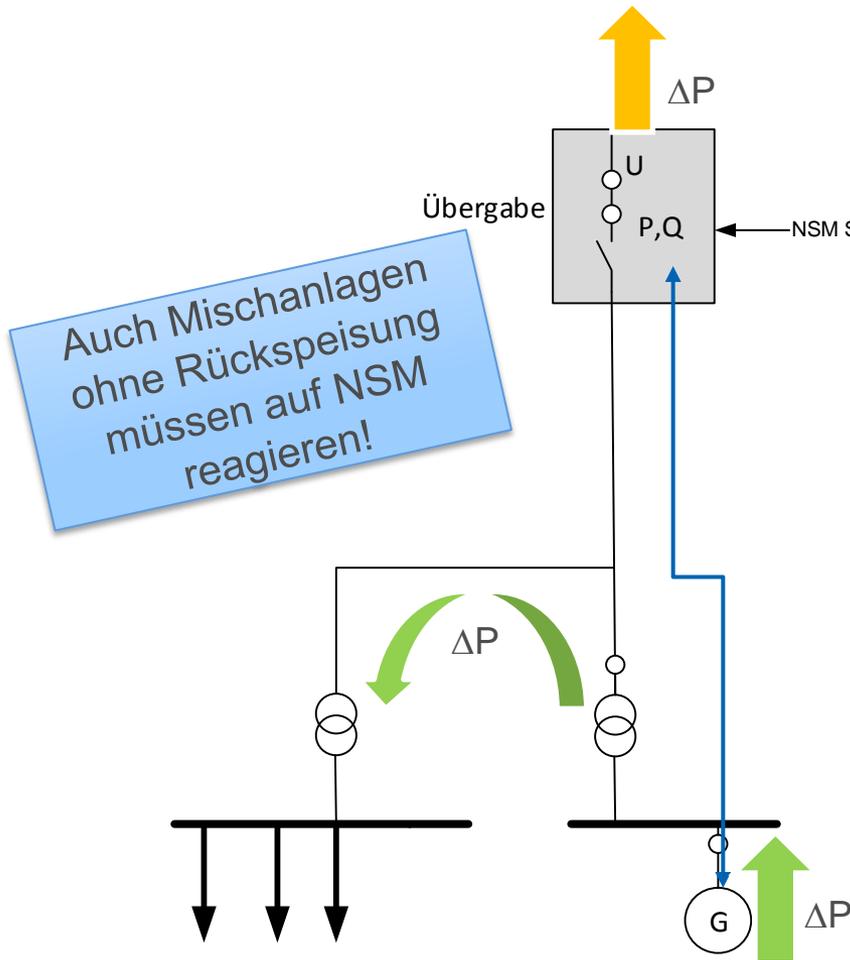


EZA – Wirkleistungsabgabe / Logbuch

Der Anlagenbetreiber hat jederzeit einen Nachweis für die zurückliegenden 12 Monate über die Leistungsabregelung des Netzsicherheitsmanagements und den Eingriff Dritter während des Betriebs der Erzeugungsanlage vorzuhalten (z. B. über ein Logbuch). Auf Anforderung ist dem Netzbetreiber dieser Nachweis vorzulegen.



EZA – Wirkleistungsabgabe / Mischanlage



Bezugsgröße NSM ist P_{binst}

- Signal unabhängig von Momentanleistung
- **Kann direkt auf EZE/EZA geschaltet werden. (einfacher Standardfall)**

Könnte statt einer „Abregelung“ auch eine (passende) Lastaufschaltung erfolgen?

- Technisch ok; solange „**Netzwerk**“ am NAP **sichergestellt** wird.

Problem: Nachweisführung

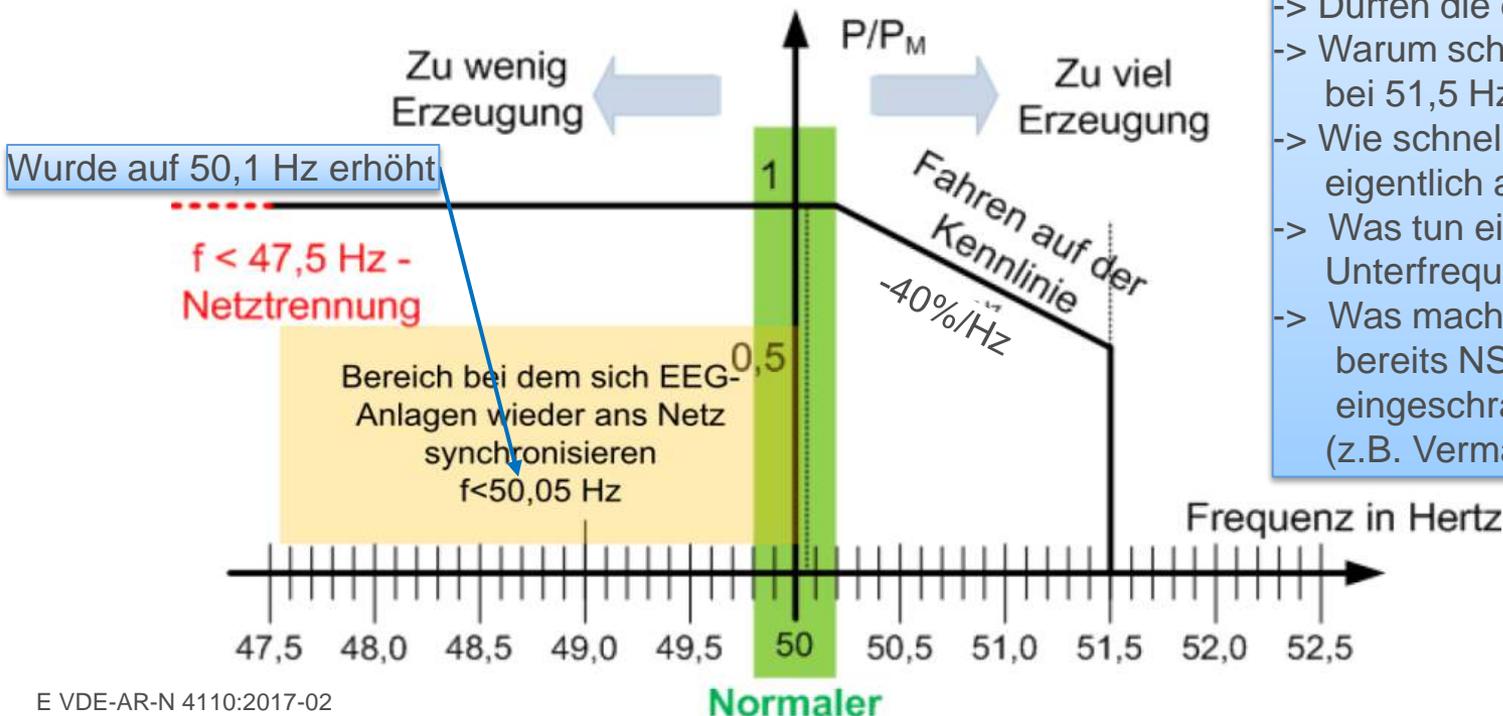
- Anforderung dass ΔP messtechnisch nachvollziehbar sein muss

EZA – Wirkleistungseinspeisung bei Über-/Unterfrequenz

- Frequenz: Übergeordnete Größe
 - (Verbundnetz / SYSTEM / Cross-Border Issue)
 - entso-e Vorgaben müssen beachtet werden (Rfg: Erzeuger > 0,8 kW = Significant Grid User)
 - 50,2 Hz Problem & P-f-Kennlinie bekannt (Basis) :

Fragestellungen:

- Turbinen& VKM drosseln Leistung bei geringeren Drehzahlen.
- > Dürfen die das?
- > Warum schalten wir in der MS bei 51,5 Hz unverzögert ab?
- > Wie schnell fahren die Anlagen eigentlich auf der Kennlinie?
- > Was tun eigentlich Speicher bei Unterfrequenz?
- > Was machen durch Markt oder bereits NSM bereits eingeschränkte Anlagen (z.B. Vermarktung) bei $f < 49,8$ Hz?



Wirkleistungseinspeisung bei Frequenzabweichungen

Grundsätzliches

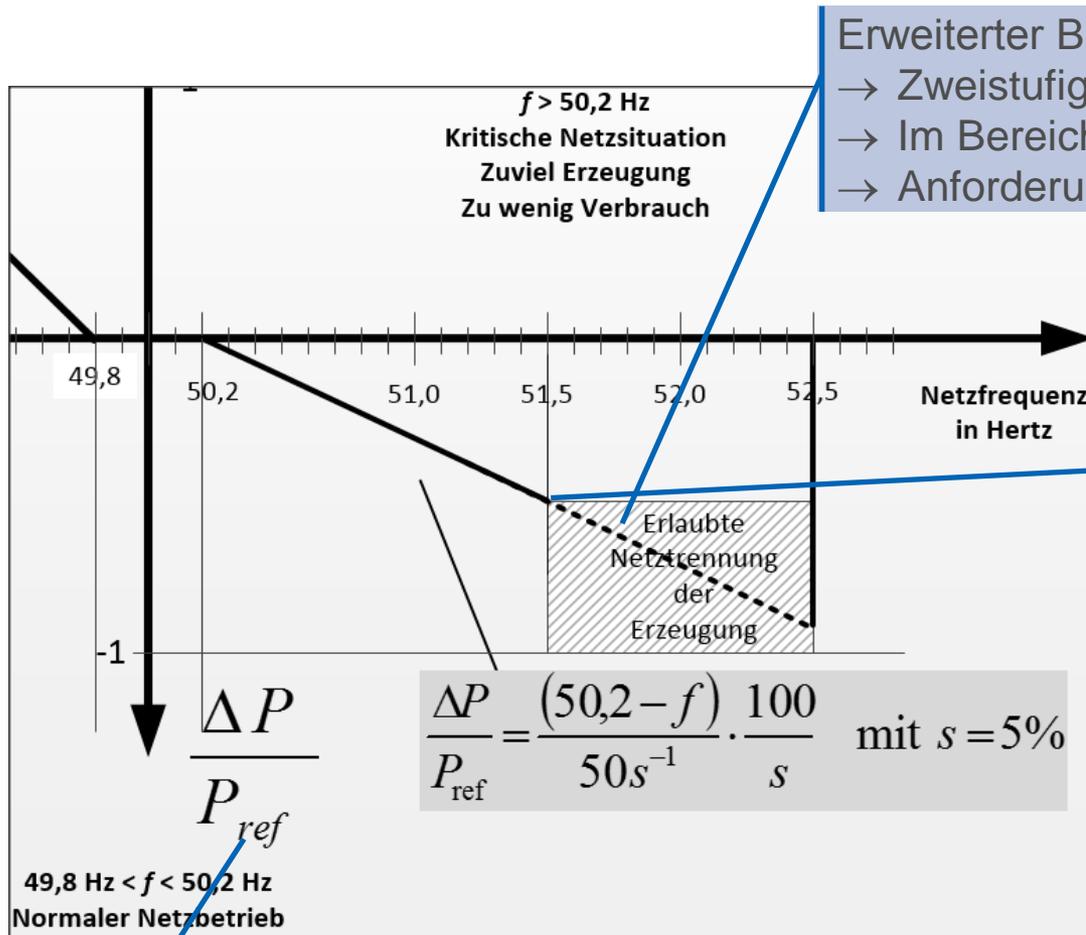
Zuletzt eingetreten:
2006

- **falls $f < 49,8 \text{ Hz}$ oder $f > 50,2 \text{ Hz}$ gilt: System ist gefährdet**
 - P-Änderungen haben Vorrang vor Markt (Entspricht EnWG §13)
 - P-Änderungen haben keinen Vorrang vor NSM

Grund: wenn NSM genutzt wurde, ist das Netz nahe an 100% Auslastung in der MS-Ebene; Mit weiterer Leistungserhöhung wird Schutzauslösung und der Verlust der gesamten Erzeugung riskiert.

- **Wann ist das Vorbei?**
 - Wenn $49,8 \text{ Hz} < f < 50,2 \text{ Hz}$ → eigentlich OK;
 - Aber bitte langsam zurück zum „Normalzustand“!
 - Wenn f im „Band“: Wirkleistungsänderung von maximal $10 \% P_N / \text{min}$
 - wenn f über 10 min lang innerhalb des Toleranzbandes → Netznormalbetrieb

Wirkleistungseinspeisung bei Überfrequenz



Erweiterter Bereich für „Überschwingung“ von 5 sec.
 → Zweistufiger $f >$ -Schutz
 → Im Bereich möglichst der Kennlinie folgen
 → Anforderung (noch) nicht zwingend

Regelzeiten lt. Entso-e Rfg:
 „As fast as technically feasible“

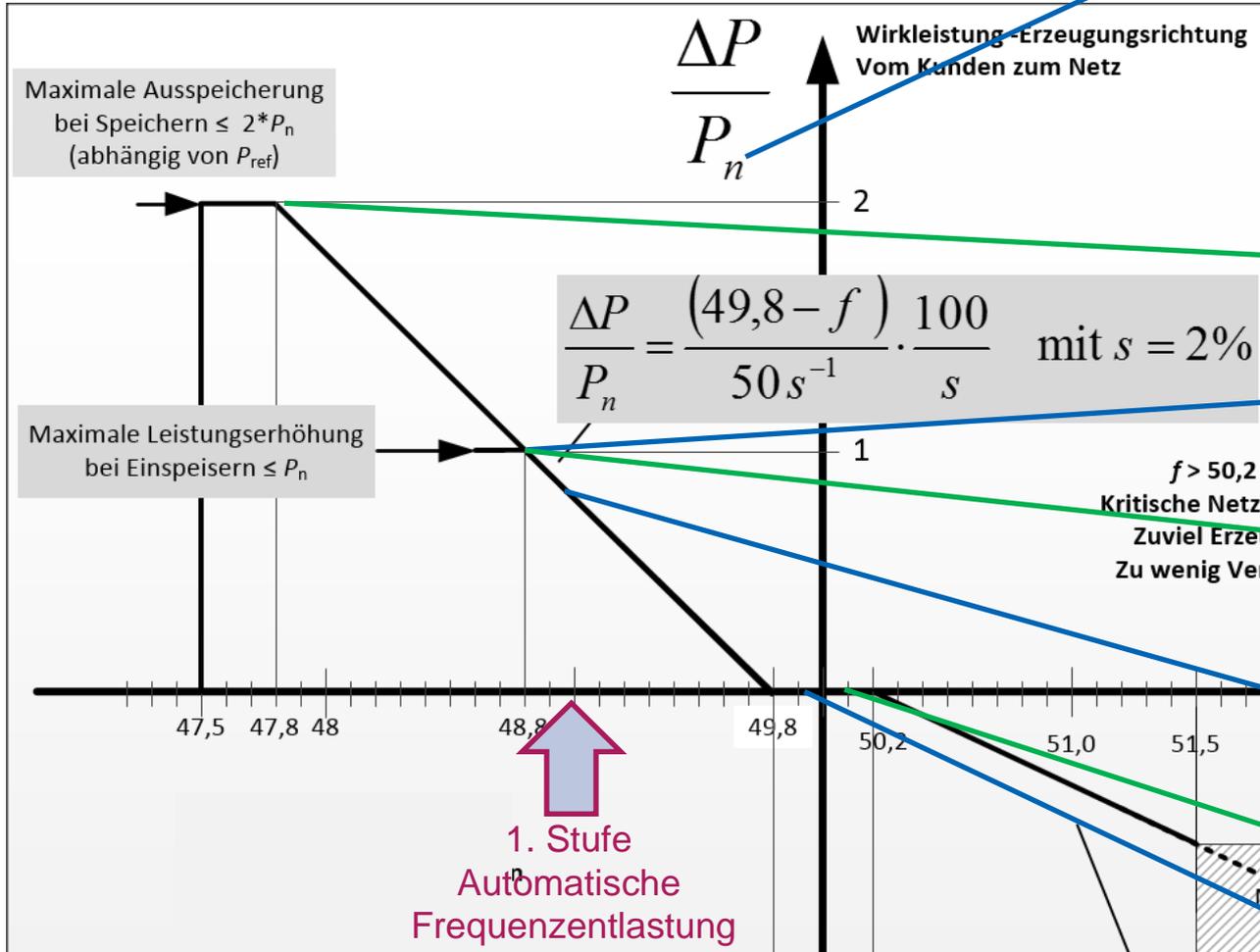
→ Möglichst Schnell
 → Genauigkeit 2-Rangig

Anschwingzeit: 2s
 Einschwingzeit 20s
 Messtoleranz $< 10 \text{ mHz}$
 P-Abweichung $\pm 10\% P_N$

$P_{ref} = P_{MOM}$ bei Typ2: → Keine Änderung (wird immer bei $f=50,2$ oder $f=49,8$ gelockt)
 $P_{ref} = P_N$ für Typ1: → RfG (feste Steilheit)

Wirkleistungseinspeisung bei Unterfrequenz

Vorsicht!
Andere Achsenskalierung!
 ΔP bezogen auf die
NENNleistung



Beispiel 1
Beispiel 2

$\Delta P = -200\%$
Speicher entlädt
nicht mehr; $P = -100\%$

$\Delta P = 100\%$
Speicher lädt; $P = -20\%$

$\Delta P = 100\%$
Speicher entlädt
nicht mehr; $P = -100\%$

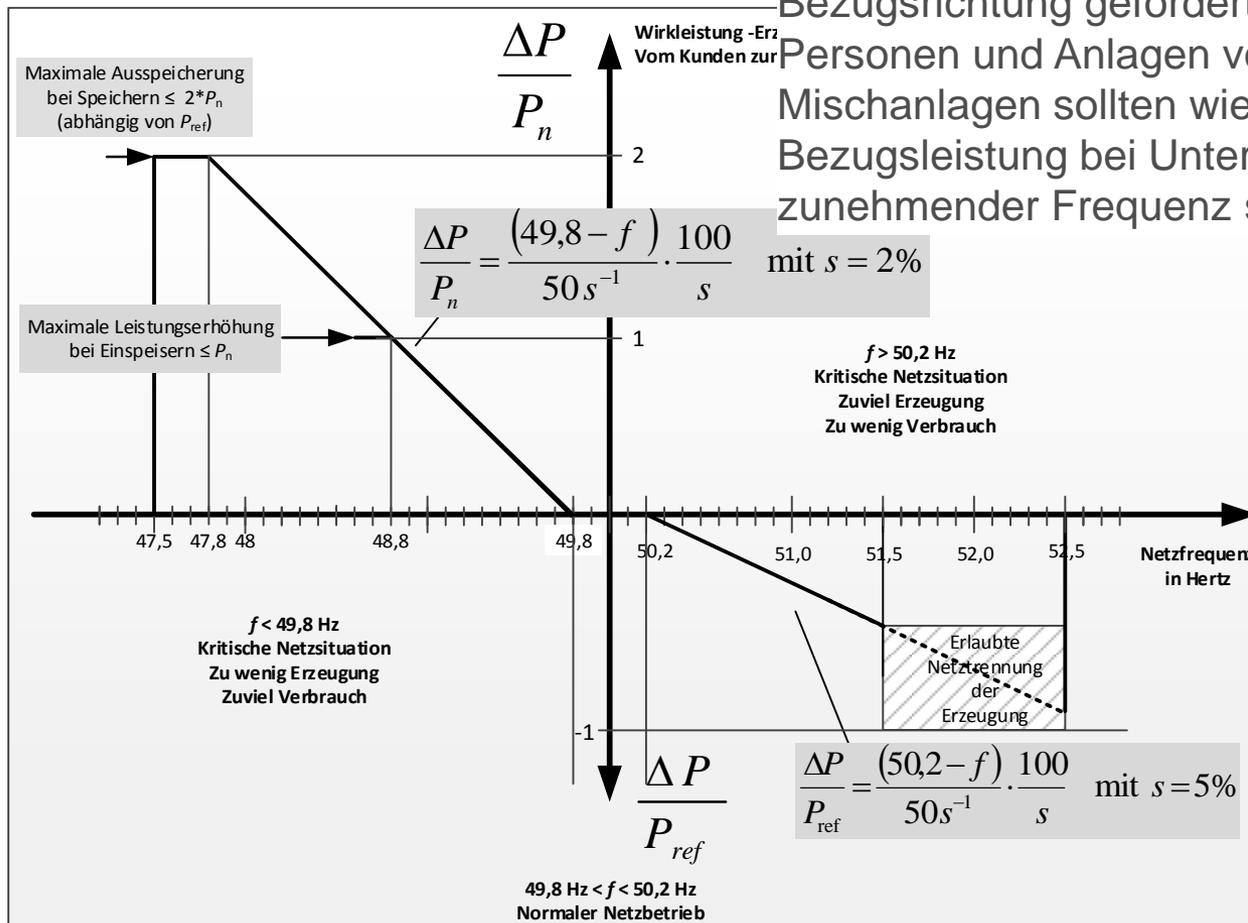
$\Delta P = 80\%$
Speicher lädt
nicht mehr; $P = 0\%$

Speicher ist aus 0 %

Speicher lädt mit 80 %

P-f-Anforderung

ΔP Anforderung! (Richtungsänderung immer korrekt)
 Gilt für Erzeuger (mit Speicherkapazität $W > P_N \cdot 30s$)
 Gilt für Anwendungen nach § 14 EnWG mit elektronischer Regelung (z. B. Ladeanwendungen für Speicher oder elektronisch geregelte elektrothermische Anwendungen) in Bezugsrichtung gefordert, sofern keine Gefährdung von Personen und Anlagen vorliegt. Diese Bezugs- oder Mischanlagen sollten wie in Bild 17 dargestellt die Bezugsleistung bei Unterfrequenz absenken bzw. bei zunehmender Frequenz steigern.



P-f-Anforderung - Regelzeiten

Eingeschränkte Anforderungen aufgrund technischer Restriktionen

- Wind: Erhöhung nur wenn Wind > 50% P_N
- VKM:
 - ≤ 2 MW mindestens 66 % P_n je Minute
 - > 2 MW mindestens 20 % P_n je Minute
- Dampfturbinen zur Erhöhung; mindestens 4 % P_n /min
- Bei Wasserkraftanlagen ist eine Anschlagzeit von 15 s und eine Einschwingzeit von 30 s erforderlich.
- Nachweisführung im und Anschlagzeiten bezogen auf $\Delta f = 500$ mHz

Regelzeiten lt. Entso-e Rfg:
„As fast as technically
feasible“

-> Möglichst Schnell

-> Genauigkeit 2-Rangig

Speicher:

Anschlagzeit: 2s

Einschwingzeit 20s

Messtoleranz < 10 mHz

P-Abweichung +/- 10% P_N

(noch) keine harten Anforderungen für den $f <$ Bereich bei EZA:
Je mehr mit machen desto eher kann man später Ausnahmen machen
-> Je weniger sich heute beteiligen umso härter muss die
Nachfolgerichtlinie werden

Abschnitt 10.3

Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen - Frequenzschutzeinrichtungen und Schutzübersichten

Abschnitt 6.3.3 Schutztechnik (Allgemein)

Für Abnehmer und für Erzeugungsanlagen

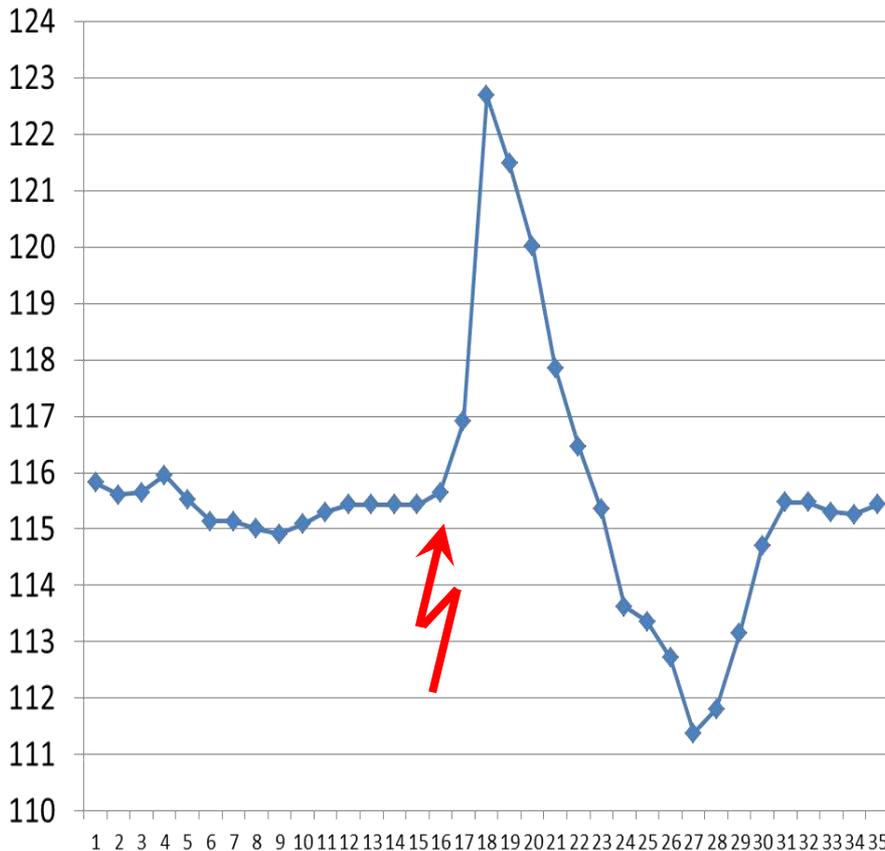
- Gilt für Verbrauchs- wie für Erzeugungsanlagen, also für
 - Netzschutzeinrichtungen
 - Kurzschlussschutzeinrichtungen des Anschlussnehmers und
 - Entkopplungsschutzeinrichtungen (bei Erzeugungsanlagen)
- Die Verantwortung liegt beim jeweiligen Eigentümer
- Der Netzbetreiber kann die Installation eines Frequenzrelais fordern und gibt die Einstellwerte vor
- Turnusmäßige Schutzprüfungen sind vorgeschrieben
- Hierfür ist mindestens eine Prüfklemmleiste zu installieren
- In begründeten Fällen sind Störschreiber am Netzanschlusspunkt zu installieren (z.B., falls kein messtechnischer Nachweis über die Einhaltung der Netzstützung vorliegt)
- Alle für Störungsaufklärungen notwendigen Informationen sind zwischen Netzbetreiber und dem Anschlussnehmer auszutauschen.

Abschnitt 10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen (bei Erzeugungsanlagen)

Erfahrungen aus Netzfehlern Spannungsschutzeinrichtungen

Fall 1) Kurzschluss im 110kV-Netz

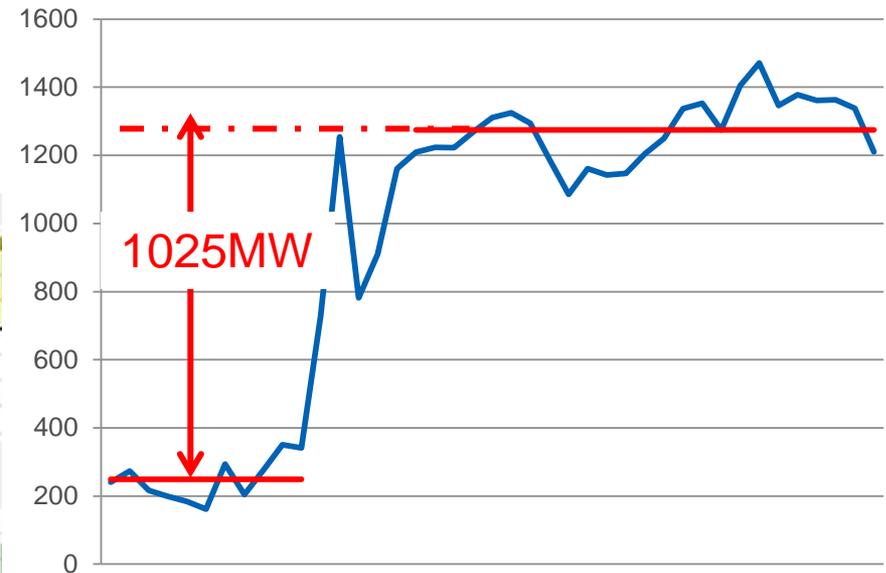
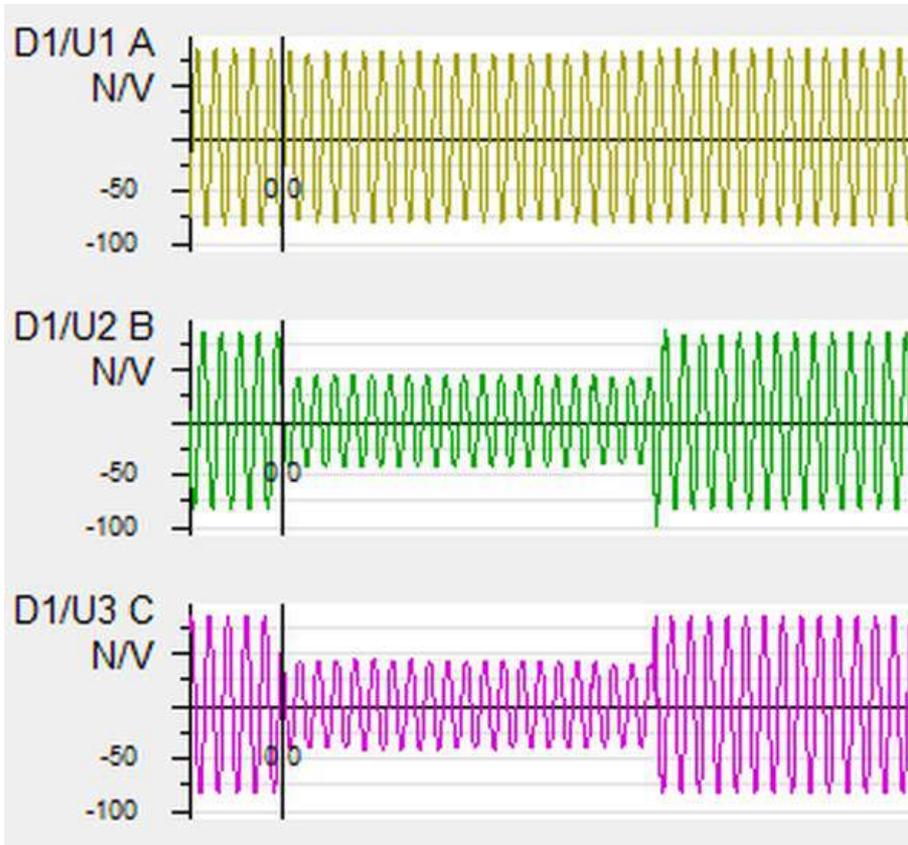
L-L-Spannung in kV (Minutenwerte)



- 2-pol. Kurzschluss 110kV
- Fehlerklärungszeit 90ms
- Ausfall Erzeugungsleistung >900MW
- Vermutete Ursache:
Ansprechen von
Überspannungsschutz-
einrichtungen

*) Quelle: Auswirkungen von Netzstörungen auf Energiebilanz und Spannungshaltung, T. Henning, U. Welz, H. Kühn SuL 2014

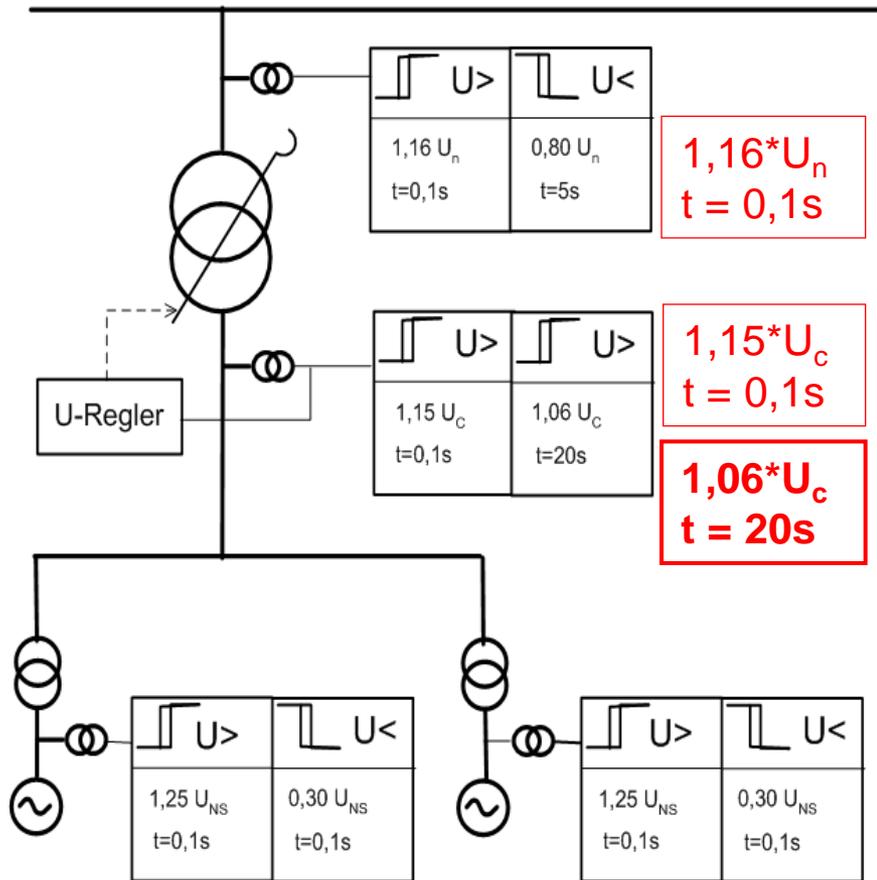
Fall 2) 2-pol- Kurzschluss im 380kV-Netz



- 2-pol. Kurzschluss 380kV
- Fehlerklärungszeit ca. 400ms
- Ausfall von über 1000 MW
- Vermutete Ursache:
Ansprechen von
Überspannungsschutz-
einrichtungen

*) Quelle: Auswirkungen von Netzstörungen auf Energiebilanz und Spannungshaltung, T. Henning, U. Welz, H. Kühn SuL 2014

Vermutete Ursache für den Ausfall von Erzeugungsleistung



- Beispiel Einstellung Spannungsrelais VDN-Leitfaden aus 2004

*) Quelle: Auswirkungen von Netzstörungen auf Energiebilanz und Spannungshaltung, T. Henning, U. Welz, H. Kühn SuL 2014

| | BDEW 2008 | | VDE-AR-N 4110 | |
|--------------------------------------|--|-----------|-------------------------|----------|
| Funktion - NAP | Kann bei Anschluss im MS-Netz entfallen, wenn keine dynamische Netzstützung gefordert wird | | Immer vorhanden | |
| Spannungssteigerung $U_{>>}$ | $1,15 U_C$ | 0,1 s | $1,20 U_{MS}$ | 0,3 s |
| Spannungssteigerung $U_{>}$ | $1,08 U_C$ | 60 s | $1,10 U_{MS}$ | 180 s |
| Spannungsrückgang $U_{<}$ | $0,80 U_C$ | 2,7 s | $0,80 U_N$ | 2,7 s |
| QU-Schutz $Q_{\rightarrow} \& U_{<}$ | $0,85 U_C$ | 0,5 s | $0,85 U_N$ | 0,5 s |
| Funktion – EZE | Anschluss Sammelschiene | | Anschluss Sammelschiene | |
| Spannungssteigerung $U_{>>}$ | $1,20 U_C$ | 0,1 s | $1,25 U_{MS}$ | 0,1 s |
| Spannungsrückgang $U_{<}$ | $0,80 U_{NS}$ | 1,5-2,4 s | $0,80 U_{NS}$ | 1,5-2,4s |
| Spannungssteigerung $U_{<<}$ | $0,45 U_C$ | 0,3 s | $0,3 U_{MS}$ | 0,8 s |
| | Anschluss im MS-Netz | | Anschluss im MS-Netz | |
| Spannungssteigerung $U_{>>}$ | $1,15 U_{NS}$ | 0,1s | $1,25 U_{NS}$ | 0,1 s |
| Spannungsrückgang $U_{<}$ | $0,80 U_{NS}$ | 1,0s | $0,80 U_{NS}$ | 1,0 s |
| Spannungsrückgang $U_{<<}$ | $0,45 U_{NS}$ | 0,3 s | $0,45 U_{NS}$ | 0,3 s |

Wichtig – Wichtig – Wichtig – Wichtig – Wichtig – Wichtig

Anforderungen an Spannungsrelais (Kap. 10.3.1)

- Rückfallverhältnis Spannungssteigerung $\leq 1,02$
- Rückfallverhältnis Spannungsrückgang $\geq 0,98$
- Messfehler $\leq 1\%$
- Auswertung des Grundschiwingungseffektivwertes

Kap. 10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen (bei Erzeugungsanlagen)

Frequenzschutzeinrichtungen

Frequenzschutzeinrichtungen

BDEW 2008

- $\leq 47,5$ Hz Trennen vom Netz
- 47,5–51,5 Hz Trennen nicht erlaubt
- $\geq 51,5$ Hz Trennen vom Netz

VDE-AR-N 4110

- $\leq 47,5$ Hz Trennen vom Netz
- 47,5–51,5 Hz Trennen nicht erlaubt
- 51,5-52,5 Hz Trennen zulässig
- 52,5 Hz Trennen vom Netz

Frequenzschutzeinrichtungen EZE

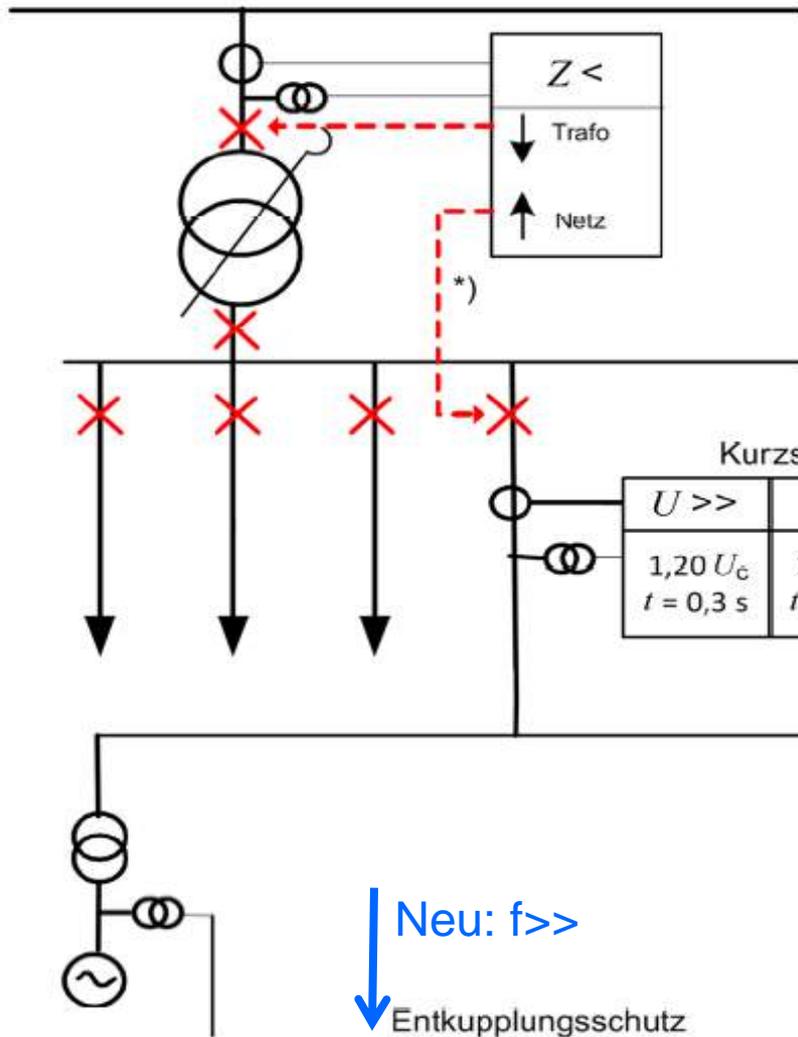
| | | | |
|--------------------|--------|---------|---------------|
| Frequenzrückgang | $f <$ | 47,5 Hz | 0,1 s * |
| Frequenzsteigerung | $f >$ | 51,5 Hz | ≤ 5 s ** |
| Frequenzsteigerung | $f >>$ | 52,5 Hz | 0,1 s * |

* besser: 5 Messwiederholungen

** nach Vermögen der EZE

Kap. 10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen (bei Erzeugungsanlagen)

Schutzübersichten



U_c - vereinbarte Versorgungsspannung

$U_{NS} = U_c / \ddot{u}$ mit \ddot{u} = Übersetzungsverhältnis der Maschinentransformatoren

[- - -] Schutzfunktion ist konzeptionell zu berücksichtigen und nach NB-Vorgabe zu realisieren

*) Mitnahmeschaltung nur bei im Stich angeschlossenen UW

***) Auslösung LS am Netzanschlusspunkt nach 0,5 s

Kurzschlussschutz und übergeordneter Entkupplungsschutz

| $U >>$ | $U >$ | $U <$ | $f >$ | $f <$ | $Z <$ | $Q \rightarrow \& U <^{**}$ |
|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|
| $1,20 U_c$ $t = 0,3 \text{ s}$ | $1,10 U_c$ $t = 180 \text{ s}$ | $0,8 U_c$ $t = 2,7 \text{ s}$ | 51,5 Hz $t = 5400 \text{ ms}$ | 47,5 Hz $t = 400 \text{ ms}$ | $U_F = 0,8 U_c$ $I_F = 0,2 I_N$ $I_E \geq 1,2 I_{CE}$ | $0,85 U_c$ $t = 0,5 \text{ s}$ |

$f >$ und $f <$
optional (je nach
Netzbetreiber)

Neu: Distanzrelais
mit U/I-Anregung
vorgeschrieben
UMZ nicht
zulässig

Neu: $f >>$
Entkupplungsschutz

Neu: $f >>$
Entkupplungsschutz

| $U >>$ | $U <$ | $U <<$ | $f >>$ | $f >$ | $f <$ |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| $1,25 U_{NS}$ $t = 0,1 \text{ s}$ | $0,8 U_{NS}$ $t = 1,5 - 2,4 \text{ s}$ | $0,3 U_{NS}$ $t = 0,8 \text{ s}$ | 52,5 Hz $t \leq 100 \text{ ms}$ | 51,5 Hz $t = 5 \text{ s}$ | 47,5 Hz $t \leq 100 \text{ ms}$ |

| $U >>$ | $U <$ | $U <<$ | $f >>$ | $f >$ | $f <$ |
|--------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|
| $1,25 U_{NS}$ $t = 0,1 \text{ s}$ | $0,8 U_{NS}$ $t = 1,5 - 2,4 \text{ s}$ | $0,3 U_{NS}$ $t = 0,8 \text{ s}$ | 52,5 Hz $t \leq 100 \text{ ms}$ | 51,5 Hz $t = 5 \text{ s}$ | 47,5 Hz $t \leq 100 \text{ ms}$ |

