

# EEG-Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz

Leitfaden für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen auf Basis erneuerbarer Energien an das Hoch- und Höchstspannungsnetz in Ergänzung zu den NetzCodes



© **Verband der Netzbetreiber - VDN – e.V. beim VDEW**

Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin

Tel. 030/726 148-0, Fax: 030/726 148-200

info@vdn-berlin.de, [www.vdn-berlin.de](http://www.vdn-berlin.de)

Ausgabe: August 2004

## Vorwort

Im TransmissionCode (TC) des VDN werden die Anforderungen für ein systemgerechtes Verhalten der Kraftwerke (Erzeugungsanlagen) beschrieben. Die jahrelangen Erfahrungen von Netz- und Kraftwerksbetreibern und Kraftwerksherstellern sind hier eingeflossen. Die starke Zunahme von EEG-geförderten (Erneuerbare-Energien-Gesetz) Erzeugungsanlagen erfordern neue Überlegungen, die in den TC einfließen werden und auch in diesem Leitfaden für einen praxisgerechten Anschluss von EEG-Erzeugungsanlagen an das Hoch- und Höchstspannungsnetz aufgeführt sind.

Die bisherigen VDEW-Richtlinien „Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ [1] und „Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz“ [2] (Überarbeitung geplant) regeln das Verhalten der Erzeugungsanlagen am Mittel- und Niederspannungsnetz. Beide Richtlinien gehen von dem Grundgedanken aus, Rückwirkungen von Erzeugungsanlagen auf das Verteilungsnetz zu minimieren und damit die Versorgungsqualität zu erhalten. Außerdem stellen sie mit ihren Anforderungen sicher, dass bei Störungen im Verteilungsnetz eine schnelle Entkopplung der Erzeugungsanlagen vom Netz erfolgt.

Wegen der Zunahme von Erzeugungsanlagen, die auf Basis des Gesetzes für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) vom 21.07.2004 an das Netz vorrangig angeschlossen und eingesetzt werden, sind teilweise andere Anforderungen als bisher an das Verhalten dieser Anlagen im Normalbetrieb und im Netzfehlerfall zu stellen, um auch weiterhin einen stabilen und versorgungsgerechten Systembetrieb zu gewährleisten. EEG-Erzeugungsanlagen mit direktem Anschluss an das Hoch- und Höchstspannungsnetz müssen sich daher in Zukunft aktiv an der Spannungs- und Frequenzhaltung beteiligen. Beispielsweise muss die in Folge eines Fehlers im Netz ausgefallene Einspeiseleistung begrenzt werden, um eine unkontrollierte Störungsausweitung zu vermeiden; eine schnelle Entkopplung der Erzeugungsanlagen bei Fehlern im übergeordneten Netz darf daher nicht mehr unselektiv erfolgen.

Der nachstehende Leitfaden fasst die wesentlichen Gesichtspunkte zusammen, die beim Anschluss an das Hoch- und Höchstspannungsnetz des Netzbetreibers zu beachten sind, damit die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Netzbetriebes gemäß Energiewirtschaftsgesetz auch mit wachsendem Anteil an EEG-Erzeugungsanlagen erhalten bleiben. Er dient gleichermaßen dem Netzbetreiber wie dem Hersteller und Betreiber dieser Erzeugungsanlagen als Planungsunterlage und Entscheidungshilfe beim Anschlussverfahren und beim Betrieb der Anlage.

Der Leitfaden beschreibt ausschließlich technische Anforderungen. Eigentumsverhältnisse und Kostentragung werden hier nicht behandelt.

Selbstverständlich kann im Rahmen dieses Leitfadens des VDN nur auf allgemein übliche Anlagenkonzepte eingegangen werden. Bei Sonderbauformen ist dieser Leitfaden sinngemäß und unter Berücksichtigung der vorgegebenen Netzstruktur anzuwenden.

Das Verhalten von konventionellen Kraftwerken am Netz ist wechselseitig aufeinander abgestimmt. Einige dieser daraus resultierenden Anforderungen sind mit vertretbarem Aufwand von EEG-Erzeugungsanlagen nicht erfüllbar. Auf der anderen Seite bieten neue Erzeugungskonzepte aber auch Möglichkeiten, bestimmte Anforderungen flexibler zu erfüllen. Die Abstimmung der Anforderungen Netz – EEG-Erzeugungsanlagen muss daher zwischen Herstellern der Anlagen und Netzbetreibern gemeinsam neu ausbalanciert werden. In diesem Sinne können die in diesem Leitfaden geforderten Eigenschaften von Erzeugungsanlagen nur den derzeitigen Stand der Erkenntnis darstellen. Sie berücksichtigen die gegenwärtigen Erfordernisse der Netze. Eine weitere Zunahme von EEG-Erzeugungsanlagen kann in Zukunft zusätzliche und ggf. weitergehende Regelungen erfordern.

In der vom VDN-Lenkungsausschuss Netztechnik zur Erarbeitung des Leitfadens eingesetzten Projektgruppe wirkten mit:

- Dr.-Ing. Yvonne Saßnick, Vattenfall Europe Transmission, Berlin
- Dipl.-Ing. Frank Ehlers, E.ON Hanse AG, Quickborn
- Dipl.-Ing. Johannes Aichner, EnBW Regional AG, Stuttgart
- Dipl.-Ing. Kurt Heidenreich, HEW AG, Hamburg
- Dipl.-Ing. Klaus Hinz, e.dis AG, Demmin
- Dipl.-Ing. Mirko Koschnick, envia Mitteldeutsche Energie AG, Chemnitz
- Dipl.-Ing. Holger Kühn, E.ON Netz GmbH, Bayreuth
- Dipl.-Ing. Martin Lösing, RWE Transportnetz Strom, Dortmund
- Dipl.-Ing. Hartwig Roth, VDN, Berlin
- Dr.-Ing. Karl-Heinz Weck, FGH, Mannheim

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Allgemeines .....</b>	<b>9</b>
1.1	Geltungsbereich.....	9
1.2	Begriffe .....	9
1.3	Bestimmungen und Vorschriften .....	18
1.4	Anmeldeverfahren und anschlussrelevante Unterlagen.....	18
<b>2</b>	<b>Netzanschluss.....</b>	<b>20</b>
2.1	Grundsätze für die Festlegung des Anschlusspunktes.....	20
2.2	Bemessung der Netzbetriebsmittel .....	21
2.3	Zulässiges Spannungsband im ungestörten Betrieb des Netzes .....	21
2.4	Netzurückwirkungen .....	22
2.4.1	Schaltbedingte Spannungsänderungen .....	22
2.4.2	Langzeitflicker .....	23
2.4.3	Oberschwingungen und Zwischenharmonische.....	23
2.4.4	Rückwirkungen auf Tonfrequenz-Rundsteueranlagen .....	26
2.5	Verhalten bei Störungen im Netz .....	27
2.5.1	Kurzschlussstrombeitrag.....	27
<b>3</b>	<b>Ausführung der Anlage .....</b>	<b>28</b>
3.1	Anschlussanlage .....	28
3.2	Primäranlage.....	28
3.2.1	Übergabepunkt Leitung.....	29
3.2.2	Übergabepunkt Schaltanlage .....	30
3.2.3	Sternpunktbehandlung .....	30
3.3	Sekundärtechnik.....	30
3.3.1	Abrechnungszählung .....	30
3.3.2	Fernsteuerung .....	31
3.3.3	Hilfsenergieversorgung .....	32
3.3.4	Verriegelungen .....	32

3.4	Schutzeinrichtungen.....	33
3.4.1	Allgemeines .....	33
3.4.2	Schutzeinrichtungen des Netzes.....	34
3.4.3	Schutzeinrichtungen der Anschlussanlage .....	35
3.4.4	Schutzeinrichtungen der Erzeugungseinheiten .....	36
3.4.5	Zusammenwirken des Schutzes der Anschlussanlage mit dem Netz .....	38
3.5.	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung .....	39
3.6	Blindleistungsbereitstellung.....	40
3.6.1	Blindleistungsbereitstellung durch Vorgabe einer Q(U)-Kennlinie.....	41
3.6.2	Blindleistungsbereitstellung durch Kompensationsanlagen.....	42
3.7	Wirkleistungsabgabe .....	42
<b>4</b>	<b>Nachweis der elektrischen Eigenschaften .....</b>	<b>44</b>
4.1	Allgemeines .....	44
4.2	Nachweis der Einspeiseleistung.....	44
4.2.1	Nachweis der Einspeise-Wirkleistung .....	44
4.2.2	Nachweis der Blindleistungsbereitstellung .....	44
4.2.3	Nachweis der Blindleistungs-Übergangsfunktion.....	45
4.3	Nachweis der Netzurückwirkungen .....	45
4.4	Nachweis des Verhaltens im Fehlerfall im Netz.....	45
4.4.1	Nachweis der grundlegenden Anforderungen .....	45
4.4.2	Nachweis der Blindleistungseinspeisung während des Fehlers .....	46
<b>5</b>	<b>Betrieb der Anlage .....</b>	<b>47</b>
5.1	Allgemeines .....	47
5.2	Anlagenverantwortlicher .....	48
5.3	Inbetriebsetzung.....	49
5.4	Betrieb bei Störungen.....	50
<b>6</b>	<b>Anschlussbeispiele .....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Erläuterungen .....</b>	<b>53</b>
7.1	Ausblick .....	53

7.2	Zählfeilsystem .....	54
7.3	Blindleistungsbereiche .....	58
7.4	Prüfklemmenleiste .....	59
7.5	Netzurückwirkungen .....	59
7.5.1	Langzeitflicker .....	59
7.5.2	Oberschwingungen und Zwischenharmonische.....	60
7.6	Prozessschnittstelle .....	62
7.7	Automatische Wiedereinschaltung (AWE) .....	64
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>66</b>
8.1	Literatur .....	66
8.2	Vordrucke .....	69
8.2.1	Datenblatt einer Erzeugungsanlage für den Parallelbetrieb mit dem Netz des Netzbetreibers .....	69
8.2.2	Beispiel für ein Inbetriebsetzungsprotokoll einer Eigenerzeugungsanlage .....	73
<b>9</b>	<b>Beiblatt .....</b>	<b>76</b>
1	Allgemeines .....	76
2	Kurzschlussstrombeitrag .....	76
3	Verbleiben der Erzeugungsanlage am Netz .....	77
3.1	Verhalten bei Anschlusspunkt fernen Fehlern.....	77
3.2	Verhalten bei Anschlusspunkt nahen Fehlern .....	77
3.3	Blindstromeinspeisung im Fehlerfall .....	79
4	Trennen der Erzeugungsanlagen vom Netz.....	81
5	Wirkleistungsabgabe .....	82
5.1	Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz .....	82
5.2	Wirkleistungsabgabe bei Gefährdung der Netzstabilität.....	82
6	Literaturhinweis.....	82

# 1 Allgemeines

## 1.1 Geltungsbereich

Grundsätzlich gilt für Erzeugungsanlagen, die an das Hoch- oder Höchstspannungsnetz angeschlossen werden, der TransmissionCode (TC) bzw. der DistributionCode (DC). Der hier vorliegende Leitfaden ergänzt die Anforderungen aus diesen Codes für Erzeugungsanlagen, die unter das „Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz-EEG)“ fallen.

Der Geltungsbereich schließt insbesondere auch bestehende Anlagen ein, wenn sich entweder der Anschlusspunkt auf die Hoch- oder Höchstspannungsebene verlagert oder wenn bei einer bereits am Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz angeschlossenen Erzeugungsanlage wesentliche Änderungen oder Erweiterungen ausgeführt werden, hierunter fallen beispielsweise Maßnahmen wie Repowering.

Erzeugungsanlagen im Sinne dieses Leitfadens sind zum Beispiel:

- Windenergieanlagen (WEA)
- Kleinere Wasserkraftanlagen
- Generatoren, die von Wärmekraftmaschinen angetrieben werden, z.B. in Biomassekraftwerken

Eine Erzeugungsanlage kann aus einem einzelnen großen Generator oder aus mehreren Erzeugungseinheiten bestehen (z.B. Windpark).

Dieser Leitfaden gilt für neu beantragte Netzanschlüsse für EEG-Erzeugungsanlagen und für Anlagen, an denen wesentliche Änderungen durchgeführt werden, die eine Anpassung des Anschlussvertrages erfordern (z.B. Repowering).

## 1.2 Begriffe

Anlagenbetreiber

Im Sinne dieses Leitfadens der Betreiber einer → Anschlussanlage, die an ein Netz der öffentlichen Versorgung (→ Netzbetreiber) angeschlossen ist.

Anlagenflickerbeiwert  $c$

Eine anlagenspezifische, dimensionslose Größe, die zusammen mit den Einflussgrößen „Bemessungscheinleistung der Einzelanlage“ und „Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt“ die Höhe des am Verknüpfungspunkt von der Anlage erzeugten Flickers bestimmt.

Anlagenverantwortlicher	Eine Elektrofachkraft, die benannt ist, die unmittelbare Verantwortung für den Betrieb der elektrischen Anlage zu tragen. Erforderlichenfalls kann diese Verantwortung teilweise auf andere Personen übertragen werden, vgl. [12].
Anschlussanlage	Die Gesamtheit aller Betriebsmittel, die zum Anschluss von ein oder mehreren Erzeugungseinheiten an das Netz eines Netzbetreibers erforderlich ist
Anschlussnehmer	Ist jede natürliche oder juristische Person (Eigentümer), deren elektrische Anlage unmittelbar über einen Anschluss mit dem Netz des Netzbetreibers verbunden ist. Sie steht in einem Rechtsverhältnis zum Netzbetreiber.
Anschlusspunkt	Der Netzknoten, an dem die → Anschlussanlage an das Netz des Netzbetreibers angeschlossen ist. Der Anschlusspunkt hat vor allem Bedeutung im Zusammenhang mit der Netzplanung. Eine Unterscheidung zwischen Anschlusspunkt und Verknüpfungspunkt ist nicht in allen Fällen erforderlich.
Anschlusspunkt ferner Fehler	Ein Netzfehler, bei dem der Halbwelleneffektivwert keiner der verketteten Spannung am Anschlusspunkt auf einen Wert unter 70% der Nennspannung zusammenbricht.
Anschlusspunkt naher Fehler	Ein Netzfehler, bei dem der Halbwelleneffektivwert mind. einer verketteten Spannung am Anschlusspunkt auf einen Wert unter 70% der Nennspannung zusammenbricht.
Anschlusscheinleistung $S_A$	<p>Die Scheinleistung einer Erzeugungsanlage, die sich aus den höchsten Scheinleistungen der EZE zusammensetzt. In der Regel wird für die höchste Scheinleistung der EZE deren Bemessungscheinleistung <math>S_{FE}</math> eingesetzt. Bei WEA wird der 10-min-Mittelwert <math>S_{E_{max10min}}</math> der Einzelanlagen eingesetzt. Sie ist Grundlage für die Netzanschlussprüfung.</p> <p>Anmerkung: Bei manchen Anlagen kann während ihres Betriebes eine höhere als ihre Anschlusscheinleistung auftreten.</p>
Anschlusscheinleistung, vereinbarte Anschlusscheinleistung $S_{Av}$	Die vertraglich zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmer vereinbarte Anschlusscheinleistung.

Anschlusswirkleistung $P_A$	<p>Die Wirkleistung einer Erzeugungsanlage, die sich aus den höchsten Wirkleistungen der EZE zusammensetzt. In der Regel wird für die höchste Wirkleistung der EZE deren Bemessungsleistung (früher Nennleistung) eingesetzt. Bei WEA wird der 10-min-Mittelwert <math>P_{E_{\max 10\min}}</math> der Einzelanlagen eingesetzt. Sie wird in der Netzanschlussprüfung verwendet.</p> <p>Anmerkung: Bei manchen Anlagen kann während ihres Betriebes eine höhere als ihre Anschlusswirkleistung auftreten.</p>
AWE Automatische Wiedereinschaltung	<p>Von einer automatischen Einrichtung gesteuerte Wiedereinschaltung des einem fehlerbehafteten Teil des Netzes zugeordneten Leistungsschalters, mit der Erwartung, dass der Fehler während der Unterbrechungszeit verschwindet.</p>
Bemessungsscheinleistung $S_{rE}$	<p>Vom Hersteller angegebene Scheinleistung der EZE bei Nennbedingungen (z.B. Nennwindgeschwindigkeit bei Windenergieanlagen, Nennfallhöhe bei Wasserkraftanlagen).</p>
Bemessungsspannung $U_r$	<p>Spannung eines Gerätes oder einer Einrichtung, für die das Gerät oder die Einrichtung durch eine Norm oder vom Hersteller ausgelegt ist.</p>
Bemessungsstrom $I_r$	<p>Der Strom, der sich bei Bemessungsspannung aus der Bemessungsscheinleistung für die jeweilige Anlage oder Komponente ergibt.</p>
Betriebsspannung $U_b$	<p>Spannungen bei Normalbetrieb zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle des Netzes. In diesem Leitfaden der Effektivwert (10-min-Mittelwert) der verketteten Spannung.</p>
Betriebsspannung, höchste Betriebsspannung $U_{b\max}$	<p>Größter Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt.</p>
Betriebsspannung, niedrigste Betriebsspannung $U_{b\min}$	<p>Kleinster Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt.</p>
Blindleistung $Q$	<p>Produkt aus Scheinleistung und Sinus des Phasenverschiebungswinkels <math>\varphi</math>.</p>
Blindstrom $I_b$	<p>Anteil des Stromes mit einer Phasenlage von <math>\pm 90^\circ</math> zur Spannung am Anschlusspunkt.</p>

Blindstromeinspeisung	Einspeisung eines induktiven Stromanteils in das Netz mit 90° Phasenlage zur Spannung am Anschlusspunkt.
Erdungsschalter	Mechanisches Schaltgerät zum Erden von Teilen eines Stromkreises, das während einer bestimmten Dauer elektrischen Strömen unter anormalen Bedingungen, wie z. B. beim Kurzschluss, standhält, aber im üblichen Betrieb keinen elektrischen Strom führen muss.
Erzeugungsanlage (EZA)	Anlage, in der sich ein oder mehrere Erzeugungseinheiten elektrischer Energie befinden (einschließlich der Anschlussanlage) und alle zum Betrieb erforderlichen elektrischen Einrichtungen.
Erzeugungseinheit (EZE)	Eine einzelne Anlage zur Erzeugung elektrischer Energie gem. §2 EEG.
Erzeugungseinheit, selektiv entkoppelte EZE	Erzeugungseinheiten, die nur bei Nahfehlern durch die Schutzeinrichtungen vom Netz entkoppelt werden.
Erzeugungseinheit, unselektiv entkoppelte EZE	Erzeugungseinheiten, die bei nahen und fernen Netzfehlern durch die Schutzeinrichtungen vom Netz entkoppelt werden.
EZS	Erzeugerzählpfeilsystem, vgl. Kap. 7.2
Flicker	Spannungsschwankungen, die über die Wirkungskette elektrische Lampe – Auge – Gehirn den subjektiven Eindruck von Schwankungen der Leuchtdichte (der beleuchteten Objekte) hervorrufen.
Flicker, Anlagenflickerbeiwert $c$	Eine anlagenspezifische, dimensionslose Größe, die zusammen mit den Einflussgrößen „Bemessungsscheinleistung der Einzelanlage“ und „Kurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt“ die Höhe des am Verknüpfungspunkt von der Anlage erzeugten Flickers bestimmt.
Flicker, Langzeit-Flickerstärke $P_{lt}$	Größe zur Bewertung flickerwirksamer Spannungsschwankungen eines Zeitintervalls von 120 Minuten.  Anmerkung: Der Index „lt“ bedeutet dabei long term, Langzeit.
Flickerwirksamer Phasenwinkel $\varphi_f$	Arcustangens des Verhältnisses aus Blindleistungsschwankung $\Delta Q$ zu Wirkleistungsschwankung $\Delta P$ einer Erzeugungsanlage, $\varphi_f = \arctan(\Delta Q/\Delta P)$ .

Harmonische	→ Oberschwingung
HGÜ	Hochspannungs- Gleichstrom- Übertragung.
Hochspannungsnetz	Netz mit einer Nennspannung von 60 kV bis 110 kV.
Höchstspannungsnetz	Netz mit einer Nennspannung von mindestens 220 kV.
Kurzschlussleistung $S'_k$	Die für die Berechnung der Kurzschlussfestigkeit gem. [15] maßgebende Anfangs-Kurzschlusswechselstromleistung. $S'_k = \sqrt{3} * U_n * I''_k$
Kurzschlussleistung, Netz Kurzschlussleistung $S''_{kN}$	Die netzseitig anstehende Kurzschlussleistung, ohne den Anteil der anzuschließenden Erzeugungsanlage.
Kurzschlussleistung, Netz Kurzschlussleistung $S_{kV}$	Die für die Berechnung von Netzurückwirkungen maßgebende, auf dem Dauer-Kurzschlussstrom beruhende Kurzschlussleistung des Netzes am Verknüpfungspunkt.  Vgl. hierzu Literaturstelle [9]. Sie ist im allgemeinen niedriger als die Kurzschlussleistung, die zur Bemessung der Kurzschlussfestigkeit von Anlagen herangezogen wird.
Kurzschlussstrom $I''_k$	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom gemäß [15].
Langzeit-Flickerstärke $P_{lt}$	Größe zur Bewertung flickerwirksamer Spannungsschwankungen eines Zeitintervalls von 120 Minuten.  Anmerkung: Der Index „lt“ bedeutet dabei long term, Langzeit
Leistungsfaktor $\lambda$	Das Verhältnis des Betrages der Wirkleistung $P$ zur Scheinleistung $S$ : $\lambda = \frac{ P }{S}$ Dabei bezieht $\lambda$ sich genauso wie $P$ und $S$ auf die Effektivwerte jeweils der gesamten Wechselgröße, also auf die Summe ihrer Grundschwingung und aller Oberschwingungen.
Nennspannung $U_n$	Die Spannung, durch die ein Netz oder eine Anlage bezeichnet oder identifiziert wird.
Netzbetreiber	Der Betreiber eines Netzes der allgemeinen Versorgung für elektrische Energie.

Netzimpedanzwinkel $\psi_k$	Arcustangens des Verhältnisses aus Reaktanz $X_k$ zu Widerstand $R_k$ der Kurzschlussimpedanz am betrachteten Netzpunkt, $\psi_k = \arctan(X_k/R_k)$ .
Netzkurzschlussleistung $S''_{kN}$	Die netzseitig anstehende Kurzschlussleistung, ohne den Anteil der anzuschließenden Erzeugungsanlage.
Netzkurzschlussleistung $S_{kV}$	Die für die Berechnung von Netzurückwirkungen maßgebende, auf dem Dauerkurzschlussstrom beruhende Kurzschlussleistung des Netzes am Verknüpfungspunkt  Vgl. hierzu Literaturstelle [9]. Sie ist im allgemeinen niedriger als die Kurzschlussleistung, die zur Bemessung der Kurzschlussfestigkeit von Anlagen herangezogen wird.
Oberschwingung (Harmonische)	Sinusförmige Schwingung, deren Frequenz ein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz (50 Hz) ist.
Phasenwinkel, flickerwirksamer Phasenwinkel $\varphi_f$	Arcustangens des Verhältnisses aus Blindleistungsschwankung $\Delta Q$ zu Wirkleistungsschwankung $\Delta P$ einer Erzeugungsanlage, $\varphi_f = \arctan(\Delta Q/\Delta P)$ .
Referenzleistung $S_0$	Bezugswert für die Beurteilung von Netzurückwirkungen.
Rückfallverhältnis	Das Verhältnis des Rückfallwertes einer charakteristischen Größe bei einem Schutzrelais zum Ansprechwert dieser Größe, beispielsweise $U_{rück}/U_{an}$ bei einem Spannungsrelais.
Scheinleistung $S$	Die Scheinleistung einer EZE ist das Produkt aus Betriebsspannung, Effektivwert der elektrischen Stromstärke und dem Faktor $\sqrt{3}$ .  Für die elektrische Auslegung der EZE ist die Bemessungsscheinleistung maßgebend.
Scheinleistung, Anschlussscheinleistung $S_A$	Die Scheinleistung einer Erzeugungsanlage, die sich aus den höchsten Scheinleistungen der EZE zusammensetzt. In der Regel wird für die höchste Scheinleistung der EZE deren Bemessungsscheinleistung $S_{FE}$ eingesetzt. Bei WEA wird der 10-min-Mittelwert $S_{E\max10\min}$ der Einzelanlagen eingesetzt. Sie ist Grundlage für die Netzanschlussprüfung.  Anmerkung: Bei manchen Anlagen kann während ihres Betriebes eine höhere als ihre Anschlussscheinleistung auftreten.

Scheinleistung, vereinbarte Anschlusscheinleistung $S_{AV}$	Die vertraglich zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmer vereinbarte Anschlusscheinleistung.
Scheinleistung, Bemessungsscheinleistung $S_{rE}$	Vom Hersteller angegebene Scheinleistung der EZE bei Nennbedingungen (z.B. Nennwindgeschwindigkeit bei Windenergieanlagen, Nennfallhöhe bei Wasserkraftanlagen).
Schutzeinrichtung	Einrichtung, die ein oder mehrere Schutzrelais sowie, soweit erforderlich, Logikbausteine enthält, um eine oder mehrere vorgegebene Schutzfunktionen auszuführen. Anmerkung: Eine Schutzeinrichtung ist Teil eines Schutzsystems.  (IEC-Wörterbuch 60 050-448).
Schutzsystem	Anordnung aus einer oder mehreren Schutzeinrichtungen sowie weiteren Geräten, die vorgesehen sind, um eine oder mehrere vorgegebene Schutzfunktionen auszuführen.  Ein Schutzsystem umfasst eine oder mehrere Schutzeinrichtungen, Messwandler, Verdrahtung, Ausschaltstromkreis, Hilfsspannungsversorgung sowie, sofern vorgesehen, Informationssysteme.
Spannung, Bemessungsspannung $U_r$	Spannung eines Gerätes oder einer Einrichtung, für die das Gerät oder die Einrichtung durch eine Norm oder vom Hersteller ausgelegt ist.
Spannung, Betriebsspannung $U_b$	Spannungen bei Normalbetrieb zu einem bestimmten Zeitpunkt an einer bestimmten Stelle des Netzes. In diesem Leitfaden der Effektivwert (10-min-Mittelwert) der verketteten Spannung.
Spannung, höchste Betriebsspannung $U_{bmax}$	Größter Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt.
Spannung, niedrigste Betriebsspannung $U_{bmin}$	Kleinster Wert der Betriebsspannung, der zu einer beliebigen Zeit an einem beliebigen Punkt des Netzes bei Normalbetrieb auftritt.
Spannung, Nennspannung $U_n$	Die Spannung, durch die ein Netz oder eine Anlage bezeichnet oder identifiziert wird.
Spannung, Versorgungsspannung $U_c$	Die auf der Unterspannungsseite eines Transformators im Netz der Erzeugungsanlage geregelte Betriebsspannung.

Spannung, Vorgabespannung $U_{00}$	Ein Spannungswert, der einer Erzeugungsanlage vom Netzbetreiber bei einer Spannungs-Blindleistungskennlinie vorgegeben wird. Wenn die Vorgabespannung gleich der momentanen Spannung des Netzes ist, wird am Anschlusspunkt keine Blindleistung ausgetauscht.
Spannungsänderung $\Delta U_{\max}$	<p>Maximale Differenz zwischen Effektivwerten der Spannung während eines Vorganges.</p> <p>Bei Angabe einer relativen Spannungsänderung wird die Spannungsänderung der verketteten Spannung auf die Betriebsspannung des Netzes bezogen:</p> $\Delta u = \frac{\Delta U_{\max}}{U_b}$
Spannungsband	Spannungswerte zwischen einem oberen und unteren Grenzwert der Betriebsspannung des Netzes.
Spannungseinbruch	Differenz zwischen Betriebsspannung und Halbschwingungs-Effektivwert der verketteten Spannung während eines Fehlers.
Strom, Bemessungsstrom $I_r$	Der Strom, der sich bei Bemessungsspannung aus der Bemessungsscheinleistung für die jeweilige Anlage oder Komponente ergibt.
Strom, Blindstrom $I_b$	Anteil des Stromes mit einer Phasenlage von $\pm 90^\circ$ zur Spannung am Anschlusspunkt.
Strom, Kurzschlussstrom $I''_k$	Anfangs-Kurzschlusswechselstrom gemäß [15].
Übererregt	Der übererregte Betriebszustand eines Synchrongenerators ist dadurch gekennzeichnet, dass der Generator induktive Blindleistung an das Netz abgibt, in Bezug auf das Netz wirkt er also wie eine Kapazität (vgl. Kap. 7.2) [10].
Übergabepunkt	<p>Der Netzpunkt, der die Grenze zwischen dem Verantwortungsbereich des Netzbetreibers und dem des Betreibers der Anschlussanlage bildet.</p> <p>Der Übergabepunkt hat vor allem Bedeutung für die Betriebsführung. Er ist nicht in jedem Fall identisch mit der Eigentums-grenze.</p>

Untererreget	Der untererregete Betriebszustand eines Synchrongenerators ist dadurch gekennzeichnet, dass der Generator induktive Blindleistung aus dem Netz aufnimmt, in Bezug auf das Netz wirkt er wie eine Induktivität (vgl. Kap. 7.2) [10].
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber.
Verknüpfungspunkt	Der Verknüpfungspunkt ist die der Anschlussanlage am nächsten gelegene Stelle im öffentlichen Netz, an der weitere Anschlussnehmer angeschlossen sind oder angeschlossen werden können. In der Regel ist er gleich dem Anschlusspunkt.
Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$	In diesem Leitfaden der Kosinus des Phasenwinkels zwischen den Grundschwingungen der Spannung und des Stromes.
Versorgungsspannung $U_C$	Die auf der Unterspannungsseite eines Transformators im Netz der Erzeugungsanlage geregelte Betriebsspannung.
Vorgabespannung $U_{00}$	Ein Spannungswert, der einer Erzeugungsanlage vom Netzbetreiber bei einer Spannungs-Blindleistungskennlinie vorgegeben wird. Wenn die Vorgabespannung gleich der momentanen Spannung des Netzes ist, wird am Anschlusspunkt keine Blindleistung ausgetauscht.
VNB	Verteilungsnetzbetreiber.
VZS	Verbraucherzählpfeilsystem, vgl. Kap. 7.2
WEA	Windenergieanlage.
Wirkleistung, Anschlusswirkleistung $P_A$	Die Wirkleistung einer Erzeugungsanlage, die sich aus den höchsten Wirkleistungen der EZE zusammensetzt. In der Regel wird für die höchste Wirkleistung der EZE deren Bemessungsleistung (früher Nennleistung) eingesetzt. Bei WEA wird der 10-min-Mittelwert $P_{E_{\max}10\min}$ der Einzelanlagen eingesetzt. Sie wird in der Netzanschlussprüfung verwendet.  Anmerkung: Bei manchen Anlagen kann während ihres Betriebes eine höhere als ihre Anschlusswirkleistung auftreten.
Zwischenharmonische	Sinusförmige Schwingung, deren Frequenz kein ganzzahliges Vielfaches der Grundfrequenz (50 Hz) ist. Zwischenharmonische können auch im Frequenzbereich zwischen 0 Hz und 50 Hz auftreten.

### 1.3 Bestimmungen und Vorschriften

Die Erzeugungsanlage ist unter Beachtung der jeweils gültigen Bestimmungen und Vorschriften so zu errichten und zu betreiben, dass sie für den Parallelbetrieb mit dem Netz des Netzbetreibers geeignet ist und unzulässige Rückwirkungen auf das Netz oder andere Kundenanlagen ausgeschlossen werden. Dazu gehört u. a. auch, dass die vereinbarte maximale Anschlusscheinleistung  $S_{Av}$  nicht überschritten wird.

Für die Errichtung und den Betrieb der elektrischen Anlagen sind mindestens einzuhalten:

- die jeweils gültigen gesetzlichen und behördlichen Vorschriften,
- die gültigen DIN-EN-Normen und DIN-VDE-Normen<sup>1</sup>,
- die Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften der zuständigen Berufsgenossenschaften,
- die Bestimmungen und Richtlinien des Netzbetreibers.

Der Anschluss an das Netz ist im Einzelnen mit dem Netzbetreiber abzustimmen.

Planung, Errichtung und Anschluss der Erzeugungsanlage an das Netz des Netzbetreibers sind durch geeignete Fachfirmen vorzunehmen.

Der Netzbetreiber kann Änderungen und Ergänzungen an zu errichtenden oder bestehenden Anlagen fordern, soweit dies aus Gründen der sicheren und störungsfreien Versorgung notwendig ist.

### 1.4 Anmeldeverfahren und anschlussrelevante Unterlagen

Im Laufe der Anfrage, der netztechnischen Prüfung und für die Anschlussangebotserarbeitung sind aussagefähige Unterlagen beim Netzbetreiber einzureichen. Hierzu zählen beispielsweise:

- Lageplan, aus dem die Bezeichnung und die Grenzen des Grundstücks sowie der Aufstellungsort der Anschlussanlage und der Erzeugungseinheiten hervorgehen,
- Datenblatt mit den technischen Daten der Erzeugungsanlage (s. Mustervorlage in Abschnitt 8.2),
- Übersichtsschaltplan der gesamten elektrischen Anlage mit den Daten der eingesetzten Betriebsmittel (eine einpolige Darstellung ist ausreichend), ggf. Angaben über

kundeneigene Mittelspannungs-Leitungsverbindungen, Kabellängen und Schaltanlagen, Übersichtsbild des Schutzes der Erzeugungsanlage mit Einstellwerten,

- Angaben über die Kurzschlussfestigkeit der Betriebsmittel in der Anschlussanlage,
- elektrische Daten des/der für die Netzeinbindung verwendeten Transformators/en, d. h.: Bemessungsleistung, Übersetzungsverhältnis, relative Kurzschlussspannung, Schaltgruppe, Stufenschalter, Eisen- und Kupferverluste etc.,
- Kurzschlussstrom der Erzeugungsanlage (ggf. zeitlicher Verlauf) am Übergabepunkt zum Netz des Netzbetreibers,
- Beschreibung der Art und Betriebsweise von Antriebsmaschine, Generator und gegebenenfalls Wechselrichter bzw. Frequenzumrichter und der Art der Zuschaltung zum Netz an Hand von Datenblättern oder Prüfprotokollen,
- bei Wechselrichtern und Frequenzumrichtern: Prüfprotokoll o. ä. der zu erwartenden Oberschwingungsströme und der Zwischenharmonischen,
- Nachweis der elektrischen Eigenschaften gem. Kapitel 4 dieses Leitfadens.

---

<sup>1</sup> Werden andere Normen zugrunde gelegt, so ist eine entsprechende Konformitätserklärung vorzulegen.

## 2 Netzanschluss

### 2.1 Grundsätze für die Festlegung des Anschlusspunktes

Erzeugungsanlagen sind an einem geeigneten Punkt im Netz, dem Anschlusspunkt, anzuschließen.

An Hand der eingereichten technischen Dokumentation zum Netzanschluss prüft der Netzbetreiber, ob die am geplanten Anschlusspunkt vorhandenen technischen Voraussetzungen ausreichen, die Erzeugungsanlage ohne Gefährdung des sicheren Netzbetriebs am Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz zu betreiben und die beantragte Leistung aufzunehmen und zu übertragen. Entscheidend für eine Netzanschlussbeurteilung ist stets das Verhalten der Erzeugungsanlage an dem Anschlusspunkt.

Die zulässige Einspeiseleistung am Anschlusspunkt (Anschlusswirkleistung) wird vom Netzbetreiber nach Stellung des Netzanschlussantrags durch den Anschlussnehmer im Ergebnis der Netzanschlussprüfung festgelegt und darf nicht überschritten werden. Diese Prüfung erfolgt nach dem (n-1)-Prinzip für die Verfügbarkeit des Netzes unter Berücksichtigung des betriebsüblichen Schaltzustandes.

Die Erzeugungsanlage wird üblicherweise nicht (n-1)-sicher angebunden.

Anmerkung: Dies bedeutet beispielsweise, dass bei einem Stichanschluss die EZA nicht betrieben werden kann, wenn auf der zugehörigen Leitung Wartungsarbeiten stattfinden.

In Übereinstimmung mit der „Vorläufigen Handlungsgrundlage“ [17] der „Clearingstelle gemäß EEG“ erfolgt die Festlegung des Anschlusspunktes nach dem Grundsatz der Minimierung aller Kosten des Netzanschlusses und des Netzausbaus, unabhängig von der Kostentragungspflicht.

Für den Netzanschluss sind folgende technische Daten abzustimmen:

- Anschlusswirkleistung der EZA,
- Isolationskoordination,
- Schutzkonzept und Einstellwerte,
- Maximale und minimale Kurzschlussleistungen,
- Parallelschaltbedingungen,
- Oberschwingungs- und Flickeranteil,
- Sternpunktbehandlung,

- Höchste und niedrigste Dauerbetriebsspannung sowie Dauer und Höhe der kurzzeitigen Über- bzw. Unterschreitung,
- Art und Umfang des Blindleistungsaustauschs,
- Mess- Zähl- und Informationstechnik.

Anschlussbeispiele befinden sich in Kapitel 6.

## 2.2 Bemessung der Netzbetriebsmittel

Erzeugungsanlagen können durch ihre Betriebsweise eine höhere Belastung von Leitungen, Transformatoren und anderen Betriebsmitteln des Netzes verursachen. Daher ist eine Überprüfung der Belastungsfähigkeit im Hinblick auf die angeschlossenen Erzeugungsanlagen nach den einschlägigen Bemessungsvorschriften erforderlich. In der Regel wird für die thermische Belastung der Netzbetriebsmittel die Anschlussscheinleistung der Erzeugungsanlage zugrunde gelegt. Dabei dürfen Betriebsmittel des Netzes sowohl im Normalschaltzustand als auch bei den relevanten Ausfallszenarien thermisch nicht überlastet werden.

Weitere Informationen bezüglich der (n-1)-Planungsgrundlage für das Netz des Netzbetreibers und zur Betriebsführung sind im TransmissionCode [3] aufgeführt.

## 2.3 Zulässiges Spannungsband im ungestörten Betrieb des Netzes

Die in den einzelnen Spannungsebenen maximal zulässige Betriebsspannung zeigt Tabelle 2.3-1. Die Höhe der minimal zulässigen Betriebsspannung im Hochspannungsnetz wird dadurch bestimmt, dass die nach EN 50160 zulässigen Spannungsbänder in den öffentlichen Mittel- und Niederspannungsnetzen eingehalten werden müssen. Einzelheiten zum Kurzzeitbetrieb etc. siehe TransmissionCode [3].

Spannungsebene*)	Maximalspannung Kurzzeitbetrieb	$U_{bmax}$ höchste Betriebsspannung im Normalbetrieb	$U_{bmin}$ niedrigste Betriebsspannung im Normalbetrieb	Minimalspannung Kurzzeitbetrieb
380 kV	440 kV	420 kV	360 kV	350 kV
220 kV	253 kV	245 kV	210 kV	193 kV
110 kV	127 kV	123 kV	100 kV**) )	96 kV

\*) Nennspannung

\*\*) in küstennahen Gebieten auch 96 kV

### Tabelle 2.3-1 Zulässige Betriebsspannungen

Bei Netzstörungen können größere bzw. kleinere Spannungen als in Tabelle 2.3-1 dargestellt am Anschlusspunkt auftreten.

Anmerkung: Zur Einhaltung des zulässigen Spannungsbandes ist am Anschlusspunkt eine definierte Blindleistungsbereitstellung erforderlich. Details siehe Kap. 3.6.

## 2.4 Netzurückwirkungen

### 2.4.1 Schaltbedingte Spannungsänderungen

#### 2.4.1.1 Ungestörter Betrieb

Um unzulässige Netzurückwirkungen zu vermeiden, müssen sprunghafte Spannungsänderungen durch Schaltvorgänge am Verknüpfungspunkt von Erzeugungsanlagen auf folgende Werte begrenzt werden:

Schaltungen von einzelnen Erzeugungseinheiten (z.B. einzelne WEA):

$$\Delta u_{max} \leq 0,5\% \quad (2.4.1-1)$$

Schaltungen der gesamten Anlage (z.B. Windpark):

$$\Delta u_{max} \leq 2\% \quad (2.4.1-2)$$

#### 2.4.1.2 Gestörter Betrieb

Für störungsbedingte Schaltungen der Anlage gilt folgende Bedingung:

$$\Delta u_{max} \leq 5\% \quad (2.4.1-3)$$

### 2.4.2 Langzeitflicker

Für die Anschlussbeurteilung einer oder mehrerer Erzeugungsanlagen an einem Verknüpfungspunkt ist im Hinblick auf flickerwirksame Spannungsschwankungen folgende Langzeitflickerstärke am Verknüpfungspunkt einzuhalten:

$$P_{lt} \leq 0,37 \quad (2.4.2-1)$$

Die Langzeitflickerstärke  $P_{lt}$  einer Einzelanlage kann mittels ihres Anlagenflickerbeiwertes  $c$  abgeschätzt werden zu:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \quad (2.4.2-2)$$

mit  $S_{rE}$  : Bemessungsscheinleistung der Einzelanlage  
 $c$ : Anlagenflickerbeiwert

Wenn der nach Gleichung (2.4.2-2) berechnete  $P_{lt}$ -Wert größer als 0,37 ist, können die Phasenwinkel nach folgender Formel in die Berechnung einbezogen werden:

$$P_{lt} = c \cdot \frac{S_{rE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi_f)| \quad (2.4.2-3)$$

Der flickerwirksame Phasenwinkel  $\varphi_f$  ist immer positiv. Der Winkel  $\psi_{kV}$  bezieht sich auf die Kurzschlussimpedanz am Verknüpfungspunkt im Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz.

Bei einer Erzeugungsanlage mit mehreren Einzelanlagen ist  $P_{lt i}$  für jede Einzelanlage getrennt zu berechnen und daraus ein resultierender Wert für den Flickerstörfaktor am Verknüpfungspunkt nach folgender Formel zu bestimmen:

$$P_{lt res} = \sqrt{\sum_i P_{lt i}^2} \quad (2.4.2-4)$$

Bei einer Erzeugungsanlage, die aus  $n$  gleichen Einzelanlagen besteht, ist der resultierende Wert für den Flickerstörfaktor:

$$P_{lt res} = \sqrt{n} \cdot P_{lt einzel} \quad (2.4.2-5)$$

### 2.4.3 Oberschwingungen und Zwischenharmonische

Oberschwingungen entstehen vor allem bei Erzeugungsanlagen mit Wechselrichtern oder Frequenzumrichtern. Die von einer solchen Anlage erzeugten Oberschwingungsströme sind vom Hersteller zu dokumentieren, z.B. durch den Bericht einer Typprüfung. Oberschwingungen und Zwischenharmonische entstehen auch, wenn Erzeugungsanlagen über eine HGÜ

mit dem Hochspannungsnetz verbunden werden, z.B. bei Off-shore-Anlagen. Der Hersteller der HGÜ hat die erzeugten Oberschwingungen und Zwischenharmonische für Frequenzen bis 10 kHz anzugeben.

Zur Bestimmung der durch Erzeugungsanlagen verursachten Oberschwingungsspannungen sind im Prinzip alle in dem betreffenden Netz angeschlossenen Oberschwingungserzeuger phasenrichtig zu überlagern. Dies erfordert einen hohen Aufwand an Berechnungen, da die Hochspannungsnetze insbesondere in der Übertragungsebene weit vermascht sind und die gewünschte Genauigkeit aufgrund der im Detail wenig bekannten Eingabedaten und Modelle nicht ohne weiteres erreichbar ist. Es wurde daher vereinfachend angenommen, dass sich nur die Oberschwingungsströme der an einer Umspannanlage oder einem Leitungsabschnitt (Leitung zwischen zwei Umspannanlagen) angeschlossenen Erzeugungsanlagen überlagern. Die Überlagerung von Erzeugungsanlagen, die an unterschiedlichen Umspannanlagen oder Leitungsabschnitten angeschlossen sind, wird dagegen nicht berücksichtigt. Tabelle 2.4.3-1 zeigt die zulässigen Werte für die insgesamt an einer Umspannanlage oder einen Leitungsabschnitt eingespeisten Oberschwingungsströme bezogen auf die Netzkurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt der Erzeugeranlage.

Ordnungszahl $v, \mu$	Zulässiger, bezogener Oberschwingungsstrom $i_{v,\mu \text{ zul}}$ in A/GVA		
	110-kV-Netz	220-kV-Netz	380-kV-Netz
5	2,6	1,3	0,74
7	3,75	1,9	1,1
11	2,4	1,2	0,68
13	1,6	0,8	0,46
17	0,92	0,46	0,26
19	0,70	0,35	0,20
23	0,46	0,23	0,13
25	0,32	0,16	0,09
>25 oder geradzahlig	5,25/ $v$	2,6/ $v$	1,5/ $v$
$\mu < 40$	5,25/ $\mu$	2,6/ $\mu$	1,5/ $\mu$
$\mu > 40$ <sup>1)</sup>	16/ $\mu$	8/ $\mu$	4,5/ $\mu$

1) ganzzahlig und nicht ganzzahlig innerhalb einer Bandbreite von 200 Hz

**Tabelle 2.4.3-1** Auf die Netzkurzschlussleistung bezogene zulässige Oberschwingungsströme, die insgesamt in das Hochspannungsnetz eingespeist werden dürfen.

Anmerkung: Für Oberschwingungen der durch drei teilbaren Ordnungszahlen können die in der Tabelle für die nächstgelegene Ordnung angegebenen Werte zugrunde gelegt werden.

Die zulässigen Oberschwingungsströme einer Erzeugungsanlage ergeben sich dann für Oberschwingungen bis zur 13. Ordnung wie folgt:

$$I_{v\text{-zul}} = i_{v,\mu\text{-zul}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_0} \quad (2.4.3-1)$$

für Oberschwingungen oberhalb der 13. Ordnung sowie für Zwischenharmonische:

$$I_{v,\mu\text{-zul}} = i_{v,\mu\text{-zul}} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}} \quad (2.4.3-2)$$

mit

$I_{v,\mu\text{ zul}}$	zulässiger Oberschwingungsstrom der Erzeugungsanlage
$i_{v,\mu\text{ zul}}$	zulässiger, bezogener Oberschwingungsstrom nach Tabelle 2.4.3-1
$S_{kV}$	Netzkurzschlussleistung am Verknüpfungspunkt
$S_A$	Anschlussscheinleistung der Erzeugungsanlage
$S_0$	Referenzleistung

Oberschwingungsströme und Zwischenharmonische oberhalb der 13. Ordnung müssen nicht berücksichtigt werden, wenn die Leistung des größten einspeisenden Umrichters kleiner als 1/100 der Netzkurzschlussleistung am Anschlusspunkt ist.

Wenn die Erzeugungsanlage an einem Leitungsabschnitt zwischen zwei Umspannwerken angeschlossen ist, wird für die Referenzleistung  $S_0$  die thermische Grenzleistung dieses Leitungsabschnitts angesetzt. Bei Anschluss der Erzeugungsanlage direkt oder über eine kundeneigene Leitung an eine Umspannanlage ist für  $S_0$  die maximal an die Umspannanlage anschließbare Erzeugungsleistung einzusetzen.

Die Einhaltung der zulässigen Rückwirkungsströme gemäß den Gleichungen 2.4.3-1 und 2.4.3-2 kann durch Messung des Gesamtstromes am Verknüpfungspunkt oder durch Berechnung aus den Strömen der angeschlossenen Einzelanlagen nachgewiesen werden. Bezüglich der Addition von Oberschwingungsströmen aus Einzelanlagen gelten die Gleichungen in Kap. 7.5.2. Messungen von Oberschwingungsströmen und Zwischenharmonischen sind gemäß EN 61000-4-7 durchzuführen.

Oberschwingungsströme, die getrieben durch eine verzerrte Netzspannung in die Erzeugungsanlage fließen (z. B. in Filterkreise), werden nicht der Erzeugungsanlage zugerechnet.

#### 2.4.4 Rückwirkungen auf Tonfrequenz-Rundsteueranlagen

Tonfrequenz-Rundsteueranlagen (TRA) werden üblicherweise mit Frequenzen zwischen ca. 100 und 1000 Hz betrieben. Einspeisungen im Mittel- oder Hochspannungsbereich sind möglich. Die örtlich verwendete Rundsteuerfrequenz und die Einspeiseebene sind beim Netzbetreiber zu erfragen. Die Sendepegel der Tonfrequenzimpulse liegen normalerweise bei etwa 1 % bis 4 %  $U_n$ .

Rundsteueranlagen werden für eine Belastung dimensioniert, die der 50-Hz-Bemessungsleistung des Versorgungsnetzes entspricht, in das die Einspeisung der Steuerspannung erfolgt. Falls die Tonfrequenzeinspeisung im Hochspannungsnetz erfolgt, können ebenfalls im HS-Netz angeschlossene Erzeugungsanlagen die Rundsteuerung beeinflussen. Diese Beeinflussungen können unzulässige Steuerpegeländerungen am Verknüpfungspunkt verursachen.

Bei Berücksichtigung der Impedanzen von Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen ist davon auszugehen, dass der Pegel der Tonfrequenzspannung am Verknüpfungspunkt durch den Anschluss der Erzeugungsanlagen um nicht mehr als 5% abgesenkt werden darf.

Bei dieser Pegelabsenkung durch Erzeugungsanlagen sind folgende Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

Erzeugungsanlagen, die über Umrichter ohne Filterkreise in das Netz einspeisen, verursachen in der Regel keine merkliche Absenkung des Rundsteuerpegels. Bei vorhandenen Filterkreisen oder Kompensationskondensatoren ist zu überprüfen, ob sich auf Grund der Kurzschlussreaktanz des Transformators eine Serienresonanz ergibt, die zu unzulässigen Saugwirkungen bei der Tonfrequenz führen kann.

Erzeugungsanlagen, bei denen Synchron- oder Asynchrongeneratoren über einen Transformator in das Netz einspeisen, verursachen eine umso geringere Absenkung, je höher die Kurzschlussreaktanzen von Generator und Transformator sind und je höher die Rundsteuerfrequenz und die Kurzschlussleistung des Netzes ist.

In einigen Fällen kann die Installation einer Tonfrequenz-Sperre notwendig werden.

Neben der Begrenzung der Pegelabsenkung dürfen auch keine unzulässigen Störspannungen erzeugt werden. Dies gilt unabhängig von der Einspeiseebene der Tonfrequenzsignale.

Im Einzelnen gilt:

Die von einer Erzeugungsanlage verursachte Störspannung, deren Frequenz der örtlich verwendeten Rundsteuerfrequenz entspricht oder in deren unmittelbarer Nähe liegt, darf den Wert von 0,1 %  $U_n$  nicht übersteigen.

Die von einer Erzeugungsanlage verursachte Störspannung, deren Frequenz auf den Nebenfrequenzen von  $\pm 100$  Hz zur örtlich verwendeten Rundsteuerfrequenz oder dazu in unmittelbarer Nähe liegt, darf am Verknüpfungspunkt nicht mehr als 0,3 %  $U_n$  betragen.

Diese Grenzwerte sowie nähere Einzelheiten können [14] entnommen werden.

Falls eine Erzeugungsanlage den Betrieb der Rundsteueranlagen unzulässig beeinträchtigt, sind vom Betreiber der Erzeugungsanlage in Abstimmung mit dem Netzbetreiber Maßnahmen zur Beseitigung zu treffen. Dies gilt auch dann, wenn die Beeinträchtigungen zu einem späteren Zeitpunkt festgestellt werden.

## 2.5 Verhalten bei Störungen im Netz

Das Verhalten der Erzeugungsanlage bei Störungen im Netz ist entscheidend für die Stabilität des Verbundnetzes. Die Anforderungen an das Verhalten der EEG-Erzeugungseinheiten im Störfall werden permanent weiterentwickelt und den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst. Sie werden im TransmissionCode [3] veröffentlicht und sind diesem Leitfaden als Beiblatt „Verhalten von EEG-Erzeugungsanlagen bei Störungen im Netz“ beigelegt.

### 2.5.1 Kurzschlussstrombeitrag

Störungen im Netz, z.B. Kurzschlüsse durch atmosphärische Einwirkungen, können nicht verhindert werden.

Die thermische und dynamische Kurzschlussfestigkeit und das Ausschaltvermögen der Leistungsschalter setzen die Einhaltung der maximal zulässigen Kurzschlussströme im gesamten Netz und in jedem möglichen Fehlerfall voraus.

Durch den Betrieb einer Erzeugungsanlage wird der Kurzschlussstrom des Netzes insbesondere in der Umgebung des Anschlusspunktes um den Kurzschlussstrom der Erzeugungsanlage erhöht. Die Angabe der zu erwartenden Kurzschlussströme der Erzeugungsanlage am Anschlusspunkt hat daher mit dem Antrag zum Netzanschluss zu erfolgen.

Wird durch die Erzeugungsanlage der Kurzschlussstrom im Hochspannungsnetz über den Bemessungswert erhöht, so sind zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmer geeignete Maßnahmen, wie die Begrenzung des Kurzschlussstromes aus der Erzeugungsanlage oder die Ertüchtigung der Netzbetriebsmittel, zu vereinbaren.

## 3 Ausführung der Anlage

### 3.1 Anschlussanlage

Der Anschluss der Erzeugungsanlage an das Netz des Netzbetreibers erfolgt über eine Anschlussanlage. In diesem Leitfaden werden technische und organisatorische Grundsätze für die Anschlussanlage beschrieben. Sie gelten unabhängig von den Eigentumsgrenzen zwischen den Partnern. Einzelheiten hierzu werden jeweils zwischen Netzbetreiber und dem Betreiber der Erzeugungsanlage festgelegt. Der Übergabepunkt stellt die Grenze des Verantwortungsbereichs zwischen Netzbetreiber und Anlagenbetreiber dar.

Für die Errichtung der Anschlussanlage sind die gesetzlichen Bestimmungen von Hochspannungsanlagen einzuhalten, insbesondere wird auf DIN VDE 0101 hingewiesen.

Der Platzbedarf für Einrichtungen des Netzbetreibers, die für den Anschluss der Erzeugungsanlage erforderlich sind (z.B. Sekundärtechnik, Kombiwandler etc.), wird vom Anschlussnehmer zur Verfügung gestellt.

### 3.2 Primäranlage

Der Anschluss an Hoch- und Höchstspannungsnetze erfolgt gemäß den örtlichen Netzbedingungen

- als Stich an eine Leitung (in der Regel nur in Hochspannungsnetzen),
- als Feld an eine Schaltanlage oder
- als Einschleifung in eine bestehende Leitung.

Beispiele für Anschlussanlagen sind in Kapitel 6 aufgeführt. In Kapitel 3.2.1 und 3.2.2 ist die Mindestausstattung an Betriebsmitteln aufgeführt, die für den sicheren Betrieb des Netzes des Netzbetreibers erforderlich ist.

Die Anschlussanlage erhält Leistungsschalter. Das Kurzschlusschaltvermögen wird vom Netzbetreiber vorgegeben. Der Schalter dient sowohl betrieblichen Schaltungen als auch Abschaltungen des Kurzschlussstromes aus dem Netz bei Fehlern in der Erzeugungsanlage und zum Abschalten des Kurzschlussstromanteils der Erzeugungsanlage bei Fehlern im Netz. Auf diesen Schalter wirken sowohl Schutzeinrichtungen der Erzeugungsanlage als auch die Netzschutzeinrichtungen des Netzbetreibers.

Elektrische Anlagen müssen so ausgelegt, konstruiert und errichtet werden, dass sie den mechanischen und thermischen Auswirkungen eines Kurzschlussstromes sicher standhalten können [16]. Der Nachweis der Kurzschlussfestigkeit für die gesamte Anschlussanlage ist vom Anschlussnehmer zu erbringen. Hierzu werden ihm der Kurzschlussstrom und die Fehlerklärungszeit aus dem Netz des Netzbetreibers am Verknüpfungspunkt angegeben.

Der mit dem Netz des Netzbetreibers galvanisch verbundene Teil der Kundenanlage muss über einen wirksamen Überspannungs- und Blitzschutz verfügen.

Der HS/MS-Transformator der Anschlussanlage sollte über einen ausreichenden Regelbereich und über einen Spannungsregler verfügen, um in allen Betriebsbereichen der Anlage auf der Mittelspannungsseite das Spannungsband des Hochspannungsnetzes ausregeln zu können. Die Ausführung des Transformators (Schaltgruppe, Stufenstellbereich, Kurzschlussimpedanzen, max. Einschaltstrom, etc.) ist mit dem Netzbetreiber abzustimmen.

Der Netzbetreiber stellt dem Anschlussnehmer zur Dimensionierung seiner Anlage folgende Daten zur Verfügung. Bei Kurzschlussströmen wird jeweils der Netzanteil (ohne den Beitrag der EZA) angegeben:

- Anfangskurzschlusswechselstrom
 

3pol. Kurzschlussstrom	$I''_{k3}$
1pol. Kurzschlussstrom (Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung)	$I''_{k1}$
Doppelerdschlussstrom (Netze mit Erdschlusskompensation)	$I''_{KEE}$
- Fehlerklärungszeit des Hauptschutzes  $t_F$

Anmerkung: Ggf. sind auch die minimalen Kurzschlussströme anzugeben.

Die Ausführung der Verschmutzungsstufe richtet sich nach den jeweiligen örtlichen Gegebenheiten.

### 3.2.1 Übergabepunkt Leitung

In der Anschlussanlage sind mindestens folgende Geräte zu installieren:

- leitungsseitige Spannungswandler (falls vom Netzbetreiber gefordert),
- Leitungserdungsschalter,
- Trennschalter,
- Leistungsschalter,
- Strom- und ggf. Spannungswandler für Mess-, Schutz- und Zähleinrichtungen.

### 3.2.2 Übergabepunkt Schaltanlage

In der Anschlussanlage sind mindestens folgende Geräte zu installieren:

- Sammelschientrennschalter,
- Leistungsschalter,
- Strom- und Spannungswandler für Mess-, Schutz- und Zähleinrichtungen.

### 3.2.3 Sternpunktbehandlung

Die Beschaltung des überspannungsseitigen Sternpunktes aller mit dem Netz des Netzbetreibers galvanisch verbundenen Transformatoren wird vom Netzbetreiber festgelegt. In der Regel wird der Transformatorsternpunkt der Erzeugungsanlage in gelöst betriebenen Netzen isoliert betrieben. In wirksam geerdeten Netzen kann – insbesondere in Netzen mit einpoliger AWE – die Erdung des Transformatorsternpunktes in der Erzeugungsanlage erforderlich sein. Es wird darauf hingewiesen, dass eine Beschaltung des überspannungsseitigen Sternpunktes zu Einschränkungen bei der unterspannungsseitigen Sternpunktbehandlung führt. Hierzu bedarf es einer Abstimmung zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmer.

## 3.3 Sekundärtechnik

Die Einrichtungen der Sekundärtechnik werden in geschlossenen Räumen untergebracht, die mindestens den Anforderungen für Innenraumschaltanlagen mit einer minimalen Innenraumtemperatur von  $-5^{\circ}\text{C}$  genügen [6]. Weitere Empfehlungen können der Literatur [19] entnommen werden.

### 3.3.1 Abrechnungszählung

Aufbau und Betrieb der Zähleinrichtungen erfolgen nach der Richtlinie „MeteringCode 2004“ [5].

Angaben über Zählung von Wirk- und Blindenergie, Genauigkeitsklassen der Zähler und Wandler, Wandlerübersetzungsverhältnisse, Registrierung, Fernübertragung, das Datenformat zur Übertragung des Lastgangs und Ablesung sind vertraglich zu vereinbaren. Entsprechend dem Gesetz über das Mess- und Eichwesen (Eichgesetz) werden im geschäftlichen Verkehr nur zugelassene und geeichte Mess- und Zusatzgeräte eingesetzt.

Die Mindestanforderungen an die Zähl- und Messeinrichtungen werden vom jeweiligen Netzbetreiber vorgegeben. In der Regel sind folgende Genauigkeitsklassen vorzusehen:

- Wandler Klasse 0,2
- Wirkzähler Klasse 0,5 (Hochspannung) bzw. Klasse 0,2 (Höchstspannung)
- Blindzähler Klasse 2

Es werden Einrichtungen zur fortlaufenden Registrierung der Zählwerte für alle Energierichtungen im Zeitintervall von 1/4h eingesetzt. Zähler und Stromwandlerkerne werden doppelt ausgeführt, die Spannungswandlerkreise erhalten für Abrechnungs- und Vergleichszählung entweder separate Wicklungen oder mindestens getrennte Absicherungen.

Es ist ein Telekommunikationsanschluss vorzuhalten, über den eine Fernübertragung von Zählwerten möglich ist. Vom Netzbetreiber erfasste Daten werden vertraulich behandelt und nur Berechtigten zur Verfügung gestellt.

### 3.3.2 Fernsteuerung

Für den sicheren Netzbetrieb ist die Einbeziehung von Teilen der Anschlussanlage in die Fernsteuerung des Netzbetreibers erforderlich. Auf der Grundlage der geltenden Informationsrichtlinien der Netzbetreiber werden die für die Betriebsführung notwendigen Daten und Informationen zur Verarbeitung in der Leitsystemtechnik bereitgestellt. In der Regel sind dies:

- Steuerung,
  - Leistungsschalter
  - Trennschalter
  - Leitungserdungsschalter
- Stellungsmeldungen o.g. Schaltgeräte,
- Sollwert,
  - Vorgabespannung  $U_{00}$ , Verschiebungsfaktor bzw. Blindleistung
  - Begrenzung der Wirkleistungserzeugung (nur wenn vertraglich vereinbart)
- Messwertübertragung,
  - Wirkleistung
  - Blindleistung
  - Strom einer Phase
  - Leiter-Erde-Spannungen und eine Leiter-Leiter-Spannung (je Leitungssystem)
- Schutz- und Warnmeldungen.

Die Anschlussanlagen verfügen über Fern-/Ort-Umschalter, die bei einer Ortsteuerung die Fernsteuerbefehle unterbinden.

### 3.3.3 Hilfsenergieversorgung

Die Anschlussanlage verfügt über eine netzseitige Eigenbedarfsversorgung und über eine vom Netz unabhängige Hilfsenergieversorgung, in der Regel eine Batterieanlage. Die Kapazität ist so zu bemessen, dass bei fehlender Netzspannung die Anschlussanlage mit allen Schutz-, Sekundär- und Hilfseinrichtungen acht Stunden betrieben werden kann. Der Betrieb der Anschlussanlage ohne funktionstüchtige Batterie ist unzulässig.

Anmerkung: Es wird empfohlen, Einrichtungen für den Anschluss eines Notstromaggregates vorzusehen, um eine Zerstörung der Batterie bei längeren Spannungsunterbrechungen zu verhindern.

Die Gleichspannungskreise werden erdfrei betrieben und auf Erdschluss überwacht.

Eigenbedarf und Hilfsenergie für sekundärtechnische Einrichtungen des Netzbetreibers werden vom Anschlussnehmer zur Verfügung gestellt.

### 3.3.4 Verriegelungen

Folgende Verriegelungen sind bei einem Stichanschluss an eine Leitung vorzusehen:

- Leitungserdungsschalter gegen anstehende Spannung,
- Leitungserdungsschalter gegen Trennschalter,
- Trennschalter gegen Leistungsschalter.

Darüber hinaus können anlagenspezifische Verriegelungen erforderlich sein.

Bei Anschluss der Erzeugungsanlage an eine Schaltanlage ist das Feld in die Anlagenverriegelung einzubeziehen.

Der Anschlussnehmer darf über sein Netz nicht zwei Anschlüsse des Netzbetreibers kuppeln können. Beispielsweise ist bei einem Anschluss im Doppelstich an zwei 110-kV-Leitungssysteme die Kupplung der Systeme über die Anschlussanlage durch eine Verriegelung auszuschließen.

Die Verriegelung muss sowohl bei Fernsteuerung der Anlage als auch bei einer Bedienung vor Ort wirksam sein.

Die Steuerung der unter Kap. 3.2.1 und 3.2.2 genannten Schaltgeräte der Anschlussanlage ist so zu gestalten, dass bei Ausfall von Verriegelungs- und Steuerungskomponenten eine unverriegelte Betätigung von Leitungserdungsschalter, Trennschalter und Leistungsschalter möglich ist. Diese Schalthandlungen müssen jedoch ohne Gefährdung des Bedienpersonals (z.B. durch Störlichtbogen) erfolgen können, in Freiluftanlagen z.B. aus entsprechend sicherer Entfernung.

Anmerkung: Die mechanische Notbetätigung der Trennschalter bzw. Erdungsschalter erfüllt diese Forderung nicht, da nach DIN VDE 0101 diese nur im spannungslosen Zustand mechanisch betätigt werden dürfen.

## 3.4 Schutzeinrichtungen

### 3.4.1 Allgemeines

Der Schutz ist für einen sicheren und zuverlässigen Betrieb der Netze und der Anschlussanlage mit ihren Erzeugungseinheiten von erheblicher Bedeutung. Für elektrische Anlagen müssen selbsttätige Einrichtungen zum Abschalten von Kurzschlüssen vorgesehen werden [6].

Die Verantwortung für Konzeption, Einstellung und den Betrieb der Schutzeinrichtungen liegt bei dem Partner, für dessen Betriebsmittel die Schutzeinrichtungen den Hauptschutz darstellen. Konzepte und Schutzeinstellungen an den Schnittstellen zwischen Netzbetreiber und Anlagenbetreiber/Anschlussnehmer werden miteinander abgestimmt, so dass eine Gefährdung der aneinander grenzenden Netze und Anlagen ausgeschlossen werden kann.

Hierfür sind

- Schutzeinrichtungen für die Anschlussanlage,
- Schutzeinrichtungen für das Netz des Netzbetreibers und
- Entkopplungseinrichtungen an den Erzeugungseinheiten und am Anschlusspunkt erforderlich.

Schutzeinrichtungen, die an Wandler in der Spannungsebene des Netzbetreibers angeschlossen werden, müssen der „Richtlinie für digitale Schutzsysteme“ [8] genügen.

Nach Abschaltung eines Fehlers im Netz des Netzbetreibers bzw. bei einer Automatischen Wiedereinschaltung (AWE) muss der Anlagenbetreiber damit rechnen, dass die Spannung am Anschlusspunkt asynchron zu der Spannung der Erzeugungsanlage sein kann. Der Betreiber hat selbst Vorsorge dafür zu treffen, dass Schaltheandlungen, Spannungsschwankungen, Automatische Wiedereinschaltungen oder andere Vorgänge im Netz des Netzbetreibers nicht zu Schäden an seinen Anlagen führen.

Spannungsrückgangsschutzeinrichtungen müssen dreiphasig ausgeführt werden. Die Auslösungen der drei Messglieder sind logisch ODER zu verknüpfen. Die Spannung ist zwischen den Außenleitern zu messen. Dadurch wird gewährleistet, dass die Erzeugungsanlage bei einem stehenden Erdschluss nicht durch die Schutzeinrichtung abgeschaltet wird. Das Rückfallverhältnis der Spannungssteigerungsschutzeinrichtungen darf 0,99 nicht unterschreiten, das der Spannungsrückgangsschutzeinrichtungen darf 1,01 nicht überschreiten.

Anmerkung: Wird die Spannung auf der Niederspannungsebene gemessen, so kann die Messung auch zwischen Außenleiter und Erde vorgenommen werden.

Spannungssteigerungs-, Frequenzrückgangs- und Frequenzsteigerungsschutzeinrichtungen können einphasig ausgeführt werden. Als Messgröße ist die Spannung zwischen zwei Außenleitern zu wählen.

Zur Sicherung der dauerhaften Funktionsfähigkeit werden die Schutzsysteme des Anlagenbetreibers und des Netzbetreibers vor Inbetriebnahme und in regelmäßigen Abständen überprüft. Die Ausführung der Schutzprüfungen und deren Ergebnisse werden durch Prüfprotokolle dokumentiert.

Für Schutzprüfungen werden Einrichtungen wie z.B. Prüfklemmenleisten oder Prüfsteckdosen empfohlen, um Schutzprüfungen ohne Ausklemmen von Drähten zu ermöglichen. Ein Beispiel hierfür ist im Kapitel 7.4 aufgeführt.

### 3.4.2 Schutzeinrichtungen des Netzes

Der Netzbetreiber ist für den Schutz des Netzes der allgemeinen Versorgung verantwortlich. Am Anschlusspunkt werden für den Schutz des Netzes des Netzbetreibers Schutzeinrichtungen installiert. Diese (beispielsweise ein Distanzrelais) werden in das Schutzkonzept des Netzes integriert. In bestimmten Fällen sind Signalvergleichsschutzeinrichtungen, Differenzialschutzeinrichtungen bzw. Schaltermitnahmen erforderlich. In der Höchstspannungsebene sind in der Regel zwei redundante Schutzsysteme vorzusehen.

Die Netzschutzeinrichtung am Anschlusspunkt kann den Reserveschutz für Teile der Anschlussanlage übernehmen. Es wird darauf hingewiesen, dass der ortsferne Reserveschutz des Netzbetreibers Reserveschutzfunktionen im allgemeinen lediglich für Fehler auf der überspannungsseitigen Anschlussanlage übernehmen kann.

Am Anschlusspunkt sind Schutzfunktionen erforderlich, die die Erzeugungsanlagen vom Netz trennen, wenn die Spannung die im Normalbetrieb zulässigen Bereiche unter- bzw. überschreitet. Als Messort dienen die Wandler am Anschlusspunkt.

	Mindesteinstellbereich	Einstellwert	Abschaltzeit
Spannungssteigerungsschutz	$1,00 - 1,20 U_n$	$1,16 U_n$	$\leq 100 \text{ ms}$
Spannungsrückgangsschutz	$0,70 - 1,00 U_n$	$0,80 U_n$	5s

Anmerkung: Wandlerübersetzungen, die von der Nennspannung des Netzes abweichen, müssen bei der Schutzeinstellung berücksichtigt werden.

Zur Sicherung des Eigenbedarfs kann es empfehlenswert sein, nicht den Schalter am Anschlusspunkt, sondern die mittelspannungsseitigen Abgangsschalter auszulösen.

Die Zuschaltung des Schalters sollte verhindert werden, solange die Netzspannung außerhalb der zulässigen Grenzwerte liegt.

Der Netzbetreiber ist berechtigt, am Netzanschlusspunkt Schutzeinrichtungen zu installieren, die die Erzeugungsanlage automatisch vom Netz trennen, wenn der Blindstrombezug bzw. die Blindstromeinspeisung der EZA aus dem Netz gewisse netzverträgliche Grenzen überschreitet. Dem Netzbetreiber wird empfohlen, am Netzanschlusspunkt Einrichtungen zu installieren, die das Verhalten der EZA im Fehlerfall registrieren. Hierfür kann beispielsweise die interne Störschreibung des Netzschutzes verwendet werden. Diese sollte bei Spannungseinbrüchen und bei Anregung des Relais gestartet werden.

### 3.4.3 Schutzeinrichtungen der Anschlussanlage

Der Anlagenbetreiber ist für den zuverlässigen Schutz seiner Anlagen verantwortlich. In der Anschlussanlage sind Schutzeinrichtungen in angemessenem Umfang für den Schutz der Betriebsmittel vorzusehen.

Kurzschlüsse in der Mittelspannungsebene sind in weniger als 1 Sekunde, Kurzschlüsse in der Hoch-/Höchstspannungsebene sind in weniger als 150ms abzuschalten. Es soll ein durchgängiges Haupt- und Reserveschutzsystem, das auch das Schalterversagen berücksichtigt, vorgesehen werden.

Der Schutz anderer Verbraucher, die – z.B. im Falle einer Inselnetzbildung – zusammen mit der Erzeugungsanlage eine Netzeinheit bilden, erfordert relativ eng eingestellte Spannungssteigerungsschutzeinrichtungen. Als Messspannung hierfür eignen sich die Hoch- und Höchstspannungsnetze in der Regel nicht, da das zulässige Spannungsband dieser Netze sehr groß ist.

Daher ist auf der geregelten Mittelspannungsseite der Anschlussanlage eine Spannungssteigerungsschutzeinrichtung mit folgenden Merkmalen zu installieren:

Funktion	Einstellbereich	Einstellwert	Abschaltzeit
Spannungssteigerungsschutz	1,00 – 1,30 $U_c$	1,15 $U_c$	$\leq 100$ ms
Spannungssteigerungsschutz	1,00 – 1,30 $U_c$	1,06 $U_c$	20 s

Dabei ist die vereinbarte Spannung  $U_c$  diejenige Spannung der Mittelspannungsseite, auf die der Spannungsregler eingestellt ist.

Wird die Spannung des Mittelspannungsnetzes nicht geregelt, so muss die Funktion der Spannungsregelung im Schutzrelais nachgebildet werden. Dafür muss das Relais einen Mi-

nuteneffektivwert bilden und die Steigerung des Halbwelleneffektivwertes gegenüber diesem Mittelwert auswerten. In diesem Fall ist das Relais auf der Oberspannungsseite zu installieren.

#### **3.4.4 Schutzeinrichtungen der Erzeugungseinheiten**

Die Philosophie des sofortigen Entkuppelns der Erzeugungseinheiten bei Störungen im Netz [1] [2], die bei einem relativ geringen Anteil solcher Anlagen akzeptabel ist, kann bei einem wachsenden Anteil an der erzeugten Leistung nicht weiter aufrecht erhalten werden. Daher dürfen Spannungseinbrüche, die durch Fehler im Netz hervorgerufen werden, bei Erzeugungsanlagen nur noch in Ausnahmefällen (unselektiv entkuppelte EZE gem. Kap. 3.4.4.2) zur Trennung der Erzeugungsanlagen vom Netz führen.

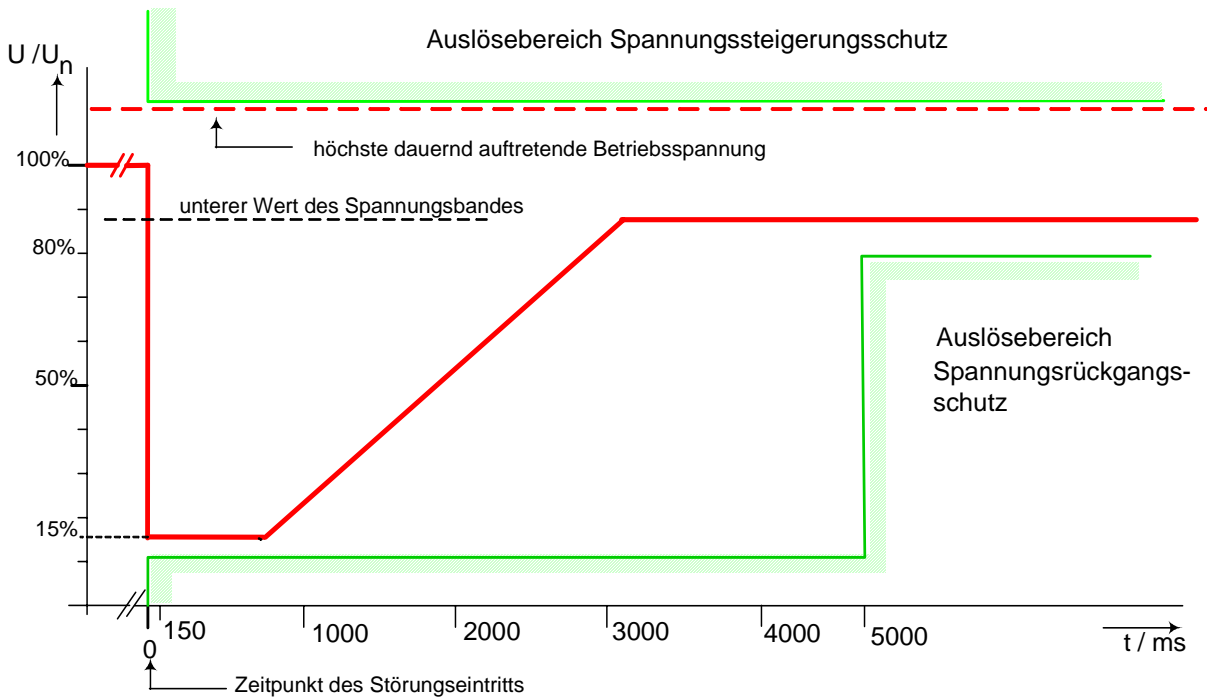
Eine Schutzeinrichtung an der EZE, die bei systemgefährdenden Zuständen bzw. bei Fehlern im Netz der Anschlussanlage die EZE vom Netz trennt, ist jedoch auch bei selektiv entkuppelten EZE erforderlich. Selektiv entkuppelte und unselektiv entkuppelte EZE unterscheiden sich nur in der Einstellung dieser Schutzeinrichtung.

Die Schutzeinrichtung kann sowohl in einem autarken Gerät realisiert werden, als auch in der Anlagensteuerung integriert sein. Der Ausfall der Hilfsspannung der Schutzeinrichtung bzw. der Anlagensteuerung muss zum unverzügerten Auslösen des Schalters führen. Die Schutzauslösung des integrierten Schutzes darf durch sonstige Funktionen der Steuerung nicht unzulässig verzögert werden. Die eingestellten Werte müssen an den Schutzeinrichtungen einfach und ohne zusätzliche Hilfsmittel ablesbar gemacht werden können. Dies gilt auch im Fall eines integrierten Schutzes.

Die Wirkungsweise der Schutzeinrichtung ist durch ein Zertifikat bzw. ein Prüfprotokoll, bei Windenergieanlagen z. B. durch einen Prüfbericht des Herstellers, zu bescheinigen.

##### **3.4.4.1 Selektiv entkuppelte Erzeugungseinheiten**

Die fett ausgezogene Linie in Bild 3.4-1 gibt die Spannungsgrenzen am Anschlusspunkt an, oberhalb der die Erzeugungsanlagen sich nicht vom Netz trennen dürfen; ebenfalls angegeben sind zulässige Auslösebereiche von Spannungsschutzeinrichtungen.



**Bild 3.4-1** Zulässige Auslösbereiche von Spannungsschutzeinrichtungen am Netzanschlusspunkt

Als Grundparametrierung der Schutzeinrichtungen der EZE werden folgende Einstellwerte und Abschaltzeiten (inkl. Öffnen des Schalters) empfohlen:

Funktion	Einstellbereich	Einstellwert	Abschaltzeit
Spannungssteigerungsschutz	1,00 – 1,30 $U_n$	1,25 $U_n$	≤ 100 ms
Spannungsrückgangsschutz	0,10 – 1,00 $U_n$	0,30 $U_n$ *)	≤ 100 ms
Frequenzsteigerungsschutz	50,0 – 52,0 Hz	51,5 Hz	≤ 200 ms
Frequenzrückgangsschutz	47,0 – 50 Hz	47,5 Hz	≤ 200 ms

**Tabelle 3.4-1** Einstellwerte von Entkuppelungsschutzeinrichtungen für selektiv entkuppelte EZE

\*) Eine Einstellung von 0,3  $U_n$  an der EZE entspricht durch die Blindstromeinspeisung der EZE im Fehlerfall in der Regel in etwa 0,15  $U_n$  (15%  $U_n$ ) am Netzanschlusspunkt.

Anmerkung: Bei Anschluss der Schutzeinrichtung an das Mittelspannungsnetz ist für  $U_n$  die vereinbarte Spannung des Mittelspannungsnetzes  $U_c$ , bei Anschluss der Schutzeinrichtung auf der Niederspannungsseite ist für  $U_n = U_c/\ddot{u}$  einzusetzen, wobei  $\ddot{u}$  das Übersetzungsverhältnis des jeweiligen MS/NS-Transformators ist.

Schutzeinrichtungen, die bei einem Netzfehler eine vorzeitige Trennung der Erzeugungseinheiten vom Netz bewirken können (z.B. Vektorsprungrelais), sind nicht zulässig.

### 3.4.4.2 Unselektiv entkoppelte Erzeugungseinheiten

Das aus der Mittelspannungsrichtlinie [1] bekannte Verfahren des selbsttätigen Entkuppelns der Erzeugungsanlagen bei Störungen oder AWE im überlagerten Netz wird in Hoch- und Höchstspannungsnetzen grundsätzlich nicht eingesetzt. Ausnahmen von diesem Grundsatz bedürfen der Zustimmung des jeweiligen ÜNB.

Für bestehende Anlagen und in Ausnahmefällen, in denen das unselektive Entkuppeln akzeptabel ist, werden folgende Einstellwerte und Abschaltzeiten (inkl. Öffnen des Schalters) der Entkopplungseinrichtungen empfohlen:

Funktion	Einstellwert	Abschaltzeit
Spannungssteigerungsschutz	$1,10 U_n$	$\leq 100 \text{ ms}$
Spannungsrückgangsschutz	$0,80 U_n$	$\leq 100 \text{ ms}$
Frequenzsteigerungsschutz	51,5 Hz	$\leq 200 \text{ ms}$
Frequenzrückgangsschutz	47,5 Hz	$\leq 200 \text{ ms}$

**Tabelle 3.4-2** Einstellwerte von Entkopplungsschutzeinrichtungen für unselektiv entkoppelte EZE (Sonderfall)

Anmerkung: Bei Anschluss der Schutzeinrichtung an das Mittelspannungsnetz ist für  $U_n$  die vereinbarte Spannung des Mittelspannungsnetzes  $U_c$ , bei Anschluss der Schutzeinrichtung auf der Niederspannungsseite ist für  $U_n = U_c/\bar{u}$  einzusetzen, wobei  $\bar{u}$  das Übersetzungsverhältnis des jeweiligen MS/NS-Transformators ist.

Anmerkung: Ausnahmen vom Prinzip der selektiv entkoppelten EZE können vom Netzbetreiber zugelassen werden, z.B. wenn in bestehenden Windparks Maßnahmen zum Repowering durchgeführt, einzelne Erzeugungsanlagen hinzugefügt oder ausgetauscht werden. Die neuen Erzeugungsanlagen müssen den Anforderungen nach Kapitel 3.4.4.1 (selektiv entkoppelte EZE) genügen. Es kann jedoch sinnvoll sein, zumindest vorübergehend die Einstellung der Erzeugungsanlagen nach vorstehender Tabelle 3.4-2 vorzunehmen. Dies ist im Einzelfall zwischen dem Betreiber der Erzeugungsanlagen und dem Netzbetreiber abzustimmen.

### 3.4.5 Zusammenwirken des Schutzes der Anschlussanlage mit dem Netz

Für den Schutz am Netzanschlusspunkt ist mindestens ein Distanzrelais mit spannungsgesteuerter Stromanregung einzusetzen. Der Fußpunktstrom ist möglichst empfindlich einzustellen.

Die Anschlussanlage sollte bei allen Fehlerarten dreipolig ausgelöst werden und kann nach einer längeren Pausenzeit automatisch oder von Hand wieder ans Netz geschaltet werden, wenn sich die Netzspannung innerhalb der zulässigen Grenzen befindet. Die Verwendung des AUS-Kommandos der Netzschutzeinrichtung bei Fehlern im Netz zur Auslösung der EZA ist sinnvoll, um ein asynchrones Zuschalten der EZA zu verhindern.

Anmerkung: in geerdeten Netzen wird i.A. eine einpolige AWE durchgeführt. Für den Anschluss einer EZA ist dies jedoch nicht erforderlich. Eine generell dreipolige Auslösung und ggf. AWE sind ausreichend.

Inselnetzbildungen können bei Fehlern im Netz des Netzbetreibers – insbesondere bei Doppelerdschlüssen mit einem Fußpunkt im Selektionsabschnitt - nicht ausgeschlossen werden. In diesen Fällen schützen die Frequenz- und Spannungsrelais das Inselnetz vor unzulässigen Systemzuständen.

Bild 3.4-2 zeigt eine Übersicht der Spannungssteigerungs- und Spannungsrückgangsschutzeinrichtungen in Anschlussanlagen mit Erzeugungseinheiten.

Wenn der Transformator über einen Stufenschalter verfügt und die Mittelspannungsseite auf eine feste Spannung  $U_c$  geregelt wird, können einfache Über- und Unterspannungsrelais eingesetzt werden.

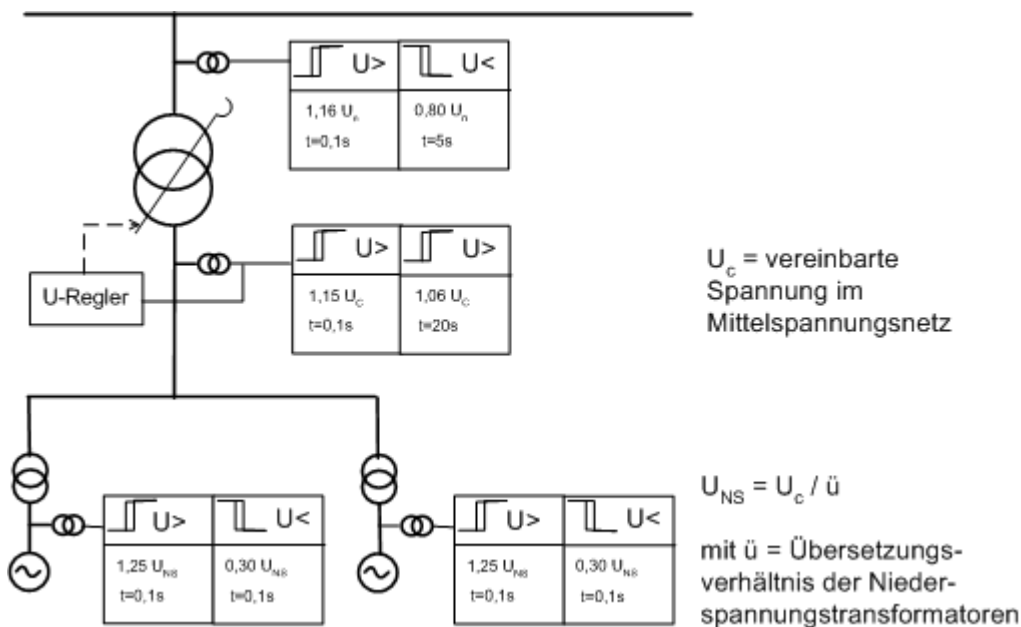


Bild 3.4-2 Spannungssteigerungs- und Spannungsrückgangsschutzeinrichtungen

### 3.5. Zuschaltbedingungen und Synchronisierung

Erzeugungsanlagen dürfen nur dann an das Netz geschaltet werden, wenn netzseitig Betriebsspannung ansteht.

Direkt mit dem Netz gekoppelte Synchrongeneratoren müssen an geeigneter Stelle mit einer Synchronisierereinrichtung ausgestattet werden. Während bei nicht inselbetriebsfähigen Anlagen die Synchronisierereinrichtung zweckmäßigerweise dem Generatorschalter zugeordnet wird, sollte bei inselbetriebsfähigen Anlagen zusätzlich eine Synchronisierereinrichtung am Anschlusspunkt vorgesehen werden. Eine automatische Parallelschalteinrichtung ist zu be-

vorzuzug. Die Einstellwerte sind mit dem Netzbetreiber abzustimmen. Übliche Werte sind beispielsweise  $\Delta\varphi = \pm 15^\circ$ ,  $\Delta f = 100\text{mHz}$  und  $\Delta U = \pm 10\%$ .

### 3.6 Blindleistungsbereitstellung

Für den Blindleistungsbereich, den eine Erzeugungsanlage bereitstellen muss, gelten die Vorgaben des TransmissionCodes. Die bei Drucklegung dieses Leitfadens im TC festgelegten Werte werden hier zur Kenntnis noch einmal aufgeführt. Bei Wirkleistungsabgabe muss die Erzeugungsanlage in jedem Betriebspunkt mindestens mit einer Blindleistung betrieben werden können, die einem Verschiebungsfaktor  $\cos\varphi$  von

Variante 1: 0,975 untererregt bis 0,90 übererregt

Variante 2: 0,95 untererregt bis 0,925 übererregt

bei Anschlussscheinleistung und Nennspannung entspricht (siehe Kap. 7.3). Das bedeutet im Verbraucherzählpfeilsystem Betrieb im Quadranten II (untererregt) oder III (übererregt). Die Werte gelten am Anschlusspunkt. Für die einzelnen Erzeugungseinheiten können sich somit davon abweichende Werte ergeben.

Der Netzbetreiber legt fest, welche der beiden Bereichsvarianten am Anschlusspunkt zur Anwendung kommt.

Der Netzbetreiber kann – insbesondere für Anlagen mit einer Nennleistung  $< 100\text{MW}$ , die in das Hochspannungsnetz einspeisen – geringere Anforderungen an den Bereich der Blindleistungsbereitstellung stellen, beispielsweise einen Bereich von  $0,95 \text{ untererregt} \leq \cos\varphi \leq 0,95 \text{ übererregt}$ .

Die Blindleistungsbereitstellung der Erzeugungsanlage muss einstellbar sein. Bei Wirkleistungsabgabe wird vom Netzbetreiber für die Blindleistungsbereitstellung an der Erzeugungsanlage entweder ein fester Einstellwert oder ein per Fernwirkanlage einstellbarer Sollwert vorgegeben. Der Einstellwert ist entweder:

- a) die Vorgabespannung  $U_{00}$  einer Blindleistungs-/Spannungskennlinie  $Q(U)$ , vgl. Bild 3.6-1 oder
- b) ein Verschiebungsfaktor  $\cos\varphi$  oder
- c) eine Blindleistung in MVar

Sowohl das gewählte Verfahren als auch die Einstell- bzw. Vorgabewerte werden vom Netzbetreiber individuell für jede Erzeugungsanlage festgelegt.

Anmerkung: Z.Zt. üblich ist das Verfahren b). Die Wahl des Verfahrens gemäß a) erfordert i.A. eine Untersuchung der Netzverhältnisse durch den Netzbetreiber, um einerseits Blindleistungspendelungen zu vermeiden, andererseits aber eine ausreichende Stützung der Netzspannung zu gewährleisten.

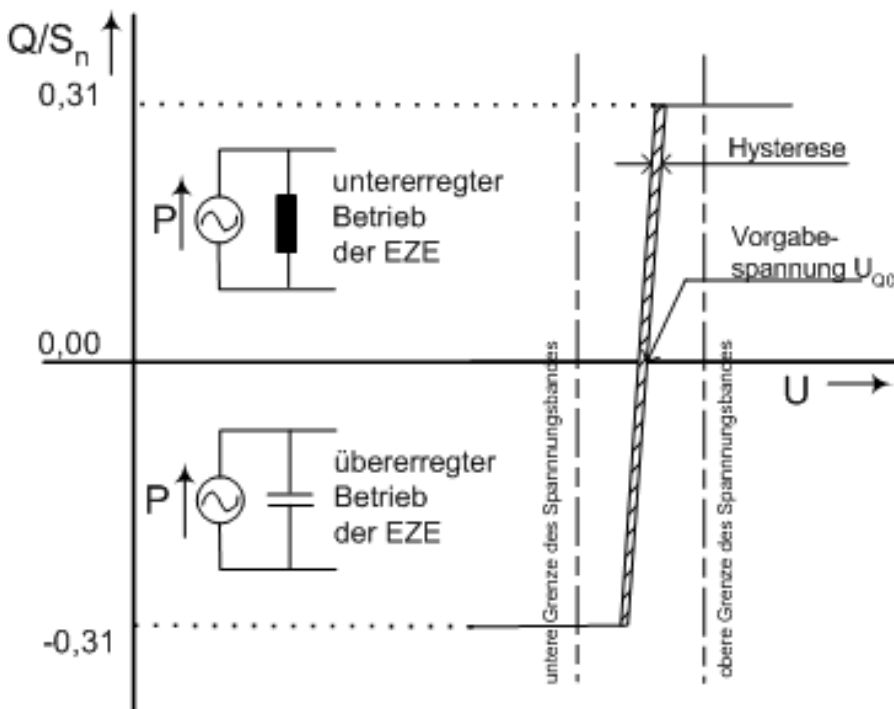
Der vereinbarte Blindleistungsbereich muss innerhalb weniger Minuten und beliebig oft durchfahren werden können. Die Blindleistungsabgabe muss nach einer Minute dem vom Netzbetreiber vorgegeben Sollwert entsprechen.

Bei Wirkleistungsaufnahme aus dem Netz gelten für den  $\cos\varphi$  die jeweiligen Bedingungen des Netzbetreibers für Verbrauchsanlagen.

### 3.6.1 Blindleistungsbereitstellung durch Vorgabe einer Q(U)-Kennlinie

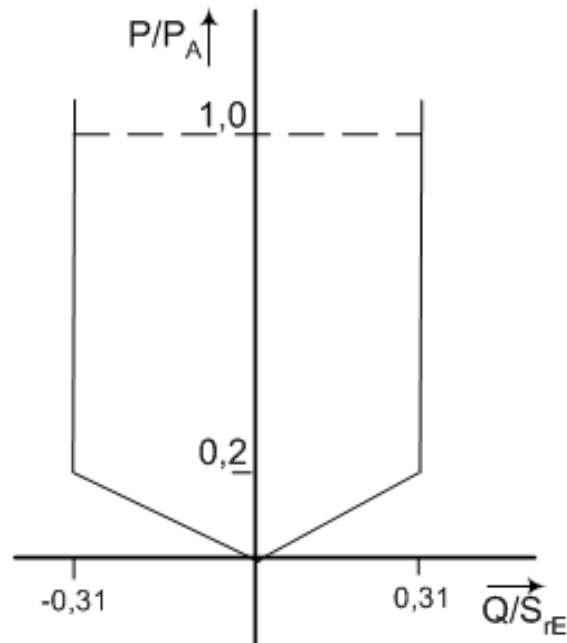
Die Grenzen der Q(U)-Kennlinie ergeben sich aus dem geforderten Blindleistungsbereich. Steigung und Hysterese müssen parametrierbar sein und werden vom Netzbetreiber vorgegeben. Diese Einstellparameter können sich während der Betriebsdauer der Erzeugungsanlage ändern (beispielsweise durch Zubau weiterer Erzeugungsanlagen in der Nähe). Die Vorgabespannung  $U_{Q0}$  wird vom Netzbetreiber entweder fest oder per Fernsteuerbefehl vorgegeben.

Wenn eine Q(U)-Kennlinie vorgegeben ist, sollte jeder sich aus der Kennlinie ergebende Blindleistungswert innerhalb 1 Sekunde bereitgestellt werden.



**Bild 3.6-1** Q(U)-Kennlinie im Verbraucherzählpeilsystem

Anmerkung: Die Q(U)-Kennlinie sollte nicht zu steil gewählt werden, um Schwingungen und gegenseitige Beeinflussung benachbarter Erzeugungsanlagen zu vermeiden. Wenn keine genaueren Vorgaben existieren kann z.B. im Hochspannungsnetz eine Hysterese von 1,0kV und eine Steigung von 5-7%  $Q/S_E$  pro 1kV gewählt werden.



**Bild 3.6-2** Blindleistungsbereich bei Verwendung einer Q(U)-Kennlinie

Bild 3.6-2 zeigt ein Beispiel für den Blindleistungsbereich, den Erzeugungsanlagen mit einer Q(U)-Kennlinie bereitstellen können müssen. Als Grenzen für die Blindleistungsbereitstellung ist  $Q/S_{rE} = \pm 0,31$  gemäß einem  $\cos\varphi$  von 0,95 bei Anschlussscheinleistung eingetragen.

### 3.6.2 Blindleistungsbereitstellung durch Kompensationsanlagen

Die Blindleistung kann im stationären Betrieb mit Kompensationsanlagen eingestellt werden. Die Stufen, in denen die Blindleistung eingestellt werden kann, müssen  $< 2,5\%$  der Anschlussscheinleistung entsprechen. Bei Anlagen mit einer Anschlussscheinleistung  $S_A < 25$  MVA darf die kleinste Stufe 5% der Anschlussscheinleistung entsprechen.

## 3.7 Wirkleistungsabgabe

Die Erzeugungsanlage muss mit reduzierter Leistungsabgabe betrieben werden können. In folgenden Fällen ist der Netzbetreiber berechtigt, eine vorübergehende Begrenzung der Einspeiseleistung oder eine Anlagenabschaltung vorzunehmen:

- potenzielle Gefahr für den sicheren Systembetrieb,
- Engpässe bzw. Gefahr von Überlastungen im Netz des Netzbetreibers,
- Gefahr einer Inselnetzbildung,

- Gefährdung der statischen oder der dynamischen Netzstabilität,
- systemgefährdender Frequenzanstieg,
- Instandsetzungen bzw. Durchführung von Baumaßnahmen.

Diese Leistungsreduzierung muss bei jedem Betriebszustand und aus jedem Betriebspunkt auf einen vom Netzbetreiber vorgegebenen maximalen Leistungswert möglich sein. Dieser Wert wird am Anschlusspunkt vorgegeben und entspricht einem Prozentwert bezogen auf die Anschlusswirkleistung. Die Reduzierung der Leistungsabgabe auf den signalisierten Wert muss mit mindestens 10% der Anschlussleistung pro Minute erfolgen. Dabei darf es nicht zu einer Trennung vom Netz kommen.

## 4 Nachweis der elektrischen Eigenschaften

### 4.1 Allgemeines

Dem Netzbetreiber sind die elektrischen Eigenschaften der Erzeugungsanlage am Anschlusspunkt nachzuweisen. Soweit internationale Normen (IEC- oder EN-Normen), nationale VDE-Vorschriften oder Vereinbarungen wie die der FGW e.V. vorliegen, sind die hierin festgelegten Anforderungen und Prüfbestimmungen einzuhalten.

### 4.2 Nachweis der Einspeiseleistung

#### 4.2.1 Nachweis der Einspeise-Wirkleistung

Für Erzeugungsanlagen, bei denen die erzeugte Wirkleistung nicht vom Angebot der Primärenergie abhängt, z.B. BHKW, genügt die Angabe der maximalen Wirkleistungseinspeisung und die Angabe der geplanten Betriebsweise der Anlage, wie wärme- oder stromgeführt.

Für Erzeugungsanlagen, bei denen die erzeugte Wirkleistung vom Angebot der Primärenergie abhängt, z.B. WEA oder Photovoltaik, ist die Angabe der Wirkleistungseinspeisung abhängig vom Primärenergieangebot erforderlich.

Für WEA ist der Nachweis der Wirkleistung in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit, gemessen entsprechend DIN EN 61400-21 (VDE 0127 Teil 21), Abschnitt 7.4, erforderlich.

#### 4.2.2 Nachweis der Blindleistungsbereitstellung

Für Erzeugungsanlagen, deren Blindleistungsbereitstellung unabhängig von der erzeugten Wirkleistung ist, genügt die Angabe der maximalen Wirkleistung und der maximalen Blindleistungen für induktive (übererregt) und maximale kapazitive (untererregt) Blindleistungseinspeisung.

Für Erzeugungsanlagen, deren Blindleistungsbereitstellung abhängig von der erzeugten Wirkleistung ist, ist die Angabe der maximalen Blindleistungen für induktive (übererregt) und maximale kapazitive (untererregt) Blindleistungsbereitstellung in Abhängigkeit von der Einspeise-Wirkleistung gefordert.

Für WEA ist der Nachweis der maximalen Blindleistungen in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit gemessen entsprechend DIN EN 61400-21 (VDE 0127 Teil 21), Abschnitt 7.5, erforderlich. Aus den gemessenen Werten für Wirk- und Blindleistung ist ein Diagramm über die Abhängigkeit der maximalen Blindleistungen von der Wirkleistung zu erstellen.

### 4.2.3 Nachweis der Blindleistungs-Übergangsfunktion

Die zeitliche Änderung der Blindleistung nach Änderung eines vorgegebenen Sollwerts ist durch Messungen oder gleichwertige Modellberechnungen anzugeben. Bei dargebotsabhängiger Leistungserzeugung ist die Angabe für volle Wirkleistungseinspeisung und eine Einspeisung zwischen 40% und 60% der Nennleistung erforderlich. Als Sollwertsprung ist vorzugeben:

- Blindleistungssprung von maximaler induktiver auf maximale kapazitive Blindleistungseinspeisung und umgekehrt,
- bei Anlagen mit Blindleistungsregelung entsprechend einer vorgegebenen Q(U)-Kennlinie (siehe Abschnitt 3.6) ein Spannungssprung von niedrigster auf höchste vorgegebene Spannung und umgekehrt.

## 4.3 Nachweis der Netzurückwirkungen

Zur Überprüfung der in Abschnitt 2.4 festgelegten zulässigen Netzurückwirkungen sind Nachweise für die von der Erzeugungsanlage erzeugten Störaussendungen vorzulegen. Für WEA gelten hierfür die Festlegungen der DIN EN 61400-21 (VDE 0127 Teil 21), Abschnitt 7.6 und 7.7. Ergänzend bzw. soweit in diesen Normen keine Aussage getroffen wurde, gelten die Angaben in der FGW-Richtlinie [11].

## 4.4 Nachweis des Verhaltens im Fehlerfall im Netz

### 4.4.1 Nachweis der grundlegenden Anforderungen

Es ist durch Versuche an der Erzeugungsanlage oder an einem Modell der Erzeugungsanlage nachzuweisen, dass die zur Steuerung der Anlage eingesetzte Regelung die grundlegenden Anforderungen des TransmissionCode erfüllt. Hierzu ist jeweils der Halbwellen-Effektivwert der drei verketteten Spannungen am Anschlusspunkt zu Grunde zu legen. Wird die Netzspannung nicht am Anschlusspunkt erfasst, ist sie durch Berechnungen unter Berücksichtigung der im Netz der Erzeugungsanlage vorhandenen Impedanzen zu ermitteln.

Die folgenden Eigenschaften sind nachzuweisen:

- Absinken des Halbwellen-Effektivwerts einer der drei oder aller verketteten Spannungen unter 15% der Netznennspannung:

Die Erzeugungsanlage muss innerhalb einer festgelegten Zeit abschalten. Als Richtwert für die Abschaltzeit gilt, sofern nicht abweichend vorgegeben, eine Abschaltzeit von 0,1 s.

- Absinken des Halbwellen-Effektivwerts einer der drei oder aller verketteten Spannungen auf Werte zwischen 15% und 70 % der Netzennspannung:

Die Erzeugungsanlage muss gem. Beiblatt bei einem Anschlusspunkt nahen Kurzschluss am Netz bleiben.

- Absinken des Halbwellen-Effektivwerts einer der drei oder aller verketteten Spannungen auf Werte zwischen 70% und 95% der Betriebsspannung:

Die Erzeugungsanlage muss gem. Beiblatt bei einem Anschlusspunkt fernen Kurzschluss am Netz bleiben.

#### **4.4.2 Nachweis der Blindleistungseinspeisung während des Fehlers**

Die während des Verbleibens der Erzeugungsanlage am Netz im Fehlerfall eingespeisten Wirk- und Blindleistungen sind durch Messungen oder Modellrechnungen der Zeitverläufe der Halbwellen-Leistungswerte nachzuweisen. Hierbei sind wenigsten zwei Fehlerfälle des Netzes mit unterschiedlichen Spannungseinbrüchen zu simulieren.

Wenn der Nachweis durch Modellrechnungen erbracht wird oder die Messungen nicht an der am Netz angeschlossenen Erzeugungsanlage selbst erfolgt sind, ist eine Herstellererklärung beizufügen, dass die Erzeugungsanlage den durch den Fehler entstehenden Spannungseinbruch und die Spannungswiederkehr unbeschadet übersteht.

## 5 Betrieb der Anlage

### 5.1 Allgemeines

Der Betrieb von elektrischen Anlagen umfasst alle technischen und organisatorischen Tätigkeiten, die erforderlich sind, damit Anlagen funktionstüchtig und sicher sind. Zu den Tätigkeiten gehören sämtliche Bedienungsmaßnahmen sowie elektrotechnische und nichtelektrotechnische Arbeiten, wie sie in einschlägigen Vorschriften und Regeln beschrieben sind. Insbesondere wird auf DIN VDE 0105 hingewiesen [12].

Anmerkung: Gemäß [12] und [13] muss für den Betrieb von elektrischen Anlagen entsprechend qualifiziertes Personal eingesetzt werden. Zutritt zu den Schaltanlagen haben nur Elektrofachkräfte und elektrotechnisch unterwiesenen Personen. Laien dürfen Anlagen nur in Begleitung von Elektrofachkräften oder elektrotechnisch unterwiesenen Personen betreten. Die Verantwortung hierfür obliegt allein dem Anschlussnehmer.

Der Netzbetreiber kann Fachpersonal des Anschlussnehmers Zutritt zu den Anlagen des Netzbetreibers gewähren. In diesem Fall ist eine zusätzliche Unterweisung des Personals durch den Netzbetreiber erforderlich.

Für den Betrieb der Anschlussanlage am Anschlusspunkt sind zusätzlich zu den jeweils gültigen gesetzlichen und behördlichen Vorschriften, insbesondere bei Schalthandlungen und Arbeiten am Anschlusspunkt, die Bestimmungen und Richtlinien des Netzbetreibers einzuhalten.

Der Netzbetreiber kann jederzeit eine Prüfung der in Kap. 3.2.1 und 3.2.2 aufgeführten Betriebsmittel und der Schutzeinrichtungen verlangen. Wenn es der Netzbetrieb erfordert, kann der Netzbetreiber geänderte Einstellwerte der Schutzeinrichtung vorgeben. Termine für Routineprüfungen werden rechtzeitig vorher vereinbart.

Der Netzbetreiber ist bei Gefahr, im Störfall und bei drohendem Verlust der Netzsicherheit zur sofortigen Trennung der Anschlussanlage vom Netz bzw. zur Reduzierung der Wirkleistungsabgabe der Erzeugungsanlage berechtigt. Zur Aufrechterhaltung der (n-1)-Sicherheit bei geplanten Abschaltungen von Netzbetriebsmitteln sowie bei wartungsbedingten Schaltungsänderungen kann es erforderlich sein, die Erzeugungsanlage vorübergehend vom Netz zu trennen oder in ihrer Leistung zu reduzieren. Die Durchführung dieser Arbeiten erfolgt mit angemessener Vorankündigung.

Im Fall des Überschreitens der vereinbarten maximalen Anschlussleistung ist der Netzbetreiber berechtigt, die Erzeugungsanlage vom Netz zu trennen. Hierzu kann er Einrichtungen installieren, die bei Überschreiten bestimmter Grenzwerte (z.B. vereinbarte Leistung, Zeitdauer von Blindleistungsbezug nach Fehlern im Netz) die Anschlussanlage vom Netz des Netzbetreibers trennen.

Die Anschlussanlage darf – insbesondere nach Störungen in der Anschlussanlage oder in der Anlage des Netzbetreibers – erst nach Abstimmung mit dem Netzbetreiber auf das Netz geschaltet werden.

Betreibt ein Anschlussnehmer mehr als einen Anschlusspunkt am Netz des/der Netzbetreiber(s), so dürfen diese nicht durch Anlagen des Anschlussnehmers miteinander verbunden betrieben werden.

Der Netzbetreiber ist berechtigt, sich die Funktionsfähigkeit aller für ihn sicherheitsrelevanten Anlagenteile – z.B. Schutzeinrichtungen – nachweisen zu lassen.

## 5.2 Anlagenverantwortlicher

Eigentumsgrenze und Grenze des Verantwortungsbereichs zwischen Netzbetreiber und Anschlussnehmer sind schriftlich genau zu definieren (z.B. in einem Netzanschlussvertrag). Für den Betrieb der Anschlussanlage ist dem Netzbetreiber vom Anschlussnehmer ein Ansprechpartner zu benennen. Dieser Anlagenverantwortliche verfügt über eine Schaltberechtigung und trägt die Verantwortung für den Anlageneinsatz. Er oder ein Stellvertreter muss für den Netzbetreiber ständig erreichbar sein. Entsprechende Informationen werden beim Netzbetriebsführer (Leitstelle etc.) hinterlegt und bei Bedarf aktualisiert.

Der Anlagenverantwortliche muss gewährleisten, dass die für den Parallelbetrieb mit dem Hoch- oder Höchstspannungsnetz erforderlichen Einrichtungen stets in technisch einwandfreiem Zustand gehalten werden. Dazu sind auch die Schalter und Schutzeinrichtungen in regelmäßigen Zeitabständen durch eine Elektrofachkraft auf Funktionstüchtigkeit zu überprüfen. Empfehlenswert ist die Abstimmung der Prüftermine mit dem zuständigen Netzbetreiber. Das Ergebnis ist in einem Prüfprotokoll festzuhalten. Dieses Protokoll soll die durchgeführten Prüfungen chronologisch dokumentieren und bei der Anschlussanlage ausgelegt sein.

Der Anlagenverantwortliche ist verpflichtet, die Anschlussanlage nach Aufforderung des Netzbetreibers abzuschalten und vom Netz zu trennen. Gründe für eine Abschaltung können z.B. Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten im Netz des Netzbetreibers sein. Geplante Abschaltungen zur Durchführung betriebsnotwendiger Arbeiten im Netz des Netzbetreibers werden dem Anlagenverantwortlichen mit einer angemessenen Vorlaufzeit angekündigt.

Den Beauftragten des Netzbetreibers ist der jederzeitige Zutritt zu den Einrichtungen des Netzbetreibers in der Anschlussanlage zu ermöglichen (z.B. durch ein Doppelschließsystem).

Der Netzbetreiber wird den Anlagenverantwortlichen über wesentliche Änderungen in seinem Netz, die Auswirkungen auf den bestehenden Parallelbetrieb haben, wie z. B. eine Veränderung der Kurzschlussleistung, unterrichten.

Vom Anlagenverantwortlichen sind beabsichtigte Änderungen in der Anschlussanlage, soweit diese Auswirkungen auf den Parallelbetrieb und den Netzschutz haben, rechtzeitig mit dem Netzbetreiber abzustimmen.

### 5.3 Inbetriebsetzung

Voraussetzung für die Inbetriebsetzung ist eine Konformitätserklärung, in der der Anschlussnehmer bestätigt, dass die Erzeugungsanlage gemäß den in Kapitel 1.3 aufgeführten Vorschriften, Normen und Bestimmungen sowie nach diesem Leitfaden ausgeführt wurde. Der Nachweis des leitfadenskonformen Verhaltens der gesamten Erzeugungsanlage gemäß Kapitel 4 sollte von einer fachlich anerkannten Institution erbracht werden.

Funktionsprüfungen und Abnahmen werden für Anlagenteile und Funktionen, die das Netz des Netzbetreibers beeinflussen können, nach Vorgabe des Netzbetreibers durchgeführt. Hierunter fallen beispielsweise:

- Besichtigung der Anlage,
- Einsicht in Inbetriebnahme- und Prüfprotokolle,
- Vergleich des Anlagenaufbaus mit der Planungsvorgabe,
- Kontrolle der Zugänglichkeit und Trennfunktion der Übergabeschalteneinrichtung,
- Vergleich des Aufbaus der Verrechnungsmesseinrichtung mit den vertraglichen und technischen Vorgaben und Überprüfung des Anlaufs der Zähleinrichtungen,
- Funktionskontrolle der Schutzeinrichtung des Netzanschlusses vor Ort,
- Überprüfung der Schnittstellen zum Netzbetreiber (Funktionsprüfungen der Steuerbefehle, Messwerte und Meldungen).

Der erstmalige Parallelbetrieb und der Termin der Unterspannungsetzung durch den Netzbetreiber sind zwischen Anlagen- und Netzbetreiber abzustimmen, ebenso das zur korrekten Durchführung der Inbetriebnahme erforderliche Inbetriebnahmeprogramm.

Die Einhaltung der zulässigen Grenzwerte bzgl. Netzurückwirkungen wird auf Anforderung des Netzbetreibers durch den Anlagenbetreiber mittels Messung nachgewiesen.

Über die Inbetriebsetzung ist ein Protokoll anzufertigen. Das Protokoll verbleibt beim Anlagenbetreiber und ist zum Nachweis der durchgeführten Prüfungen aufzubewahren. Dem Netzbetreiber wird auf Wunsch eine Kopie ausgehändigt.

#### **5.4 Betrieb bei Störungen**

Sowohl Netzbetreiber als auch Anlagenverantwortlicher informieren sich gegenseitig unverzüglich über bekannt gewordene besondere Ereignisse, soweit diese von Belang für den jeweils anderen sein können.

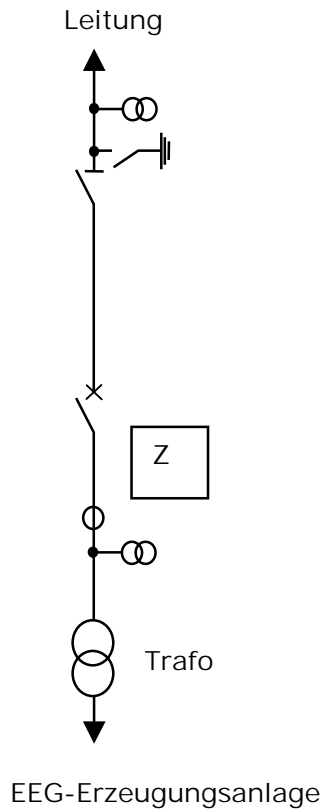
Im Fall einer störungsbedingten Spannungslosigkeit werden Veränderungen am Schaltzustand des Anschlusspunktes nur nach Rücksprache mit der zuständigen Schaltleitung vorgenommen.

Zur Störungsaufklärung können außerplanmäßige Untersuchungen und Messungen erforderlich sein, die der Anlagenverantwortliche im Sinne dieses Leitfadens an seinen Betriebsmitteln durchführt.

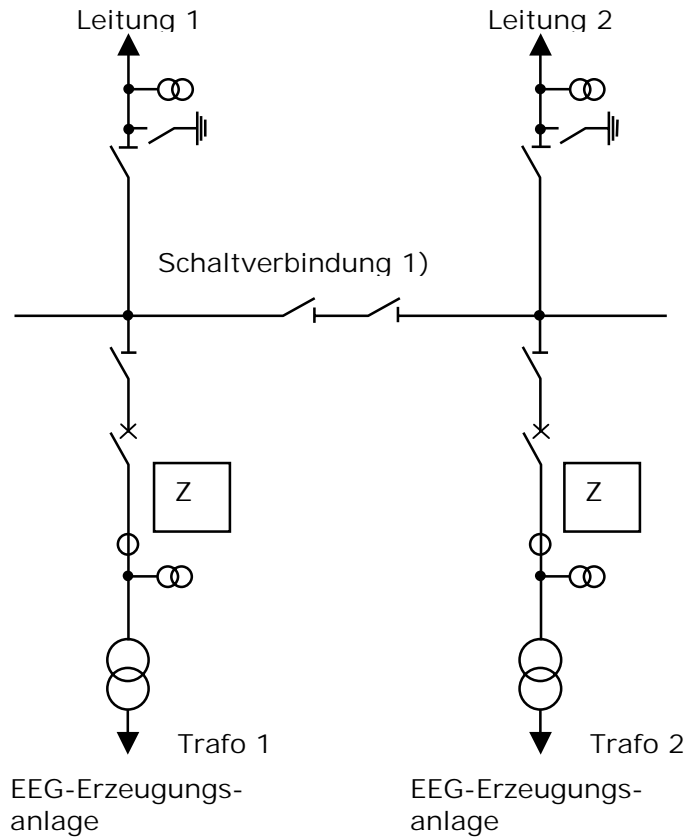
Bei der Beseitigung und Aufklärung von Störungen unterstützen sich die Partner gegenseitig.

## 6 Anschlussbeispiele

### Beispiel: Einfachstich



### Beispiel: Doppelstich

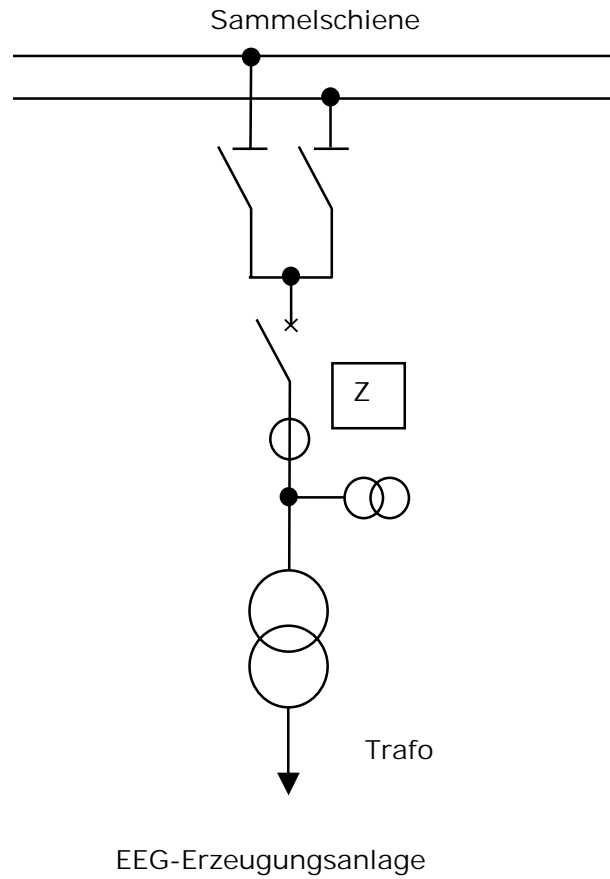
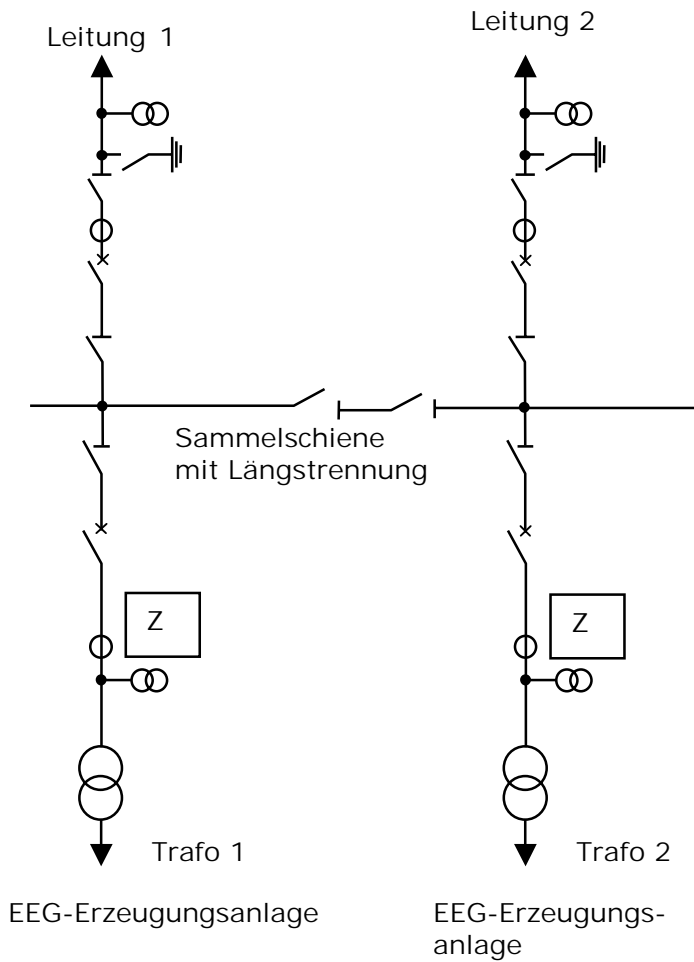


Z: Abrechnungszählung

1) Verriegelung derart, dass keine Kopplung der beiden Leitungssysteme stattfinden kann.

**Beispiel: Einschleifung**

**Beispiel: Anschluss an eine Schaltanlage**



Z: Abrechnungszählung

## 7 Erläuterungen

### 7.1 Ausblick

Die in diesem Leitfaden geforderten Eigenschaften von Erzeugungsanlagen stellen den derzeitigen Stand der Erkenntnis dar und berücksichtigen die gegenwärtigen Erfordernisse der Netze. Eine weitere Zunahme von EEG-Erzeugungsanlagen wird aller Voraussicht nach in Zukunft zusätzliche und weitergehende Regelungen erfordern. Die im Folgenden genannten Punkte dienen der Information; sie stellen keine Anforderungen dar, denen Erzeugungsanlagen zum jetzigen Zeitpunkt genügen müssen.

Oberschwingungen:

Dieser Leitfaden schreibt den Erzeugungsanlagen für die Erzeugung von Oberschwingungen bestimmte maximal zulässige Werte vor. Als Senken für Oberschwingungen niedriger Ordnung wird heute die subtransiente Reaktanz von Synchrongeneratoren angesehen. In Zukunft wird möglicherweise auch an Erzeugungsanlagen ohne direkt gekoppelte Synchrongeneratoren die Forderung nach einer Senke für Oberschwingungen gestellt werden. Dies könnte z.B. durch die Definition einer Eingangsimpedanz bei jeder relevanten Oberschwingung geschehen.

Blindleistungsaufnahme:

Die Aufnahme von induktiver Blindleistung bei Spannungswiederkehr nach der Klärung eines Fehlers im Netz verzögert den Aufbau der Netzspannung. Dies ist nur in begrenztem Maße netzverträglich. Es muss damit gerechnet werden, dass hierfür in Zukunft weitergehende Einschränkungen gelten werden.

Blindleistungsbereitstellung:

Es ist vorstellbar, dass ausgesuchte WEA zur flexiblen Blindleistungsbereitstellung (im Prinzip wie ein SVC – Static Variable Compensator) benutzt werden, da - insbesondere bei Wirkleistungsabgabe kleiner als die Nennwirkleistung - der technisch verfügbare Blindleistungsbereich größer ist, als in diesem Leitfaden gefordert.

Frequenzstabilität:

Die hohe Frequenzstabilität des Netzes wird durch die großen rotierenden Massen der Synchrongeneratoren gewährleistet. Trotz des bei vielen Erzeugungseinheiten – z.B. Windkraftanlagen mit Wechselrichtern – ebenfalls vorhandenen großen Verhältnisses von Massenträgheitsmoment zu Bemessungsleistung, wird dies wegen der elektrischen Entkopplung

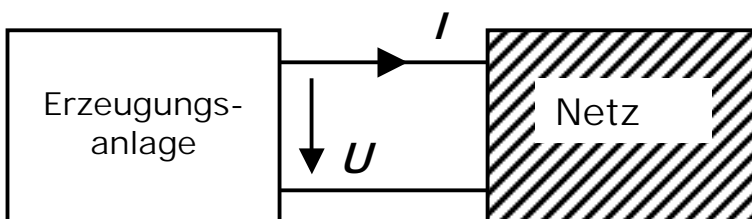
durch den Wechselrichter nicht stabilisierend für das Netz wirksam. Hier werden möglicherweise in Zukunft besondere Anforderungen an das Steuerverfahren des Wechselrichters gestellt werden müssen, mit denen das Verhalten von konventionellen Erzeugungseinheiten nachgebildet wird. Inwieweit in Zukunft auch die Forderung nach Primärregelfähigkeit der EEG-Erzeugungsanlagen gestellt werden wird, kann zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abgeschätzt werden.

Kurzzeitiges Trennen der Erzeugungsanlage vom Netz:

Die Anforderungen an das dynamische Verhalten der Erzeugungseinheiten werden weiterentwickelt. Es muss damit gerechnet werden, dass Ausnahmeregelungen, wie z.B. das kurzzeitige Trennen der Erzeugungseinheiten vom Netz (Beiblatt, grau hinterlegter Bereich in Bild 3-2) in Zukunft geändert werden bzw. entfallen.

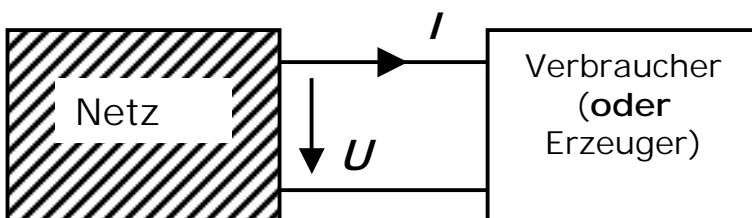
## 7.2 Zählpeilsystem

Für die Angabe von Richtungen und Phasenwinkeln kann das Verbraucher-Zählpeil-System (VZS) oder das Erzeuger-Zählpeil-System (EZS) angewendet werden.



**Bild 7.2-1**

Erzeugerzählpeilsystem  
(EZS)

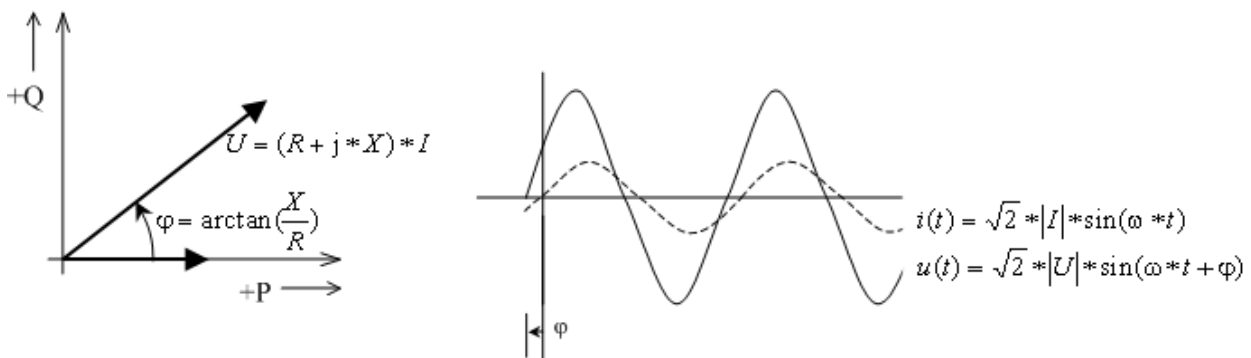


**Bild 7.2-2**

Verbraucherzählpeilsystem  
(VZS)

Die Anwendung eines einheitlichen Zählpfeilsystems hat für den Netzbetreiber - insbesondere für den Betrieb von Zählrichtungen an Anschlusspunkten mit ständig wechselnder Richtung der Wirkleistung - Vorteile. Im Folgenden wird das VZS auf an das Netz angeschlossene Verbraucher ebenso wie auf Erzeuger angewendet. Ströme und Spannungen in Pfeilrichtung werden positiv gezählt.

Für die Darstellung in Quadranten wird ein Leistungskreis gewählt, dessen Darstellung kompatibel zu mathematischen Darstellungen der Trigonometrie und der komplexen Zahlen ist. Dabei liegt der Stromzeiger immer auf der reellen Achse („bei 3 Uhr“), während die Lage des Spannungszeigers der Scheinleistung und dem Phasenwinkel entspricht. Winkel werden – wie in der Mathematik – gegen den Uhrzeigersinn positiv gezählt. Als Phasenwinkel wird der Winkel vom Stromzeiger zum Spannungszeiger definiert [7].



**Bild 7.2-3** Beispiel: Ohmsch-induktive Last

Die unterschiedlichen „Betriebszustände“ können in den 4 Quadranten I bis IV dargestellt werden. Die Benennung der Quadranten erfolgt gegen den Uhrzeigersinn und entspricht den mathematischen Gepflogenheiten. Dabei verhält sich der Netzkunde im Quadranten I wie eine Spule. Das die Blindleistung liefernde Kraftwerk würde sich im Quadrant III befinden. Im Quadranten IV verhält sich der Netzkunde wie ein Kondensator, das Kraftwerk befände sich im Quadrant II.

Ein an das Netz angeschlossenes Kraftwerk mit einem Synchrongenerator befindet sich in Quadrant III, wenn der Synchrongenerator übererregt ist und in Quadrant II, wenn der Synchrongenerator untererregt ist.

Anmerkung: Man sollte sich nicht davon verwirren lassen, dass der untererregte Betriebszustand im Quadrant II im Leistungsdiagramm eines Synchrongenerators auch als „kapazitiver Betrieb“ bezeichnet wird. Das rührt daher, dass bei Synchrongeneratoren i. A. das Erzeuger-Zählpfeil-System angewendet wird

Anmerkung: Die Darstellung mit dem Strom auf der reellen Achse wurde gewählt, da sie weit verbreitet ist. Für andere Anwendungen kann es sinnvoll sein, den Spannungszeiger auf die reelle Achse zu legen.

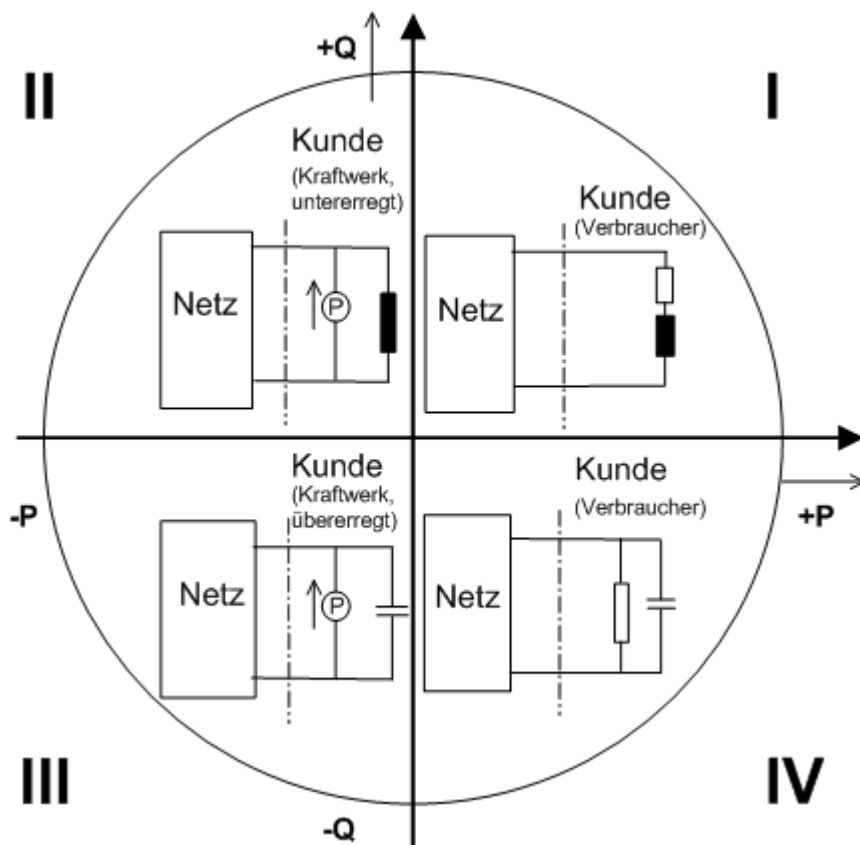


Bild 7.2-4 Darstellung im Verbraucherzählpeilsystem

Zum Vergleich ist hier zusätzlich die Darstellung im Erzeugerzählpeilsystem aufgeführt, obwohl die Angaben im Text immer das Verbraucherzählpeilsystem voraussetzen.

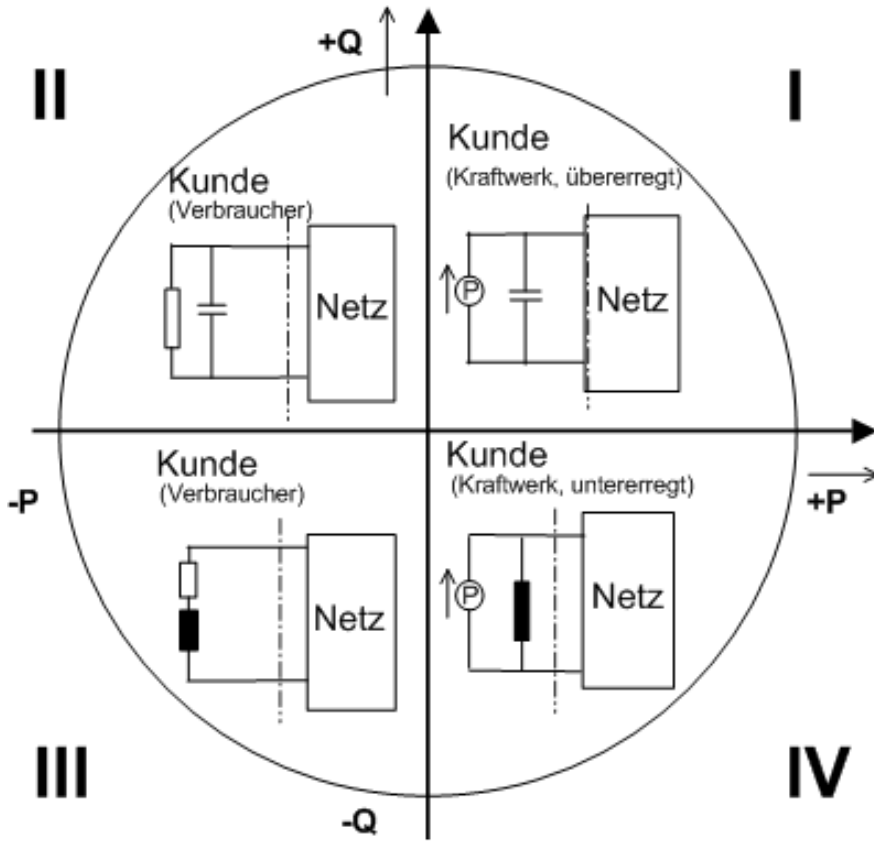


Bild 7.2-5 Darstellung im Erzeugerzählpeilsystem

### 7.3 Blindleistungsbereiche

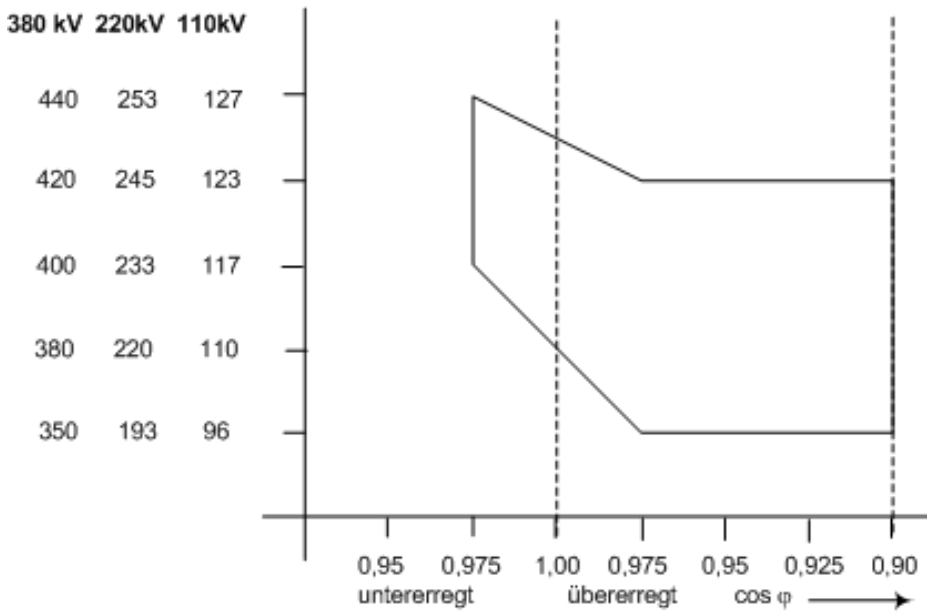


Bild 7.3-1 Grundanforderung an die Bereitstellung von Blindleistung am Anschlusspunkt - Variante 1

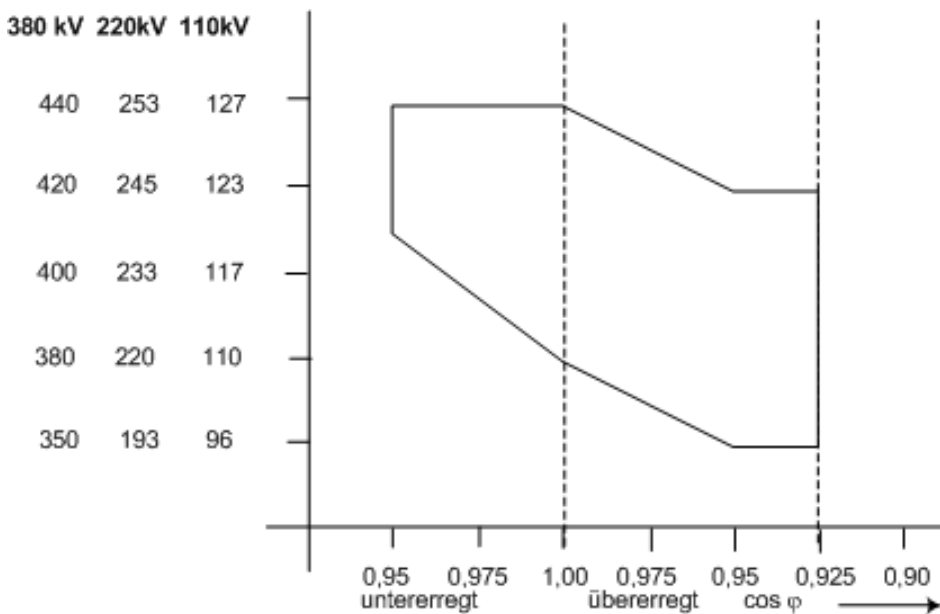


Bild 7.3-2 Grundanforderung an die Bereitstellung von Blindleistung am Anschlusspunkt - Variante 2

## 7.4 Prüfklemmenleiste

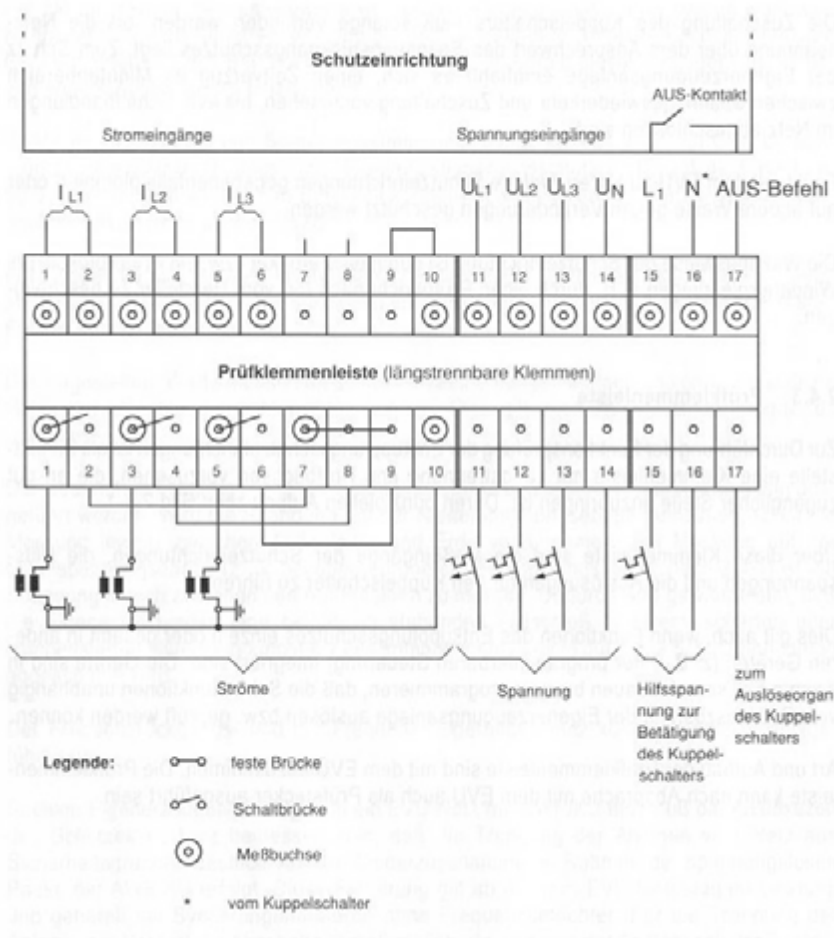


Bild 7.4-1 Typischer Aufbau einer Prüfklemmenleiste

## 7.5 Netzurückwirkungen

### 7.5.1 Langzeitflicker

Der zulässige Betrag für die Langzeitflickerstärke  $P_{lt} \leq 0,37$  entspricht dem Wert, der gemäß der relevanten VDN-Richtlinie auch von Hochspannungs-Kundenanlagen einzuhalten ist. Da sich flickerwirksame Spannungsschwankungen aus allen Spannungsebenen im Niederspannungsnetz addieren und die insgesamt zulässigen Werte bereits weitgehend von Verbrauchsgeräten ausgeschöpft werden, sind nur stark begrenzte Margen für Erzeugungsanlagen im Hochspannungsnetz vorhanden.

Bei der Ermittlung der gemeinsamen Flickerwirkung mehrerer an einem Verknüpfungspunkt angeschlossener Erzeugungsanlagen wird gemäß Gleichung 2.4.2-4 die quadratische Addition der Einzelwerte angesetzt. Dies ist mit dem Überlagerungsverhalten der Einzelanlagen, deren Emissionen nicht unabhängig voneinander sind, erklärbar. Bei zeitlich voneinander unabhängigen Einzelemissionen wäre ein kubisches Überlagerungsverhalten anzusetzen.

### 7.5.2 Oberschwingungen und Zwischenharmonische

Wie bereits für die Langzeitflickerstärke erläutert, gilt auch bei der Festlegung der Oberschwingungsemissionen, dass die im Netz zulässigen Verträglichkeitswerte der Oberschwingungsspannungen durch die Emissionen der in den verschiedenen Netzebenen angeschlossenen Verbraucher- und Erzeugeranlagen bereits weitgehend ausgeschöpft sind. Im Niederspannungsnetz addieren sich die Spannungsverzerrungen aus allen überlagerten Netzebenen. Um hier die in der EN 50160 festgelegten Oberschwingungsspannungen einhalten zu können, müssen die Pegel der Oberschwingungsspannungen in den Hoch- und Höchstspannungsnetzen deutlich unter den für das Nieder- und Mittelspannungsnetz genormten und zulässigen Pegeln liegen. Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass Oberschwingungsströme durch Erzeugungs- und Verbraucheranlagen sowohl im Hochspannungs- als auch im Höchstspannungsnetz eingespeist werden. Aus diesen Gründen muss die Zusatzverzerrung durch Erzeugungsanlagen bereits im Hoch- und Höchstspannungsnetz begrenzt werden.

Bei Einspeisung der zulässigen Oberschwingungsströme aus Tabelle 2.4.3-1 in ein induktives Netz ergeben sich die in Tabelle 7.5.2-1 angegebenen Oberschwingungsspannungen. Die Pegel gelten für die Spannungsebenen 110, 220 und 380 kV und berücksichtigen nur die Erzeugungsanlagen in diesen Spannungsebenen.

Ordnungszahl	Zulässige OS-Spannung im HS-Netz [% $U_n$ ]
5	0,25
7	0,5
11	0,5
13	0,4
17	0,3
19	0,25
23	0,2
25	0,15
über 25 oder geradzahlig	0,1
$\mu < 40$	0,1
$\mu > 40$ <sup>1)</sup>	0,3

<sup>1)</sup> Meßbandbreite 200 Hz

#### **Tabelle 7.5.2-1** Oberschwingungsspannungen am induktivem Netz

Wenn die Erzeugungsanlage aus mehreren Erzeugungseinheiten (z.B. Windpark) besteht, können die ins Hochspannungsnetz eingespeisten Oberschwingungsströme aus den Strömen der einzelnen Erzeugungseinheiten bestimmt werden:

Netzgeführte Stromrichter (6- oder 12-pulsig):

Die stromrichtertypischen Oberschwingungsströme (5., 7., 11., 13. usw. Ordnung) sowie nichttypische sehr niedriger Ordnung ( $v < 7$ ) werden arithmetisch addiert:

$$I_v = \sum_{i=1}^n I_{v_i} \quad (7.5-1)$$

Für die nicht typischen Oberschwingungen höherer Ordnung ( $v > 7$ ) ist der gesamte Oberschwingungsstrom einer Ordnung gleich der Wurzel aus der Summe der Quadrate der Oberschwingungsströme dieser Ordnung:

$$I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{v_i}^2} \quad (7.5-2)$$

Pulsmodulierte Wechselrichter:

Für eine Ordnungszahl  $\mu$ , die grundsätzlich nicht ganzzahlig ist, aber für Werte von  $\mu > 11$  auch ganzzahlige Werte mit einschließt, ist der gesamte Strom gleich der Wurzel aus der Summe der Quadrate der Ströme der Einzelanlagen:

$$I_\mu = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu_i}^2} \quad (7.5-3)$$

Treten bei solchen Wechselrichtern untypische Oberschwingungsströme bei ganzzahligen Ordnungszahlen von  $v < 11$  auf, dann sind diese Ströme entsprechend der Gleichung 7.5-1 arithmetisch zu addieren.

Werden die zulässigen Oberschwingungsströme (oder die zulässigen Ströme der Zwischenharmonischen) überschritten, dann können eingehendere Untersuchungen innerhalb der Erzeugungsanlage erforderlich werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass die in den oben gegebenen Gesetzmäßigkeiten der Oberschwingungsstrom-Überlagerung so gewählt sind, dass sie für eine auch bei höheren Frequenzen induktive Netzimpedanz gelten. In ausgedehnten Anlagen mit merklichem Kabelanteil leitet aber bei höheren Frequenzen die Kabelkapazität (vor allem über 2000 Hz, also bei  $\mu > 40$ ) in vielen Fällen die Einspeiseströme der Einzelanlagen ab, so dass niedrigere Oberschwingungsströme der gesamten Erzeugungsanlage entstehen können, als mit den Näherungsgleichungen abgeschätzt werden.

Die in Kapitel 2.4.3 angegebenen zulässigen Oberschwingungsströme beziehen sich auf den Verknüpfungspunkt der Erzeugungsanlage mit dem Hochspannungsnetz. Die Werte können wahlweise durch entsprechende Auslegung der Einzelanlagen oder durch zentrale Maßnahmen, z.B. durch Filterkreise, erreicht werden.

## 7.6 Prozessschnittstelle

### Allgemeines

Die Prozessdatenschnittstelle zwischen der Anschlussanlage und dem Netz hängt wesentlich von der jeweils eingesetzten Leittechnik ab. Die Ausführung der Schnittstelle ist im Einzelfall zu vereinbaren. Im Folgenden wird als Beispiel eine Ausführung als 20mA Schnittstelle dargestellt, da diese weit verbreitet ist und von nahezu allen Leitsystemen verarbeitet werden kann.

## Verfügbare Leistung

Das Datenelement „verfügbare Leistung“ gibt den Wert der Leistung des Windparks an, der ohne Begrenzung geliefert werden würde. Dafür sind das aktuelle Windangebot und der Zustand (Revision, Defekt) der Erzeugungseinheiten zu berücksichtigen. Die Bezugsgröße (100%) ist die vertraglich vereinbarte Anschlusswirkleistung. Das Datenelement „verfügbare Leistung“ ist eine Meldung von der Erzeugungsanlage an den Netzbetreiber.

Hardwarebeschreibung:

Stromschnittstelle 4 – 20 mA mit eingprägtem Strom

$$4 \text{ mA} = 0 \% P_N$$

$$16,8 \text{ mA} = 100 \% P_N \text{ (vertraglich vereinbarte Anschlusswirkleistung)}$$

$$20 \text{ mA} = 125 \% P_N$$

## Blindleistung

Die Schnittstelle kann so ausgeführt werden, dass beide Blindleistungsbereiche ohne Änderung der Schnittstelle abgedeckt werden. Die Erzeugungsanlage muss jedoch nur innerhalb des vertraglich festgelegten Bereiches reagieren. Der vom Netzbetreiber vorgegebene Sollwert wird vom Windparkleitsystem bestätigt.

Hardwarebeschreibung (Verschiebungsfaktor):

Stromschnittstelle 4-20 mA mit eingprägtem Strom

$$4 \text{ mA} = |\cos \varphi| = 0,95 \text{ (untererregte Synchronmaschine am Netz, Quadrant II)}$$

$$9,3 \text{ mA} = |\cos \varphi| = 1$$

$$20 \text{ mA} = |\cos \varphi| = 0,90 \text{ (übererregte Synchronmaschine, Quadrant III)}$$

Bei Ausfall (0 mA) soll der zuletzt vorgegebene Wert beibehalten werden.

Hardwarebeschreibung (Q(U)-Kennlinie):

Stromschnittstelle 4-20 mA mit eingprägtem Strom

$$4 \text{ mA} = U_{00} = 85\% U_n$$

$$12 \text{ mA} = U_{00} = 100\% U_n$$

$$20 \text{ mA} = U_{00} = 115\% U_n$$

Bei Ausfall (0 mA) soll  $U_{00} = 100\% U_n$  eingestellt werden.

## Maximale Wirkleistung

Zur Reduzierung der Wirkleistung wird dem Windparkleitsystem ein Stellbefehl übermittelt, der die maximal zulässige Wirkleistungseinspeisung der Erzeugungseinheiten in Prozent der vertraglich vereinbarten Anschlusswirkleistung angibt. Der vom Netzbetreiber vorgegebene Sollwert wird vom Windparkleitsystem bestätigt.

Hardwarebeschreibung:

Stromschnittstelle 4-20 mA mit eingprägtem Strom

$$4 \text{ mA} = 0 \% P_N$$

$$20 \text{ mA} = 100 \% P_N$$

(vertraglich vereinbarte Anschlusswirkleistung, d.h. keine Wirkleistungsbeschränkung)

Bei Ausfall (0 mA) soll der zuletzt vorgegebene Wert beibehalten werden.

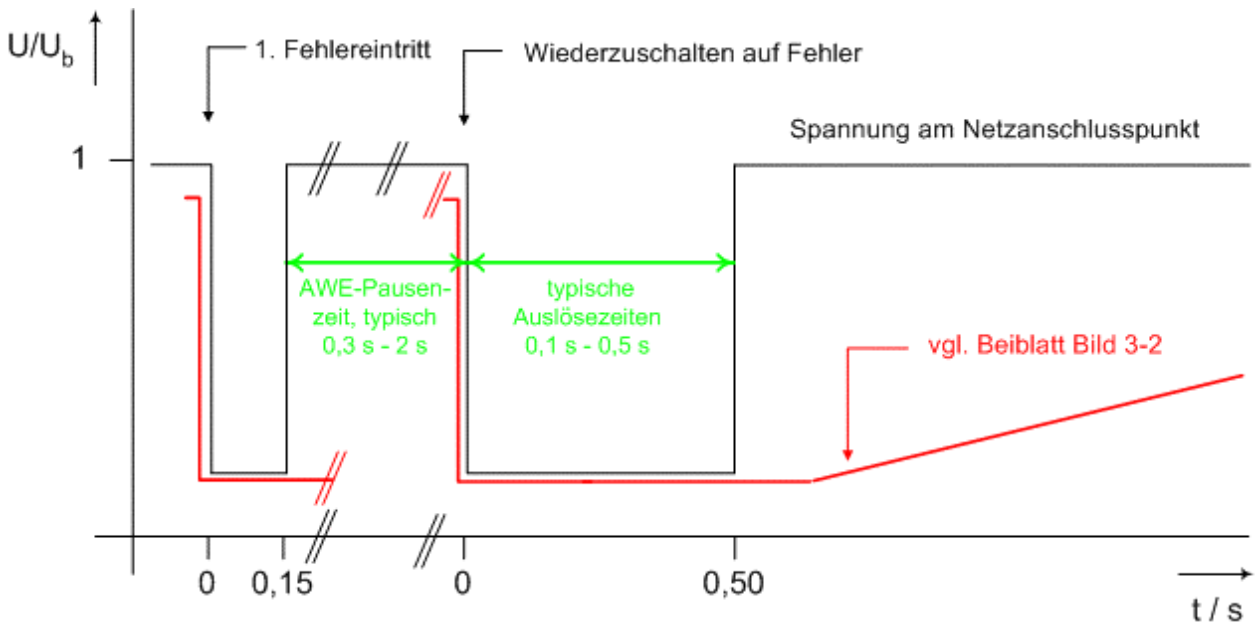
## 7.7 Automatische Wiedereinschaltung (AWE)

Bei einer erfolglosen AWE finden zwei Spannungseinbrüche hintereinander statt. Bild 7.7-1 zeigt einen typischen Verlauf der Spannung am Netzanschlusspunkt von Erzeugungsanlagen, die in der Nähe (beispielsweise auf dem Parallelsystem) des fehlerbehafteten Selektionsabschnittes angeschlossen sind.

Anmerkung: Wenn sich der Fehler auf der Leitung befindet, an der die EZA im Stich angeschlossen ist, löst im Allgemeinen der Leitungsschutz – z.B. das Distanzrelais am Netzanschlusspunkt – den Leistungsschalter aus und trennt somit die EZA vom Netz.

Dargestellt wird hierbei das Verhalten bei einem Schutz der Leitungen durch Distanzschutzeinrichtungen ohne Signalübertragung. Die Distanzschutzeinrichtungen auf beiden Enden des zu schützenden Leitungssystems sind normalerweise übergreifend eingestellt, d.h. deren erste Zone schützt in Schnellzeit z.B. 125% des betrachteten Leitungssystems. Dadurch werden alle Fehler auf diesem Leitungssystem sicher in Schnellzeit abgeschaltet. Die durch diese Betriebsweise gegebene Überfunktion bei Fehlern jenseits der nächsten Sammelschiene wird in Kauf genommen. Während der AWE-Pausenzeit, die typischerweise 0,3 s bis 2 s beträgt, schalten die Schutzeinrichtungen für die erste Zone auf die Standardeinstellung mit der üblichen Unterreichweite ohne Berücksichtigung einer AWE um. Dies bedeutet, dass jetzt nur noch ca. 85 % des betrachteten Leitungssystems in Schnellzeit geschützt werden. Das hat zur Folge, dass die Schutzeinrichtung auf der einen Seite des Leitungssystems den Fehler jetzt innerhalb ihrer ersten Zone erfasst und ihn in Schnellzeit abschaltet. Die Schutzeinrichtung auf der anderen Seite des Leitungssystems hingegen kann den Fehler u. U. – je nach Fehlerort - erst außerhalb ihrer ersten Zone sehen, z.B. wenn sich der Fehler

kurz vor der Gegenstation befindet. Um die ohne Berücksichtigung der AWE gewünschte Selektivität sicherzustellen, schaltet diese Schutzeinrichtung den Fehler jetzt entsprechend dem Standardprogramm zeitverzögert - beispielsweise in 0,5 s – ab.



**Bild 7.7-1** Typischer Spannungsverlauf bei einer erfolglosen AWE

Unter der Voraussetzung, dass alle Einrichtungen bestimmungsgemäß funktionieren, kann davon ausgegangen werden, dass der erste Spannungseinbruch nur 150 ms andauert, während der zweite Spannungseinbruch einen beliebigen Verlauf innerhalb der roten Kurve gemäß Bild 3-1 bzw. 3-2 haben kann. Falls eine der an der Kurzschlussabschaltung beteiligten Einrichtungen versagt, wird der Spannungseinbruch beim ersten Fehler nicht nach 150 ms beendet sein. In diesem Fall darf die EZA bei einem Verlauf der Spannung oberhalb der roten Kurve im Beiblatt gemäß Bild 3-1 bzw. Bild 3-2 nicht entkuppelt werden.

## 8 Anhang

### 8.1 Literatur

- [1] „Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz“ – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz  
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke – VDEW – e.V.  
2. Auflage 1998, ISBN 3-8022-0584-7, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. – VWEW, Rebstöcker Str. 59, D-60326 Frankfurt am Main
  
- [2] „Erzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz“ – Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Eigenerzeugungsanlagen am Niederspannungsnetz  
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke – VDEW – e.V.  
4. Auflage 2001, ISBN 3-8022-0646-0, Verlags- und Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. – VWEW, Rebstöcker Str. 59, D-60326 Frankfurt am Main
  
- [3] TransmissionCode 2003  
“Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber”  
August 2003, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW  
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin
  
- [4] DistributionCode 2003  
“Regeln für den Zugang zu Verteilungsnetzen”  
August 2003, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW  
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin
  
- [5] MeteringCode 2004  
Ausgabe April 2004, Verband der Netzbetreiber – VDN – e. V. beim VDEW,  
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, [www.vdn-berlin.de](http://www.vdn-berlin.de)
  
- [6] DIN VDE 0101  
„Starkstromanlagen mit Nennwechselspannungen über 1kV“
  
- [7] „Elektrische Energie elektronisch gemessen“, Martin Kahmann, VDE-VERLAG GmbH  
Berlin und Offenbach, 1994, ISBN 3-8007-1859-6; S.300

- [8] „VDN-Richtlinie für digitale Schutzsysteme“  
1. Ausgabe November 2003, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW,  
Robert-Koch-Platz 4, 10115 Berlin, [www.vdn-berlin.de](http://www.vdn-berlin.de)
- [9] „Grundsätze für die Beurteilung von Netzurückwirkungen“  
Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke – VDEW – e.V.  
3. Auflage 1992, korrigierter Nachdruck 1997, ISBN 3-8022-0311-9, Verlags- und  
Wirtschaftsgesellschaft der Elektrizitätswerke m.b.H. – VWEW, Rebstöcker Str. 59, D-  
60326 Frankfurt am Main
- [10] „Elektrische Maschinen, zweiter Band, Synchronmaschinen und Einankerumformer“,  
Rudolf Richter, Birkhäuser Verlag Basel/Stuttgart, 1963, S.297
- [11] „Technische Richtlinie für Windenergieanlagen“ Teil 3: Bestimmung der Elektrischen  
Eigenschaften, Revision 15 Stand 01. 09. 2002, Fördergesellschaft Windenergie e.V.  
-FGW, Stresemannplatz 4, 24103 Kiel
- [12] DIN VDE 0105 – 100 (EN 50110-1)  
„Betrieb von elektrischen Anlagen“
- [13] BGV A2, Unfallverhütungsvorschrift „Elektrische Anlagen und Betriebsmittel“ (bisher  
VGB4), vom 1. April 1979 in der Fassung vom 1. Januar 1997, Vorschrift der Berufs-  
genossenschaft der Feinmechanik und Elektrotechnik, [www.bgfe.de](http://www.bgfe.de)
- [14] „Tonfrequenz-Rundsteuerung, Empfehlung zur Vermeidung unzulässiger Rückwir-  
kungen“  
3. Ausgabe 1997, Herausgeber: VDEW, VEÖ, VSE)
- [15] DIN EN 60909-0 (VDE 0102)  
„Kurzschlussströme in Drehstromnetzen“
- [16] DIN VDE 0103  
„Bemessung von Starkstromanlagen für mechanische und thermische Kurzschlussfes-  
tigkeit“
- [17] Clearingstelle nach §10 Abs.3 Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)  
„Vorläufige Handlungsgrundlage“  
08. Mai 2001, [www.bmu.de](http://www.bmu.de)

- [18] E.ON Netzanschlussregeln Hoch- und Höchstspannung  
E.ON Netz GmbH, Bayreuth  
Stand 1. August 2003, [www.eon-netz.com](http://www.eon-netz.com)
  
- [19] Technische Richtlinie „Transformatorenstationen am Mittelspannungsnetz“  
1. Ausgabe 2003, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW, Robert-Koch-  
Platz 4, 10115 Berlin, [www.vdn-berlin.de](http://www.vdn-berlin.de)
  
- [20] Netzanschluss- und Netznutzungsregeln der Vattenfall Europe Transmission GmbH,  
Berlin, 1. Januar 2004, <http://transmission.vattenfall.de>
  
- [21] DIN EN 61000-4-7: Prüf- und Messverfahren - Allgemeiner Leitfaden für Verfahren  
und Geräte zur Messung von Oberschwingungen und Zwischenharmonischen in  
Stromversorgungsnetzen und angeschlossenen Geräten



## 8.2 Vordrucke

### 8.2.1 Datenblatt einer Erzeugungsanlage für den Parallelbetrieb mit dem Netz des Netzbetreibers

Anschlussnehmer (Vertragspartner):

Name: .....  
 Straße: .....  
 PLZ, Ort .....  
 Telefon: .....  
 Telefax: .....  
 e-mail: .....

Anlagenanschrift:

Name der Anlage .....  
 Straße: .....  
 PLZ, Ort .....  
 Gemarkung: .....

beantragte Anschlusswirkleistung: ..... MW  
 voraussichtliche Jahresenergie: ..... MWh  
 beantragter Eigenbedarf: ..... kW

genutzte Energie:

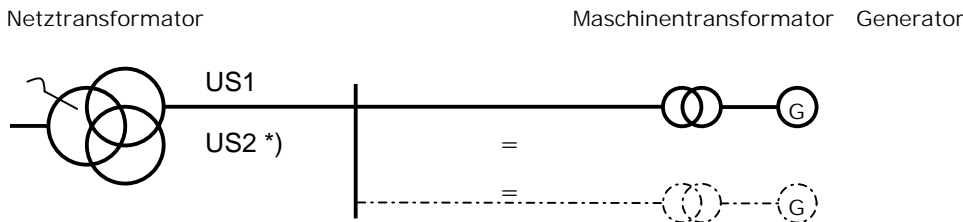
- Wind
- Wasser
- Biomasse
- Photovoltaik
- .....

gewünschter Anschlusspunkt: .....  
 .....

Kurzbeschreibung der Erzeugungsanlage:  
 .....  
 .....  
 .....

Anlagen:            Lageplan .....  
                          Übersichtsskizze .....

**Erzeugungseinheiten**



\*) (bitte für jeden Typ von Erzeugungseinheiten ein Blatt ausfüllen)

Hersteller ..... Typ .....

Bemessungscheinleistung  $S_{rE} =$  ..... MVA

Anzahl der Erzeugungseinheiten ..... St.

Generator: Asynchronmaschine

Synchronmaschine

Bemessungsspannung .....V

Konzept (bitte Kurzbeschreibung, z.B. über Umrichterconcept etc.)

.....

.....

.....

Kurzschlussverhalten (bei einem dreipoligen Fehler auf der Niederspannungsseite des Maschinentransformators)

Verhältnis subtransienter Kurzschlussstrom / Bemessungsstrom  $I''_{k3} / I_{rE} =$  .....p.u.

bzw. Verhältnis Anlaufstrom / Bemessungsstrom  $I_{An} / I_{rE} =$  .....p.u.

Maschinentransformator

Bemessungsleistung  $S_{rT} =$  .....MVA

MS-Bemessungsspannung  $U_{MS} =$  .....kV

NS-Bemessungsspannung  $U_{NS} =$  .....V

Kurzschlussspannung  $u_k =$  .....%

Entkupplungseinrichtungen

Die Entkupplungseinrichtungen sind messtechnisch angeschlossen an  
 das Mittelspannungsnetz   
 den Generator

Hersteller ..... Typ.....

Einstellung Frequenzsteigerung ..... Hz .....s \*\*)

Frequenzrückgang ..... Hz .....s \*\*)

Spannungssteigerung ..... p.u. ....s \*\*)

Spannungsrückgang ..... p.u. ....s \*\*)

\*\*) Gesamtausschaltzeit (inkl. Schalter)

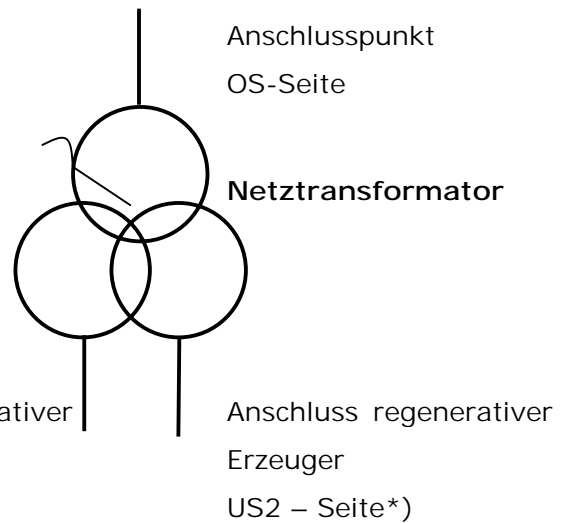
**Erzeugungsanlage**

Netztransformator:

OS-Seite	Bemessungsspannung:	$U_{RT-OS}$	=	.....	kV
	Bemessungsleistung:	$S_{RT-OS1}$	=	.....	MVA
	Stufenschalter max.	$U_{max1}$	=	.....	kV
	Stufenschalter min.	$U_{min1}$	=	.....	kV
	Anzahl der Stufen		=	.....	
US1-Seite	Bemessungsspannung:	$U_{RT-US1}$	=	.....	kV
	Bemessungsleistung:	$S_{RT-US1}$	=	.....	MVA
US2-Seite	Bemessungsspannung:	$U_{RT-US2}$	=	.....	kV*)
	Bemessungsleistung:	$S_{RTUS-2}$	=	.....	MVA*)
Schaltgruppe				.....	

Kurzschlussspannungen bei Mittelstellung des Stufenschalters:

OS-US1	$U_{k-OS-US1}$	=	.....	%	
OS-US2	$U_{k-OS-US2}$	=	.....	%	*)
US1-US2	$U_{k-US1-US2}$	=	.....	%	*)



Oberspannungsseitiges Netz der Erzeugungsanlage:

gesamte Kabellänge:	.....	km
Typ, Querschnitt des Kabels:	.....	
gesamte Freileitungslänge:	.....	km
Typ, Querschnitt der Leitung:	.....	

Mittelspannungsnetz der Erzeugungsanlage:

gesamte Kabellänge an US1:	.....	km
gesamte Kabellänge an US2:	.....	km *)

\*) falls vorhanden

Kurzschlussverhalten

Die folgenden Angaben beziehen sich auf einen

- dreipoligen Kurzschluss am Anschlusspunkt (OS-Seite Netztransformator),
- dreipoligen Kurzschluss im überlagerten Netz, bei dem am Anschlusspunkt eine Restspannung von 15% der Nennspannung des Netzes auftritt,
- dreipoligen Kurzschluss, bei dem am Anschlusspunkt eine Restspannung von 70% der Nennspannung des Netzes auftritt.

Es sind mindesten die Werte des Kurzschlussstromes ( $I''_{k3}$  gem. DIN VDE 0102, Bezugsgröße ist der Bemessungsstrom des Netztransformators) der regenerativen Erzeugungseinheiten bei Kurzschlusseintritt, sowie bei 150 ms und 1000 ms nach Kurzschlusseintritt anzugeben:

$I''_k / I_{rT1}$	$U = 0$	$U = 15\% U_n$	$U = 70\% U_n$
$t = 0s$			
$t = 150ms$			
$t = 1000ms$			

Schutzeinrichtungen

Einstellung auf der OS-Seite der Anschlussanlage:

- Spannungssteigerung .....  $U_n$  ..... s \*\*)
- Spannungsrückgang .....  $U_n$  ..... s \*\*)

Einstellung auf der MS-Seite der Anschlussanlage:

- Spannungssteigerung .....  $U_c$  ..... s \*\*)
- Spannungsrückgang .....  $U_c$  ..... s \*\*)

\*\*) Gesamtausschaltzeit (Schutzeinrichtung + Schalter)





2.3 Frequenzschutzeinrichtungen

Die Frequenzschutzeinrichtungen sind dezentral ausgeführt  
(bei ja sind die entsprechenden Punkte unter 5.2 auszufüllen) ja    nein  
  

separates Prüfprotokoll liegt vor (bei ja keine weiteren Eintragungen erforderlich) ja    nein  
  

Frequenzsteigerungsschutz		Einstellung	wertrichtig ausgelöst	
			ja	nein
Ansprechwert	.....	Hz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auslösezeit	.....	ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Frequenzrückgangsschutz				
Ansprechwert	.....	Hz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auslösezeit	.....	ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

3. Prozessschnittstelle zum Netzbetreiber

ja    nein

Fernsteuerung der Schaltgeräte der Anschlussanlage durch den Netzbetreiber geprüft   

Rückmeldungen der Schaltgeräte zum Netzbetreiber geprüft   

Fernmesswerte der Erzeugungsanlage geprüft   

Meldungen der Erzeugungsanlage zum Netzbetreiber geprüft   

Sollwertvorgabe Blindleistung geprüft   

Sollwertvorgabe Wirkleistungserzeugung geprüft (nur wenn vertraglich vereinbart)   

4. Abrechnungszählung

Die Abrechnungszählung wurde überprüft   

Die Vergleichszählung wurde überprüft   

Die Fernauslesung wurde überprüft   

Anlage: ..... Blatt Inbetriebsetzungsprotokolle der Erzeugungseinheiten gem. Pkt. 5

Mit der Unterzeichnung des Protokolls erklärt der Anschlussnehmer, dass die Bedingungen des VDN Leitfadens „EEG-Erzeugungsanlagen am Hoch- und Höchstspannungsnetz“ erfüllt sind.

Ort: .....

Datum: .....

Anschlussnehmer: .....

Die Anlage wurde in Anwesenheit der Unterzeichner in Betrieb gesetzt / zum Betrieb freigegeben

Ort: .....

Datum: .....

Für den Netzbetreiber .....

5. Schutzeinrichtungen der Erzeugungseinheiten

(Anmerkung: die folgenden Einstellungen der Schutzeinrichtungen sind zu dokumentieren)

Erzeugungsanlage

Bezeichnung: .....

Erzeugungseinheit: .....

5.1 Spannungsschutzeinrichtungen der Erzeugungseinheit

	ja	nein
separates Prüfprotokoll liegt vor (bei ja keine weiteren Eintragungen erforderlich)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prüfbericht über standardisierte Typprüfung liegt vor wenn ja: Funktionskontrolle ausgeführt und Funktion in Ordnung (bei ja sind die folgenden Einzelprüfungen nicht erforderlich)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Spannung  $U_{NS}$  der Niederspannungsseite bei  $U = U_C$  auf der Mittelspannungsseite

Spannungssteigerungsschutz	Einstellung	wertichtig ausgelöst		nur Sichtkontrolle der Einstellwerte
		ja	nein	
Ansprechwert	..... $U_{NS}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auslösezeit	..... ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Spannungsrückgangsschutz				
Ansprechwert	..... $U_{NS}$	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auslösezeit	..... ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Auslösekontrolle (falls nur eine Sichtkontrolle der Einstellwerte durchgeführt wurde)				<input type="checkbox"/>

5.2 Frequenzschutzeinrichtungen

	ja	nein
Die Frequenzschutzeinrichtungen sind zentral ausgeführt (bei ja sind die entsprechenden Punkte unter 2.3 auszufüllen)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Prüfbericht über standardisierte Typprüfung liegt vor wenn ja: Funktionskontrolle ausgeführt und Funktion in Ordnung (bei ja sind die folgenden Einzelprüfungen nicht erforderlich)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Frequenzsteigerungsschutz	Einstellung	wertichtig ausgelöst		nur Sichtkontrolle	
		ja	nein		
Ansprechwert	..... Hz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Auslösezeit	..... ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Frequenzrückgangsschutz					
Ansprechwert	..... Hz	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Auslösezeit	..... ms	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Auslösekontrolle (falls nur eine Sichtkontrolle der Einstellwerte durchgeführt wurde)				ja <input type="checkbox"/>	nein <input type="checkbox"/>

Ort: ..... Datum: .....

Anschlussnehmer: .....

## 9 Beiblatt

### „Verhalten von EEG-Erzeugungsanlagen bei Störungen im Netz“

Das Verhalten der Erzeugungsanlage bei Störungen im Netz ist entscheidend für die Stabilität des Verbundnetzes. Sie werden im TransmissionCode (TC) [1] veröffentlicht. Die Anforderungen an das Verhalten der EEG-Erzeugungseinheiten im Störfall werden permanent weiterentwickelt und den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen angepasst.

Dieses Beiblatt wird in Zukunft ein Auszug aus den für EEG-Erzeugungsanlagen relevanten Kapiteln des TC sein. Bis dahin gelten die im Folgenden genannten Anforderungen.

#### 1 Allgemeines

Störungen im Netz, z.B. Kurzschlüsse durch atmosphärische Einwirkungen, können nicht verhindert werden. Während der Störungsdauer müssen Erzeugungsanlagen einen induktiven Kurzschlussstrom ins Netz liefern, um einerseits das Funktionieren der Schutzeinrichtungen sicherzustellen und andererseits einen möglichst steilen und damit örtlich begrenzten Spannungstrichter zu erhalten.

Entscheidend für möglichst geringe Auswirkungen auf das Netz und die Verbraucher ist auch das Verhalten nach der Fehlerklärung. Die Erzeugungsanlagen sollen ihre Wirkleistung möglichst schnell und mit wenig Pendelungen wieder ins Netz speisen. Darüber hinaus sollte es nicht zur Aufnahme von induktiver Blindleistung kommen, um den Aufbau der Netzspannung nach der Fehlerklärung nicht zu verzögern.

#### 2 Kurzschlussstrombeitrag

Ein sicherer Systembetrieb und die Erkennung von Fehlern im Netz durch die Schutzeinrichtungen erfordern die Bereitstellung von Kurzschlussströmen, die in Betrag und/oder Winkel deutlich von den Lastströmen abweichen (Mindestkurzschlussstrom).

Bei Erzeugungsanlagen wird zwischen Anlagen mit hohem und solchen mit geringem Kurzschlussstromanteil unterschieden. Eine Anlage mit hohem Kurzschlussstromanteil (z.B. Synchrongenerator ohne Umrichter) liegt vor, wenn bei einem dreipoligen Fehler am Anschlusspunkt der Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungsanlage für länger als 150 ms mindestens dem zweifachen Bemessungsstrom der Erzeugungsanlage entspricht und danach bis zu mehreren Sekunden Kurzschlussstrom (Dauerkurzschlussstrom mindestens 1/3 des Bemessungsstroms) liefert.

sungsstromes) geliefert werden kann. Werden diese Bedingungen nicht erfüllt, so handelt es sich um eine Erzeugungsanlage mit geringem Kurzschlussstromanteil.

Beide Arten von Erzeugungsanlagen müssen mindestens zwei durch Fehler im Netz (z.B. erfolglose AWE) hervorgerufene Spannungseinbrüche gem. Bild 3-1 bzw. 3-2 hintereinander überstehen, ohne dass eine Entkopplung vom Netz stattfinden darf.

### 3 Verbleiben der Erzeugungsanlage am Netz

Selektiv entkoppelte EZA müssen bei Fehlern im Netz den Betrieb aufrechterhalten. Es wird zwischen „Anschlusspunkt nahen“ und „Anschlusspunkt fernen“ Netzfehlern unterschieden. Ein Anschlusspunkt ferner Fehler liegt vor, wenn die Spannung (Halbschwingungseffektivwertes der verketteten Spannungen) am Anschlusspunkt zu keinem Zeitpunkt unter 70% der Nennspannung des jeweiligen Netzes fällt; bricht die Spannung auf kleinere Werte als 70% ein, so handelt es sich um einen Anschlusspunkt nahen Fehler.

Anmerkung: Statt der Spannung am Anschlusspunkt kann – bei geeigneten Korrekturmaßnahmen - auch die Spannung an der einzelnen Erzeugungseinheit ausgewertet werden. An dieser Stelle können jedoch nur Spannungseinbrüche bezogen auf die Betriebsspannung gemessen werden. Der daraus resultierende Fehler wird akzeptiert.

Anmerkung: Falls die Erzeugungseinrichtungen ein Kriterium zur Erkennung eines Fehlers im Netz benötigen, ist hierfür ein Spannungseinbruch von mehr als 5% zu wählen

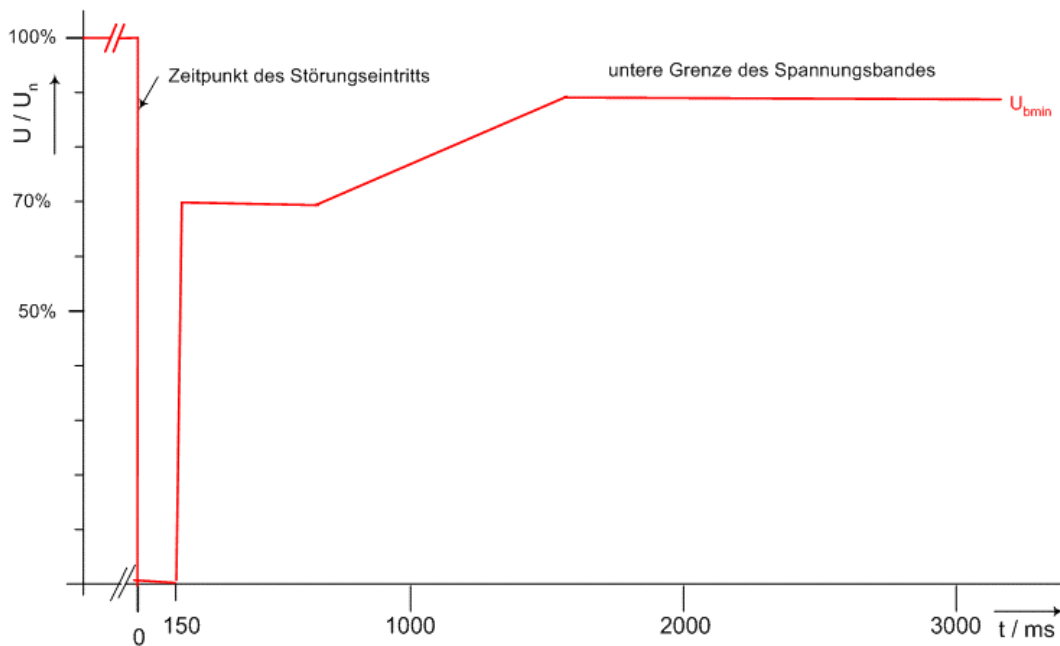
#### 3.1 Verhalten bei Anschlusspunkt fernen Fehlern

Für alle Erzeugungsanlagen gilt, dass bei Anschlusspunkt fernen dreipoligen Kurzschlüssen auch bei Fehlerklärung in Endzeit des Netzschutzes von bis zu 5s es nicht zu einer Trennung der Erzeugungsanlagen vom Netz kommen darf. Während der Fehlerdauer muss die Netzspannung durch die Erzeugungsanlagen gestützt werden.

#### 3.2 Verhalten bei Anschlusspunkt nahen Fehlern

##### **A: Erzeugungsanlagen mit hohem Kurzschlussstromanteil**

Anschlusspunkt nahe dreipolige Kurzschlüsse dürfen bei einer Fehlerklärungszeit bis 150ms im gesamten Betriebsbereich der Erzeugungsanlage nicht zur Instabilität oder zum Trennen vom Netz führen, wenn die am Anschlusspunkt netzseitig anstehende Kurzschlussleistung ( $S'_{KN}$ ) nach Fehlerklärung größer als die 6-fache Anschlusswirkleistung der Erzeugungsanlagen ist. Diese Bedingung ist bei EEG-Anlagen in der Regel erfüllt.

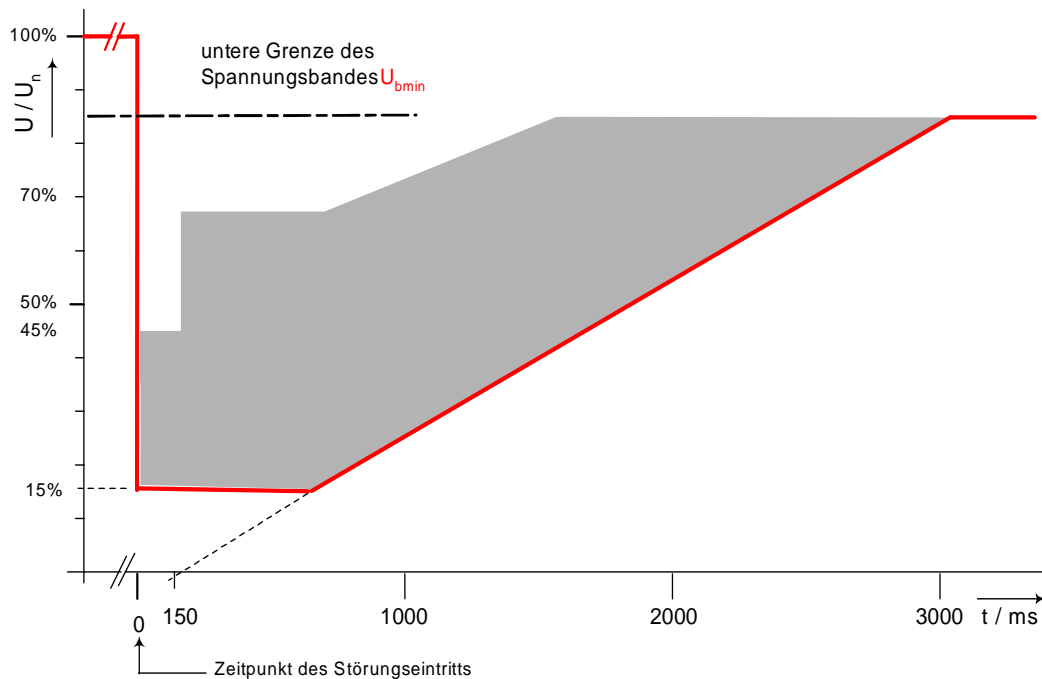


**Bild 3-1** Verbleiben von Erzeugungsanlagen mit hohem Kurzschlussstromanteil am Netz bei Anschlusspunkt nahen Fehlern

Unter Berücksichtigung der Auslösezeiten des Reserveschutzes ergibt sich die in Bild 3-1 gezeigte Hüllkurve für die möglichen Spannungsverläufe am Anschlusspunkt. Wenn die Spannung oberhalb der Hüllkurve verläuft, dürfen sich Erzeugungsanlagen mit einem hohen Kurzschlussstromanteil nicht vom Netz trennen und die Eigenbedarfversorgung der Anlage muss gewährleistet sein.

### **B: Erzeugungsanlagen mit geringem Kurzschlussstromanteil**

Anschlusspunkt nahe dreipolige Kurzschlüsse dürfen oberhalb der Grenzkurve im Bild 3-2 nicht zur Instabilität der Erzeugungsanlagen und nicht zum Trennen vom Netz führen. Die Wirkleistungsabgabe muss sofort nach Fehlerklärung wieder beginnen und mit einem Gradienten von mindestens 20% der Anschlusswirkleistung pro Sekunde gesteigert werden. Innerhalb des grau hinterlegten Bereiches kann die Steigerung der Wirkleistungsabgabe mit 5% der Anschlusswirkleistung pro Sekunde erfolgen. Es muss damit gerechnet werden, dass die Betriebsspannung nach Fehlerklärung nicht sofort wieder den Wert vor Fehlereintritt erreicht, sondern für einige Zeit abgesenkt sein kann.



**Bild 3-2** Verbleiben von Erzeugungsanlagen mit geringem Kurzschlussstromanteil am Netz bei Anschlusspunkt nahen Fehlern

Nach der Fehlerklärung sollte keine Aufnahme induktiver Blindleistung aus dem Netz erfolgen. Falls diese Forderung nicht erfüllt werden kann, ist sicherzustellen, dass die Aufnahme induktiver Blindleistung innerhalb 400ms nach Fehlerklärung abgeschlossen wird und ein Blindleistungsaustausch stattfindet, der auf Grund der Spannungsstützung vorgegeben ist.

Als Ausnahme von o.g. Verhalten darf im grau hinterlegten Bereich eine kurzzeitige Trennung der Erzeugungsanlage erfolgen, wenn die Resynchronisation der Erzeugungsanlage innerhalb von 2 Sekunden nach Fehlerklärung abgeschlossen ist und die Wirkleistung sofort nach der Resynchronisation mit einem Gradienten von mindestens 10% der Anschlusswirkleistung je Sekunde gesteigert wird. Dabei darf keine Aufnahme induktiver Blindleistung erfolgen.

### 3.3 Blindstromeinspeisung im Fehlerfall

Die Erzeugungsanlagen müssen bei einem Anschlusspunkt nahen wie bei einem Anschlusspunkt fernen Fehler im Netz die Spannung durch Einspeisung von induktivem Blindstrom stützen. Dieser Blindstrom ist zusätzlich zu der vor Fehlereintritt betrieblich gefahrenen Blindleistung bereitzustellen.

Bei direkt ans Netz gekoppelten Synchrongeneratoren ist diese Forderung durch die Wirkungsweise des Generators bereits erfüllt.

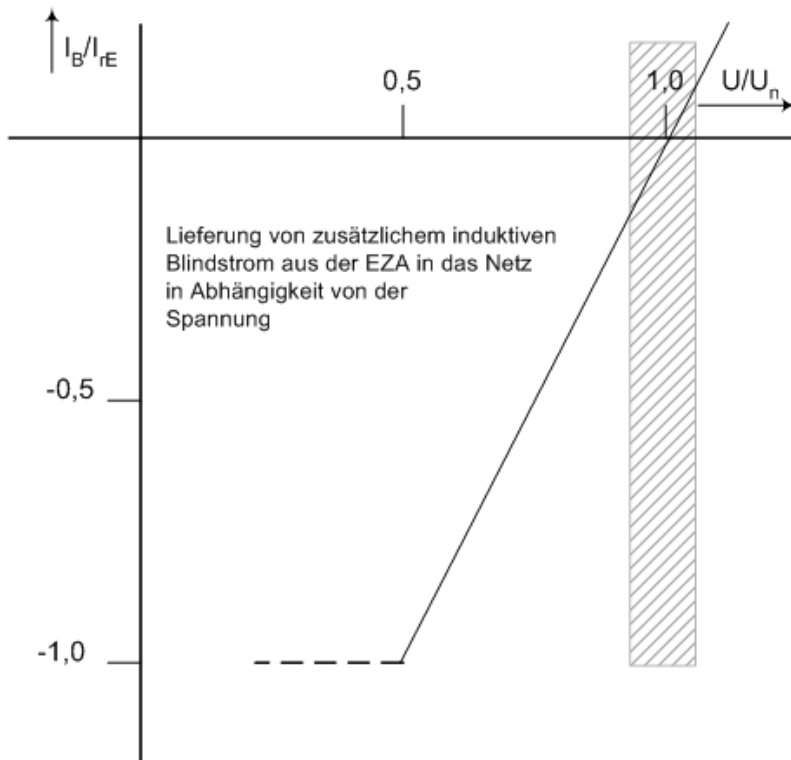
Bei anderen Erzeugungskonzepten hat die Bereitstellung eines zusätzlichen Blindstromes zeitabhängig zu erfolgen. Der Augenblickswert des Blindstromes richtet sich nach dem Halbschwingungseffektivwert der verketteten Spannungen und beträgt 2% des Bemessungsstromes der Erzeugungsanlagen je 1% Spannungseinbruch (Siehe Bild 3-3).

Bei dreipoligen Fehlern verändern sich die drei verketteten Spannungen auf der Netzseite nahezu gleich und die Bereitstellung des zusätzlichen Blindstroms erfolgt symmetrisch in den drei Leitern mit den in Bild 3-3 gegebenen Werten. Bei zweipoligen Fehlern verändert sich auf der Netzseite überwiegend eine der drei verketteten Spannungen und die Bereitstellung des zusätzlichen Blindstroms erfolgt im wesentlichen in den beiden betroffenen Leitern mit den in Bild 3-3 gegebenen Werten. Bei einpoligen Fehlern in Netzen mit geerdetem Sternpunkten verändern sich auf der Netzseite die drei verketteten Spannungen weniger als bei drei- bzw. zweipoligen Fehlern. Ein mögliches Totband im Bereich der Nennspannung (in Bild 3-3 schraffiert gezeichnet) kann den im Fehlerfall erforderlichen zusätzlichen Blindstrom für den Normalbetrieb (Kap. 3.6) verhindern.

Auf der Seite der Erzeugungseinheiten ergeben sich je nach Schaltgruppe der Transformatoren andere Verhältnisse. Die Bereitstellung des Blindstromes erfolgt im wesentlichen in den Phasen, in denen auf der Generatorseite eine Veränderung der verketteten Spannung stattfindet.

Die Blindstrombereitstellung hat innerhalb von 20ms nach Fehlereintritt zu erfolgen. Der Blindstrom kann auf den Bemessungsstrom der EZE begrenzt werden.

Die Rückkehr von Spannungsstützung auf Normalbetrieb darf nach 3s stattfinden.



**Bild 3-3** Höhe des zusätzlichen Blindstroms bei Spannungseinbrüchen

#### 4 Trennen der Erzeugungsanlagen vom Netz

Die Erzeugungsanlagen müssen bei Über- oder Unterschreitung der durch den Netzbetreiber vorgegebenen Grenzwerte für Frequenz oder Spannung am Anschlusspunkt automatisch vom Netz getrennt werden, um – insbesondere im Falle einer Inselnetzbildung – unzulässige Betriebszustände auszuschließen.

Bei Frequenzen zwischen 47,5 Hz und 51,5 Hz ist eine automatische Trennung aufgrund der Frequenzabweichung gegenüber 50 Hz nicht zulässig. Bei Erreichen von 47,5 Hz bzw. von 51,5 Hz muss unverzüglich eine automatische Trennung vom Netz erfolgen. Der Netzbetreiber kann im Einzelfall einen anderen Einstellwert vorgeben (z.B. wenn sich eine EZA in einem Lastabwurfgebiet des 5-Stufenplanes [1] befindet).

Sinkt die Netzspannung am Netzanschlusspunkt quasistationär auf einen Wert unter  $80\% U_n$ , dann muss eine automatische Trennung der EZA vom Netz nach 5 Sekunden erfolgen (Anmerkung: Der Netzbetreiber kann bei Bedarf längere Zeiten vorgeben). Oberhalb von  $85\% U_n$  ist eine Trennung vom Netz nicht zulässig. Im Einzelfall können abweichende Vorgaben erforderlich sein.

## 5 Wirkleistungsabgabe

### 5.1 Wirkleistungsreduktion bei Überfrequenz

Die Wirkleistungsabgabe ist ab einer Frequenz von 50,25 Hz zu reduzieren. Die Wirkleistungsreduktion erfolgt proportional zum Frequenzanstieg mit 40%  $P_m$  je Hz. Dabei ist  $P_m$  diejenige momentane Leistung, die bei Überschreiten der Frequenz von 50,25 Hz in das Netz abgegeben wurde. Bei Rückgang der Frequenz ist die Leistung entsprechend wieder zu erhöhen.

Anmerkung: die Reduktion kann in 10 % Stufen der installierten Leistung erfolgen. Der Leistungsgradient muss nicht größer sein als  $1P_m$  pro 5s.

### 5.2 Wirkleistungsabgabe bei Gefährdung der Netzstabilität

Der Anstieg der abgegebenen Wirkleistung darf nach Spannungslosigkeit im Netz einen Gradienten von 10 % der Anschlusswirkleistung pro Minute nicht überschreiten. Eine Stufung ist möglich, wenn die einzelne Stufe nicht mehr als 10 % der Anschlusswirkleistung pro Minute zuschaltet.

## 6 Literaturhinweis

[1] TransmissionCode 2003

“Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber“

August 2003, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW

Robert Koch Platz 4, 10115 Berlin