

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser VDE-Anwendungsregel ist ... .

### Inhalt

	Seite
Vorwort.....	8
Einleitung .....	9
1 Anwendungsbereich .....	10
2 Normative Verweisungen .....	10
3 Begriffe und Abkürzungen .....	11
3.1 Begriffe .....	11
3.2 Abkürzungen .....	23
4 Allgemeine Grundsätze .....	24
4.1 Bestimmungen und Vorschriften .....	24
4.2 Anmeldeverfahren und anschlussrelevante Unterlagen .....	25
4.2.1 Allgemeines .....	25
4.2.2 Prozess und Anschlusszusage .....	26
4.2.3 Prozess für Erlaubnis zur Zuschaltung (EZZ) .....	27
4.2.4 Prozess für Vorläufige Betriebserlaubnis (VBE) .....	28
4.3 Prozess für Endgültige Betriebserlaubnis (EBE).....	29
5 Netzanschluss .....	30
5.1 Grundsätze für die Ermittlung des Netzanschlusspunktes.....	30
5.2 Bemessung der Netzbetriebsmittel .....	30
5.3 Spannung und Frequenz am Netzanschlusspunkt .....	31
5.4 Netzurückwirkungen .....	31
5.4.1 Allgemeines .....	31
5.4.2 Schnelle Spannungsänderungen .....	32
5.4.3 Flicker .....	32
5.4.4 Harmonische, Zwischenharmonische und höherfrequente Emission .....	33
5.4.5 Kommutierungseinbrüche .....	35
5.4.6 Unsymmetrien .....	35
5.5 Blindleistungsverhalten.....	36
5.6 Resonanzen und Reglerinteraktionen .....	37
6 Planung und Ausführung der Übergabe.....	37
6.1 Baulicher Teil.....	37
6.1.1 Allgemeines .....	37
6.1.2 Einzelheiten zur baulichen Ausführung .....	37
6.2 Elektrischer Teil .....	37
6.2.1 Allgemeines .....	37
6.2.2 Schaltanlagen.....	38

	Seite
6.2.3 Sternpunktbehandlung .....	38
6.2.4 Erdungsanlage .....	38
6.3 Sekundärtechnik .....	38
6.3.1 Prozessdatenübertragung.....	38
6.3.2 Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung.....	39
6.3.3 Schutzeinrichtungen.....	39
6.3.4 Sprachkommunikation.....	39
6.4 Bereitstellung von Daten für Netz- und Störungsanalysen .....	40
6.4.1 Netzanalysen .....	40
6.4.2 Störungsanalysen .....	40
7 Abrechnungsmessung .....	41
7.1 Allgemeines.....	41
7.1.1 Zählerplatz .....	41
7.1.2 Messeinrichtung .....	41
7.2 Spannungsebene der Abrechnungsmessung.....	41
8 Betrieb der Kundenanlage .....	42
8.1 Allgemeines.....	42
8.2 Netzführung.....	42
8.3 Arbeiten in der Übergabestation .....	42
8.4 Zugang .....	42
8.5 Bedienung vor Ort .....	43
8.6 Instandhaltung.....	43
8.7 Kupplung von Netzen.....	43
8.8 Betrieb bei Störungen .....	43
8.9 Notstromaggregate .....	43
9 Änderungen, Außerbetriebnahmen und Demontage.....	43
10 Erzeugungsanlagen .....	44
10.1 Allgemeines.....	44
10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz .....	44
10.2.1 Allgemeines.....	44
10.2.2 Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung .....	47
10.2.3 Dynamische Netzstützung .....	55
10.2.4 Wirkleistungsabgabe.....	62
10.2.5 Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungsanlage .....	67
10.2.6 Modelle.....	68
10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen .....	71
10.3.1 Allgemeines.....	71
10.3.2 Netzschutzeinrichtungen.....	71
10.3.3 Kurzschlusschutzeinrichtungen des Anschlussnehmers .....	71

	Seite
10.3.4	Entkopplungsschutzeinrichtungen des Anschlussnehmers ..... 71
10.3.5	Zusammenfassung Schutzkonzept bei Anschluss einer Erzeugungsanlage ..... 72
10.3.6	Schutzkonzept für Mischanlagen ..... 72
10.3.7	Schnittstellen für Schutzfunktions-Prüfungen ..... 72
10.4	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 73
10.4.1	Allgemeines ..... 73
10.4.2	Zuschalten nach Schutzauslösungen ..... 73
10.4.3	Zuschaltung von Erzeugungseinheiten und -anlagen ..... 74
10.4.4	Kuppelschalter ..... 74
10.5	Weitere Anforderungen an Erzeugungsanlagen ..... 75
10.5.1	Abfangen auf Eigenbedarf ..... 75
10.5.2	Trennen der Erzeugungseinheit vom Netz bei Instabilität ..... 75
10.5.3	Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärregelleistung ..... 75
10.5.4	Fähigkeit zur Bereitstellung von Sekundärregelleistung und Minutenreserve ..... 78
10.6	Gesonderte Anforderungen an Erzeugungsanlagen mit Offshore-Netzanschlusspunkt ..... 78
10.6.1	Allgemeines ..... 78
10.6.2	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich der Spannungshaltung ..... 79
10.6.3	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich der Robustheit ..... 79
10.6.4	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich des Netzsicherheitsmanagements ..... 79
10.6.5	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 80
11	Nachweis der elektrischen Eigenschaften für Erzeugungsanlagen ..... 80
11.1	Gesamter Nachweisprozess ..... 80
11.2	Einheitenzertifikat ..... 83
11.2.1	Allgemeines ..... 83
11.2.2	Netzurückwirkungen ..... 84
11.2.3	Quasistationärer Betrieb und Pendelungen ..... 85
11.2.4	Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung ..... 85
11.2.5	Dynamische Netzstützung ..... 86
11.2.6	Wirkleistungsabgabe und Netzsicherheitsmanagement ..... 89
11.2.7	Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz ..... 89
11.2.8	Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungseinheit ..... 93
11.2.9	Schutztechnik und Schutzeinstellungen ..... 94
11.2.10	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 95
11.2.11	Trennen der Erzeugungseinheit vom Netz bei Instabilität ..... 95
11.3	Komponentenzertifikat ..... 96
11.3.1	Allgemeines ..... 96
11.3.2	Anforderung an EZA-Regler ..... 96
11.3.3	Anforderungen an aktive statische Kompensationsanlagen ..... 98
11.3.4	Anforderungen an Spannungsregler inkl. des Erregersystems einer Typ-1-Erzeugungseinheit ..... 98

	Seite
11.3.5 Anforderungen an Hilfsaggregate bei Typ-1-Erzeugungseinheiten.....	100
11.4 Anlagenzertifikat.....	100
11.4.1 Allgemeines.....	100
11.4.2 Vom Anschlussnehmer zur Erstellung des Anlagenzertifikates bereitzustellenden Unterlagen ....	101
11.4.3 Einspeiseleistung .....	101
11.4.4 Bemessung der Betriebsmittel .....	102
11.4.5 Spannungsänderung am Netzanschlusspunkt .....	102
11.4.6 Erforderliche Netzkurzschlussleistung am Netzanschlusspunkt.....	102
11.4.7 Netzurückwirkungen.....	102
11.4.8 Quasistationärer Betrieb, Polrad-/Netzpendelungen .....	105
11.4.9 Nachweis der Teilnetzbetriebsfähigkeit .....	105
11.4.10 Nachweis der Schwarzstartfähigkeit.....	105
11.4.11 Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung .....	106
11.4.12 Dynamische Netzstützung .....	107
11.4.13 Wirkleistungsabgabe.....	109
11.4.14 Netzsicherheitsmanagement .....	109
11.4.15 Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz (Über- und Unterfrequenz) .....	110
11.4.16 Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungsanlage .....	110
11.4.17 Schutztechnik und Schutzeinstellungen .....	110
11.4.18 Zuschaltbedingungen und Synchronisierung.....	111
11.4.19 Abfangen auf Eigenbedarfsbetrieb bzw. schnelle Resynchronisierung.....	111
11.4.20 Anforderungen an die Fähigkeit zur Regelleistungsbereitstellung .....	112
11.4.21 Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung.....	112
11.4.22 Sprunghafte Spannungsänderungen .....	112
11.4.23 EZA-Modell und Genauigkeit.....	112
11.4.24 Gesonderte Anforderungen hinsichtlich des Nachweises der elektrischen Eigenschaften bei Erzeugungsanlagen mit offshore-Netzanschlusspunkt.....	112
11.4.25 Nachtrag zum Anlagenzertifikat .....	113
11.5 Inbetriebsetzungsphase .....	113
11.5.1 Inbetriebsetzung der Netzanschlusses .....	113
11.5.2 Inbetriebsetzung der Erzeugungseinheiten .....	113
11.5.3 Inbetriebsetzung der gesamten Erzeugungsanlage und Inbetriebsetzungserklärung .....	113
11.5.4 Konformitätserklärung .....	115
11.5.5 Betriebsphase .....	116
11.6 Einzelnachweisverfahren .....	117
11.6.1 Allgemeines.....	117
11.6.2 Inbetriebsetzung einer Erzeugungsanlage .....	117
12 Prototypen-Regelung .....	118
Anhang A.....	120

	Seite
Anhang B (informativ) .....	121
Anhang C (normativ) Weitere Festlegungen .....	129
Anhang D .....	131
Anhang E (informativ) Vordrucke.....	132
Literaturhinweise.....	157
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Anschluss- und Inbetriebnahmeprozess .....	26
Bild 2 – Anforderungen an den quasistationären Betrieb von Kundenanlagen.....	31
Bild 3 – Zulässiger Bereich des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$ bei Wirkleistungsbezug der Kundenanlage (dargestellt im Verbraucherzählpeilsystem).....	36
Bild 4 – Anforderungen an den quasistationären Betrieb von Erzeugungsanlagen.....	45
Bild 5 – Varianten der Anforderungen an Erzeugungsanlagen an die Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt für die 220-kV- und 380-kV-Ebene .....	49
Bild 6 – Varianten der $PQ$ -Diagramme der Erzeugungsanlage am Netzanschlusspunkt im Verbraucherzählpeilsystem .....	50
Bild 7 – Beispiel für eine $Q(U)$ -Kennlinie .....	52
Bild 8 – Beispiel für eine $Q(P)$ -Kennlinie.....	54
Bild 9 – Grenzkurve für relative Spannungserhöhungen.....	57
Bild 10 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve (FRT) für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt für eine Erzeugungsanlage vom Typ 1.....	58
Bild 11 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt für eine Erzeugungsanlage vom Typ 2.....	59
Bild 12 – Prinzip der Spannungsstützung bei Netzfehlern .....	61
Bild 13 – Anforderung an die Abgabeleistung der Erzeugungsanlagen im dynamischen Kurzzeitbereich.....	64
Bild 14 – Wirkleistungsanpassung regelbarer Anlagen bei Über- und Unterfrequenz mit einer Statik von 5 % (Bild 14a) bzw. von 2 % (Bild 14b) und Frequenzgrenzwerten von 49,8 Hz und 50,2 Hz für den Beginn der Wirkleistungsanpassung.....	65
Bild 15 – Bildung des Freigabesignals am Netzanschlusspunkt.....	73
Bild 16 – Funktionsschema Wiederzuschaltung eines Kuppelschalters (der Erzeugungseinheiten).....	73
Bild 17 – Leistungs-Frequenzkennlinie zur Bereitstellung von Primärregelleistung.....	76
Bild 18 – Zeitverhalten zur Bereitstellung von Primärregelleistung (bei voller Aktivierung) .....	77
Bild 19 – Grenzkurve für relative Spannungserhöhungen für Offshore-Stromerzeugungsanlagen.....	79
Bild 20 – Darstellung des Nachweisprozesses.....	81
Bild 21 – Veranschaulichung der Frequenzsprünge für Erzeugungseinheiten inkl. Windenergieanlagen.....	91
Bild 22 – Veranschaulichung der Frequenzsprünge für Speicher vom Typ 2 .....	92
Bild B.1 – Beispiel für eine sprunghafte Spannungsänderung .....	121
Bild B.2 – Beispiel eines Windparks zur Ermittlung der $k$ -Faktoren .....	123
Bild B.3 – Positive Richtung von Spannungen und Strömen .....	125
Bild B.4 – Scheinleistungskreis.....	125
Bild B.5 – Reglerstruktur in leistungsregelbaren Erzeugungsanlagen .....	128
Bild C.1 – Toleranzbereich für $\Delta i_B$ .....	129

	Seite
Bild C.2 – Prinzipielles Reglerverhalten einer Erzeugungsanlage .....	130
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Proportionalitätsfaktoren $q$ für die Berechnung der zulässigen Oberschwingungsströme .....	34
Tabelle 2 – Proportionalitätsfaktoren für die vereinfachte Berechnung der zulässigen zwischenharmonischen Ströme der Ordnung $\mu$ .....	34
Tabelle 3 – Anforderungen an die Anschwing- und Einschwingzeiten bezüglich Wirkleistungseinspeisung bei Über- und Unterfrequenz .....	66
Tabelle 4 – Mindestanforderungen an Detaillierte und Aggregierte EZA-Modelle .....	69
Tabelle 5 – Parameter für die Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärenergieleistung .....	76
Tabelle 6 – Parameter für die Fähigkeit zur Bereitstellung von Sekundärenergieleistung und Minutenreserve .....	78
Tabelle 7 – Prüfsequenz für Mehrfachfehler .....	86
Tabelle 8 – Umfang der notwendigen Angaben im Einheitenzertifikat zu den Kurzschlussstrombeiträgen .....	94
Tabelle 9 – Zeitpunkte nach Fehlereintritt zum Ausweis der Kurzschlussströme ( $i_p$ und $I$ ) .....	94
Tabelle 13 – Vom Anschlussnehmer bereitzustellende Unterlagen zur Erarbeitung des Anlagenzertifikates .....	101