

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser VDE-Anwendungsregel ist 2018-11-01.

Bis 2019-04-26 darf das zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieser VDE-Anwendungsregel gültige Regelwerk angewendet werden.

Es sind die Fristen des NC RfG (Artikel 4, Abs. 2 und Artikel 72), des NC DCC (Artikel 4, Abs. 2 und Artikel 59) sowie nationale Festlegungen zu beachten.

### Inhalt

	Seite
Vorwort.....	9
Einleitung .....	10
1 Anwendungsbereich.....	11
2 Normative Verweisungen .....	11
3 Begriffe und Abkürzungen.....	12
3.1 Begriffe .....	12
3.2 Abkürzungen .....	26
4 Allgemeine Grundsätze .....	27
4.1 Bestimmungen und Vorschriften .....	27
4.2 Anschlussprozess und anschlussrelevante Unterlagen.....	27
4.2.1 Allgemeines.....	27
4.2.2 Prozess und Anschlusszusage .....	28
4.2.3 Prozess für Erlaubnis zur Zuschaltung (EZZ) .....	29
4.2.4 Prozess für vorübergehende Betriebserlaubnis (VBE) .....	31
4.3 Prozess für Endgültige Betriebserlaubnis (EBE).....	31
5 Netzanschluss .....	32
5.1 Grundsätze für die Ermittlung des Netzanschlusspunktes.....	32
5.2 Bemessung der Netzbetriebsmittel .....	32
5.3 Spannung und Frequenz am Netzanschlusspunkt .....	32
5.4 Netzurückwirkungen .....	33
5.4.1 Allgemeines.....	33
5.4.2 Schnelle Spannungsänderungen .....	34
5.4.3 Flicker .....	34
5.4.4 Harmonische, Zwischenharmonische und höherfrequente Emission .....	35
5.4.5 Kommutierungseinbrüche .....	38
5.4.6 Unsymmetrien .....	38
5.5 Blindleistungsverhalten.....	39
5.6 Resonanzen und Reglerinteraktionen .....	40
6 Planung und Ausführung des Netzanschlusses.....	40
6.1 Baulicher Teil.....	40
6.1.1 Allgemeines .....	40
6.1.2 Einzelheiten zur baulichen Ausführung.....	40

	Seite
6.2 Elektrischer Teil.....	40
6.2.1 Allgemeines.....	40
6.2.2 Schaltanlagen .....	41
6.2.3 Sternpunktbehandlung.....	41
6.2.4 Erdungsanlage .....	41
6.3 Sekundärtechnik .....	42
6.3.1 Prozessdatenübertragung.....	42
6.3.2 Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung.....	42
6.3.3 Schutzeinrichtungen.....	42
6.3.4 Sprachkommunikation.....	43
6.4 Bereitstellung von Daten für Netz- und Störungsanalysen .....	43
6.4.1 Netzanalysen .....	43
6.4.2 Störungsanalysen .....	44
7 Abrechnungsmessung .....	44
7.1 Allgemeines.....	44
7.2 Spannungsebene der Abrechnungsmessung.....	44
8 Betrieb der Kundenanlage .....	44
8.1 Allgemeines.....	44
8.2 Netzführung.....	45
8.3 Arbeiten in der Übergabestation .....	45
8.4 Zugang .....	45
8.5 Bedienung vor Ort .....	45
8.6 Instandhaltung.....	45
8.7 Kupplung von Netzen.....	45
8.8 Betrieb bei Störungen .....	46
8.9 Notstromaggregate .....	46
9 Änderungen, Außerbetriebnahmen und Demontage.....	46
10 Erzeugungsanlagen .....	46
10.1 Allgemeines.....	46
10.2 Verhalten der Erzeugungsanlage am Netz.....	47
10.2.1 Allgemeines.....	47
10.2.2 Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung .....	50
10.2.3 Dynamische Netzstützung .....	60
10.2.4 Wirkleistungsabgabe.....	67
10.2.5 Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungsanlage .....	74
10.3 Schutzeinrichtungen und Schutzeinstellungen .....	75
10.3.1 Allgemeines.....	75
10.3.2 Netzschutzeinrichtungen.....	75
10.3.3 Kurzschlusschutzeinrichtungen des Anschlussnehmers .....	75

	Seite
10.3.4	Entkopplungsschutzeinrichtungen des Anschlussnehmers ..... 75
10.3.5	Zusammenfassung Schutzkonzept bei Anschluss einer Erzeugungsanlage ..... 76
10.3.6	Schutzkonzept für Mischanlagen ..... 76
10.3.7	Schnittstellen für Schutzfunktionsprüfungen ..... 76
10.4	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 76
10.4.1	Allgemeines ..... 76
10.4.2	Zuschalten nach Auslösung durch Schutzeinrichtungen ..... 77
10.4.3	Zuschaltung von Erzeugungseinheiten und -anlagen ..... 78
10.4.4	Kuppelschalter ..... 78
10.5	Weitere Anforderungen an Erzeugungsanlagen ..... 79
10.5.1	Abfangen auf Eigenbedarf ..... 79
10.5.2	Trennen der Erzeugungseinheit vom Netz bei Instabilität ..... 79
10.5.3	Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärregelleistung ..... 79
10.5.4	Fähigkeit zur Bereitstellung von Sekundärregelleistung und Minutenreserve ..... 82
10.6	Modelle ..... 82
10.6.1	Allgemeines ..... 82
10.6.2	Detaillierte EZA-Modelle ..... 84
10.6.3	Aggregiertes EZA-Modell ..... 85
10.6.4	Validierung von Modellen ..... 85
10.7	Gesonderte Anforderungen an Erzeugungsanlagen mit Offshore-Netzanschlusspunkt ..... 86
10.7.1	Allgemeines ..... 86
10.7.2	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich der Spannungshaltung ..... 86
10.7.3	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich der Robustheit ..... 88
10.7.4	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich des Netzsicherheitsmanagements ..... 89
10.7.5	Gesonderte Anforderungen hinsichtlich Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 89
11	Nachweis der elektrischen Eigenschaften für Erzeugungsanlagen ..... 89
11.1	Gesamter Nachweisprozess ..... 89
11.2	Einheitenzertifikat ..... 92
11.2.1	Allgemeines ..... 92
11.2.2	Netzurückwirkungen ..... 93
11.2.3	Quasistationärer Betrieb und Pendelungen ..... 94
11.2.4	Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung ..... 94
11.2.5	Dynamische Netzstützung ..... 95
11.2.6	Modelle ..... 98
11.2.7	Wirkleistungsabgabe und Netzsicherheitsmanagement ..... 100
11.2.8	Wirkleistungsanpassung in Abhängigkeit der Netzfrequenz ..... 101
11.2.9	Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungseinheit ..... 105
11.2.10	Schutztechnik und Schutzeinstellungen ..... 106
11.2.11	Zuschaltbedingungen und Synchronisierung ..... 107

	Seite
11.2.12 Trennen der Erzeugungseinheit vom Netz bei Instabilität .....	107
11.3 Komponentenzertifikat .....	107
11.3.1 Allgemeines.....	107
11.3.2 Anforderung an EZA-Regler .....	108
11.3.3 Anforderungen an aktive statische Kompensationsanlagen.....	109
11.3.4 Anforderungen an Spannungsregler inkl. des Erregersystems einer Typ-1- Erzeugungseinheit .....	109
11.3.5 Anforderungen an Hilfsaggregate bei Typ-1-Erzeugungseinheiten.....	111
11.3.6 Modelle.....	111
11.4 Anlagenzertifikat.....	112
11.4.1 Allgemeines.....	112
11.4.2 Vom Anschlussnehmer zur Erstellung des Anlagenzertifikates bereitzustellenden Unterlagen.....	112
11.4.3 Einspeiseleistung .....	113
11.4.4 Bemessung der Betriebsmittel .....	114
11.4.5 Spannungsänderung am Netzanschlusspunkt .....	114
11.4.6 Erforderliche Netzkurzschlussleistung am Netzanschlusspunkt.....	114
11.4.7 Netzurückwirkungen.....	114
11.4.8 Quasistationärer Betrieb, Polrad-/Netzpendelungen .....	116
11.4.9 Nachweis der Teilnetzbetriebsfähigkeit .....	116
11.4.10 Nachweis der Schwarzstartfähigkeit .....	117
11.4.11 Statische Spannungshaltung/Blindleistungsbereitstellung .....	117
11.4.12 Dynamische Netzstützung .....	119
11.4.13 Wirkleistungsabgabe.....	122
11.4.14 Netzsicherheitsmanagement .....	122
11.4.15 Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz (Über- und Unterfrequenz) .....	123
11.4.16 Kurzschlussstrombeitrag der Erzeugungsanlage .....	123
11.4.17 Schutztechnik und Schutzeinstellungen .....	123
11.4.18 Zuschaltbedingungen und Synchronisierung.....	124
11.4.19 Abfangen auf Eigenbedarfsbetrieb bzw. schnelle Resynchronisierung.....	125
11.4.20 Anforderungen an die Fähigkeit zur Regelleistungsbereitstellung .....	125
11.4.21 Eigenbedarfs- und Hilfsenergieversorgung.....	125
11.4.22 Sprunghafte Spannungsänderungen .....	125
11.4.23 EZA-Modell und Genauigkeit .....	125
11.4.24 Gesonderte Anforderungen hinsichtlich des Nachweises der elektrischen Eigenschaften bei Erzeugungsanlagen mit Offshore-Netzanschlusspunkt.....	126
11.4.25 Nachtrag zum Anlagenzertifikat.....	126
11.5 Inbetriebnahmephase .....	126
11.5.1 Inbetriebnahme der Netzanschlusses.....	126
11.5.2 Inbetriebnahme der Erzeugungseinheiten.....	126

	Seite
11.5.3 Inbetriebnahme der gesamten Erzeugungsanlage und Inbetriebnahmeerklärung .....	126
11.5.4 Konformitätserklärung .....	128
11.5.5 Betriebsphase.....	129
11.6 Einzelnachweisverfahren.....	130
11.6.1 Allgemeines .....	130
11.6.2 Inbetriebnahme einer Erzeugungsanlage .....	131
12 Prototypen-Regelung.....	131
Anhang A (informativ) Begriffe „Erzeugungseinheit“ und „Erzeugungsanlage“ .....	134
Anhang B (informativ) Erläuterungen .....	135
B.1 Erläuterungen zur sprunghaften Spannungsänderung .....	135
B.2 „Fault-Ride-Through“-Kurven .....	135
B.3 Ermittlung des $k$ -Faktors am Netzanschlusspunkt .....	136
B.4 Gleichungen für die Beschreibung der dynamischen Netzstützung .....	137
B.5 Richtungsdefinition von $P$ und $Q$ .....	138
B.6 Netzurückwirkungen .....	139
B.6.1 Spannungsänderungen bei Erzeugungseinheiten .....	139
B.6.2 Flicker .....	140
B.6.3 Flicker für Erzeugungsanlagen.....	140
B.6.4 Addition der Langzeitflickerstärken .....	140
B.6.5 Oberschwingungen und Zwischenharmonische .....	141
B.7 Teilnetzbetriebsfähigkeit und Reglerstruktur .....	141
Anhang C (normativ) Weitere Festlegungen .....	143
C.1 Toleranzbereich für den zusätzlichen Blindstrom .....	143
C.2 Prinzipielles Reglerverhalten.....	144
Anhang D (informativ) Erläuterungen zum gleitenden Totband für die Primärregelleistung .....	145
Anhang E (informativ) Vordrucke.....	146
E.1 Antragstellung.....	146
E.2 Datenblatt zur Beurteilung von Netzurückwirkungen .....	147
E.3 Netzanschlussplanung .....	149
E.4 Errichtungsplanung.....	149
E.5 Inbetriebsetzungsprotokoll für Übergabestationen.....	149
E.6 Datenblatt einer Erzeugungsanlage/eines Speichers – Höchstspannung .....	150
E.7 Netzbetreiberabfragebogen.....	155
E.8 Inbetriebsetzungsprotokoll für Erzeugungseinheiten und Speicher.....	161
E.9 Inbetriebnahmeerklärung Erzeugungsanlage/Speicher .....	161
E.10 Konformitätserklärung für Erzeugungsanlagen/Speicher.....	165
E.11 Einheitenzertifikat .....	167
E.12 Komponenten-Zertifikat .....	168
E.13 Anlagenzertifikat.....	169

	Seite
E.14 Betriebserlaubnisverfahren .....	170
Literaturhinweise .....	171
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Anschluss- und Inbetriebnahmeprozess .....	28
Bild 2 – Mindestanforderungen an den quasistationären Betrieb von Kundenanlagen .....	33
Bild 3 – Zulässiger Bereich des Verschiebungsfaktors $\cos \varphi$ bei Wirkleistungsbezug der Kundenanlage (dargestellt im Verbraucherzählpfeilsystem) .....	39
Bild 4 – Mindestanforderungen an den quasistationären Betrieb von Erzeugungsanlagen .....	47
Bild 5 – Varianten der Anforderungen an Erzeugungsanlagen des Typen 1 an die Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt für die 380-kV- und 220-kV-Ebene .....	52
Bild 6 – Varianten der Anforderungen an Erzeugungsanlagen des Typen 2 an die Blindleistungsbereitstellung am Netzanschlusspunkt für die 380-kV- und 220-kV-Ebene .....	53
Bild 7 – Varianten der $PQ$ -Diagramme der Erzeugungsanlagen des Typen 2 am Netzanschlusspunkt im Verbraucherzählpfeilsystem.....	54
Bild 8 – Beispiel für eine $Q(U)$ -Kennlinie .....	56
Bild 9 – Beispiel für eine $Q$ -Vorgabe (für Variante 2 nach den Bildern 5 und 6).....	58
Bild 10 – Grenzkurve für relative Spannungserhöhungen .....	62
Bild 11 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve (FRT) für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt für eine Erzeugungsanlage vom Typ 1 .....	63
Bild 12 – Fault-Ride-Through-Grenzkurve für den Spannungsverlauf am Netzanschlusspunkt für eine Erzeugungsanlage vom Typ 2.....	64
Bild 13 – Prinzip der Spannungsstützung bei Netzfehlern .....	66
Bild 14 – Anforderung an die Abgabeleistung der Erzeugungsanlagen im dynamischen Kurzzeitbereich .....	69
Bild 15 – Wirkleistungsanpassung von Erzeugungsanlagen vom Typ 1 und Typ 2 sowie stufenlos steuerbarer Verbrauchseinrichtungen und Speicher vom Typ 1 bei Über- und Unterfrequenz mit einer Statik von 5 % und Frequenzgrenzwerten von 49,8 Hz und 50,2 Hz für den Beginn der Wirkleistungsanpassung .....	71
Bild 16 – Wirkleistungsanpassung stufenlos steuerbarer Verbrauchseinrichtungen und Speicher vom Typ 2 bei Über- und Unterfrequenz mit einer Statik von 2 % und Frequenzgrenzwerten von 49,8 Hz und 50,2 Hz für den Beginn der Wirkleistungsanpassung.....	72
Bild 17 – Bildung des Signals für die Zuschaltbedingungen am Netzanschlusspunkt.....	77
Bild 18 – Funktionsschema Zuschaltung eines Kuppelschalters (der Erzeugungseinheiten) .....	77
Bild 19 – Leistungs-Frequenzkennlinie zur Bereitstellung von Primärregelleistung ohne Totband .....	80
Bild 20 – Zeitverhalten zur Bereitstellung von Primärregelleistung (bei voller Aktivierung).....	81
Bild 21 – Anforderungen an Offshore-Erzeugungsanlagen an die Blindleistungsbereitstellung für die 150-kV- und 220-kV-Ebene.....	87
Bild 22 – $PQ$ -Diagramme der Offshore-Erzeugungsanlagen am Netzanschluss im Erzeugerzählpfeilsystem .....	88
Bild 23 – Grenzkurve für relative Spannungserhöhungen für Offshore-Stromerzeugungsanlagen.....	89
Bild 24 – Darstellung des Nachweisprozesses für Anlagenzertifikat A.....	90
Bild 25 – Veranschaulichung der Frequenzsprünge für Erzeugungseinheiten der Typen 1 und 2 sowie Speicher vom Typ 1 .....	103
Bild 26 – Veranschaulichung der Frequenzsprünge für Speicher vom Typ 2.....	103

	Seite
Bild B.1 – Beispiel für eine sprunghafte Spannungsänderung .....	135
Bild B.2 – Beispiel eines Windparks zur Ermittlung der $k$ -Faktoren .....	137
Bild B.3 – Positive Richtung von Spannungen und Strömen .....	139
Bild B.4 – Scheinleistungskreis.....	139
Bild B.5 – Prinzipielle Reglerstruktur in leistungsregelbaren Erzeugungseinheiten.....	142
Bild C.1 – Toleranzbereich für $\Delta i_B$ .....	143
Bild C.2 – Prinzipielles Reglerverhalten einer Erzeugungsanlage .....	144
Bild D.1 – Aufbau des gleitenden Totbands .....	145
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Zulässige Spannungsänderung in Abhängigkeit von Häufung und Pausenzeit.....	34
Tabelle 2 – Proportionalitätsfaktoren $q_V$ für die Berechnung der zulässigen Oberschwingungsströme .....	37
Tabelle 3 – Proportionalitätsfaktoren für die vereinfachte Berechnung der zulässigen zwischenharmonischen Ströme der Ordnung $\mu$ .....	37
Tabelle 4 – Anforderungen an die Anschwing- und Einschwingzeiten bezüglich Wirkleistungseinspeisung bei Über- und Unterfrequenz .....	73
Tabelle 5 – Parameter für die Fähigkeit zur Bereitstellung von Primärenergieleistung.....	80
Tabelle 6 – Parameter für die Fähigkeit zur Bereitstellung von Sekundärenergieleistung und Minutenreserve.....	82
Tabelle 7 – Mindestanforderungen an detaillierte und aggregierte EZA-Modelle .....	84
Tabelle 8 – Prüfsequenz für Mehrfachfehler .....	96
Tabelle 9 – Umfang der notwendigen Angaben im Einheitszertifikat zu den Kurzschlussstrombeiträgen .....	105
Tabelle 10 – Zeitpunkte nach Fehlereintritt zum Ausweis der Kurzschlussströme .....	106
Tabelle 11 – Vom Anschlussnehmer bereitzustellende Unterlagen zur Erarbeitung des Anlagenzertifikates .....	113