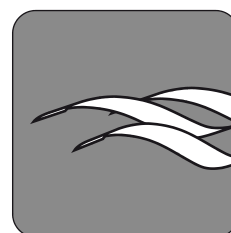
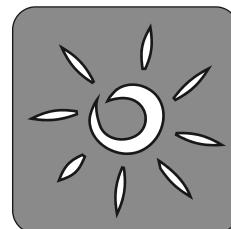
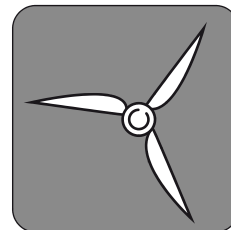


Technische Richtlinien für Erzeugungseinheiten und -anlagen

TEIL 3 (TR3)

**Bestimmung der elektrischen Eigenschaften
von Erzeugungseinheiten und -anlagen,
Speicher sowie für deren Komponenten am
Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz**

Revision 25
Stand 01.09.2018



Herausgeber:
FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie
und andere Dezentrale Energien

Notifiziert gemäß der Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 241 vom 17.9.2015, S. 1)

Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz

Stand 01.09.2018

Herausgeber

FGW e.V.
Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien

Oranienburger Straße 45
10117 Berlin

Tel. +49 (0)30 30101505-0

Fax +49 (0) 30 30101505-1

E-Mail info@wind-fgw.de

Internet www.wind-fgw.de

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliothek; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrecht zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Herausgebers. Dies gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Aus Gründen der einfacheren Lesbarkeit wird auf die geschlechtsneutrale Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für beide Geschlechter.

Folgende Teile der Technischen Richtlinien der FGW sind erhältlich:

- Teil 1:** Bestimmung der Schallemissionswerte
- Teil 2:** Bestimmung von Leistungskennlinien und standardisierten Energieerträgen
- Teil 3:** Bestimmung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz
- Teil 4:** Anforderungen an Modellierung und Validierung von Simulationsmodellen der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie deren Komponenten
- Teil 5:** Bestimmung und Anwendung des Referenzertrages
- Teil 6:** Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen
- Teil 7:** Betrieb und Instandhaltung von Kraftwerken für erneuerbare Energien
 - Rubrik A:** Allgemeiner Teil
 - Rubrik A1:** Anlagenverantwortung
 - Rubrik B3:** Fachspezifische Anwendungserläuterung zur Überwachung und Überprüfung von Gründung und Tragstrukturen (GuT) bei Windenergieanlagen
 - Rubrik D2:** Zustands-Ereignis-Ursachen-Schlüssel für Erzeugungseinheiten (ZEUS)
 - Rubrik D3:** Globales Service Protokoll (GSP)
 - Rubrik D3 – Anhang A:** XML-Schemadokumentation
- Teil 8:** Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen, Speicher sowie für deren Komponenten am Stromnetz
- Teil 9:** Bestimmung der hochfrequenten Emission von regenerativen Energieerzeugungseinheiten
- Teil 10:** Bestimmung der Standortgüte nach Inbetriebnahme

Vorwort

Zu diesem Dokument ist am 22.01.2019 ein Beiblatt mit Korrekturen erschienen. Es ist online recherchier- und kostenfrei verfügbar unter www.wind-fgw.de

Die Erarbeitung der Technischen Richtlinien für Windenergieanlagen (seit 1998 auch FGW-Richtlinien genannt) begann 1992 mit dem Ziel, Messverfahren anzugeben, mit denen verlässliche und vergleichbare Daten über Windenergieanlagen (WEA) nach dem neuesten Stand der Technik ermittelt werden können. Die Messungen aus den drei Bereichen - Leistungskurve, Schallemission und Elektrische Eigenschaften - sollten als Grundlage zur Beurteilung von WEA, z. B. in Genehmigungsfragen, bei der Beurteilung von Netzanschlussmöglichkeiten oder für verlässliche Ertragsberechnungen dienen.

Inzwischen haben die einzelnen Technischen Richtlinien sowie die von unabhängigen Messinstituten erstellten Prüfberichte in ihren Bereichen Geltung erlangt. Leistungskurven sind Grundlage von Kaufverträgen und Finanzierungszusagen, vermessene Schallemissionswerte finden sowohl in Kaufverträgen als auch im Zuge der Genehmigung Anwendung. Die Vermessung der elektrischen Eigenschaften entsprechend dieser Technischen Richtlinie wird von den Übertragungsnetzbetreibern für Berechnungen zum Anschluss an deren Netze gefordert.

Erstellung der Richtlinien

Die inhaltliche Gestaltung der Technischen Richtlinien obliegt den entsprechenden Fachausschüssen und Arbeitskreisen. An der Erstellung dieser Richtlinien in den Arbeitskreisen waren beteiligt: Unabhängige Messinstitute, Immissionsschutzbehörden der Bundesrepublik Deutschland, Hersteller von Energieerzeugungseinheiten (EZE) und deren Komponenten, Netzbetreiber, Institute und Hochschulen, Ingenieurbüros, Forum Netztechnik/Netzbetrieb im VDE (FNN), Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien (FGW e.V.).

Durchführung und Anerkennung der Messungen

Die Messungen nach den Technischen Richtlinien können von allen qualifizierten Messinstitutionen durchgeführt werden. Über die Messung ist ein Prüfbericht unter Berücksichtigung der in dieser Richtlinie angegebenen Anforderungen zu erstellen. Auf Grundlage des Prüfberichts können die Ergebnisse auf den in dieser Richtlinie angegebenen Vorgaben in einem Auszug aus dem Prüfbericht (FGW-Stammblatt) zusammengefasst werden.

Es ist jedoch neben den in diesen Technischen Richtlinien beschriebenen Vorgaben zu beachten, dass die Stelle, die diese Messungen anerkennen soll, weitere Anforderungen an die Messinstitution stellen kann. So fordern Zertifizierer von EZE-Messungen nach DIN EN ISO/IEC 17025 [19] akkreditierte Messinstitute.

FGW-Konformität

Unabhängige Messinstitute können die Qualität ihrer Arbeit durch das Führen eines Konformitätssiegels hervorheben. Zu diesem Zweck wird das Siegel unter den Prüfbericht (bzw. Auszug aus dem Prüfbericht) gesetzt. Die Berechtigung zum Führen des Konformitätssiegels kann von unabhängigen Messinstituten beim Nachweis entsprechender Qualitätsmerkmale beantragt werden. Diese sind auf der Internet-Seite der FGW veröffentlicht.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	i
Verwendete Abkürzungen	viii
Symbole und Einheiten	x
Begriffe und Definitionen	xiii
1 Einleitung	1
2 Anwendungsbereich	2
3 Anforderungen	3
3.1 Allgemein	3
3.2 Messaufbau	3
3.3 Messtechnik.....	4
3.4 Prüfbedingungen.....	7
3.5 Darstellung im Prüfbericht	8
3.5.1 Allgemeine Angaben.....	8
3.5.2 Angaben zur EZE.....	8
3.5.3 Bezugswerte	9
3.5.4 Angaben zum Mess- und Testsystem	9
3.5.5 Prüfbedingungen	10
3.5.6 Messunsicherheiten.....	11
3.5.7 Auszug aus dem Prüfbericht	11
4 Durchführung und Auswertung der Messungen an EZE	12
4.1 Wirkleistungsabgabe.....	12
4.1.1 Wirkleistungsspitzen.....	12
4.1.1.1 Ziele.....	12
4.1.1.2 Prüfverfahren	12
4.1.1.3 Auswertungen	12
4.1.1.4 Darstellungen im Prüfbericht.....	13
4.1.2 Leistungsbegrenzter Betrieb durch den Netzbetreiber	13
4.1.2.1 Ziel	13
4.1.2.2 Prüfverfahren	13
4.1.2.3 Auswertung.....	15
4.1.2.4 Darstellungen im Prüfbericht.....	17
4.1.3 Wirkleistungseinspeisung in Abhängigkeit der Netzfrequenz.....	19
4.1.3.1 Ziele.....	19
4.1.3.2 Prüfverfahren	20
4.1.3.3 Durchführung der Prüfung.....	20
4.1.3.4 Auswertungen	26

4.1.3.5	Darstellungen im Prüfbericht.....	27
4.1.4	Wirkleistungsgradient nach Spannungslosigkeit	31
4.1.4.1	Ziele.....	31
4.1.4.2	Prüfverfahren	31
4.1.4.3	Auswertungen	31
4.1.4.4	Darstellungen im Prüfbericht.....	33
4.2	Blindleistungsbereitstellung.....	35
4.2.1	Blindleistungsverhalten im Normalbetrieb	35
4.2.1.1	Ziel	35
4.2.1.2	Prüfverfahren	35
4.2.1.3	Auswerteverfahren.....	35
4.2.1.4	Darstellung	35
4.2.2	Vermessung des maximalen Blindleistungsstellbereichs (P-Q-Diagramm).....	36
4.2.2.1	Ziel	36
4.2.2.2	Prüfverfahren	37
4.2.2.3	Auswerteverfahren.....	37
4.2.2.4	Darstellung	38
4.2.3	Vermessung einzelner Arbeitspunkte des spannungsabhängigen P-Q-Diagramms.....	39
4.2.3.1	Ziel	39
4.2.3.2	Prüfverfahren	39
4.2.3.3	Auswerteverfahren.....	41
4.2.3.4	Darstellung	41
4.2.4	Blindleistung nach Sollwertvorgabe.....	42
4.2.4.1	Ziel	42
4.2.4.2	Prüfverfahren	42
4.2.4.3	Auswerteverfahren.....	44
4.2.4.4	Darstellung	45
4.2.5	Q(U) Regelung.....	46
4.2.5.1	Ziel	46
4.2.5.2	Prüfverfahren	46
4.2.5.3	Auswerteverfahren.....	47
4.2.5.4	Darstellung	48
4.2.6	Q(P) Regelung.....	49
4.2.6.1	Ziel	49
4.2.6.2	Prüfverfahren	49
4.2.6.3	Auswerteverfahren.....	50
4.2.6.4	Darstellung	50
4.2.7	Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion	51
4.3	Netzurückwirkungen.....	51

4.3.1 Allgemeine Verfahren	51
4.3.1.1 Allgemeines Prüfverfahren	51
4.3.1.2 Allgemeines Auswerteverfahren	53
4.3.2 Schalthandlungen	55
4.3.2.1 Ziel	55
4.3.2.2 Prüfverfahren	55
4.3.2.3 Auswerteverfahren	56
4.3.2.4 Darstellung	58
4.3.3 Flicker	59
4.3.3.1 Ziel	59
4.3.3.2 Prüfverfahren	59
4.3.3.3 Auswerteverfahren	60
4.3.3.4 Darstellung	61
4.3.4 Oberschwingungen	63
4.3.4.1 Ziel	63
4.3.4.2 Prüfverfahren	63
4.3.4.3 Auswerteverfahren	64
4.3.4.4 Darstellung	66
4.3.5 Unsymmetrien des Stroms	72
4.3.5.1 Ziel	72
4.3.5.2 Prüfverfahren	72
4.3.5.3 Auswerteverfahren	72
4.3.5.4 Darstellung	73
4.4 Trennung der EZE vom Netz	74
4.4.1 Ziel	74
4.4.2 Prüfverfahren	74
4.4.3 Auswerteverfahren	80
4.4.4 Darstellung	81
4.5 Nachweis der Zuschaltbedingungen	85
4.5.1 Zuschalten ohne vorherige Schutzauslösung	85
4.5.1.1 Ziel	85
4.5.1.2 Prüfverfahren	85
4.5.1.3 Auswerteverfahren	85
4.5.1.4 Darstellung	86
4.5.2 Zuschalten nach Auslösung des Entkopplungsschutzes	87
4.5.2.1 Ziel	87
4.5.2.2 Prüfverfahren	87
4.5.2.3 Auswerteverfahren	88
4.5.2.4 Darstellung	88
4.6 Verhalten bei Störungen im Netz (FRT)	89

4.6.1 Allgemein	89
4.6.1.1 Ziel	89
4.6.1.2 Allgemeines Prüfverfahren	90
4.6.2 EZE vom Typ 1	92
4.6.2.1 Prüfverfahren	92
4.6.2.2 Auswerteverfahren	95
4.6.2.3 Darstellung	97
4.6.3 EZE vom Typ 2	101
4.6.3.1 Prüfverfahren	101
4.6.3.2 Auswerteverfahren	105
4.6.3.3 Darstellung	109
4.7 Nachweis des Arbeitsbereiches hinsichtlich Spannung und Frequenz	114
4.7.1 Ziel	114
4.7.2 Prüfverfahren	114
4.7.3 Auswerteverfahren	114
4.7.4 Darstellung im Prüfbericht	114
5 Durchführung und Auswertung der Messungen an EZA	115
5.1 Oberschwingungsmessungen an der EZA	115
6 Durchführung und Auswertung der Messungen an Komponenten	117
6.1 EZA-Regler	117
6.1.1 Allgemeine Festlegungen	117
6.1.2 Messaufbau	117
6.1.3 Ermittlung der Einstellgenauigkeit	119
6.1.3.1 Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$	119
6.1.3.2 Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion	120
6.1.3.3 Kennlinie Q(U)	122
6.1.3.4 Kennlinie Q(P) (nur für VDE-AR-N 4110)	124
6.1.3.5 Wirkleistung P	125
6.1.4 Ermittlung der Einschwingzeit	125
6.1.4.1 Verschiebungsfaktor $\cos \varphi$	126
6.1.4.2 Blindleistung Q mit Spannungsbegrenzungsfunktion	126
6.1.4.3 Kennlinie Q(U)	127
6.1.4.4 Kennlinie Q(P)	128
6.1.4.5 Wirkleistung P	128
6.1.5 Ermittlung Des Umschaltverhaltens	130
6.1.5.1 Prüfverfahren	130
6.1.5.2 Dokumentation	130
6.1.6 Verhalten bei technischen Störungen	130
6.1.6.2 Ausfall der Versorgungsspannung	131

6.1.6.3	Kommunikationsleitungen	131
6.1.7	Reglerüberbrückung (slave-mode).....	132
6.1.7.1	Prüfverfahren	132
6.1.7.2	Dokumentation	132
6.1.8	Priorisierung der Netzbetreibervorgabe	132
6.1.8.1	Prüfverfahren	132
6.1.8.2	Dokumentation	133
6.1.9	Ermittlung des Wirkleistungsgradienten nach Spannungslosigkeit	133
6.1.9.1	Ablauf.....	133
6.1.9.2	Dokumentation	134
6.2	Blindleistungsbereitstellung aktive statische Kompensationsanlage	134
6.2.1	Vermessung des maximalen Blindleistungsstellbereichs	134
6.2.1.1	Ziel	134
6.2.1.2	Prüfverfahren	134
6.2.1.3	Auswerteverfahren	134
6.2.1.4	Darstellung	134
6.2.2	Vermessung einzelner Arbeitspunkte des spannungsabhängigen Blindleistungsstellbereichs	135
6.2.2.1	Ziel	135
6.2.2.2	Prüfverfahren	135
6.2.2.3	Auswerteverfahren	136
6.2.2.4	Darstellung	136
6.2.3	Blindleistung nach Sollwertvorgabe.....	136
6.2.3.1	Ziel	136
6.2.3.2	Prüfverfahren	136
6.2.3.3	Auswerteverfahren	139
6.2.3.4	Darstellung	139
6.3	Prüfung der FRT-Fähigkeit von Hilfsaggregaten	140
6.3.1	Ziel.....	140
6.3.2	Prüfverfahren	140
6.3.3	Auswertung	141
6.3.4	Darstellung	141
Literaturverzeichnis		142
Inhaltsverzeichnis Anhänge		144

Verwendete Abkürzungen

AWE	Automatische Wiedereinschaltung
BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e.V.
BHKW	Blockheizkraftwerk: EZE mit Verbrennungsmotor, bei dem neben der elektrischen auch die thermische Energie genutzt wird
CHP	Combined Heat and Power
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DASM	Doppeltgespeiste Asynchronmaschine
EMC	Electromagnetic compatibility
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
EN	Europäische Norm
EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit, einzelne Einheit zur Erzeugung von elektrischer Energie, entsprechend [1]
FACTS	Flexible Alternating Current Transmission System
FGW	FGW e.V. Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien
FNN	Forum für Netzbetrieb/Netztechnik im VDE
FRT	Fault-Ride-Through
HS-Netz	Hochspannungsnetz
HöS-Netz	Höchstspannungsnetz
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	Internationale Organisation für Normung
MP1	Messpunkt 1. Der netzseitige Messpunkt an einer Prüfeinrichtung. (Meistens an der Mittelspannungsebene).
MP2	Messpunkt 2. Der EZE-seitige Messpunkt an einer Prüfeinrichtung. (Meistens an der Mittelspannungsebene. Meistens an der Oberseite des EZE-Transformators).
MP3	Messpunkt 3. Der EZE-seitige Messpunkt (Meistens an der Niederspannungsebene. Meistens an der Unterseite des EZE-Transformators).
MPP	Maxium Power Point (Solarmodule werden normalerweise im Punkt der maximalen Leistungsabgabe betrieben.)
MS-Netz	Mittelspannungsnetz
NAP	Netzanschlusspunkt
NAR	Netzanschlussregeln
NB	Netzbetreiber
OS	Oberschwingung
OVRT	Over-Voltage-Ride-Through bzw. Durchfahren der Überspannung
PV	Photovoltaikanlage

p.u.	Hilfsmaßeinheit bezogen auf einen Bezugswert. In vorliegender Richtlinie werden die Nennspannung, Nennscheinleistung und Nennstrom als Bezugswerte herangezogen.
TAR-MS	Technische Anschlussregeln Mittelspannungsspannung (VDE AR-N 4110) [12]
TAR-HS	Technische Anschlussregeln Hochspannung (VDE AR-N 4120) [13]
TAR-HöS	Technische Anschlussregeln Höchstspannung (VDE AR-N 4130) [14]
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
UVRT	Under-Voltage-Ride-Through bzw. Durchfahren des Spannungseinbruchs
UW	Umspannwerk
VDN	Verband der Netzbetreiber
VKM	Verbrennungskraftmaschine
WEA	Windenergieanlage

Symbole und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
v	Ordnungszahl einer Oberschwingung	
ΔI_B	Blindstromabweichung	A
ψ_k	Nennimpedanzwinkel	
ΔU_r	Relevante Spannungsabweichung	V
μ	Ordnungszahl einer Zwischenharmonischen (Index)	
f_n	Nennfrequenz	Hz
$f >$	Frequenzsteigerungsschutz	Hz
$f <$	Frequenzrückgangsschutz	Hz
I_B	Blindstrom	A
I_f	Erregerstrom	
I_{f0}	Leerlauferregerstrom	
I_{fK}	Kurzschlusserregerstrom	
I_k''	Anfangskurzschlusswechselstrom	A
I_{max}	Maximaler Strom	A
I_n	Nennstrom	A
I_{n_sw}	Wandler-Nennstrom (sekundärseitig)	A
I_r	Bemessungsstrom	A
K	Proportionalitätskonstante (K-Faktor)	
$k_f(\psi_k)$	Flickerformfaktor	
$k_u(\psi_k)$	Spannungsänderungsfaktor	
N_{10}	Maximale Anzahl von Schaltvorgängen innerhalb eines Zeitabschnittes von 10 min	
N_{120}	Maximale Anzahl von Schaltvorgängen innerhalb eines Zeitabschnittes von 120 min	
P	Wirkleistung als Mitsystemwert, sofern nicht anders gefordert	W
P_0	Startwert der Wirkleistung für einen Wirkleistungssprung	W
$P_{0,2}$	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 0,2 s)	W
$p_{0,2}$	Relative Wirkleistungsmaxima des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 0,2 s)	
P_{10}	Wirkleistung des Gesamtsystems als 10s Mittelwert	W
p_{10}	Relative Wirkleistungsmaxima des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 10 s)	
P_{60}	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 1 min)	W

P_{60}	Relative Wirkleistungsmaxima des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 1 min)	
P_{600}	Maximaler Wirkleistungs-Spitzenwert des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 10 min)	W
P_{600}	Relative Wirkleistungsmaxima des Gesamtsystems (Mittelungszeitraum 10 min)	
P_{mom}	Momentan verfügbare Wirkleistung	W
P_n	Nennwirkleistung	W
$P_{min DC Output}$	Minimale Wirkleistung der DC-Quelle	W
P_{rE}	Bemessungswirkleistung	W
P_{ref}	P_{mom} bei WEA, PV und Speicher P_{rE} bei VKM	W
P_{st}	Kurzzeitflickerstörfaktor	
$P_{st, fic}$	Emission des Flickers auf Basis der Strommessung am fiktiven Verbundnetz	V
$P_{verfügbar}$	Verfügbare Wirkleistung	W
Q	Blindleistung als Mitsystemwert, sofern nicht anders gefordert	var
R_l	Ständerwiderstands	
S_k	Kurzschlussleistung	VA
$S_{k, fic}$	Statistische Kurzschlusscheinleistung am fiktiven Verbundnetz	VA
S_n	Nennscheinleistung	VA
THC	Total Harmonic Current Distortion	
THDS _U	Subgroup Total Harmonic Distortion	
T_p	Dauer des Auswertebereichs einer Schalthandlung	s
U_0	Spannung vor Eintritt des Fehlers	V
$U_{fic, max}$	Größter Effektivwert einer Netzperiode am fiktiven Verbundnetz beim Schaltvorgang	V
$U_{fic, min}$	Kleinster Effektivwert einer Netzperiode am fiktiven Verbundnetz beim Schaltvorgang	V
U_{MPPmax}	Obere Spannungsgrenze des Maximum-Power-Point (MPP)	V
U_{MPPmin}	Untere Spannungsgrenze des Maximum-Power-Point (MPP)	V
U_n	Nennspannung	V
U_{n_sw}	Wandler-Nennspannung (sekundärseitig)	V
$U_{P0, v}$	Gemessene Oberschwingungsspannung eines Synchron- generators bei Leerlauf	
U_{pre}	Vorfehlerspannung	V
$U_{P, v}$	Harmonische der Polradspannung	

$U_{\text{rück}}$	Rückfallwert eines Schutzrelais, ab dem die vorherige Anregung des Schutzrelais wieder zurückgenommen wird.	V
U_t	Spannungstotband	V
$U>$ und $U>>$	Spannungssteigerungsschutz	V
$U<$ und $U<<$	Spannungsrückgangsschutz	V
v	Windgeschwindigkeit	m/s
v_n	Nennwindgeschwindigkeit	m/s
Ψ_k	Phasenwinkel der Netzimpedanz	
X_v	Maschinenreaktanz	