

Anwendungsbereich

Anwendungsbereich dieser Norm ist ...

Inhalt

	Seite
Einleitung	13
1 Anwendungsbereich	14
2 Normative Verweisungen	14
3 Begriffe	14
4 Symbole und Einheiten	17
5 Vorbereitungen für die Messung des Leistungsverhaltens	20
5.1 WEA und elektrischer Anschluss	20
5.2 Messstandort	21
6 Messausrüstung	22
6.1 Elektrische Leistung	22
6.2 Windgeschwindigkeit	23
6.3 Windrichtung	26
6.4 Luftdichte	26
6.5 Drehzahl und Blatteinstellwinkel	26
6.6 Zustand der Rotorblätter	26
6.7 Betriebsführungssystem der WEA	27
6.8 Datenerfassungssystem	27
7 Messverfahren	27
7.1 Einführung	27
7.2 Betrieb der WEA	27
7.3 Datenerfassung	27
7.4 Ablehnung von Daten	28
7.5 Korrektur der Daten	28
7.6 Datenbasis	28
8 Abgeleitete Ergebnisse	29
8.1 Normierung der Daten	29
8.2 Ermittlung der Kurve der gemessenen Leistung	32
8.3 Jahresenergieerzeugung (<i>AEP</i>)	33
8.4 Leistungsbeiwert	34
9 Form des Messberichtes	35
Anhang A (normativ) Bewertung von Hindernissen am Messstandort	43
A.1 Anforderungen bezüglich benachbarter und in Betrieb befindlicher WEA	43
A.2 Anforderungen in Bezug auf Hindernisse	43
A.3 Anforderungen in Bezug auf zeitweilige Hindernisse	45
Anhang B (normativ) Bewertung des Geländes am Messstandort	47
Anhang C (normativ) Verfahren der Standortkalibrierung	49

C.1	Allgemeines.....	49
C.2	Überblick über das Verfahren	49
C.3	Messaufbau.....	51
C.3.1	Betrachtungen für die Auswahl der Prüfturbine und die Standort des Messmastes	51
C.3.2	Messgeräteausrüstung	53
C.4	Datenerfassung und Ablehnungskriterien.....	53
C.5	Auswertung	54
C.5.1	Bewertung der Standortkalibrierung unter Berücksichtigung des Windgradienten	54
C.5.2	Bewertung der Standortkalibrierung bei vernachlässigbaren Auswirkungen des Windgradienten.....	56
C.5.3	Weitere Berechnungen	56
C.6	Unsicherheitsrichtlinien	57
C.6.1	Unsicherheit der Kategorie A der Standortkalibrierung	57
C.6.2	Unsicherheit der Kategorie B der Standortkalibrierung	58
C.6.3	Kombinierte Unsicherheit.....	58
C.7	Qualitätsüberprüfungen und Unsicherheitsverstärker	59
C.7.1	Konvergenzprüfung.....	59
C.7.2	Korrelationsprüfung für die lineare Regression (Standortkalibrierung nach C.5.2).....	59
C.7.3	Änderung der Korrektur zwischen benachbarten Windrichtungs-BINs	59
C.7.4	Entfernung der Windfahne zwischen der Standortkalibrierung und der Messung der Leistungskurve.....	59
C.7.5	Standortkalibrierung und Messungen der Leistungskurve in verschiedenen Jahreszeiten	59
C.8	Verifikation der Ergebnisse (informativ).....	60
Anhang D (normativ) Bestimmung der Messunsicherheit.....		62
Anhang E (informativ) Theoretische Grundlagen zur Bestimmung der Messunsicherheit mit dem BIN-Verfahren		64
E.1	Allgemeines.....	64
E.2	Erweiterte Unsicherheit.....	65
E.3	Beispiel.....	66
E.4	Unsicherheiten der Kategorie A.....	67
E.4.1	Unsicherheit der Kategorie A der elektrischen Leistung.....	67
E.4.2	Unsicherheiten der Kategorie A der klimatischen Schwankungen	69
E.4.3	Unsicherheiten der Kategorie A der Standortkalibrierung	69
E.5	Unsicherheiten der Kategorie B.....	69
E.5.1	Unsicherheiten der Kategorie B des Datenerfassungssystems	70
E.5.2	Unsicherheiten der Kategorie B der elektrischen Leistung.....	70
E.5.3	Unsicherheiten der Kategorie B der Windgeschwindigkeit.....	71
E.5.4	Unsicherheiten der Kategorie B der Luftdichte	73
E.5.5	Kombinierte Unsicherheiten der Kategorie B.....	74
E.5.6	Kombinierte Standardunsicherheit – Leistungskurve	75
E.5.7	Kombinierte Standardunsicherheit – Energieerzeugung	75

Anhang F (normativ) Kalibrierverfahren für Anemometer im Windkanal.....	79
F.1 Allgemeine Anforderungen.....	79
F.2 Anforderungen an den Windkanal.....	79
F.3 Anforderungen an die Messgeräteausrüstung und an den Kalibrieraufbau	80
F.4 Kalibrierverfahren	81
F.4.1 Allgemeines Verfahren für Schalenkreuz- und Schallanemometer	81
F.4.2 Verfahren für die Kalibrierung von Schallanemometern	81
F.4.3 Bestimmung der Windgeschwindigkeit an der Position des Anemometers.....	82
F.5 Auswertung der Daten	83
F.6 Analyse der Unsicherheit	83
F.7 Form des Messberichtes.....	84
F.8 Beispiel für eine Unsicherheitsberechnung.....	84
Anhang G (normativ) Befestigung von Messgeräten am Messmast.....	88
G.1 Allgemeines.....	88
G.2 Befestigung eines einzelnen Anemometers an der Spitze	88
G.3 An der Spitze nebeneinander befestigte Anemometer	89
G.4 An einem seitlichen Ausleger befestigte Messgeräte	90
G.5 Blitzschutz	94
G.6 Befestigung anderer Messgeräte	94
Anhang H (normativ) Messung des Leistungsverhaltens kleiner WEA.....	97
Anhang I (normativ) Klassifikation von Schalenkreuz- und Schallanemometern.....	100
I.1 Allgemeines.....	100
I.2 Klassifikation	100
I.3 Bereiche von Einflussparametern	101
I.4 Klassifikation von Schalenkreuz- und Schallanemometern	102
I.5 Form des Klassifikationsberichtes.....	102
Anhang J (informativ) Bewertung der Windmessung mit einem Schalenkreuz- und einem Schallanemometer	103
J.1 Allgemeines.....	103
J.2 Messung der Kennwerte von Anemometern.....	103
J.2.1 Im Windkanal gemessene Kennwerte der Schräganströmungsabhängigkeit eines Schalenkreuzanemometers	103
J.2.2 Im Windkanal gemessene Kennwerte der Gierwinkelabhängigkeit von Schalenkreuzanemometern	104
J.2.3 Messungen des Rotordrehmomentes von Schalenkreuzanemometern im Windkanal	104
J.2.4 Messungen der Sprungantworten von Schalenkreuzanemometern im Windkanal	105
J.2.5 Messung von temperaturinduzierten Auswirkungen auf das Anemometerverhalten	106
J.2.6 Im Windkanal gemessene Kennwerte der Richtungsabhängigkeit von Schallanemometern.....	107
J.3 Klassifikationsverfahren für Schalenkreuzanemometer auf der Grundlage von Windkanal- und Labormessungen und der Modellierung des Schalenkreuzanemometers	107
J.3.1 Verfahren.....	107

J.3.2	Modell des Schalenkreuzanemometers.....	107
J.4	Klassifikationsverfahren für Schallanemometer auf der Grundlage von Windkanalmessungen und der Modellierung des Schallanemometers.....	110
J.5	Freifeld-Vergleichsmessungen	110
Anhang K (informativ) Vor-Ort-Vergleich von Anemometern.....		111
K.1	Allgemeines.....	111
K.2	Vorbedingungen.....	111
K.3	Umsetzung	111
K.4	Bewertungskriterien	111
K.5	Weitere Anforderungen.....	112
Anhang L (normativ) Anwendung der Fernerfassungstechnik.....		114
L.1	Allgemeines.....	114
L.2	Klassifikation von Fernerfassungseinrichtungen	115
L.2.1	Datenerfassung.....	115
L.2.2	Datenaufbereitung	116
L.2.3	Grundsätze und Anforderungen für Prüfungen der Ansprechempfindlichkeit.....	117
L.2.4	Ermittlung des signifikanten Einflusses von Variablen	121
L.2.5	Bewertung der Wechselbeziehung zwischen Umgebungsvariablen.....	123
L.2.6	Berechnung der Genauigkeitsklasse	125
L.2.7	Klasse S.....	130
L.2.8	Abnahmekriterien.....	130
L.3	Nachweis des Verhaltens von Fernerfassungseinrichtungen.....	130
L.3.1	Vergleich von Fernerfassungseinrichtung und Referenzmessfühler.....	131
L.3.2	Ermittlung des Zufallsrauschens.....	133
L.4	Ermittlung der Messunsicherheit von Fernerfassungseinrichtungen.....	133
L.4.1	Referenzunsicherheit.....	133
L.4.2	Unsicherheit, die sich aus der Nachweisprüfung des Verhaltens ergibt	134
L.4.3	Unsicherheit aufgrund der Klassifikation der Fernerfassungseinrichtung	136
L.4.4	Unsicherheit aufgrund der inhomogenen Strömung innerhalb des Messvolumens	137
L.4.5	Unsicherheit aufgrund von Montageeffekten.....	140
L.4.6	Unsicherheit aufgrund der Schwankung der Strömung am Standort.....	140
L.5	Überwachung des Verhaltens der Fernerfassungseinrichtung am Einsatzort	140
L.5.1	Erkennen von Störungen der Fernerfassungseinrichtung	141
L.5.2	Konsistenzprüfung der ermittelten systematischen Unsicherheiten der Fernerfassungseinrichtung	141
L.5.3	Konsistenzprüfung der Variation der Messabweichungen der Fernerfassungseinrichtung und des Referenzmessfühlers	142
L.5.4	Vor-Ort-Prüfung der Fernerfassungseinrichtung	143
L.6	Weitere spezifische Anforderungen für die Messung der Leistungskurve	143
L.7	Messbericht.....	144
L.7.1	Allgemeiner Bericht über die Klassifikationsprüfung, die Nachweisprüfung des Verhaltens	

und die Überwachung der Fernfassungseinrichtung während des Einsatzes.....	144
L.7.2 Weitere Berichte über die Klassifikationsprüfung	144
L.7.3 Weitere Berichte über die Nachweisprüfung des Verhaltens	145
L.7.4 Weitere Berichte über die Überwachung der Fernfassungseinrichtung während des Einsatzes.....	145
L.7.5 Weitere Berichte über den Einsatz.....	145
Anhang M (informativ) Normierung der Messdaten der Leistungskurve auf die Turbulenzintensität	146
M.1 Allgemeines.....	146
M.2 Verfahren der Turbulenznormierung.....	146
M.3 Bestimmung der Nullturbulenz-Leistungskurve	147
M.4 Grad der Windgradientenkorrektur (Normierung) und Turbulenznormierung.....	150
M.5 Unsicherheit der Turbulenznormierung oder der Leistungskurve aufgrund von Turbulenzwirkungen	150
Anhang N (normativ) Kalibrierverfahren für Windrichtungsgeber	152
N.1 Allgemeine Anforderungen.....	152
N.2 Anforderungen an den Windkanal.....	152
N.3 Anforderungen an Messgeräte und den Kalibrieraufbau	153
N.4 Kalibrierverfahren	154
N.5 Datenanalyse	154
N.6 Analyse der Unsicherheit	155
N.7 Form des Messberichtes.....	155
N.8 Beispiel für die Berechnung der Unsicherheit.....	156
N.8.1 Messunsicherheiten, die durch die Bestimmung der Strömungsrichtung im Windkanal erzeugt werden.....	156
N.8.2 Beitrag zur Messunsicherheit durch den Windrichtungsgeber	158
N.8.3 Ergebnis der Unsicherheitsberechnung.....	158
Anhang O (informativ) Messung des Leistungsverhaltens in kaltem Klima	161
O.1 Einleitung.....	161
O.2 Empfehlungen	161
O.2.1 Einsatz von Schallanemometern.....	161
O.2.2 Einsatz von Schalenkreuzanemometern	161
O.3 Unsicherheiten	162
O.3.1 Einsatz von Schalenkreuzanemometern	162
O.3.2 Einsatz von Schallanemometern.....	162
O.4 Prüfbericht.....	162
Literaturhinweise	164
Bild 1 – Anforderungen an die Entfernung des Messmastes und an maximal zulässige Messsektoren.....	22
Bild 2 – Beispieldarstellung einer Datenbasis: Streudiagramme der Messung des Leistungsverhaltens, aufgenommen mit 1 Hz (Mittelwerte, über 10 min gemittelt)	39
Bild 3 – Beispieldarstellung einer Kurve der gemessenen Leistung	39

Bild 4 – Beispieldarstellung einer C_p -Kurve.....	40
Bild 5 – Beispieldarstellung einer Standortkalibrierung (nur die Sektoren 20° bis 30°, 40° bis 60°, 160° bis 210° und 330° bis 350° sind gültig)	40
Bild A.1 – Auszuschließende Sektoren aufgrund der Nachlaufströmung benachbarter und in Betrieb befindlicher WEA und erheblicher Hindernisse	44
Bild A.2 – Beispiele für auszuschließende Sektoren aufgrund der Nachlaufströmung der zu prüfenden WEA, einer benachbarten und in Betrieb befindlichen WEA und eines erheblichen Hindernisses.....	46
Bild B.1 – Darstellung des zu bewertenden Bereiches, Draufsicht.....	48
Bild C.1 – Ablaufdiagramm für die Standortkalibrierung	50
Bild C.2 – Geländetypen	52
Bild C.3 – Beispiel für ein Ergebnis einer Nachweisprüfung.....	61
Bild G.1 – Beispiel für die Befestigung eines Anemometers an der Spitze und Anforderungen an die Montage	89
Bild G.2 – Alternatives Beispiel von an der Spitze nebeneinander angebrachten Auswerteanemometer und Kontrollanemometer mit einer Windfahne und weiteren Messgeräten am Ausleger	90
Bild G.5 – Diagramm der Linien gleicher Windgeschwindigkeit bei Umströmung eines zylindrischen Mastes, normiert auf die freie Anströmgeschwindigkeit (von links); Analyse mit zweidimensionalen Navier-Stokes-Berechnungen	91
Bild G.6 – Relative Windgeschwindigkeit auf der Mittellinie als Funktion des Abstandes R von der Achse eines Rohrmastes mit dem Durchmesser d	92
Bild G.7 – Darstellung eines dreischenkigen Gittermastes, die eine Abminderung der Windgeschwindigkeit auf der Mittellinie zeigt; Darstellung der Wirbelscheibe des Mastes mit dem Schenkelabstand L_m und der Entfernung R von der Achse des Mastes zum Beobachtungspunkt	92
Bild G.8 – Diagramm der Linien gleicher Windgeschwindigkeit bei Umströmung eines dreieckigen Gittermastes mit einem C_T -Wert von 0,5, normiert auf die Windgeschwindigkeit im freien Feld (von links); Analyse mit zweidimensionalen Navier-Stokes-Berechnungen und der Wirbelscheibentheorie	93
Bild G.9 – Relative Windgeschwindigkeit auf der Mittellinie als Funktion der Entfernung R von der Achse eines dreieckigen Gittermastes mit der Gitterbreite L_m für verschiedene C_T -Werte	93
Bild G.3 – Beispiel für ein an der Spitze angebrachtes Anemometer und die Befestigung eines Kontrollanemometers, einer Windfahne und anderer Messfühler an einem Ausleger.....	95
Bild G.4 – Beispiel für nebeneinander an der Spitze angebrachte Auswerte- und Kontrollanemometer, eine Windfahne und andere Messfühler am Ausleger	96
Bild J.1 – Gemessene Schräganströmungsabhängigkeit eines Schalenkreuzanemometers im Vergleich mit einem Kosinusverhalten.....	104
Bild J.1 – Drehmomentmessungen im Windkanal am Rotor eines Schalenkreuzanemometers bei 8 m/s	105
Bild J.2 – Beispiel für Messungen des Lagerreibungsmomentes	107
Bild J.3 – Beispiel für Abweichungen eines Schalenkreuzanemometers der Klasse 2.0A.....	109
Bild 4 – Beispiel für einen dreieckigen Gittermast	112
Bild 5 – Beispiel für einen Rohrmast	113
Bild 6 – Beispiel für die Analyse der Ansprechempfindlichkeit auf die Lufttemperatur; die lineare Regression ist für 10-min-Daten (schwarz) und für BIN-weise gemittelte Daten (rot) dargestellt.....	119

Bild 7 – Windgradient in Abhängigkeit von der Turbulenzintensität	123
Bild 8 – Prozentuale Abweichung der Messungen der Fernerfassungseinrichtung und der Referenzmessfühler in Abhängigkeit von der Turbulenzintensität; die Färbung zeigt den Windgradienten an	124
Bild 9 – Vergleich der 10-min-Mittelwerte der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponente nach Messung mit einer Fernerfassungseinrichtung und einem Schalenkreuzanemometer	132
Bild 10 – BIN-weiser Vergleich der Messwerte der horizontalen Windgeschwindigkeitskomponente einer Fernerfassungseinrichtung und eines Schalenkreuzanemometers	132
Bild 11 – Inhomogene Strömung innerhalb des Messvolumens	138
Bild 12 – Erster Ansatz der Anfangs-Nullturbulenz-Leistungskurve	148
Bild 13 – Angepasste Anfangs-Nullturbulenz-Leistungskurve (grün) im Vergleich zum ersten Ansatz (rot)	149
Bild 14 – Angepasste Anfangs-Nullturbulenz-Leistungskurve (grün) im Vergleich zur endgültigen Nullturbulenz-Leistungskurve (schwarz)	150
Tabelle 6.1 – Messanordnungen für die Messung der Windgeschwindigkeit (X bezeichnet eine zulässige Anordnung)	25
Tabelle 1 – Beispieldarstellung einer Kurve der gemessenen Leistung	41
Tabelle 2 – Beispieldarstellung der geschätzten Jahresenergieerzeugung	42
Tabelle A.1 – Anforderungen an Hindernisse: Erheblichkeit von Hindernissen	43
Tabelle B.1 – Anforderungen an den Messstandort: Topografische Veränderungen	47
Tabelle D.1 – Liste der Unsicherheitskomponenten	63
Tabelle E.1 – Erweiterte Unsicherheiten	66
Tabelle E.2 – Liste der Unsicherheiten der Kategorien B und A	68
Tabelle E.3 – Unsicherheiten der Standortkalibrierung	76
Tabelle E.4 – Empfindlichkeitsfaktoren	77
Tabelle E.5 – Unsicherheiten der Kategorie B	78
Tabelle F.1 – Beispielberechnung für Unsicherheiten bei der Anemometerkalibrierung	85
Tabelle G.1 – Abschätzungsverfahren für C_T für verschiedene Gittermasttypen	94
Tabelle H.1 – Einstellungen für die Spannung der Batteriebank	99
Tabelle I.1 – Bereiche von Einflussparametern (auf der Basis von 10-min-Mittelwerten) der Klassen A, B und S	101
Tabelle 2 – Beispiele für die BIN-Breite für eine Liste von Umgebungsvariablen	118
Tabelle 3 – Parameter, die aus einer Analyse der Ansprechempfindlichkeit einer Fernerfassungseinrichtung abgeleitet wurden	120
Tabelle 4 – Bereiche von Umgebungsparametern für die Analyse der Ansprechempfindlichkeit	121
Tabelle 5 – Beispielauswahl von Umgebungsvariablen, für die sich ein signifikanter Einfluss ergeben hat	122
Tabelle 6 – Parameter der Analyse der Ansprechempfindlichkeit, die nach der Analyse der Wechselbeziehung der Variablen übrig bleiben	124
Tabelle 7 – Schema für die Berechnung des größten Einflusses von Umgebungsvariablen	126
Tabelle 8 – Vorläufige Genauigkeitsklassen einer Fernerfassungseinrichtung unter Berücksichtigung aller Variablen	127
Tabelle 9 – Vorläufige Genauigkeitsklassen einer Fernerfassungseinrichtung nur unter	

Berücksichtigung der Variablen mit dem größten signifikanten Einfluss (in Tabelle 7 fett gedruckt)	127
Tabelle 10 – Beispiel für die endgültigen Genauigkeitsklassen einer Fernerfassungseinrichtung	128
Tabelle 11 – Alternative Analyse der Klassifikation	129
Tabelle 12 – Endgültige Genauigkeitsklassen einer Fernerfassungseinrichtung, berechnet nach dem in Tabelle 11 dargestellten alternativen Verfahren als größte Einflüsse der jeweiligen Variablen (im Fettdruck) als Quadratsumme	130
Tabelle 13 – Beispiel für Unsicherheitsberechnungen aus Nachweisprüfungen des Verhaltens einer Fernerfassungseinrichtung (RSD) als systematische Unsicherheiten; die Unsicherheit aufgrund einer inhomogenen Strömung innerhalb des Messvolumens wird mit Null angenommen	135
Tabelle 14 – Relative Messfehler der Fernerfassungseinrichtung bei der Messung der horizontalen Windgeschwindigkeit für einen Kegelwinkel von 30°	138
Tabelle 15 – Geländebedingungen für einen Beispielfall; die Geländeneigungen und -veränderungen sind entsprechend der vorliegenden Norm angegeben	139
Tabelle 16 – Ermittlung des Messfehlers der Fernerfassungseinrichtung aufgrund inhomogener Strömungsbedingungen in einem Prüffall	140