

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	9
3 Begriffe	9
4 Symbole und Einheiten	11
5 Vorbereitungen für Leistungsmessungen	15
5.1 WEA und elektrischer Anschluss	15
5.2 Messstandort	15
5.2.1 Standort des Messmastes	15
5.2.2 Messsektor	16
5.2.3 Korrekturfaktoren und Unsicherheit aufgrund der Störung der Anströmung durch die Topografie	16
6 Messausrüstung	17
6.1 Elektrische Leistung	17
6.2 Windgeschwindigkeit	17
6.3 Windrichtung	18
6.4 Luftdichte	18
6.5 Drehzahl und Blatteinstellwinkel	18
6.6 Zustand der Rotorblätter	18
6.7 Regelungssystem der WEA	19
6.8 Datenerfassungssystem	19
7 Messverfahren	19
7.1 Einführung	19
7.2 Betrieb der WEA	19
7.3 Datenerfassung	19
7.4 Ablehnung von Daten	20
7.5 Korrektur der Daten	20
7.6 Datenbasis	20
8 Abgeleitete Ergebnisse	21
8.1 Normierung der Daten	21
8.2 Ermittlung der gemessenen Leistungskurve	22
8.3 Jahresenergieerzeugung (AEP)	22
8.4 Leistungsbeiwert	24
9 Form des Messberichtes	24
Anhang A (normativ) Bewertung von Hindernissen am Messstandort	35
A.1 Anforderungen bezüglich benachbarter und in Betrieb befindlicher WEA	35

A.2	Anforderungen in Bezug auf Hindernisse.....	35
	Anhang B (normativ) Bewertung des Geländes am Messstandort	38
	Anhang C (normativ) Standortkalibrierung	39
C.1	Allgemeines	39
C.2	Messaufbau	39
C.3	Datenerfassung und -auswertung	39
C.4	Unsicherheitsanalyse	40
C.5	Auswahl des endgültigen Messsektors	40
C.6	Anforderungen an den Messbericht	40
C.7	Verifikation der Ergebnisse.....	40
	Anhang D (normativ) Bestimmung der Messunsicherheit	41
	Anhang E (informativ) Theoretische Grundlagen zur Bestimmung der Messunsicherheit bei der Anwendung der BIN-Verfahren	43
E.1	Allgemeines	43
E.2	Erweiterte Unsicherheit	44
E.3	Beispiel	45
E.4	Unsicherheiten der Kategorie A.....	46
E.4.1	Unsicherheit der Kategorie A der elektrischen Leistung	46
E.4.2	Unsicherheiten der Kategorie A durch klimatische Schwankungen.....	48
E.5	Unsicherheiten der Kategorie B.....	48
E.5.1	Unsicherheiten der Kategorie B im Datenerfassungssystem.....	48
E.5.2	Unsicherheiten der Kategorie B der elektrischen Leistung	49
E.5.3	Unsicherheiten der Kategorie B der Windgeschwindigkeit	50
E.5.4	Unsicherheiten der Kategorie B der Luftdichte.....	52
E.5.5	Kombinierte Unsicherheiten der Kategorie B	53
E.5.6	Kombinierte Standardunsicherheit – Leistungskurve.....	53
E.5.7	Kombinierte Standardunsicherheit – Energieerzeugung.....	54
	Anhang F (normativ) Verfahren zur Kalibrierung von Schalenkreuzanemometern.....	61
F.1	Allgemeine Anforderungen	61
F.2	Anforderungen an den Windkanal.....	61
F.3	Anforderungen an die Messgeräteausrüstung und an den Kalibrieraufbau.....	62
F.4	Kalibrierverfahren	62
F.5	Auswertung der Daten.....	63
F.6	Analyse der Unsicherheit.....	64
F.7	Form des Messberichtes	64
F.8	Beispiel für eine Unsicherheitsberechnung.....	65
	Anhang G (normativ) Befestigung von Messgeräten am Messmast.....	69
G.1	Allgemeines	69
G.2	Bevorzugte Befestigung des Anemometers an der Spitze.....	69
G.3	Alternatives Verfahren der Befestigung des Anemometers an der Spitze.....	70

G.4	Blitzschutz	71
G.5	Befestigung anderer Messgeräte	71
G.6	Befestigung von Schalenkreuzanemometern an einem Ausleger	72
G.6.1	Rohrmasten	73
G.6.2	Gittermasten	74
Anhang H (normativ) Messung des Leistungsverhaltens kleiner WEA		78
Anhang I (normativ) Klassifikation der Windmessung		81
I.1	Allgemeines	81
I.2	Bereiche und Klassen von Einflussparametern	81
Anhang J (informativ) Bewertung der Windmessung mit einem Schalenkreuzanemometer		83
J.1	Allgemeines	83
J.2	Messung der Kennwerte von Schalenkreuzanemometern	83
J.2.1	Im Windkanal gemessene Kennwerte der Schräganströmungsabhängigkeit	83
J.2.2	Messung von Beschleunigungs- und Verzögerungskräften im Windkanal	84
J.2.3	Messung des Lagerreibungsmomentes	84
J.2.4	Freifeld-Vergleichsmessungen	85
J.3	Bewertungsverfahren auf der Grundlage von Windkanal- und Labormessungen und Freifeldvergleichen für ein Schalenkreuzanemometer der Klasse S1	85
J.3.1	Winkelkennwerte bei einer turbulenten Anströmung für verschiedene mittlere Anströmungswinkel	85
J.3.1.1	Mittlere Anströmung 0°	85
J.3.1.2	Mittlere Anströmungen zwischen -20° und +20°	87
J.3.2	Dynamische Effekte durch nicht stationäre Anströmungsbedingungen	88
J.3.3	Lagerreibung	89
J.4	Bewertungsverfahren auf der Grundlage von Windkanal- und Labormessungen und der Modellierung des Schalenkreuzanemometers	89
J.4.1	Verfahren	89
J.4.2	Modellierung von Schalenkreuzanemometern	89
J.4.3	Schwankungen der Bereiche von Einflussparametern und Bestimmung der Klasse	91
Anhang K (informativ) Vor-Ort-Vergleich von Anemometern		92
K.1	Allgemeines	92
K.2	Vorbedingungen	92
K.3	Umsetzung	92
K.4	Bewertungskriterien	92
Literaturhinweise		94
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen		95
Bilder		
Bild 1 – Anforderungen an die Entfernung des Messmastes und an maximal zulässige Messektoren		16
Bild 2 – Beispieldarstellung der Datenbasen A und B: Punktediagramme der Messung des Leistungsverhaltens, aufgenommen mit 1 Hz (Mittelwerte, über 10 min gemittelt)		28

Bild 3 – Beispieldarstellung einer Kurve der gemessenen Leistung für die Datenbasen A und B	29
Bild 4 – Beispieldarstellung einer C_p -Kurve für die Datenbasen A und B	30
Bild 5 – Beispieldarstellung einer Standortkalibrierung (nur die Sektoren 20° bis 30° , 40° bis 60° , 160° bis 210° und 330° bis 350° sind gültig)	31
Bild A.1 – Auszuschließende Sektoren aufgrund der Nachlaufströmung benachbarter und in Betrieb befindlicher WEA und maßgeblicher Hindernisse.....	36
Bild A.2 – Beispiele für auszuschließende Sektoren aufgrund der Nachlaufströmung der zu vermessenden WEA, einer benachbarten und in Betrieb befindlichen WEA und eines maßgeblichen Hindernisses	37
Bild B.1 – Darstellung des zu bewertenden Bereiches, Draufsicht	38
Bild G.1 – Beispiel für die Befestigung eines Anemometers an der Spitze und Anforderungen an die Montage	70
Bild G.2 – Alternatives Beispiel eines an der Spitze angebrachten Auswerteanemometers und eines Kontrollanemometers nebeneinander sowie mit einer Mastbox mit Druckmessfühler	71
Bild G.3 – Beispiel für ein an der Spitze angebrachtes Anemometer und die Befestigung eines Kontrollanemometers, einer Windfahne und anderer Messfühler an einem Ausleger	72
Bild G.4 – Beispiel für nebeneinander an der Spitze angebrachte Auswerte- und Kontrollanemometer, eine Windfahne und andere Messfühler am Ausleger	72
Bild G.5 – Diagramm der Linien gleicher Windgeschwindigkeit bei Umströmung eines zylindrischen Mastes, normiert auf die freie Anströmgeschwindigkeit (von links); Analyse mit 2-dimensionalen Navier-Stokes-Berechnungen	73
Bild G.6 – Relative Windgeschwindigkeit auf der Mittellinie als Funktion des Abstandes R von der Achse eines Rohrmastes mit dem Durchmesser d	74
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 und der Entfernung R von der Achse des Mastes zum Beobachtungspunkt	74
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 2-dimensionalen Navier-Stokes-Berechnungen und der Wirbelscheibentheorie.....	75
Bild G.9 – Relative Windgeschwindigkeit auf der Mittellinie als Funktion der Entfernung R von der Achse eines dreieckigen Gittermastes mit der Gitterbreite L für verschiedene C_T -Werte.....	76
Bild J.1 – Gemessene Schräganströmungsabhängigkeit eines Schalenkreuzanemometers im Vergleich mit einem Kosinusverhalten	83
Bild J.2 – Drehmomentmessungen im Windkanal an einem Schalenkreuzanemometer bei 8 m/s	84
Bild J.3 – Beispiel für Messungen des Lagerreibungsmomentes.....	84
Bild J.4 – Verteilung der vertikalen Windgeschwindigkeitskomponenten unter der Annahme eines festen Verhältnisses zwischen horizontaler und vertikaler Standardabweichung der Windgeschwindigkeit.....	86
Bild J.5 – Berechnung der Gesamtabweichung in Bezug auf das Kosinusverhalten.....	87
Bild J.6 – Wahrscheinlichkeitsverteilungen für drei unterschiedliche mittlere Anströmungswinkel.....	88
Bild J.7 – Gesamtabweichung vom Kosinusverhalten für drei unterschiedliche mittlere Anströmungswinkel über der horizontalen Turbulenzintensität	88
Bild J.8 – Beispiel für ein Anemometer, das die Steigungskriterien nicht erfüllt	89
Bild J.9 – Beispiel für Abweichungen eines Schalenkreuzanemometers der Klasse 2.0A.....	91

Tabellen

Tabelle 1 – Beispieldarstellung einer Kurve der gemessenen Leistung für die Datenbasis A.....	31
Tabelle 2 – Beispieldarstellung einer Kurve der gemessenen Leistung für die Datenbasis B.....	33
Tabelle 3 – Beispieldarstellung der ermittelten Jahresenergieerzeugung (Datenbasis A)	34
Tabelle 4 – Beispieldarstellung der ermittelten Jahresenergieerzeugung (Datenbasis B)	34
Tabelle B.1 – Anforderungen an den Messstandort: Variationen der Topografie.....	38
Tabelle D.1 – Liste der Unsicherheitskomponenten.....	42
Tabelle E.1 – Erweiterte Unsicherheiten	45
Tabelle E.2 – Liste der Unsicherheiten der Kategorien B und A.....	47
Tabelle E.3 – Unsicherheiten der Standortkalibrierung.....	55
Tabelle E.4 – Empfindlichkeitsfaktoren (Datenbasis A)	56
Tabelle E.5 – Empfindlichkeitsfaktoren (Datenbasis B)	57
Tabelle E.6 – Unsicherheiten der Kategorie B (Datenbasis A)	58
Tabelle E.7 – Unsicherheiten der Kategorie B (Datenbasis B)	59
Tabelle F.1 – Beispielberechnung für Unsicherheiten bei der Anemometerkalibrierung.....	65
Tabelle G.1 – Abschätzungsverfahren für C_T für verschiedene Gittermasttypen	76
Tabelle H.1 – Einstellungen für die Spannung der Batteriebank	80
Tabelle I.1 – Bereiche von Einflussparametern (auf der Basis von 10-min-Mittelwerten) der Klassen A und B.....	82