

## 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
<b>Bilder</b>		
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 $20^\circ$ bis $30^\circ$ , $40^\circ$ bis $60^\circ$ , $160^\circ$ bis $210^\circ$ und $330^\circ$ bis $350^\circ$ 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 dreischenkligen 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