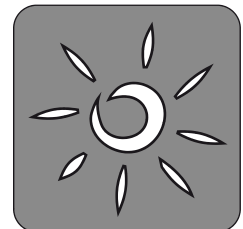
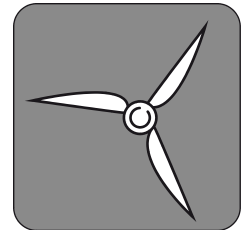


Technische Richtlinien für Windenergieanlagen

TEIL 6 (TR 6)
Bestimmung von Windpotenzial und
Energieerträgen

Revision 12
Stand 28.11.2023



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

Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen

Stand 28.11.2023

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 alle 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 Gründungs- 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 deren Komponenten am Stromnetz
- Teil 9:** Bestimmung der hochfrequenten Emission von regenerativen Energieerzeugungseinheiten
- Teil 10:** Bestimmung der Standortgüte nach Inbetriebnahme

Vorwort

Die vorliegende Richtlinie beschreibt Verfahren zur Bestimmung des Windpotenzials und der Energieerträge an Standorten von Windenergieanlagen (WEA). Die Richtlinie wird kontinuierlich fortgeschrieben.

In dieser Richtlinie wird Bezug genommen auf die Version Edition 3 (2022) der IEC 61400-12-1 [1] sowie der Versionen Edition 1 (2022) der 61400-50er Serie [2], [3].

Über die Ermittlung des Windpotenzials und der Energieerträge ist ein Bericht gemäß Kapitel 8 anzufertigen. Dieser basiert auf der vorliegenden Richtlinie. Alle wesentlichen Schritte, Entscheidungen und Zwischenergebnisse sind entsprechend allgemeinen Grundsätzen der Qualitätssicherung handzuhaben.

Mit der aktuellen Revision werden alle vorangegangenen Revisionen der TR 6 zurückgezogen. Die Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen soll ab dem 01.07.2024 nur noch über die Revision 12 erfolgen.

Die inhaltliche Gestaltung der Technischen Richtlinien obliegt den entsprechenden Fachausschüssen und ihren Arbeitskreisen. Die Richtlinie wurde von verschiedenen Interessengruppen erarbeitet und in vielen Detailfragen abgestimmt. An der Erstellung dieser Richtlinien in den Arbeitskreisen waren beteiligt: Unabhängige Messinstitute, Herstellerfirmen von Erzeugungseinheiten und deren Komponenten, Institute und Hochschulen, Ingenieurbüros, Zertifizierungsstellen, akkreditierte Personen/Institutionen, die Gutachten erstellen sowie die FGW e.V.-Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien (FGW e.V.).

Inhaltsverzeichnis

Verwendete Abkürzungen	v
Symbole und Einheiten	vi
Begriffe und Definitionen	vii
1 Allgemeines	1
1.1 Anwendungsbereich.....	1
1.2 Konformität zur Richtlinie.....	1
1.3 Vorgehen.....	2
2 Standortbesichtigung	4
3 Anforderungen an lokal erhobene Winddaten	5
3.1 Repräsentativität.....	5
3.2 Allgemeine Anforderungen an Windmessungen.....	6
3.2.1 Messdauer.....	6
3.2.2 Qualitätskontrolle.....	7
3.2.3 Verwendung der Messdaten	9
3.3 Anforderungen an Windmessungen mit Windmessmasten.....	10
3.4 Anforderungen an Windmessungen mit Fernmessverfahren	11
3.4.1 Anforderungen an das Fernmessgerät	12
3.4.2 Vorgehensweise bei inhomogener Strömung im Messvolumen.....	13
3.5 Umgang mit älteren Messungen	14
3.6 Anforderungen an und Vorgehensweise bei Vergleichs-WEA	14
3.7 Messstrategien.....	16
3.7.1 Einzelmessung.....	17
3.7.2 Hauptmessung und Zusatzmessung zur vertikalen Extrapolation	17
3.7.3 Erträge von Vergleichs-WEA und Zusatzmessung zur vertikalen Extrapolation.....	18
3.7.4 Hauptmessung und Zusatzmessung zur Zeitreihenverlängerung.....	18
4 Anforderungen an Verfahren zur Langzeitkorrektur	20
4.1 Kurzzeitdaten	21
4.2 Langzeitdaten / Bezugsdaten	21
4.3 Abgleichszeitraum.....	22
4.4 Bezugszeitraum	22
4.5 Verfahren zur Durchführung der Langzeitkorrektur	23
5 Modellierung der Windverhältnisse	25
6 Energieertragsberechnung	27
6.1 Bruttoenergieertrag.....	27

6.2	Energieverlustfaktoren	27
6.2.1	Abschattungseffekt.....	29
6.2.2	Verfügbarkeit	29
6.2.3	Elektrische Effizienz.....	30
6.2.4	Leistungsverhalten der WEA.....	30
6.2.5	Umgebungsbedingungen	31
6.2.6	Leistungseinschränkungen	33
7	Unsicherheitsanalyse.....	34
7.1	Winddatenbasis.....	34
7.1.1	Windeingangsdaten.....	34
7.1.1.1	Windgeschwindigkeitsmessung mit Hilfe von Messmastverfahren	34
7.1.1.2	Windgeschwindigkeitsmessung mit Hilfe von Fernmessverfahren.....	35
7.1.1.3	Weitere Winddaten	36
7.1.2	Vergleichs-WEA.....	37
7.1.3	Messstrategie mit Zusatzmessung.....	37
7.1.3.1	Hauptmessung und Zusatzmessung zur vertikalen Extrapolation nach Kapitel 3.7.2.....	37
7.1.3.2	Erträge von Vergleichs-WEA und Zusatzmessung zur vertikalen Extrapolation nach Kapitel 3.7.3.....	38
7.1.3.3	Hauptmessung und Zusatzmessung zur Zeitreihenverlängerung nach Kapitel 3.7.4.....	38
7.1.4	Langzeitdaten und –korrektur	38
7.2	Modellierung Windfeld.....	40
7.2.1	Topografische Eingangsdaten.....	40
7.2.2	Modellsensitivität auf Windeingangsdaten	40
7.2.3	Horizontal- und Vertikaltransfer	40
7.3	Modellierung Parkwirkungsgrad.....	41
7.4	Leistungskennlinie WEA	41
7.5	Energieverlustfaktoren	42
7.5.1	Unsicherheit Berechnungsmodell	42
7.5.2	Unsicherheit Eingangsdaten.....	43
7.5.3	Kategorien.....	43
7.6	Kombination der Unsicherheiten.....	44
7.7	Übersicht über die mindestens zu bestimmenden Unsicherheiten	45
8	Format der Berichte	46
8.1	Formale Angaben	46
8.2	Allgemeine Angaben	46
8.3	Angaben zu verwendeten Windmessungen.....	47
8.4	Angaben bei Verwendung von Betriebsdaten von Vergleichs-WEA	49

8.5	Angaben zur Langzeitkorrektur	49
8.6	Angaben zur Strömungsmodellierung	50
8.7	Angaben zur Berechnung des Energieertrags.....	51
8.8	Angaben zur Unsicherheitsanalyse	51
8.9	Windmessbericht (ggf. separat)	52
8.9.1	Formale Angaben	52
8.9.2	Angaben zum Messstandort	52
8.9.3	Angaben zur Messhistorie.....	53
8.9.4	Angaben zum Messaufbau	53
8.9.4.1	Mastmessungen.....	53
8.9.4.2	Messungen mit Fernmessverfahren.....	54
8.9.5	Messdaten	55
8.9.6	Übereinstimmung mit Normen und Richtlinien	55
	Inhaltsverzeichnis Anhänge	56
Anhang A	FGW Vereisungskarte für Deutschland.....	57
Anhang B	Verfahren zur Bestimmung des Repräsentativitätsmaßes T-RIX	58
Anhang C	Bestimmung der Standortgüte zur Inbetriebnahme gemäß EEG.....	60
Anhang D	Verfahren zur Plausibilisierung von Remote Sensing Devices	64
	Literaturverzeichnis	66

Verwendete Abkürzungen

BWE	Bundesverband Windenergie e.V.
CFD	Computational Fluid Dynamics
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
DKD	Deutscher Kalibrierdienst
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz
FGW	FGW e.V.-Fördergesellschaft Windenergie und andere Dezentrale Energien
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
MEASNET	Measuring Network of Wind Energy Institutes
NN	Normal-Null
NTF	Nacelle Transfer Function (Gondeltransferfunktion)
Rev.	Revision
RSD	Fernmessgerät (engl. Remote Sensing Device)
TR	Technische Richtlinie
ü. Gr.	über Grund
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WEA	Windenergieanlage(n)

Symbole und Einheiten

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Rotorkreisfläche einer WEA	m^2
c_p	Leistungsbeiwert	
D	Rotordurchmesser	m
E	Energieertrag	kWh
E_{frei}	Energieertrag, der für die WEA am Standort bestimmt wurde (freie Anströmung)	kWh
E_{Sto}	Standortertrag, der für die WEA am Standort nach C.2.1 Nr.3 bestimmt wurde	kWh
f	Frequenz	Hz
h_N	Nabenhöhe der WEA	m
P	Leistung einer WEA	kW
R	Referenzertrag	kWh
SG	SG Standortgüte (Verhältnis zwischen Standortertrag und Referenzertrag), anzugeben als Prozentwert mit einer Nachkommastelle	%
U_{Efrei}	Relative Unsicherheit des ermittelten Energieertrages E_{frei} (Verhältnis von absoluter Standardunsicherheit zu Energieertrag)	%
v	Windgeschwindigkeit	m/s

Begriffe und Definitionen

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die folgenden Begriffe in Anlehnung an IEC 60050 Teil 415, „International Electrotechnical Vocabulary (IEV)“ [4]:

Anwendungsmodus: Die Übertragung der Windverhältnisse von dem Standort einer Winddatenbasis auf einen anderen Standort kann als Statistik (Weibull-Verteilung oder Häufigkeitstabelle) erfolgen oder zeitschrittweise, sodass als Ergebnis eine Windzeitreihe am betrachteten Punkt vorliegt.

Bruttoenergieertrag (auch freier Energieertrag): Mittlere, innerhalb eines Jahres zu erwartende Energieerzeugung einer oder mehrerer Windenergieanlagen (WEA), die sich auf Grundlage des in Nabenhöhe ermittelten Windpotenzials mit einer spezifischen Leistungskennlinie ohne jegliche Abschläge ergibt.

Energieertrag: Energieerzeugung einer oder mehrerer WEA.

Ertrag: Im Sinne dieser Richtlinie gleich Energieertrag.

Freie Anströmung: Anströmung einer WEA an einem Standort, ohne Berücksichtigung der Abschattung durch benachbarte WEA.

Leistungskennlinie: Der für jeden WEA-Typ ermittelte Zusammenhang zwischen Windgeschwindigkeit und Leistungsabgabe unabhängig von der Nabenhöhe [5], [6], [7] Anlage 2 zu § 36h Punkt 5.

Nabenhöhe: Höhe der Rotormitte über Geländeoberfläche. Bei einer WEA mit vertikaler Achse ist die Nabenhöhe die Höhe der Äquatorebene.

Nachlaufströmung: Strömungsverhältnisse im Lee von WEA.

Nennleistung: Eine im Allgemeinen von einer Herstellerfirma für eine Komponente, eine Einrichtung oder ein Betriebsmittel für eine festgelegte Betriebsbedingung zugeordnete Leistungsgröße [1]. Höchste elektrische Dauer-Leistungsabgabe, für die eine WEA unter bestimmungsgemäßen Betriebsbedingungen ausgelegt ist.

Nettoenergieertrag: Mittlere, innerhalb eines Jahres zu erwartende Energieerzeugung einer oder mehrerer WEA an einem Einzelstandort oder an einem Standort im Windpark, die sich aus dem ermittelten Bruttoenergieertrag und der Parkabschattungseffekte und weiterer Verluste ergibt.

Parkenergieertrag: Bruttoenergieertrag abzüglich der Abschattungsverluste im Windpark.

Reanalysedaten: Zeitliche Abfolge des atmosphärischen Zustandes (u. a. Windgeschwindigkeit, Temperatur, Luftdruck, Feuchte) als Ergebnis der Analyse von Beobachtungsdaten mit einem einheitlichen atmosphärischen Strömungsmodell. Durch die Fixierung des Strömungsmodells ergibt sich eine große zeitliche Konsistenz, die für die Zwecke des Langzeitabgleichs von großem Vorteil ist.

Referenzertrag: „[...] die für jeden Typ einer Windenergieanlage einschließlich der jeweiligen Nabenhöhe bestimmte Strommenge, die dieser Typ bei Errichtung am Referenzstandort rechnerisch auf Basis einer vermessenen Leistungskennlinie in fünf Betriebsjahren erbringen würde.“ [5], [6], [7]

Referenzstandort: Standort mit einem theoretischen, fest definierten Windpotenzial. Die Definition des Standorts ist im EEG [5], [6], [7] Anlage 2 zu finden.

Sensitivitätsfaktor: Der Sensitivitätsfaktor beschreibt die relative Änderung des mittleren Energieertrages einer spezifischen WEA in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit.

Simulationsmodus: Strömungsmodelle können stationär mit konstanten Randbedingungen oder alternativ instationär mit zeitabhängigen Randbedingungen betrieben werden.

Typ einer Windenergieanlage (WEA-Typ): „[...] bestimmt durch die Typenbezeichnung, die Rotorkreisfläche die Nennleistung und die Nabenhöhe gemäß den Angaben des Herstellers.“ [5], [6], [7]

Validierung: Erfolgreiche qualitative und quantitative Überprüfung eines Verfahrens oder Modells für die gegebene Situation anhand von Beobachtungsdaten.

Verfügbarkeit (WEA, zeitliche Verfügbarkeit): Verhältniszahl aus Gesamtstundenzahl einer Zeitspanne abzüglich der Stundenzahl, in der die WEA wegen Wartung oder Störung nicht betrieben wurde, und Gesamtstunden der Zeitspanne, ausgedrückt in Prozent.

Verfügbarkeit (WEA, energetische Verfügbarkeit): Verhältniszahl aus dem tatsächlich in einem Bezugszeitraum erzeugten Energieertrag zu dem Energieertrag, der in diesem Zeitraum hätte von der WEA erzeugt werden können, wenn die WEA nicht aus technischen oder sonstigen Gründen zu einzelnen Zeiten im Bezugszeitraum stillgestanden hätte. Die energetische Verfügbarkeit bezieht sich im Gegensatz zur zeitlichen Verfügbarkeit auf den Energieverlust.

Vergleichs-WEA: Vorhandene WEA, deren Betriebsergebnisse als Vergleichsdaten für die Energieertragsbestimmung genutzt werden zur Verifizierung der Berechnungsmethode.

Verluste: Im Sinne dieser Richtlinie Ertragsverluste einer WEA, die z. B. durch Abschattungseffekte in Windparks oder technisch bedingt sind und/oder sich durch nicht optimale Betriebsbedingungen ergeben.

Windparkfläche: Bereich der geplanten WEA.

Windpotenzial: Windverhältnisse an einem Standort, die bezogen auf eine Höhe ü. Gr. durch Windfeldparameter (Windgeschwindigkeit, Windleistungsdichte, Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung) angegeben werden.

1 Allgemeines

1.1 ANWENDUNGSBEREICH

Die vorliegende Richtlinie beschreibt Verfahren zur Bestimmung des Windpotenzials und der Energieerträge an WEA-Standorten. Die Bestimmung von Windpotenzial und Energieerträgen an einem WEA-Standort ist nach dem Stand der Technik vorzunehmen. Zusätzliche Qualitätskriterien werden im Folgenden definiert.

Windpotenzial und Energieertrag an einem Standort werden von einer unabhängigen Institution, die das Gutachten durchführt, bestimmt. Dies geschieht auf Basis oder durch Inanspruchnahme von Kundendaten (Wind- und /oder Produktionsdaten, WEA-Standorte und -Typen, topographische Daten).

Es ist Aufgabe dieser Institution, diese Daten zu plausibilisieren und ihre Qualität zu bewerten sowie nach Möglichkeit weitere Eingangsdaten bereitzustellen. Die Qualität und Aussagekraft des Gutachtens hängt in wesentlichen Teilen von Qualität, Richtigkeit, Aktualität und Aussagekraft der zur Verfügung stehenden Informationen ab. Kunden müssen daher die Institution, die das Gutachten durchführt, im Rahmen ihrer Möglichkeiten und Vertraulichkeitsverpflichtungen umfassend und wahrheitsgemäß informieren und die entsprechenden Daten bereitstellen.

1.2 KONFORMITÄT ZUR RICHTLINIE

Im Rahmen dieser Richtlinie haben entsprechend formulierte Vorgaben die folgende Bedeutung.

MUSS:

Eine MUSS-Formulierung überlässt dem Gutachter keinerlei Ermessensspielraum. Hierzu zählen auch im Imperativ formulierte Regelungen der Form "...ist/sind zu...". Eine Nicht-Einhaltung der MUSS-Bestimmung führt zwingend dazu, dass eine Konformität zur TR 6 Revision 12 nicht gegeben ist. Ein solcher Bericht darf folglich nicht als TR 6 konformes Gutachten bezeichnet werden. Ein TR 6 konformer Bericht darf nur für WEA erstellt werden, die TR 6 konform bewertet werden können.

Somit beinhaltet die MUSS-Formulierung eine rote Linie, die nicht überschritten werden darf.

Die Nichteinhaltung einer Muss-Bestimmung in den Anhängen C und D führt nur zur Ungültigkeit des diesbezüglich erstellten Zusatzdokuments bzw. dieses Teils des Prüfberichtes.

SOLL:

Eine SOLL-Formulierung überlässt dem Gutachter Ermessensspielraum. Eine Nicht-Einhaltung der SOLL-Bestimmung stellt eine Abweichung dar und muss nachvollziehbar begründet und dokumentiert werden sowie zwingend in der Unsicherheiten-Betrachtung berücksichtigt werden. Dies muss im Kapitel „Abweichungen von der Richtlinie“ geschehen, es sei denn, die Nicht-Einhaltung führt nicht zu einer Veränderung der Unsicherheiten und Ergebnisse. In diesem Fall reicht die Darstellung im betroffenen Fachkapitel des Gutachtens. Eine Abweichung kann auch zu einer Verringerung der Unsicherheiten führen.

KANN:

Eine KANN-Formulierung hat lediglich einen empfehlenden Charakter. Der Gutachter hat vollen Ermessungsspielraum. Eine Abweichung muss nicht explizit in der Unsicherheiten-Betrachtung berücksichtigt werden und stellt folglich auch keine Abweichung von der Richtlinie dar.