

VGB-Standard

Windenergieanlagen (WEA)

— Definitionen und Kennwerte —

VGB-S-002-05-2015-10-DE

Herausgeber:

VGB PowerTech e.V.

Verlag:

VGB PowerTech Service GmbH

Verlag technisch-wissenschaftlicher Schriften

Deilbachtal 173, 45257 Essen

Tel.: +49 201 8128-200

Fax: +49 201 8128-302

E-Mail: mark@vgb.org

ISBN 978-3-86875-894-8 (eBook)



Jegliche Wiedergabe ist nur mit vorheriger Genehmigung
des VGB gestattet.

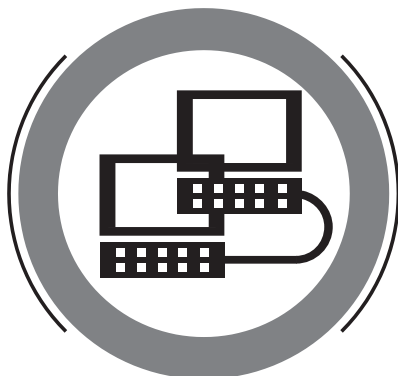
www.vgb.org

Public License Document

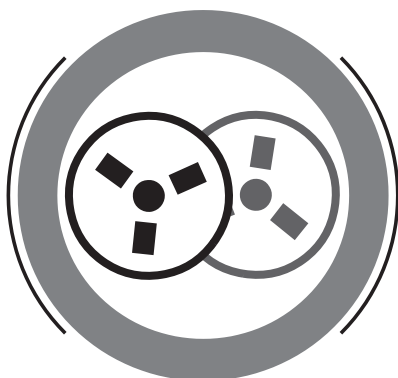
Public License Document
Freie Lizenz



Network access allowed
Einstellen in Netzwerke erlaubt



Copying and distribution allowed
Kopie und Weitergabe erlaubt



All other rights reserved.
Alle weiteren Rechte vorbehalten.

Urheberrechtsvermerk

VGB-Standards, hier im Weiteren als „Werk“ bezeichnet, und sämtliche im Werk enthaltenen Beiträge und Abbildungen sind urheberrechtlich geschützt. Es liegt in der alleinigen Zuständigkeit von VGB PowerTech, die Nutzungsrechte wahrzunehmen.

Der Begriff „Werk“ umfasst die vorliegende Publikation sowohl in gedruckter als auch in digitaler Form. Der Urheberrechtsschutz umfasst dieses Werk als Ganzes als auch Teile bzw. Ausschnitte.

Jede Nutzung außerhalb der Grenzen des Urheberrechts ist ohne schriftliche Genehmigung des VGB PowerTech unzulässig. Dies gilt für jede Form von Vervielfältigung, Übersetzung, Digitalisierung sowie Veränderung.

Haftungsausschluss

VGB-Standards sind Empfehlungen, deren Anwendung freigestellt ist. Sie berücksichtigen den zum Zeitpunkt der jeweiligen Ausgabe herrschenden bekannten Stand der Technik. Sie erheben jedoch keinen Anspruch auf Vollständigkeit und Richtigkeit.

Die Anwendung erfolgt auf eigene Verantwortung und auf eigene Gefahr. VGB PowerTech e.V. schließt insoweit jegliche Haftung aus.

Hinweis zur Behandlung von Änderungsvorschlägen

*Änderungsvorschläge können an die E-Mail-Adresse **vgb.standard@vgb.org** gesendet werden. Zur eindeutigen Zuordnung des Inhalts sollte die Betreffzeile die Kurzbezeichnung des betreffenden Dokuments enthalten.*

..

Änderungsverzeichnis

VGB-Standard	Änderungsdatum	Kapitel	Beschreibung
1. Ausgabe 2015, Stand Oktober 2015			Original

Vorwort

Die Anfänge der Windenergienutzung liegen weit über 3000 Jahre zurück. In der Zeit zwischen Mittelalter und Ende des 19. Jahrhunderts hatte die Windenergienutzung einen ersten Höhepunkt. Die Energiekonverter waren entweder Windmühlen, die die Antriebskraft für Mahlwerke etc. lieferten oder, vor allem in den USA, die sogenannten Westernräder, die vorwiegend zum Pumpen von Wasser eingesetzt wurden.

Schnelllaufende Systeme mit aerodynamisch geformten Blättern wurden erst in den 50er Jahren des 20. Jahrhunderts entwickelt. Mit diesen Systemen war erstmals die Einspeisung elektrischer Energie in das öffentliche Netz möglich.

In den letzten Jahrzehnten wurden große Fortschritte in der Entwicklung leistungsfähiger Windenergieanlagen gemacht. In windgünstigen Gebieten (Küstennähe, Hochebenen, Mittelgebirge) werden inzwischen Anlagen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten betrieben.

Weltweit wird der Windenergienutzung insbesondere wegen des Klimawandels und dessen Konsequenzen eine besondere Bedeutung für die nachhaltige Energieversorgung beigemessen. Z. B. in Deutschland wird der Ausbau der Windenergie seit 2011 verstärkt vorangetrieben, so dass Ende 2014 in Deutschland bereits fast 40 GW Windleistung on- und offshore installiert waren.

Während in Energieversorgungssystemen die Windenergieanlagen mit einem geringeren Anteil an der Gesamterzeugung bis dato im Wesentlichen ertragsorientiert und ausschließlich in Abhängigkeit vom Windaufkommen betrieben wurden, muss zukünftig mit steigendem Anteil ein nachhaltiger Betrieb sowohl die technischen Anforderungen des Versorgungssystems als auch die Markt- und Netzlastanforderungen berücksichtigen. Dazu ist wie bei den bisherigen konventionellen Wärmekraftwerken unter anderem eine Optimierung der Instandhaltung erforderlich, um möglichst lange Lebensdauern unter optimalen Betriebsbedingungen realisieren zu können und damit einen maximalen Ertrag aus der Windkraft zu ermöglichen.

Das vorliegende Heft stellt hierfür die grundlegenden Definitionen und Kennzahlen zur Beschreibung von Zuständen bereit und sichert deren einheitliche Verwendung und damit deren Eindeutigkeit. Basis sind die bereits in der Heftenreihe der VGB-Standards erschienenen Hefte zu Elektrizitätswirtschaftlichen Grundbegriffen (VGB-S-002-T-01), Wärmekraftwerken (VGB-S 002-03), Wasserkraftwerken (VGB-S 002-02) und Photovoltaik (VWEW-ISBN 3-8022-0622-3) sowie spezifische Normen und Definitionen der Windenergie.

Essen, im Oktober 2015

VGB PowerTech e.V.

Autorenverzeichnis

Dieser VGB-Standard wurde von der VGB-Projektgruppe „KISSY/Wind Energy“ erstellt. Mitglieder der Projektgruppe:

Jürgen Aydt	EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Stuttgart
Stefan Prost	VGB PowerTech e.V., Essen
Dr. Jörn Rassow	EnBW Energie Baden-Württemberg AG, Stuttgart
Heiko Scheel	STEAG GmbH
Dr. Ralf Uttich	RWE Power AG, Essen

1. Ausgabe 2015 VGB PowerTech e.V.

Inhalt

Änderungsverzeichnis	4
Inhalt	7
1 Einheiten	10
Alphabetisches Verzeichnis der Kurzzeichen	12
2 Windenergie	14
2.1 Entstehung des Windes.....	14
2.2 Energie des Windes	15
3 Technik.....	17
3.1 Windenergienutzung.....	17
3.2 Bauformen	17
3.3 Anlagenleistung	18
3.4 Vergleichs-WEA	20
4 Zeitbegriffe	20
4.1 Zeit	21
4.2 Nennzeit	21
4.3 Dargebotszeit	21
4.4 Peak-Zeit	21
4.5 Verfügbarkeitszeit.....	21
4.6 Dargebots Verfügbarkeitszeit	21
4.6.1 Nichtdargebots Verfügbarkeitszeit.....	22
4.7 Betriebszeit.....	22
4.8 Bereitschaftszeit	22
4.9 Verfügbare Nichteinsatzzeit.....	23
4.10 Nichtverfügbarkeitszeit	23
4.10.1 Geplante Nichtverfügbarkeitszeit regenerativ	23
4.10.2 Geplante proaktive Nichtverfügbarkeitszeit	23
4.10.3 Geplante reaktive Nichtverfügbarkeitszeit	24
4.11 Ungeplante Nichtverfügbarkeitszeit	24
4.12 Verfügbare Nichteinsatzbarkeitszeit	24
4.13 Nichtbeanspruchbarkeitszeit	24
4.14 Vollastbenutzungsstunden.....	24
5 Leistungsbegriffe	26

5.1	Leistungskurve	26
5.2	Nennleistung	28
5.3	Dargebotsleistung.....	28
5.4	Mindestleistung	28
5.5	Technische Bereitschaftsleistung	28
5.6	Betriebsleistung	29
5.7	Mittlere Leistung	29
5.8	Verfügbare Leistung	29
5.9	verfügbare Dargebotsleistung	29
5.10	Nicht verfügbare Dargebotsleistung	30
5.11	Technisch verfügbare Leistung	30
5.12	verfügbare nicht eingesetzte Leistung	30
5.13	verfügbare nicht einsetzbare Leistung.....	30
5.14	Technisch nicht verfügbare Leistung	30
5.15	Geplante nicht verfügbare Leistung.....	31
5.16	Ungeplante nicht verfügbare Leistung	31
5.17	Beanspruchbare Leistung.....	31
5.18	Nicht beanspruchbare Leistung.....	31
5.19	Blindleistung	31
5.20	Scheinleistung	31
6	Arbeitsbegriffe und Kennwerte	32
6.1	Arbeitsvermögen, Arbeitsdargebot	33
6.2	Regelarbeitsvermögen	34
6.3	Betriebsarbeit (Erzeugung).....	34
6.4	Nicht verwertete Arbeit	34
6.5	Verfügbare Arbeit (meteorologisch verfügbare Arbeit)	35
6.6	Technisch verfügbare Arbeit.....	35
6.7	Technisch nicht verfügbare Arbeit	35
6.8	Bruttoenergieertrag (Freier Energieertrag)	35
6.9	Nettoenergieertrag (Parkenergieertrag).....	36
6.10	Referenzertrag	36
6.11	Windpotenzial.....	36
6.12	Wind-potenzialstudie	36
6.13	WEA-Anlagennutzungsgrad	37

7	Verfügbarkeit und Ausnutzung	38
7.1	Verfügbarkeit	39
7.1.1	Zeitverfügbarkeit.....	39
7.1.2	Arbeitsverfügbarkeit.....	39
7.1.3	Beanspruchbarkeit.....	39
7.2	Nichtverfügbarkeit.....	40
7.3	Ausnutzung	40
7.3.1	Zeitausnutzung	40
7.3.2	Arbeitsausnutzung.....	40
7.3.3	Ausbeute (Performance Ratio)	40
7.3.4	Erntefaktor	41
7.4	Energetische Ausnutzung.....	41
7.5	Verfügbarkeit eines Windparks.....	41
7.6	Ausnutzungsgrad.....	41
Anhang 1	Außeneinflüsse	42
Anhang 2	Ereignismerkmalschlüssel (EMS).....	44
Anhang 3	RDS-PP	45
	Abkürzungsverzeichnis.....	46
	Abbildungsverzeichnis	47
	Literaturverzeichnis	48
	Alphabetisches Verzeichnis der Benennungen	49
	Stichwortverzeichnis	51

1 Einheiten

Folgende Einheiten* werden benutzt

Begriff	Einheit				
Leistung					
Wirkleistung	W	kW ¹⁾	MW =10 ³ kW	GW =10 ⁶ kW	TW =10 ⁹ kW
Scheinleistung	VA	kVA	MVA	GVA	TVA
Blindleistung	var	kvar	Mvar	Gvar	Tvar
Arbeit					
Wirkarbeit	Ws (= J)	kWh ¹⁾ (= 3,6 MJ)	MWh =10 ³ kWh	GWh =10 ⁶ kWh	TWh =10 ⁹ kWh
Scheinarbeit	VAh	kVAh	MVAh	GVAh	TVAh
Blindarbeit	varh	kvarh	Mvarh	Gvarh	Tvarh

Vorsätze zur Bezeichnung von dezimalen Vielfachen der Einheiten

Vorsilbe	Kurzzeichen	Faktor	Zahlenwert**
Nano	n	10 ⁻⁹	Milliardstel
Mikro	μ	10 ⁻⁶	Millionstel
Milli	m	10 ⁻³	Tausendstel
Zenti	c	10 ⁻²	Hundertstel
Dezi	d	10 ⁻¹	Zehntel
Deka	da	10	Zehn
Hekto	h	10 ²	Hundert
Kilo	k	10 ³	Tausend
Mega	M	10 ⁶	Million
Giga	G	10 ⁹	Milliarde
Tera	T	10 ¹²	Billion
Peta	P	10 ¹⁵	Billarde
Exa	E	10 ¹⁸	Trillion

* Umfassende Darstellungen über Einheiten in der Energiewirtschaft finden sich in:

- DIN 1301 Einheiten, Teil 1 (Dez. 85), Teil 2 (Febr. 1978), Teil 3 (Oktober 79)
- Liste der empfohlenen Maßeinheiten für den Kraftwerksbereich,
- VGB Kraftwerkstechnik, Heft 6/1981, ebenso Sonderdruck
- Einheiten im Gas- und Wasserfach. DVGW, Merkblatt GW 110, Dezember 1976.
- Thermodynamische Tabellen. K. Raznjevic, VDI-Verlag 1977.

** In den USA wird 10^9 mit Billion, 10^{12} mit Trillion bezeichnet

1) Hinweis:

In Übereinstimmung mit dem allgemeinen Sprachgebrauch werden in diesem VGB-Standard „Kilowatt“ (kW) bzw. „Kilowattstunde“ (kWh) auch als Einheiten für die Strahlungsenergien u.a. verwendet. Insoweit sind diese Einheiten dann keine elektrotechnischen Einheiten.

Alphabetisches Verzeichnis der Kurzzeichen

Zeichen	Benennung	Kapitel
f_W	Erntefaktor	7.3.4
k_b	Beanspruchbarkeit	7.1.3
k_t	Zeitverfügbarkeit	7.1.1
k_W	Arbeitsverfügbarkeit	7.1.2
n_t	Zeitausnutzung	7.3.1
n_W	Arbeitsausnutzung	7.3.2
n_{We}	Energetische Ausnutzung	7.4
P_b	Beanspruchbare Leistung	5.17
P_B	Betriebsleistung	5.6
P_D	Dargebotsleistung	5.3
P_m	Mittlere Leistung	5.7
P_N	Nennleistung	5.2
P_{nb}	Nicht beanspruchbare Leistung	5.18
P_{ng}	verfügbare nicht eingesetzte Leistung	5.12
P_{ns}	verfügbare nicht einsetzbare Leistung	5.13
P_{Nutz}	Anlagenleistung	3.3
P_{nvD}	Nicht verfügbare Dargebotsleistung	5.10
$P_{nv p}$	Geplante nicht verfügbare Leistung	5.15
$P_{nv u}$	Ungeplante nicht verfügbare Leistung	5.16
P_{nvT}	Technisch nicht verfügbare Leistung	5.14
PR	Ausbeute (Performance Ratio)	7.3.3
P_R	Technische Bereitschaftsleistung	5.5
P_v	Verfügbare Leistung	5.8
P_{vT}	Technisch verfügbare Leistung	5.11
P_{vD}	verfügbare Dargebotsleistung	5.9
t	Zeit	4.1
t_B	Betriebszeit	4.7
t_D	Dargebotszeit	4.3
t_N	Nennzeit	4.2
t_{nb}	Nichtbeanspruchbarkeitszeit	4.13

Zeichen	Benennung	Kapitel
t_{ng}	Verfügbare Nichteinsatzzeit	4.9
t_{ns}	Verfügbare Nichteinsatzbarkeitszeit	4.12
t_{nv}	Nichtverfügbarkeitszeit	4.10
$t_{nv\ u}$	Ungeplante Nichtverfügbarkeitszeit	4.11
$t_{nv\ p}$	Geplante Nichtverfügbarkeitszeit	4.10.1
$t_{nv\ pp}$	Geplante proaktive Nichtverfügbarkeitszeit	4.10.2
$t_{nv\ pr}$	Geplante reaktive Nichtverfügbarkeitszeit	4.10.3
$t_{nv\ pR}$	Geplante Nichtverfügbarkeitszeit regenerativ	4.10.1
t_P	Peak-Zeit	4.4
t_R	Bereitschaftszeit	4.8
t_v	Verfügbarkeitszeit	4.5
t_{vD}	Dargebots Verfügbarkeitszeit	4.6
t_{vnD}	Nichtdargebots Verfügbarkeitszeit	4.6.1
t_{vbh}	Vollastbenutzungsstunden	4.14
W_B	Betriebsarbeit (Erzeugung)	6.3
W_{Ebr}	Bruttoenergieertrag (Freier Energieertrag)	6.8
W_{Ene}	Nettoenergieertrag (Parkenergieertrag)	6.9
W_{Eref}	Referenzertrag	6.10
W_H	Arbeitsvermögen, Arbeitsdargebot	6.1
W_{HN}	Nicht verwertete Arbeit	6.4
W_{HR}	Regelarbeitsvermögen	6.2
W_{nvT}	Technisch nicht verfügbare Arbeit	6.7
W_R	WEA-Anlagennutzungsgrad	6.13
W_v	Verfügbare Arbeit (meteorologisch verfügbare Arbeit)	6.5
W_{vT}	Technisch verfügbare Arbeit	6.6
η_a	Ausnutzungsgrad	7.6
η_A	WEA-Anlagennutzungsgrad	6.13
η_{AM}	Ausbeute (Performance Ratio)	7.3.3

2 Windenergie

2.1 Entstehung des Windes

Durch die Schwankungen der globalen solaren Einstrahlung entstehen globale Lufttemperaturschwankungen und damit Luftdruckunterschiede. In Bereichen starker Einstrahlung bildet sich ein Hochdruckgebiet, in Bereichen geringer Einstrahlung herrscht entsprechend tiefer Luftdruck. Diese großräumigen Luftdruckunterschiede führen zu Ausgleichsbewegungen der Luft, die man als Wind bezeichnet. Die ablenkende Kraft der Erdrotation - die Corioliskraft - spielt auch noch eine Rolle, auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird.

Wegen der Rauigkeit der Erdoberfläche und der daraus resultierenden Reibung ist die Windgeschwindigkeit in Bodennähe in der Regel geringer als in höheren Luftschichten. Der Einfluss der Bodenrauigkeit reicht in eine Grenzschicht, deren Dicke zwischen 300 m und 600 m liegt. Der Geschwindigkeitsverlauf kann in dieser Grenzschicht durch eine relativ einfache Formel aus der Geschwindigkeit in 10 m Höhe (v_{10}) berechnet werden:

$$v_h = v_{10} \left(\frac{h}{10} \right)^{g^*} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{Gleichung 2.1}$$

Der Grenzschichtexponent g^* nimmt für verschiedene Bodenrauigkeiten verschiedene Werte an:

Beschreibung des Geländes	Exponent g^*
Offenes Gelände mit wenigen und niedrigen Hindernissen, z. B. flache Gras- und Ackerland mit nur wenigen Bäumen, Prärien, Küsten, flache Inseln, inländische Seen, Wüsten	0,16
Gelände mit gleichförmig gestreuten Hindernissen von 10 bis 15 m Höhe, z. B. Wohnsiedlungen, kleine Städte, Wälder, Gebüsch, kleine Felder mit Büschen, Bäumen und Hecken	0,28
Gelände mit großen und ungleichmäßig gestreuten Hindernissen, z. B. die Zentren großer Städte, stark unebenes Gelände mit vielen hohen Hindernissen wie Bäumen etc.	0,40

Wenn man den Grenzschichtexponenten bestimmt hat, reicht die Genauigkeit der Gleichung 1.1 bis zu den für die technische Windenergienutzung sinnvollen Höhen aus.

Bei der Aufstellung von Windkonvertern sind die durch Hindernisse verursachten Turbulenzen in Umkreis und Höhe zu berücksichtigen. Turbulenzen können den Wirkungsgrad eines Windkonverters beeinflussen.

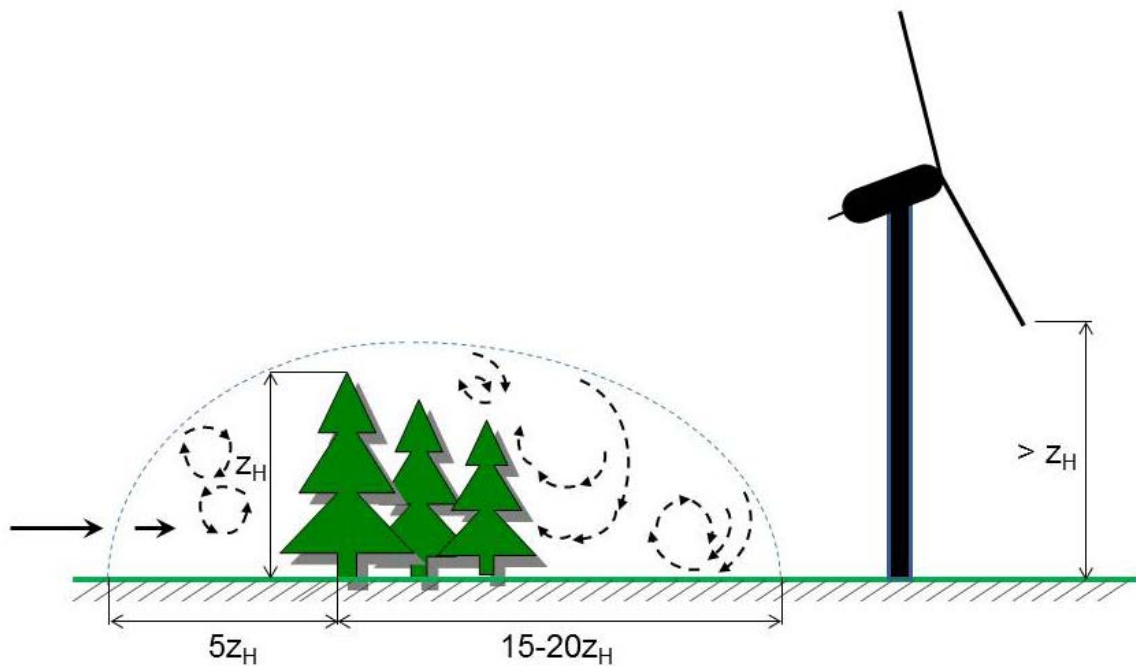


Abb. 1: Einflussbereich von Hindernissen mit der Höhe z_H

2.2 Energie des Windes

Die Bewegungsenergie (kinetische Energie) der Luftströmung ist eine indirekte Form der Sonnenenergie und gehört damit zu den erneuerbaren Energien.

Die im Wind enthaltene Leistung P_{Wind} wird als kinetische Energie

$$\dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2$$

Gleichung 2.2.1

der Luftmassen angesehen, die in einer Zeiteinheit die Fläche A durchströmt.

$$\dot{m} = A \cdot \rho \cdot v$$

Gleichung 2.2.2

Somit ergibt sich für die Leistung des Windes

$$P_{\text{Wind}} = \dot{E} = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot A \cdot \rho \cdot v^3$$

Gleichung 2.2.3

wobei ρ die Luftdichte ist.

3 Technik

3.1 Windenergienutzung

Die Energie des Windes wird heute nahezu ausschließlich über Windenergieanlagen (WEA; auch Windkonverter genannt) genutzt. Eine WEA ist ein System, das die kinetische Energie des Windes in elektrische Energie umwandelt [9]. Dabei wird ein Rotor durch die Luftströmung in Drehung versetzt, der wiederum mittels Drehachse einen Stromgenerator antreibt. Die Windenergienutzung speziell in Küstengebieten bzw. in Mittelgebirgslagen hat in den vergangenen Jahren einen großen Aufschwung genommen. Dies hängt einerseits damit zusammen, dass Windenergie politisch als CO₂ freie Technologie in den Fokus geraten ist und inzwischen neben der Wasserkraft (Wasserkraftnutzung) zur konventionellen Stromerzeugung wettbewerbsfähig ist. Auch die Windenergienutzung ist allerdings keine problemlose Energieerzeugungsform: Inkauf zunehmen hat man die Beeinträchtigung des Landschaftsbildes, die akustischen und optischen Belästigungen durch die Rotorenbewegung sowie die Auswirkungen der Windenergieanlagen und ihrer Infrastruktur auf die Tier- und Pflanzenwelt. Dies schlägt sich häufig in Genehmigungsaufgaben nieder.

3.2 Bauformen

Wesentliche Anlagenkomponenten von Windenergieanlagen sind u.a.:

- Rotor
- Triebstrang (Generator, Rotorwelle, -lager, Bremse und ggf. Getriebe)
- Mast
- Fundament
- Steuerungselektronik
- Verkabelung
- Windnachführung
- Windmesssensorik
- Blitzschutz
- Abschaltvorrichtung
- Drehzahlsteuerung
- sonstige Sicherheitssysteme

Die am Markt verfügbaren Anlagentypen werden hinsichtlich ihrer Achsausrichtung in Horizontalachser und Vertikalachser unterschieden.

Horizontalachsenanlagen mit liegender Hauptwelle weisen gegenüber den Vertikalachsen mit stehender Hauptwelle den Vorteil höherer Anlagenwirkungsgrade auf. Mit Hilfe von Windnachführfahnen (passive Windnachführung) richten sich die Horizontalachser mit der gesamten Rotorfläche ideal zum Wind aus. Vertikalachser zeichnen sich gegenüber Horizontalachsen durch eine höhere Laufruhe aus, wodurch die Schallemissionen minimiert werden können. Dadurch eignen sie sich besonders für Standorte in der Nähe von Wohnbebauungen.

Jedoch sind viele Standorte innerhalb von Siedlungsgebieten für Kleinwindenergieanlagen schlichtweg nicht geeignet, da sie auf Grund der Bebauung nicht frei und gleichmäßig vom Wind angeströmt werden. Diese schlechteren Windverhältnisse, d. h. niedrigere Windgeschwindigkeiten bei zeitgleich erhöhten Turbulenzen, führen demnach zu niedrigen Stromerträgen. Ein weiteres wesentliches Kriterium, das einem Anlagenbetrieb in Bebauungen oft entgegensteht, bildet der Lärmschutz, da auch Kleinwindenergieanlagen trotz ihrer geringen Größe die vorgegebenen Schwellwerte überschreiten können.

3.3 Anlagenleistung

Die mechanische Leistung, die eine Anlage aus der Windenergie bestenfalls umwandeln kann ergibt sich aus dem Betz'schen Gesetz:

$$P_{\text{Nutz}} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot 0,593 \quad \text{Gleichung 3.3.1}$$

P_{Nutz} ist die mechanische Leistung, die ein Rotor an die nachgeschalteten Komponenten wie Getriebe oder Generator abgeben kann.

ρ ist die Luftdichte in der sich der Rotor dreht. Die Luftdichte gibt an, welche Masse in einem bestimmten Volumen vorhanden ist. Die Luftdichte selbst ist von den Faktoren Luftdruck, Temperatur und Luftfeuchte abhängig. Die Luft hat am Boden die größte Dichte. Diese nimmt mit steigender Höhe ab. Die Luftdichte schwankt in dem Bereich von 0 m bis 1.000 m zwischen 1,0 kg/m³ und 1,4 kg/m³. Die Standardluftdichte beträgt 1,225 kg/m³.

A ist die durchströmte Fläche. Bei einer herkömmlichen Windenergieanlage als auch bei der hocheffizienten Windenergieanlage ergibt sich eine Kreisfläche, die wie folgt berechnet wird:

$$A = \pi \cdot \frac{d^2}{4}, \text{ wobei } d \text{ der Durchmesser (DW) der Kreisfläche ist.} \quad \text{Gleichung 3.3.2}$$

v ist die Windgeschwindigkeit. Man beachte, dass die Windgeschwindigkeit mit der dritten Potenz in die Formel eingeht.

0,593 ist der Betz'sche Leistungsbeiwert. Dieser besagt, dass nicht mehr als 59,3 % der Windenergie entzogen werden kann. Würde man versuchen die gesamte Energie dem Wind zu entziehen, so wäre die Windgeschwindigkeit hinter dem Rotor gleich Null und der Wind würde sich vor der Anlage aufstauen und dem Rotor ausweichen.

Der Wert von 0,593 wird nur bei einer absolut verlustfreien Leistungsentnahme erreicht und ist somit nur ein theoretischer Wert. Praktische Leistungsbeiwerte sind geringer, sie liegen zwischen 0,2 und 0,5 bei Anlagen mit guten Flügelprofilen.

Die mechanische Leistung ist jedoch nicht gleich der elektrischen Leistung.

Reibungsverluste im Getriebe und in dem Generator werden in Wärme umgewandelt und an die Umgebung abgeführt. Man spricht von dem Wirkungsgrad η der sich wie folgt berechnet:

$$\eta = \frac{P_{ab}}{P_{zu}}$$

P_{zu} ist die zugeführte Leistung; also P_{Nutz} .

P_{ab} ist die abgeführte Leistung; also die elektrische Leistung.

Der Wirkungsgrad η beträgt circa 0,9 und reduziert damit den maximal möglichen Ertrag um 10 %.

3.4 Vergleichs-WEA

Neben den Größen Anlagenleistung und Wirkungsgrad bilden die Bestimmung von Windpotenzial (6.11) und Energieerträgen (6.8ff) von Windenergieanlagen an einem Standort die Grundlage für Planung, Projektierung und Finanzierung von Windenergieprojekten. Die Vergleichs-WEA ist in diesem Zusammenhang eine vorhandene WEA, deren Betriebsergebnisse als Vergleichsdaten für die Energieertragsbestimmung zur Verifizierung der Berechnungsmethode genutzt werden.

4 Zeitbegriffe

Unter Zeit ist in der Regel eine Zeitspanne T zu verstehen. Die Zeitspanne (Berichts-, Bezugs-, Betrachtungszeitspanne) ist eine jedenfalls sachlich zusammenhängende Zeitspanne, die auch aus mehreren, nicht unmittelbar aufeinander folgenden Teilzeitspannen zusammengesetzt werden kann. Die jeweils betrachtete Zeitspanne ist deutlich zu kennzeichnen.

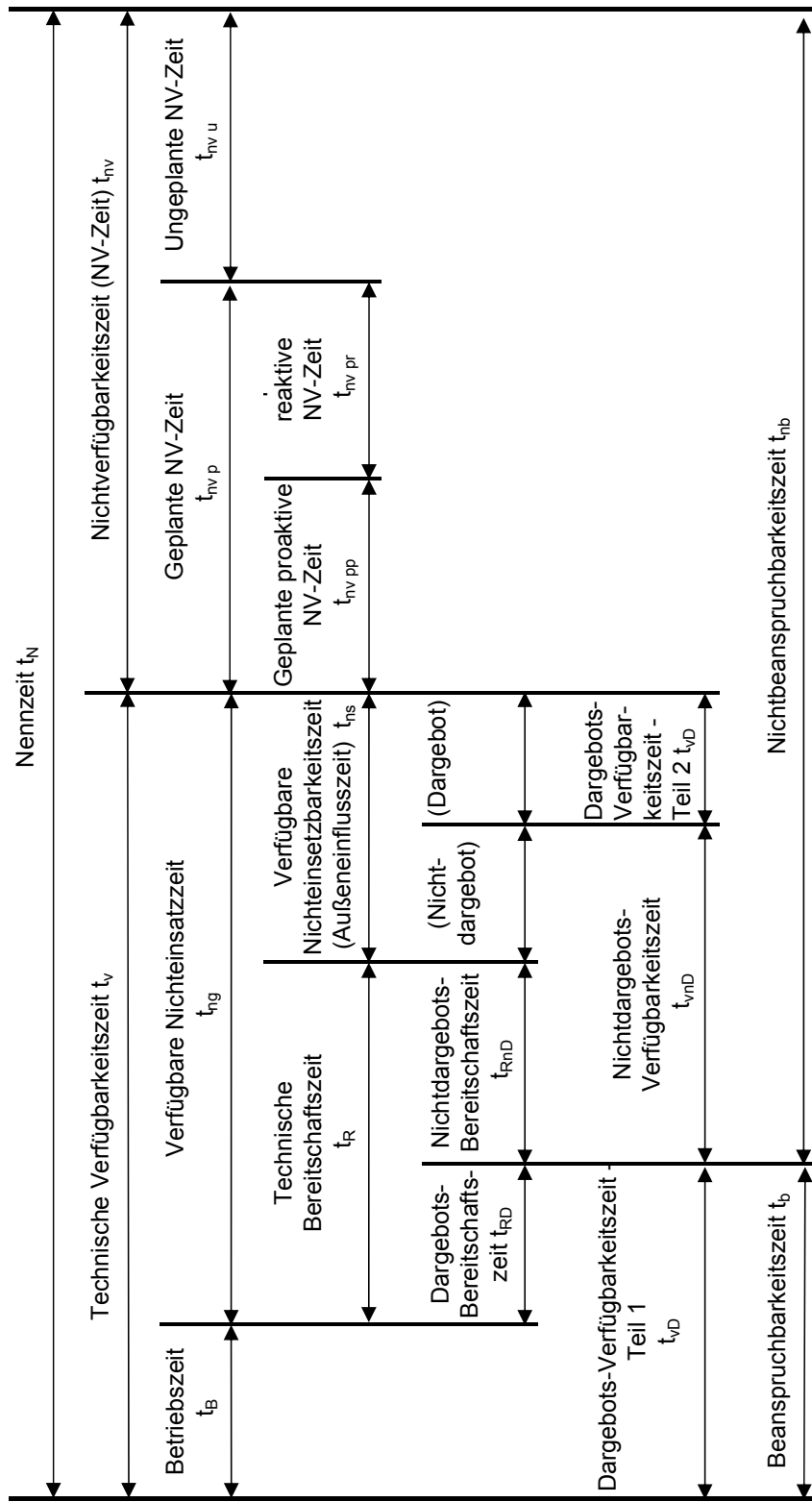
Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
4.1 Zeit	t	Die Zeit ist eine Zeitspanne, welche die Dauer eines Vorgangs angibt.
4.2 Nennzeit	t _N	Die Nennzeit ist die gesamte Berichtszeitspanne, ohne jegliche Unterbrechung (Kalenderzeit, z. B. Tag, Monat, Quartal, Jahr). Die Nennzeit kann in verschiedene Zeitspannen unterteilt werden, wie z. B. Dargebotszeit, nicht Dargebotszeit, Peak-Zeit, Off-Peak-Zeit.
4.3 Dargebotszeit	t _D	Die Dargebotszeit ist die Summe aller Teilzeiten eines betrachteten Zeitraumes, zu denen das natürliche Angebot erneuerbarer Energien mit der betrachteten WEA Stromerzeugung ermöglicht bzw. ermöglichen könnte.
4.4 Peak-Zeit	t _P	Die Zeit mit der höchsten Nachfrage und damit der höchsten Netzlast wird Peak-Zeit genannt. Details sind in dem VGB-Standard-S-002-T-01 beschrieben.
4.5 Verfügbarkeitszeit	t _V	Die Verfügbarkeitszeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage oder ein Anlagenteil aufgrund des technischen Zustandes Energie umwandelt oder überträgt bzw. umwandeln oder übertragen könnte, unabhängig von der Höhe der erreichbaren Leistung. Sie ist die Differenz aus Nennzeit und Nichtverfügbarkeitszeit. $t_V = t_N - t_{nv}$
4.6 Dargebots-Verfügbarkeitszeit	t _{VD}	Die Dargebots-Verfügbarkeitszeit setzt sich aus den Teilzeiten der Verfügbarkeitszeiten zusammen, zu denen das natürliche Angebot erneuerbarer Energien mit der betrachteten WEA Stromerzeugung ermöglicht bzw. ermöglichen könnte. $t_{VD} = t_V - t_{vnd}$ oder $t_{VD} = t_N - t_{nv} - t_{vnd}$

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
4.6.1 Nichtdargebots- Verfügbar- keitszeit	t_{vnD}	<p>Die Nichtdargebots-Verfügbarkeitszeit ist der Teil der Verfügbarkeitszeit, zu dem Stromerzeugung aufgrund von nicht auslegungsgemäßigem natürlichen Angebot erneuerbarer Energien nicht möglich ist bzw. wäre.</p> <p>Dieser Zeitanteil kann für WEA bestimmt werden zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> - aus dem Windaufkommen am Ort der betrachteten WEA werden die Zeitanteile ermittelt, zu denen das Dargebot keine Stromerzeugung ermöglicht oder ermöglichen würde - für diese Zeitanteile sind die auszuschließen, in denen die WEA technisch nicht verfügbar ist (Nichtverfügbarkeitszeit).
4.7 Betriebszeit	t_B	<p>Die Betriebszeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage oder ein Anlagenteil Energie umwandelt oder überträgt. Die Betriebszeit beginnt mit der Zuschaltung und endet mit der Trennung der Anlage oder des Anlagenteiles zum bzw. vom Netz. An- und Abfahrzeiten von Energieumwandlungsanlagen ohne nutzbare Energieabgabe zählen insoweit nicht zur Betriebszeit.</p>
4.8 Bereitschafts- zeit	t_R	<p>Die Bereitschaftszeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage oder ein Anlagenteil aus technischer Sicht und unabhängig vom Dargebot betriebsbereit ist, aber nicht betrieben wird.</p> <p>Anmerkung:</p> <p>In der Bereitschaftszeit muss die Anlage gemäß den Vorschriften des Herstellers oder des Betreibers angefahren werden können. An- und Abfahrzeiten bis zur Synchronisierung gelten insofern als Bereitschaftszeiten.</p>

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
4.9 Verfügbare Nichteinsatz- zeit	t_{ng}	<p>Die verfügbare Nichteinsatzzeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage oder ein Anlagenteil verfügbar ist, aber nicht eingesetzt wird und/oder wegen Außeneinflüssen (siehe Anhang 1) nicht einsetzbar ist.</p> $t_{ng} = t_v - t_B$ $= t_R + t_{ns}$
4.10 Nichtverfüg- barkeitszeit	t_{nv}	<p>Die Nichtverfügbarkeitszeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage oder ein Anlagenteil aufgrund des technischen Zustandes der Anlage oder des Anlagenteils nicht betrieben werden kann aus Gründen, die innerhalb der Anlage liegen oder durch die Betriebsführung nicht beeinflusst werden können.</p> $t_{nv} = t_N - t_v$ <p>Die Nichtverfügbarkeitszeit setzt sich aus einem geplanten und einem ungeplanten Anteil zusammen. Ersterer gliedert sich in einen proaktiven (durch den Betreiber beeinflussbaren) und einen reaktiven (durch den Betreiber nicht bzw. nur bedingt beeinflussbaren) Teil.</p> $t_{nv} = t_{nv p} + t_{nv u}$
4.10.1 Geplante Nichtverfüg- barkeitszeit regenerativ	$t_{nv pR}$	Die geplante Nichtverfügbarkeitszeit regenerativ ist die Zeitspanne, in der eine regenerative Anlage wegen eines in der Zukunft liegenden Ereignisses aus technischen Gründen nicht betrieben werden kann.
4.10.2 Geplante proaktive Nichtverfüg- barkeitszeit	$t_{nv pp}$	Die geplante proaktive Nichtverfügbarkeitszeit ist der Teil der geplanten Nichtverfügbarkeitszeit, der mehr als zwölf Stunden verschiebbar ist.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
4.10.3 Geplante reaktive Nichtverfüg- barkeitszeit	$t_{nv\ pr}$	Die geplante reaktive Nichtverfügbarkeitszeit ist der Teil der geplanten Nichtverfügbarkeitszeit, der nicht oder bis zwölf Stunden verschiebbar ist.
4.11 Ungeplante Nichtverfüg- barkeitszeit	$t_{nv\ u}$	Die ungeplante Nichtverfügbarkeitszeit ist die Zeitspanne, in der eine Anlage wegen eines spontan eintretenden Ereignisses nicht betrieben werden kann.
4.12 Verfügbare Nichteinsatz- barkeitszeit	t_{ns}	Die verfügbare Nichteinsatzbarkeitszeit ist die Zeitspanne, während der eine Anlage oder ein Anlagenteil aufgrund von Außeneinflüssen nicht eingesetzt werden kann, obwohl die Anlage selbst funktionsfähig wäre („Außeneinflusszeit“).
4.13 Nichtbean- spruchbar- keitszeit	t_{nb}	Die Nichtbeanspruchbarkeitszeit ist die Summe aus der Nichtverfügbarkeitszeit (4.104.10) und der verfügbaren Nichteinsatzbarkeitszeit (4.12). $t_{nb} = t_{nv} + t_{ns}$
4.14 Volllastbe- nutzungs- stunden	t_{vbh}	Die Volllastbenutzungsstunden ergeben sich als Quotient aus der Arbeit in einer bestimmten Zeitspanne und der Nennleistung in derselben Zeitspanne. $t_{vbh} = \frac{W}{P_N}$

Kraftwerksbetreibersicht - Technische Sicht - Angebotsseite



Lastverteilersicht - Markt-Sicht - Abnahmeseite

Abb. 2: Schema zur Erläuterung von Zeitbegriffen

5 Leistungsbegriffe

Die Leistung ist die geleistete Arbeit pro Zeiteinheit. Besteht in einer Anlage keine Möglichkeit, direkt eine Leistungsmessung durchzuführen, so wird die Leistung P aus der Arbeit W und der Zeit t abgeleitet.

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{Gleichung 5.1}$$

Unter Leistung ist im Folgenden die elektrische Wirkleistung zu verstehen.

5.1 Leistungskurve

Die Leistungskurve zeigt die Abhängigkeit der abgegebenen elektrischen Leistung (Wirkleistung) zur Windgeschwindigkeit. Diese kann entweder aus den technischen Daten rechnerisch oder durch Messungen im realen Windfeld ermittelt werden.

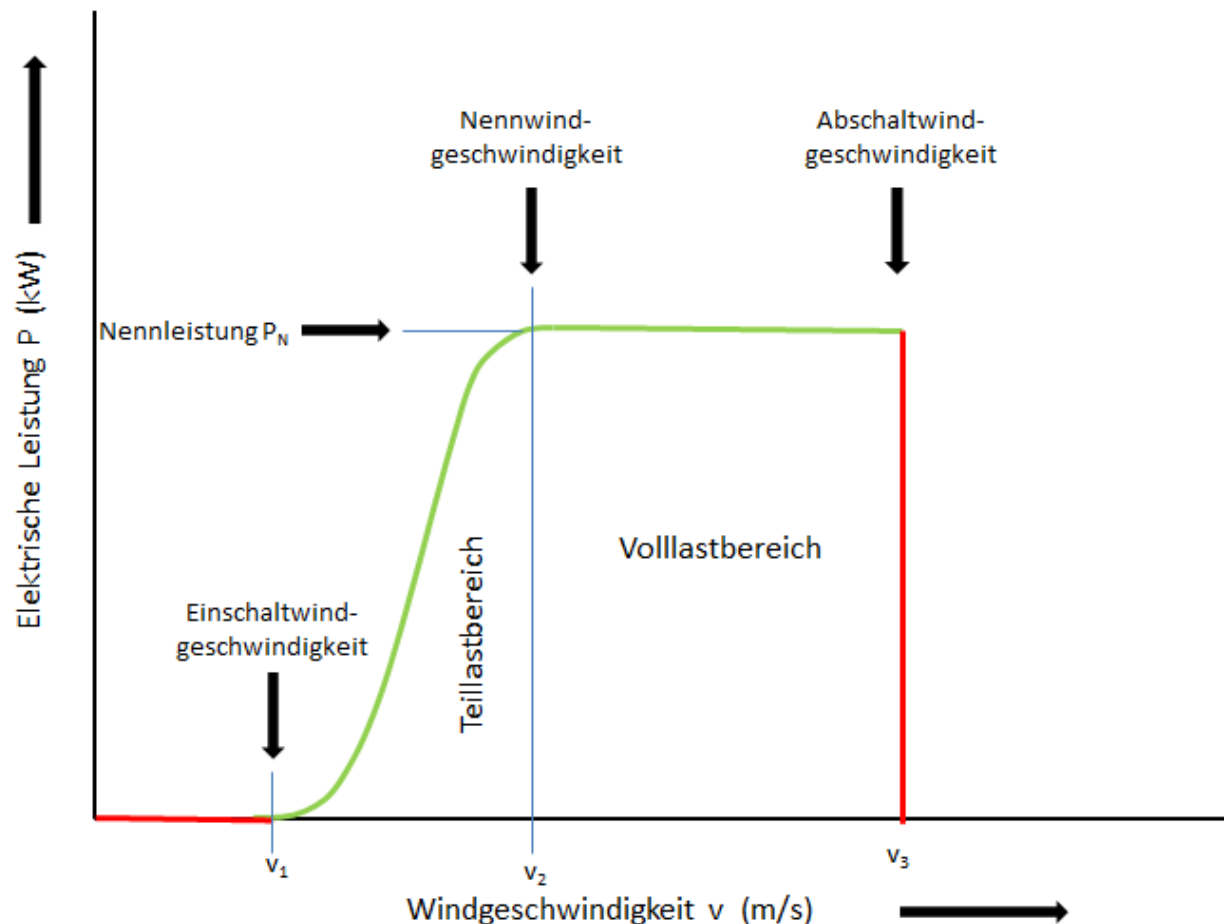


Abb. 3: Leistungskurve einer WEA

- v_1 bei Erreichen der Einschaltwindgeschwindigkeit wird die Gondel der WEA in den Wind gedreht und der Rotor beginnt sich zu drehen. Nach dem stabilen Erreichen der Synchronisationsdrehzahl wird die WEA auf das Netz geschaltet.
- v_2 Die Nennwindgeschwindigkeit ist die Geschwindigkeit bei der die elektrische Nennleistung erreicht wird.
- v_3 Bei Erreichen der Abschaltwindgeschwindigkeit wird die WEA außer Betrieb genommen, die Rotorblätter werden aus dem Wind gedreht.

Zwischen v_1 und v_3 ist damit das Windangebot so, dass Stromerzeugung mit der WEA möglich sind. Dargebotszeit, Dargebotsleistung und Dargebotsarbeit beziehen sich auf diese Windgeschwindigkeiten.

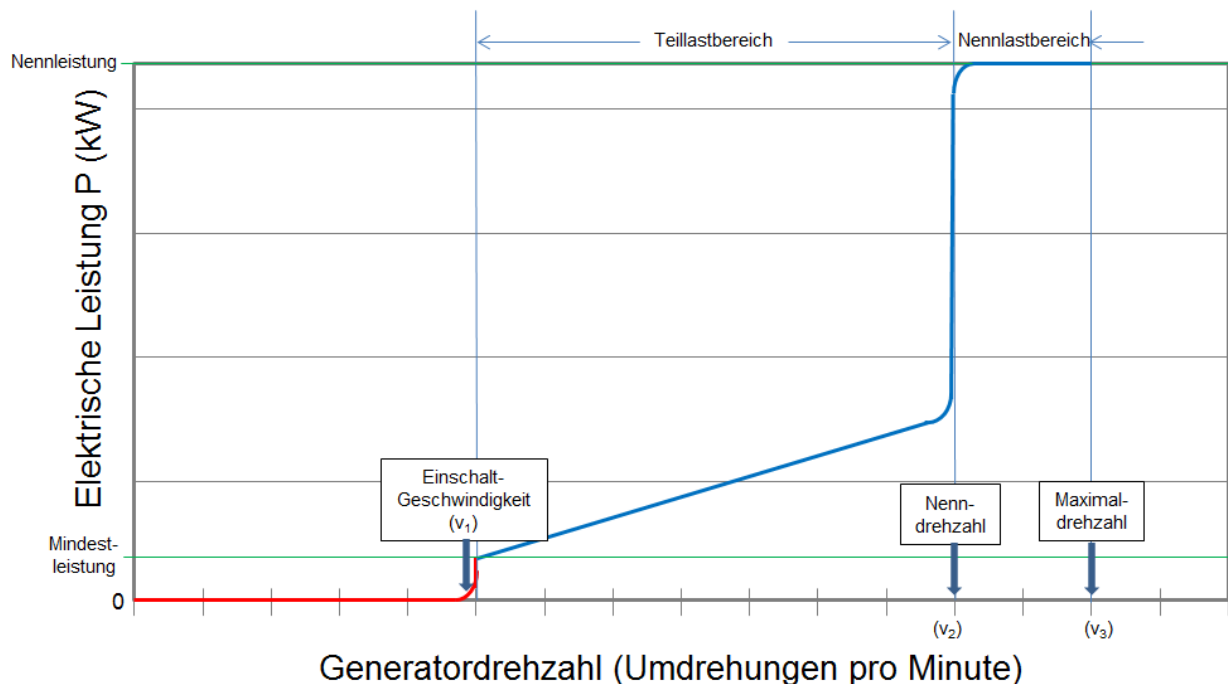


Abb. 4: Generatordrehzahl-Kennlinie einer WEA

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
5.2 Nennleistung	P_N	<p>Die Nennleistung ist generell im VGB-Standard S-002-01 definiert.</p> <p>Unter der Nennleistung einer WEA versteht man die maximal dauerhaft abzugebende Leistung. Diese wird beim Erreichen der Nennwindgeschwindigkeit erzielt.</p> <p>Aus der Gleichung 3.3.1. $P_{\text{Nutz}} = \frac{1}{2} \cdot A \cdot v^3 \cdot 0,593$ geht der Einfluss der Luftdicht ρ auf die Leistung der WEA hervor. Da die Luftdichte neben den Einflussfaktoren Luftdruck und Luftfeuchtigkeit auch von der Lufttemperatur abhängig ist, ergeben sich teilweise deutliche Unterschiede in der Nennleistung für Sommer und Winter.</p>
5.3 Dargebotsleistung	P_D	<p>Die Dargebotsleistung ist die auslegungsgemäße Leistung, die in der Leistungskurve gemäß Bild 8 bei einer Windgeschwindigkeit erreicht werden kann.</p>
5.4 Mindestleistung		<p>Die Mindestleistung einer WEA (Abb. 4) ist die Leistung bei Erreichen der Einschaltgeschwindigkeit. Der Rotor beginnt sich zu drehen und nach dem stabilen Erreichen der Synchronisationsdrehzahl wird die WEA auf das Netz geschaltet.</p> <p>Die Einschaltwindgeschwindigkeit liegt bei 3 bis 4 m/s.</p>
5.5 Technische Bereitschaftsleistung	P_R	<p>Die technische Bereitschaftsleistung ist die zum jeweiligen Zeitpunkt über die Betriebsleistung hinaus verfügbare, aber zur Lastdeckung im Stromnetz vom Netz- oder Kraftwerksbetreiber nicht angeforderte Leistung. Sie wird ermittelt als Differenz der verfügbaren Dargebotsleistung und der Betriebsleistung oder als Differenz der Dargebotsleistung und der Summe aus der Betriebsleistung und der nicht verfügbaren Dargebotsleistung.</p> $P_R = P_{vD} - P_B = P_D - (P_B + P_{vnD})$

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
5.6 Betriebsleistung	P_B	Die Betriebsleistung einer WEA ist die zum jeweiligen Zeitpunkt tatsächlich gefahrene Leistung und kann unter der Dargebotsleistung liegen.
5.7 Mittlere Leistung	P_m	<p>Die mittlere Leistung einer WEA ist der Quotient aus der Betriebsarbeit W_B innerhalb einer betrachteten Zeitspanne und der dazugehörenden Nennzeit.</p> $P_m = \frac{W_B}{t_N}$ <p>Die mittlere Leistung einer WEA kann auch als Quotient aus dem Arbeitsvermögen W_H und einer betrachteten Zeitspanne errechnet werden.</p>
5.8 Verfügbare Leistung	P_V	<p>Die verfügbare Leistung ist die aufgrund des technischen und betrieblichen Zustandes der Anlage erreichbare Leistung. Die verfügbare Leistung ist die Summe aus Betriebsleistung und nicht eingesetzter Leistung bzw. die Differenz zwischen Nennleistung und nicht verfügbarer Leistung.</p> $P_V = P_B + P_{ng}$ $= P_N - P_{nv}$
5.9 verfügbare Dargebotsleistung	P_{VD}	Die verfügbare Dargebotsleistung einer WEA ist die zu einem bestimmten Zeitpunkt unter den jeweiligen meteorologischen Bedingungen (Winddargebot/Temperatur/Luftdichte) erreichbare Leistung abzüglich der Leistungseinschränkungen durch technische Nichtverfügbarkeiten. Sie entspricht der Dargebotsleistung, solange die verfügbare Leistung höher ist. Ansonsten ist sie identisch zur verfügbaren Leistung.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
5.10 Nicht verfügbare Dargebotsleistung	P_{nvD}	Die nicht verfügbare Dargebotsleistung ergibt sich als Differenz aus verfügbarer Leistung und Dargebotsleistung.
5.11 Technisch verfügbare Leistung	P_{vT}	Die technisch verfügbare Leistung einer WEA ist die zu einem bestimmten Zeitpunkt unter den technisch gegebenen Bedingungen erreichbare Leistung unabhängig vom Winddargebot. Sie ist gleich der Nennleistung (maximale Leistung) oder um den Betrag kleiner, der dem Ausfall von Anlagenteilen in dem bestimmten Zeitpunkt entspricht.
5.12 verfügbare nicht eingesetzte Leistung	P_{ng}	Die verfügbare nicht eingesetzte Leistung einer Erzeugungseinheit ist derjenige Teil der verfügbaren Dargebotsleistung, der nicht in Betrieb ist. $P_{ng} = P_V - P_B$
5.13 verfügbare nicht einsetzbare Leistung	P_{ns}	Die verfügbare nicht einsetzbare Leistung ergibt sich als Differenz aus der nicht eingesetzten und der Bereitschaftsleistung. $P_{ns} = P_{ng} - P_R$
5.14 Technisch nicht verfügbare Leistung	P_{nvT}	Die technisch nicht verfügbare Leistung (Momentanwert, Zeitangabe erforderlich) ist die Differenz aus der Nennleistung (maximalen Leistung) und der technisch verfügbaren Leistung. $P_{nvT} = P_e - P_{vT}$ Die technisch nicht verfügbare Leistung setzt sich aus einem geplanten und einem ungeplanten Anteil zusammen.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
5.15 Geplante nicht verfügbare Leistung	$P_{nv\ p}$	Die geplante nicht verfügbare Leistung ist die Leistung oder der Leistungsanteil, der aufgrund einer zukünftigen Maßnahme zum jeweiligen Zeitpunkt nicht verfügbar ist. Sie gliedert sich entsprechend den Zeitbegriffen in einen proaktiven und einen reaktiven Anteil.
5.16 Ungeplante nicht verfügbare Leistung	$P_{nv\ u}$	Die ungeplante nicht verfügbare Leistung ist die zum jeweiligen Zeitpunkt aufgrund von Störungen, Schäden oder anderen spontan eingetretenen Ereignissen nicht verfügbare Leistung.
5.17 Beanspruchbare Leistung	P_b	Die beanspruchbare Leistung einer Erzeugungseinheit ist die Summe aus Betriebsleistung und Bereitschaftsleistung. $P_b = P_B + P_R$
5.18 Nicht beanspruchbare Leistung	P_{nb}	Die nicht beanspruchbare Leistung einer Erzeugungseinheit ist die Summe aus nicht verfügbarer Leistung und nicht einsetzbarer Leistung. $P_{nb} = P_{nv} + P_{ns}$
5.19 Blindleistung		Die Blindleistung ist die elektrische Leistung, die zum Aufbau von magnetischen Feldern (z. B. in Motoren, Transformatoren) oder von elektrischen Feldern (z. B. in Kondensatoren, Kabeln, Leitungen) benötigt wird und nicht zur nutzbaren Arbeit beiträgt.
5.20 Scheinleistung		Die Scheinleistung ist die geometrische Summe aus Wirk- und Blindleistung. Sie ist u. a. für die Auslegung elektrischer Anlagen maßgebend.

6 Arbeitsbegriffe und Kennwerte

Die Arbeitsbegriffe beziehen sich auf die an den Klemmen des Generators gemessenen Werte. Im Betrieb wird dort die Brutto-Arbeit gemessen. Die Netto-Arbeit ergibt sich durch Subtraktion des Eigenbedarfs einschließlich der Verluste des Maschinentransformators.

Die Bezeichnung „Brutto“ oder „Netto“ sollte stets angegeben werden.

Im VGB-S-002-T-01;2012-04.DE [3] sind eine Vielzahl von elektrizitätswirtschaftlichen Arbeitsbegriffen aufgeführt. Für WEA gelten insbesondere folgende Begriffe, wobei zu beachten ist, dass zu einigen Leistungsbegriffen keine analogen Arbeitsbegriffe im Allgemeinen Anwendung finden. Auf entsprechende Definitionen wird deshalb verzichtet. Die im VGB-S-002-T-01;2012-04.DE [3] u.a. definierte Nennarbeit W_N ist z.B. für WEA aufgrund der dargebotsabhängigen (meteorologisch beeinflusst) Betriebsweise nicht bzw. nur bedingt anwendbar. Deshalb wird hier nur eine Auswahl relevanter Begriffe gegeben.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
6.1 Arbeitsvermögen, Arbeitsdargebot	W_H	<p>Das Arbeitsvermögen einer WEA ist die mit der jeweils gegebenen meteorologisch verfügbaren Leistung P_{vD} in einer Zeitspanne t erzeugbare elektrische Arbeit. $W_H = \int P_{vH} \cdot dt$</p> <p>Das Arbeitsvermögen gibt an, wieviel Leistung ein Kraftwerk von seiner installierten Nennleistung über das Jahr gemittelt wirklich liefert. Es hängt im Wesentlichen ab von</p> <ul style="list-style-type: none"> - dem fluktuierenden Winddargebot - dem Standort der WEA (Topologie) - dem Stand der Technik der WEA <p>Relevante Einflussgrößen sind insbesondere</p> <ul style="list-style-type: none"> - der Leistungsbeiwert - der Rotordurchmesser - die mittlere Windgeschwindigkeit - die Rauigkeit des Geländes <p>Beispiel:</p> <p>OnShore-WEA verfügen in Deutschland über ein gemittelttes Arbeitsvermögen/-fähigkeit von circa 14 %. Das bedeutet, dass eine Windenergieanlage mit 2 Megawatt Nennleistung in Realität in Deutschland im Jahr gemittelt nur 14 % dieser nominellen Leistung liefert, jedoch mit Schwankungen von null bis nahezu 2 MW. Das heißt die WEA produziert so viel Strom wie ein 0,28 Megawatt Generator, der dauerhaft Strom produzieren würde.</p> <p>Anmerkung:</p> <p>Die Ermittlung des Arbeitsvermögens erfolgt üblicherweise für eine Berichtszeitspanne (z. B. Monate, Halbjahre, Jahre). Bei Windparks kann die meteorologisch verfügbare Leistung einer WEA durch Windabschattung anderer WEAs beeinflusst werden.</p>

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
6.2 Regelarbeits- vermögen	W_{HR}	<p>Das Regelarbeitsvermögen (RAV) einer WEA ist das Arbeitsvermögen im Regeljahr.</p> <p>Anmerkung:</p> <p>Vereinfacht lässt sich das Regelarbeitsvermögen als Mittelwert der Erzeugung aus einer langen Reihe von Betriebsjahren errechnen - möglicherweise auch als gleitender Mittelwert. Dabei ist zu beachten, dass lang anhaltende technische Ausfälle zu unbrauchbaren Werten für das Regelarbeitsvermögen führen können.</p>
6.3 Betriebsarbeit (Erzeugung)	W_B	<p>Die Betriebsarbeit oder Erzeugung ist die in einer Zeitspanne tatsächlich erzeugte elektrische Arbeit (Zählerablesungen).</p> $W_B = \int P_B \cdot dt$
6.4 Nicht verwer- tete Arbeit	W_{HN}	<p>Die nicht verwertete Arbeit einer WEA ist die Differenz aus dem Arbeitsvermögen und der Erzeugung (Betriebsarbeit).</p> $W_{HN} = W_H - W_B$ <p>Anmerkung:</p> <p>Die nicht verwertete Arbeit einer WEA kann u.a. durch technische Mängel der WEA oder durch Außeneinflüsse, insbesondere Genehmigungsauflagen, verursacht werden.</p>

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
6.5 Verfügbare Arbeit (meteorologisch verfügbare Arbeit)	W_V	<p>Die verfügbare Arbeit einer WEA ist die Arbeit, die aufgrund der verfügbaren Leistung P_V (5.8) erzeugt werden kann.</p> $W_V = \int P_V \cdot dt$ <p>Anmerkung: Bei netzgekoppelten WEA ist die verfügbare Arbeit praktisch mit der Betriebsarbeit identisch. Lediglich durch zeitweiligen Netzausfall in der betrachteten Zeitspanne kann eine Differenz zwischen der Betriebsarbeit und der verfügbaren Arbeit auftreten</p>
6.6 Technisch verfügbare Arbeit	W_{VT}	<p>Die technisch verfügbare Arbeit ist die Arbeit, die aufgrund der technisch verfügbaren Leistung P_{VT} (5.11) erzeugt werden könnte.</p> $W_{VT} = \int P_{VT} \cdot dt$
6.7 Technisch nicht verfügbare Arbeit	W_{nVT}	<p>Die technisch nicht verfügbare Arbeit ist die Arbeit, die aufgrund der technisch nicht verfügbaren Leistung P_{nVT} (5.14) nicht erzeugt werden kann.</p> $W_{nVT} = \int P_{nVT} \cdot dt$
6.8 Bruttoenergieertrag (Freier Energieertrag)	W_{Ebr}	<p>Der Bruttoenergieertrag ist die mittlere, innerhalb eines Jahres zu erwartende Energieerzeugung einer oder mehrerer WEA, die sich auf Grundlage des in Nabenhöhe ermittelten Windpotenzials mit einer spezifischen Leistungskurve ohne jegliche Abschläge ergibt.</p>

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
6.9 Nettoenergie- ertrag (Parkenergie- ertrag)	W_{Ene}	Der Nettoenergieertrag ist die mittlere, innerhalb eines Jahres zu erwartende Energieerzeugung einer oder mehrerer WEA an einem Einzelstandort oder an einem Standort im Windpark, die sich auf Grundlage des in Nabenhöhe ermittelten Windpotenzials mit einer spezifischen Leistungskurve und inklusive Abschläge durch Abschattungseffekte im Windpark ergibt.
6.10 Referenzertrag	W_{Eref}	Der Referenzertrag ist die für jeden WEA-Typ einschließlich der jeweiligen Nabenhöhe bestimmte Strommenge, die dieser Typ bei Errichtung am Referenzstandort z. B. im Sinne des deutschen EEG rechnerisch auf Basis einer vermessenen Leistungskurve in fünf Betriebsjahren erbringen würde.
6.11 Windpotenzial		Das Windpotenzial ist das Primärenergieangebot und ergibt sich aus den Windverhältnissen an einem Standort, die bezogen auf eine Höhe über Grund (Nabenhöhe) durch Windfeldparameter (Windgeschwindigkeit, Windleistungsdichte, Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung) angegeben werden.
6.12 Wind- potenzialstudie		Eine Windpotenzialstudie dient zur Ersteinschätzung eines potentiellen Windenergieanlagenstandortes. Als Basis dienen Referenzstandorte sowie öffentlich verfügbare Informationen von Wetterstationen. Diese dienen, genauso wie eventuell vorhandene Windmessungen vor Ort, der Bestimmung des Windpotenzials sowie der Prognose des Energieertrages.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
6.13 WEA-Anlagen- nutzungsgrad	η_A	<p>Der WEA-Anlagennutzungsgrad ist der Quotient aus der in einer bestimmten Zeitspanne (Tag, Monat, Halbjahr, Jahr) von einer WEA erzeugten Arbeit (Betriebsarbeit) und der in der gleichen Zeitspanne aus der mittleren Windgeschwindigkeit für die Referenzanlage ermittelten Arbeit.</p> $\eta_A = \frac{W_B}{W_R}$

7 Verfügbarkeit und Ausnutzung

Allgemein ist die Verfügbarkeit ein Maß für die Fähigkeit einer Anlage eine betriebliche Funktion auszuüben. Bei Windenergieanlagen ist die Verfügbarkeit das Maß für die Fähigkeit, elektrische (Wirk-)Leistung zu erzeugen. Die Fähigkeit ist unabhängig vom tatsächlichen Einsatz.

Für vergleichende oder weitergehende Auswertungen ist eine Abgrenzung der WEA gegenüber dem elektrischen Versorgungssystem entsprechend den Zuständigkeiten während des Betriebs zweckmäßig. Die Abgrenzung des Windparks erfolgt deshalb an der Übergabestelle ins öffentliche Netz.

Es haben sich unterschiedliche Sichtweisen auf eine WEA etabliert, bei denen je nach Fragestellung Einflüsse auf die Fähigkeit zur Stromerzeugung berücksichtigt oder aber auch ausgeblendet werden. Für diese Sichtweisen gibt es unterschiedliche Fachbegriffe, von denen „Verfügbarkeit“ der Oberbegriff ist. In der ursprünglichen Bedeutung dient die Verfügbarkeit zur Beurteilung der technischen Qualität einer WEA. In einer weiteren Sicht werden auch Beschränkungen durch sogenannte Außeneinflüsse (z.B. Genehmigungsaufgaben, Netzstörungen) berücksichtigt, die die maximal mögliche Leistungseinspeisung begrenzen, siehe Anhang 1. Unabhängig von diesen technischen Begrenzungen ermöglicht demgegenüber das volatile Windangebot überhaupt den Betrieb der WEA und damit die Beanspruchbarkeit der WEA.

Die Ausnutzung ist ein Maß für die tatsächlich erfolgte Nutzung der WEA.

Die Begriffe Verfügbarkeit und Ausnutzung werden quantifiziert durch die Bildung von Verhältniszahlen der Zeit-, Leistungs- und Arbeitswerte. Um Missverständnisse zu vermeiden, sind sie stets mit dem jeweiligen Zusatzbegriff „Zeit“, „Leistung“ oder „Arbeit“ zu verwenden.

Die Richtlinie VGB-RV 808 [2] enthält eine umfassende Darstellung der Ermittlung der Verfügbarkeits- und Ausnutzungskenngößen von Wärmekraftwerken. Diese Systematik kann für WEAs sinngemäß angepasst und ergänzt werden, um die teilweise anders gearteten Eigenschaften zu berücksichtigen und zum Ausdruck zu bringen.

Im Folgenden ist eine Auswahl von Kennwerten aufgeführt, die den besonderen Bedingungen der Windenergieanlagen Rechnung tragen.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
7.1 Verfügbarkeit		Verfügbarkeit ist der Überbegriff für unterschiedliche Kenngrößen zur Quantifizierung der Fähigkeit einer WEA, elektrische Energie zu erzeugen. Unterschieden wird in Zeitverfügbarkeit, Arbeitsverfügbarkeit und Beanspruchbarkeit. Es ist eine Kennzeichnung der „Verfügbarkeit“ erforderlich, um Verwechslungen zu vermeiden.
7.1.1 Zeitverfügbarkeit	k_t	<p>Die Zeitverfügbarkeit einer WEA ist der Quotient aus der Verfügbarkeitszeit und der Nennzeit.</p> $k_t = \frac{t_v}{t_N} = \frac{t_B + t_R}{t_N}$ <p>Bei den Einschränkungen werden nur Einschränkungen mit 100 % der Nennleistung berücksichtigt.</p>
7.1.2 Arbeitsverfügbarkeit	k_w	<p>Die Arbeitsverfügbarkeit ist der Quotient aus der verfügbaren Arbeit in einer Zeitspanne und der Nennarbeit in derselben Zeitspanne.</p> $k_w = \frac{W_v}{W_N}$ <p>Die Arbeitsverfügbarkeit ist der umfassende Kennwert zur Gesamtbeurteilung der Verfügbarkeit einer WEA und erlaubt einen langfristigen Qualitätsvergleich. Sie berücksichtigt alle anlagenbedingten Leistungsbegrenzungen.</p>
7.1.3 Beanspruchbarkeit	k_b	<p>Die Beanspruchbarkeit ist der Quotient aus der beanspruchbaren Arbeit und der Nennarbeit</p> $k_b = \frac{W_b}{W_N} = \frac{W_N - W_{nv} - W_{ns}}{W_N}$ <p>Die (Arbeits-)Beanspruchbarkeit ist ein Maß für die Arbeit, die eine WEA aufgrund ihres technischen und betrieblichen sowie durch Außeneinfluss beeinflussten Zustandes einschließlich des Windes erzeugen kann.</p>

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
7.2 Nichtverfügbarkeit		Die Nichtverfügbarkeit ist der komplementäre Wert zur jeweiligen „Verfügbarkeit“, damit die Summe aus beiden Anteilen 1 ergibt. Es ist eine Kennzeichnung der jeweiligen „Verfügbarkeit“ erforderlich, um Verwechslungen zu vermeiden.
7.3 Ausnutzung		Die Ausnutzung ist ein Maß für die Arbeit, die eine Anlage tatsächlich erzeugt hat.
7.3.1 Zeitausnutzung	n_t	Die Zeitausnutzung ist der Quotient aus Betriebszeit und Nennzeit. $n_t = \frac{t_B}{t_N}$
7.3.2 Arbeitsausnutzung	n_W	Die Arbeitsausnutzung wird auch als spezifisches Arbeitsvermögen oder als Arbeitsdargebot bezeichnet. Sie ist der Quotient aus der Erzeugung und der theoretisch maximal möglichen Arbeit bei ununterbrochenem Betrieb mit Nennleistung, siehe VGB-RV 808 [2]. Sie kann alternativ auch als Quotient aus dem Arbeitsvermögen der WEA (6.1) und deren Nennarbeit bestimmt werden. $n_W = \frac{W_B}{P_N \cdot t_N}$
7.3.3 Ausbeute (Performance Ratio)	PR	Die Ausbeute (Performance Ratio) einer WEA ist der Quotient aus dem in einer Zeitspanne ermittelten Anlagennutzungsgrad und dem Wirkungsgrad. $PR = \frac{\eta_A}{\eta_M}$ Anmerkung: Die Ausbeute einer WEA ist ein umfassendes Maß für die Auslegung, die Qualität der Hauptkomponenten und die Installation der WEA.

Benennung	Zeichen	Begriffsbestimmung
7.3.4 Erntefaktor	f_W	Der Erntefaktor einer WEA gibt an, das Wievielfache der zur Herstellung und zum Betrieb der Anlage aufgewandten Energie durch die WEA während ihrer gesamten Betriebszeit (Lebensdauer) erzeugt werden kann. Er ist somit ein Maß für die Rentabilität der Anlage.
7.4 Energetische Ausnutzung	n_{We}	<p>Die energetische Ausnutzung ist der Quotient aus der Erzeugung und dem Arbeitsvermögen der WEA. Sie kann auch als Quotient aus den Kennwerten Arbeitsausnutzung und spezifisches Arbeitsvermögen berechnet werden.</p> $n_{We} = \frac{W_B}{W_H}$
7.5 Verfügbarkeit eines Windparks		<p>Die Verfügbarkeit eines Windparks wird analog zu den jeweiligen Verfügbarkeitskenngrößen berechnet. Statt eines Einzelterms ist die Summe über alle beteiligten WEAs einzusetzen. Wahlweise können auch die Kennwerte der einzelnen WEAs verwendet werden, indem diese mit ihrer Nennleistung gewichtet werden.</p> <p>Nachfolgend ist dies für die Zeitverfügbarkeit dargestellt. Die Nennleistungen kürzen sich weg, wenn alle WEAs dieselbe Nennleistung haben.</p> $k_t = \frac{\sum P_{N,i} \cdot (t_{B,i} + t_{R,i})}{\sum P_{N,i} \cdot t_N} = \frac{\sum t_{B,i} + t_{R,i}}{\sum t_N}$
7.6 Ausnutzungsgrad	η_a	<p>Der Ausnutzungsgrad einer Energieumwandlungsanlage ist der Quotient aus den Vollastbenutzungsstunden und der Nennzeit.</p> $\eta_a = \frac{t_{Vbh}}{t_N}$ <p>Anmerkung:</p> <p>Eine inhaltlich verwandte Größe zur Ausnutzungsdauer ist der Prozentwert der Arbeitsausnutzung.</p> <p>Im Gegensatz zur Berechnung von Verfügbarkeiten wird bei der Ausnutzungsdauer die Überarbeit mit einbezogen.</p>

Anhang 1 Außeneinflüsse¹

Außeneinflüsse sind alle äußeren Ereignisse, die auf eine Windenergieanlage bzw. einen Windpark einwirken, wodurch die Leistungsbereitstellung/Verfügbarkeit beeinflusst wird. Auf die Ereignisse (z. B. Klima, Betriebsauflagen) hat der Anlagenbetreiber keinen Einfluss.

Einschränkungen der Leistungsfähigkeit einer WEA aufgrund äußerer Einflüsse, auf die die Betriebsführung keinen oder nur geringen Einfluss hat, mindern nicht die Verfügbarkeit. Die Leistungseinschränkungen durch Außeneinflüsse sind als verfügbare nicht einsetzbare Leistung definiert, sofern die Ursache für die Leistungseinbuße durch nachstehend aufgeführte oder vergleichbare Ereignisse begründet ist und diese keinen technischen Schaden oder Störung (unabhängig ob disponibel oder nicht disponibel) in der Anlage nach sich ziehen.

Verursacht ein Außeneinfluss einen technischen Schaden oder eine Störung in der Anlage, so ist dies eine Nichtverfügbarkeit.

Klima	Leistungs-/Arbeitseinschränkungen durch außergewöhnliche Umwelteinflüsse z. B. Orkan (\geq Windstärke 12)/Windstille, Windscherung, Erdbeben, Seegang (extreme Wellenhöhen), Blitz (Netz-/IT-Ausfall, Brand), Schnee und Eis
Genehmigung	<ul style="list-style-type: none"> - Betriebsauflagen wegen akustischer oder optischer Beeinträchtigung durch die Rotorblätter - Betriebsauflagen zum Schutz von z.B. Vögeln, Fledermäusen, Fischen, Walen, etc.

¹ Außeneinfluss ist im VGB-RV 808 [13] definiert. Der hier wiedergegebene Auszug ist windkraftspezifisch.

Netzrestriktionen	<p>Die Abgrenzung der Windenergieanlagen bzw. des Windparks zur Netzseite erfolgt an der Übergabestelle in das öffentliche Netz.</p> <p>Sämtliche Ereignisse, die eine Beeinträchtigung der Energieableitung in den Leitungen, Kuppelstellen usw. zur Folge haben, sind als Außeneinfluss zu werten:</p> <ul style="list-style-type: none">– Maßnahmen, welche die Fortleitung der Energie außerhalb des Verantwortungsbereiches des Anlagenbetreibers nicht gestatten (z. B. Wartungsarbeiten/Störungen in den Umspannwerken bzw. an den Übertragungsleitungen und zu geringe Übertragungskapazitäten)– Maßnahmen zur Sicherheit oder Zuverlässigkeit des Elektrizitätsversorgungssystems, die durch den Netzbetreiber aufgerufen werden, z. B. Redispatch ÜNB (Einsatzänderung Intraday durch Netzbetreiber)– Schutzauslösung im Übertragungsnetz, z. B. infolge Blitzschlag
Personalmangel	<p>Nicht vorhandene Betriebsbereitschaft wegen Streik, Pandemie, Belagerung, Besetzung mit Bezug auf zentrale Leitstelle</p>
Sonstiges	<ul style="list-style-type: none">– Terroranschlag, polizeiliche Ermittlung, Schiffs- und Flugzeugunglück, Erdbeben, Vandalismus, höhere Gewalt– Tag der offenen Tür/Öffentlichkeitsarbeit– zusätzliche behördliche Auflagen bei bestehender Betriebsgenehmigung, z. B. erhöhter (nicht erlaubter) Lärmpegel, Flugsicherung– Sabotage, z.B. Hackerangriff auf IT/Steuerung

Anhang 2 Ereignismerkmalschlüssel (EMS)

Bei der Erfassung von Betriebsereignissen sind je nach Zielrichtung verschiedene Kennzeichnungs- und Schlüsselssysteme zur Ereignis- Charakterisierung bei Betreibern, Herstellern und Institutionen in Anwendung. Das VGB PowerTech Ereignismerkmalschlüsselsystem EMS wurde 2003 eingeführt und hat den Anspruch, alle nationalen und internationalen ereignisbeschreibenden Schlüsselssysteme zu ersetzen. Mit EMS werden Doppel- und Mehrfacherfassungen eines Ereignisses und damit unterschiedliche Bewertungen vermieden. Dies stellt eine eindeutige Verschlüsselung für die Analyse sicher.

Das EMS wird ausführlich beschrieben in den VGB Standards „Technische und kommerzielle Kennzahlen für Kraftwerksanlagen“ [2] und „EMS Ereignis-Merkmal-Schlüsselsystem (Anwendung und Schlüsselteil)“ [5].

Im Hinblick auf WEA ergibt sich insbesondere eine Anpassung des EMS 1 Codes D2 (Außeneinfluss ohne Schaden) gemäß den in Anlage 1 erfolgten Angaben als Unterschied.

Anhang 3 RDS-PP

Die Anlagenkennzeichnung wurde aufsetzend auf dem Kraftwerkskennzeichnungssystem KKS in Form des nun international gültigen Referenzkennzeichnungssystems RDS-PP (Reference Designation System for Power Plants) weiterentwickelt und im ersten Anwendungsschritt speziell für Windenergieanlagen spezifiziert. Die in diesem Zusammenhang entstandene RDS-PP® Anwendungsrichtlinie für Windenergieanlagen wurde von einer VGB Power Tech Projektgruppe des Arbeitskreises „Anlagenkennzeichnung und Dokumentation“ in enger Zusammenarbeit mit Herstellern, Betreibern, Forschungseinrichtungen und Instandhaltern aus der Windbranche erarbeitet.

Die Anwendungserläuterungen enthalten spezielle Empfehlungen für den Einsatz des Referenzkennzeichnungssystems zur Identifizierung von technischen Objekten eines Systems oder einer Anlage im Bereich der Windenergieanlagen. Sie sind anzuwenden im Zusammenhang mit den entsprechenden Grund- und Fachnormen, der VGB-Richtlinie B101 sowie den fachspezifischen VGB-Anwendungserläuterungen B116 D2 und seit Februar 2014 VGB-S-823-32-2014-03.

Die Anwendungserläuterungen gelten sowohl für Neuanlagen als auch für die Nachkennzeichnung bestehender Windenergieanlagen. Sie umfassen ebenfalls die kraftwerksbezogene Infrastruktur und Umspannwerke. Sie gelten für alle technischen Fachbereiche während der gesamten Lebensdauer der Anlagen, von der Planung bis zum Rückbau. Es wird empfohlen, sie auch in Genehmigungsverfahren zu verwenden.

Für die Anwendung wird der VGB-Standard VGB-S-823-32-2014-03-EN-DE in folgenden Fassungen angeboten:

- Grundwerk (Printausgabe oder eBook als Einzelplatzversion, incl. Annex 3 und 4 als PDF-Datei; Kombiangebot: Print und eBook) [6]
- Basispaket (Kombiangebot: Print und eBook als Einzelplatzversion, incl. Annex 3 und 4 als Excel-Datei) [7]
- Unternehmenspaket (Kombiangebot: Print, Word-Datei und eBookCL als Unternehmenslizenz, incl. Annex 3 und Annex 4 als Excel-Datei) [8]

Auswertungen zur Nichtverfügbarkeitsanalyse bedürfen der vorherigen Verschlüsselung mit diesem RDS-PP Anlagenkennzeichnungssystem.

Abkürzungsverzeichnis

BDEW	Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft
BGW	Bundesverband der deutschen Gas- und Wasserwirtschaft e.V.
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
DIN	Deutsches Institut für Normung
ESHA	The European Small Hydropower Association
IEC	International Electrotechnical Commission
ISO	Internationale Organisation für Normung
MW	Megawatt
ÖNORM	Österreichische Norm
ÜNB	Übertragungsnetzbetreiber
VDEW	Verband der Elektrizitätswirtschaft e. V.
VGB	VGB PowerTech e. V.
WEA	Windenergieanlage

Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 1: Einflussbereich von Hindernissen mit der Höhe Z_H.....</i>	<i>15</i>
<i>Abb. 2: Schema zur Erläuterung von Zeitbegriffen.....</i>	<i>25</i>
<i>Abb. 3: Leistungskurve einer WEA.....</i>	<i>26</i>
<i>Abb. 4: Generator Drehzahl-Kennlinie einer WEA.....</i>	<i>27</i>

Literaturverzeichnis

- [1] DIN 55302
Statistische Auswertungsverfahren, Ausgabe 1970
- [2] VGB-S-002-03-2014-06-DE; (vormals RV 808)
VGB-Standard Technische und kommerzielle Kennzahlen für Kraftwerksanlagen
VGB-RV 808
Begriffe der Versorgungswirtschaft, Teil B Elektrizität und Fernwärme,
Heft 3 Grundlagen und Systematik der Verfügbarkeitsermittlung für Wärme-
kraftwerke, Ausgabe 03/2008
- [3] VGB-S-002-T-01;2012-04.DE
Elektrizitätswirtschaftliche Grundbegriffe, Ausgabe 01/2012
- [4] Gesetz über Einheiten im Messwesen vom 2. Juli 1969
letzte Ausführungsverordnung: 2. Verordnung zur Änderung der Ausführ-
ungsverordnung zum Gesetz über Einheiten im Messwesen vom
12. Dezember 1977, Bundesgesetzblatt Jahrgang 1977, Teil I, Seite 2537
- [5] EMS Ereignis-Merkmal-Schlüsselsystem (Anwendung und Schlüsselteil) –
eBook, ISBN: 978-3-86875-444-5; Bestell-Kennz.: B109-ebook
- [6] RDS-PP – Anwendungsrichtlinie, Teil 32: Windkraftwerke (Grundwerk:
eBook, inkl. Annex 3 und 4 als PDF-Datei); ISBN: 978-3-86875-744-6;
Bestell-Kennz.: VGB-S-823-32-2014-03-EN-DE-1-ebook
- [7] Referenzkennzeichensystem für Kraftwerke RDS-PP - Anwendungserläute-
rungen für Windkraftwerke – eBook; ISBN: 978-3-86875-446-9;
Bestell-Kennz.: B116D2-ebook
- [8] Reference Designation System for Power Plants RDS-PP - Application
Explanations for Wind Power Plants – eBook; ISBN: 978-3-86875-447-6;
Bestell-Kennz.: B116D2e-ebook
- [9] DIN EN 61400-1
Windenergieanlagen, Teil 1: Auslegungsanforderungen

Alphabetisches Verzeichnis der Benennungen

Benennung	Zeichen	Kapitel
Anlagenleistung	P_{Nutz}	3.3
Arbeitsausnutzung	n_W	7.3.2
Arbeitsverfügbarkeit	k_W	7.1.2
Arbeitsvermögen, Arbeitsdargebot	W_H	6.1
Ausbeute (Performance Ratio)	PR	7.3.3
Ausnutzungsgrad	η_a	7.6
Beanspruchbare Leistung	P_b	5.17
Beanspruchbarkeit	k_b	7.1.3
Bereitschaftszeit	t_R	4.8
Betriebsarbeit (Erzeugung)	W_B	6.3
Betriebsleistung	P_B	5.6
Betriebszeit	t_B	4.7
Bruttoenergieertrag (Freier Energieertrag)	W_{Ebr}	6.8
Dargebots Verfügbarkeitszeit	t_{vD}	4.6
Dargebotsleistung	P_D	5.3
Dargebotszeit	t_D	4.3
Energetische Ausnutzung	n_{We}	7.4
Erntefaktor	f_W	7.3.4
Geplante nicht verfügbare Leistung	$P_{nv\ p}$	5.15
Geplante Nichtverfügbarkeitszeit	$t_{nv\ p}$	4.10.1
Geplante Nichtverfügbarkeitszeit regenerativ	$t_{nv\ pR}$	4.10.1
Geplante proaktive Nichtverfügbarkeitszeit	$t_{nv\ pp}$	4.10.2
Geplante reaktive Nichtverfügbarkeitszeit	$t_{nv\ pr}$	4.10.3
Mittlere Leistung	P_m	5.7
Nennleistung	P_N	5.2
Nennzeit	t_N	4.2
Nettoenergieertrag (Parkenergieertrag)	W_{Ene}	6.9
Nicht beanspruchbare Leistung	P_{nb}	5.18
Nichtdargebots Verfügbarkeitszeit	t_{vnD}	4.6.1
Nicht verfügbare Dargebotsleistung	P_{nvD}	5.10
Referenzertrag	W_{Eref}	6.10

Benennung	Zeichen	Kapitel
Regelarbeitsvermögen	W_{HR}	6.2
Technisch nicht verfügbare Arbeit	W_{nvT}	6.7
Technisch nicht verfügbare Leistung	P_{nvT}	5.14
Technisch verfügbare Arbeit	W_{vT}	6.6
Technisch verfügbare Leistung	P_{vT}	5.11
Technische Bereitschaftsleistung	P_R	5.5
Ungeplante nicht verfügbare Leistung	$P_{nv u}$	5.16
Ungeplante Nichtverfügbarkeitszeit	$t_{nv u}$	4.11
Verfügbare Arbeit (meteorologisch verfügbare Arbeit)	W_v	6.5
verfügbare Dargebotsleistung	P_{vD}	5.9
Verfügbare Leistung	P_v	5.8
verfügbare nicht eingesetzte Leistung	P_{ng}	5.12
verfügbare nicht einsetzbare Leistung	P_{ns}	5.13
Verfügbare Nichteinsatzzeit	t_{ng}	4.9
Verfügbare Nichteinsetzbarkeitszeit	t_{ns}	4.12
Verfügbarkeitszeit	t_v	4.5
Volllastbenutzungsstunden	t_{vbh}	4.14
WEA-Anlagennutzungsgrad	η_A	6.13
Zeit	t	4.1
Zeitausnutzung	n_t	7.3.1
Zeitverfügbarkeit	k_t	7.1.1

Stichwortverzeichnis

A

Abschaltgeschwindigkeit	27
Anlagenkennzeichnung	45
Anlagenleistung	18
Arbeit	
Bruttoenergieertrag	35
Freier Energieertrag	35
meteorologisch	35
Nettoenergieertrag	36
nicht verwertete	34
Parkenergieertrag	36
Referenzertrag	36
technisch nicht verfügbare	35
technisch verfügbare	35
verfügbare	35
Windpotenzial	36
Windpotenzialstudie	36
Arbeitsausnutzung	40
Arbeitsbegriffe	32
Arbeitsdargebot	33, 40
Arbeitsverfügbarkeit	39
Arbeitsvermögen	33, 40
Ausbeute	40
Ausnutzung	38, 40
energetisch	41
Ausnutzungsdauer	41
Außeneinfluss	42, 44
Genehmigung	42

Klima	42
Netzrestriktionen	43
Personalmangel	43
Sonstiges	43

B

Bauformen	17
Beanspruchbarkeit	39
Bereitschaftsleistung	28
Bereitschaftszeit	22
Betriebsarbeit	34
Betriebsleistung	29
Betriebszeit	22
Blindleistung	31

E

Einschaltwindgeschwindigkeit	28
Ereignismerkmalschlüssel	44
Erntefaktor	41
Erzeugung	34

L

Leistung	
beanspruchbare	31
Blind	31
geplante nicht verfügbare	31
meteorologisch verfügbare	29
mindest	28
mittlere	29
nicht beanspruchbare	31

nicht eingesetzte	30	R	
nicht einsetzbare	30	RDS-PP	45
Schein	31	Referenzertrag	36
technisch nicht verfügbare	30	Regelarbeitsvermögen	34
technisch verfügbare	30	S	
ungeplante nicht verfügbare	31	Scheinleistung	31
verfügbare	29	V	
Leistungsbegriffe	26	Verfügbarkeit	38, 39
Leistungskurve	26	eines Windparks	41
M		Verfügbarkeitszeit	21
Mindestleistung	28	Vergleichs-WEA	20
N		W	
Nennleistung	28	WEA-Anlagennutzungsgrad	37
Nennwindgeschwindigkeit	27, 28	Windenergie	14
Nennzeit	21	Windenergienutzung	17
Nichtbeanspruchbarkeitszeit	24	Windkonverter	17
Nichteinsatzzeit		Windpotenzial	20
verfügbare	23	Wirkleistung	26
Nichteinsetzbarkeitszeit		Z	
verfügbare	24	Zeit	21
Nichtverfügbarkeit	40	Zeitausnutzung	40
Nichtverfügbarkeitszeit	23	Zeitbegriffe	20
geplant proaktiv	23	Zeitschema	25
geplant reaktiv	24	Zeitspanne	20
geplant regenerativ	23	Zeitverfügbarkeit	39
ungeplant	24		
P			
Performance Ratio	40		