



## **Legende zu den Berechnungsergebnissen**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

**Legende zu den Berechnungsergebnissen:**

ISO 9613	Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien	Legende zur Ergebnisliste (Lange Liste)
$L_fT = L_w + D_c - A_{div} - A_{atm} - A_{gr} - A_{fol} - A_{hous} - A_{bar} - C_{met}$		
"Abschnitt 1":	Bezeichnung des Teilstücks einer Linienschallquelle	
"Teil 1":	Bezeichnung einer Teilschallquelle, die durch Unterteilung einer Linien- oder Flächenschallquelle entstanden ist	
REFL001/WAND001":	Reflexionsanteil infolge des bezeichneten Elements	
L <sub>w</sub> :	Schallleistungspegel	
D <sub>c</sub> = D <sub>0</sub> + D <sub>I</sub> + D <sub>Omega</sub> :	Raumwinkelmaß + Richtwirkungsmaß + Bodenreflexion (frq.-unabh. Berechnung)	
Abstand:	Abstand s des Immissionsortes von der Schallquelle	
A <sub>div</sub> :	Abstandsmaß	
A <sub>atm</sub> :	Luftabsorptionsmaß	
A <sub>gr</sub> :	Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß	
A <sub>fol</sub> :	Bewuchsdämpfungsmaß	
A <sub>hous</sub> :	Bebauungsdämpfungsmaß	
A <sub>bar</sub> :	Einfügungsdämpfungsmaß eines Schallschirms bzw. eines Geländemodells	
C <sub>met</sub> :	Meteorologische Korrektur	
L <sub>fT</sub> /dB:	Schalldruckpegel am Immissionsort für ein Teilstück	
L <sub>fT</sub> /dB(A)	Schalldruckpegel (A-bewertet) am Immissionsort für ein Teilstück	
LAT ges:	Schalldruckpegel am Immissionsort, summiert über alle Schallquellen	



**Schalltechnische Daten**  
**ENERCON E-115 / 3.000 kW**  
**Betriebsmodi 0 s, I s, II s und**  
**leistungsreduzierte Betriebe mit**  
**TES (Trailing Edge Serrations)**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

# Datenblatt

**ENERCON Windenergieanlage E-115**

**Betriebsmodi 0 s, I s, II s und leistungsreduzierte Betriebe mit  
TES (Trailing Edge Serrations)**

**Herausgeber**

ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Deutschland  
 Telefon: +49 4941 927-0 ▪ Telefax: +49 4941 927-109  
 E-Mail: info@enercon.de ▪ Internet: http://www.enercon.de  
 Geschäftsführer: Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring  
 Zuständiges Amtsgericht: Aurich ▪ Handelsregisternummer: HRB 411  
 Ust.Id.-Nr.: DE 181 977 360

**Urheberrechtshinweis**

Die Inhalte dieses Dokuments sind urheberrechtlich sowie hinsichtlich der sonstigen geistigen Eigentumsrechte durch nationale und internationale Gesetze und Verträge geschützt. Die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments liegen bei der ENERCON GmbH, sofern und soweit nicht ausdrücklich ein anderer Inhaber angegeben oder offensichtlich erkennbar ist.

Die ENERCON GmbH räumt dem Verwender das Recht ein, zu Informationszwecken für den eigenen, rein unternehmensinternen Gebrauch Kopien und Abschriften dieses Dokuments zu erstellen; weitergehende Nutzungsrechte werden dem Verwender durch die Bereitstellung dieses Dokuments nicht eingeräumt. Jegliche sonstige Vervielfältigung, Veränderung, Verbreitung, Veröffentlichung, Weitergabe, Überlassung an Dritte und/oder Verwertung der Inhalte dieses Dokuments ist – auch auszugsweise – ohne vorherige, ausdrückliche und schriftliche Zustimmung der ENERCON GmbH untersagt, sofern und soweit nicht zwingende gesetzliche Vorschriften ein Solches gestatten.

Dem Verwender ist es untersagt, für das in diesem Dokument wiedergegebene Know-how oder Teile davon gewerbliche Schutzrechte gleich welcher Art anzumelden.

Sofern und soweit die Rechte an den Inhalten dieses Dokuments nicht bei der ENERCON GmbH liegen, hat der Verwender die Nutzungsbestimmungen des jeweiligen Rechteinhabers zu beachten.

**Geschützte Marken**

Alle in diesem Dokument ggf. genannten Marken- und Warenzeichen sind geistiges Eigentum der jeweiligen eingetragenen Inhaber; die Bestimmungen des anwendbaren Kennzeichen- und Markenrechts gelten uneingeschränkt.

**Änderungsvorbehalt**

Die ENERCON GmbH behält sich vor, dieses Dokument und den darin beschriebenen Gegenstand jederzeit ohne Vorankündigung zu ändern, insbesondere zu verbessern und zu erweitern, sofern und soweit vertragliche Vereinbarungen oder gesetzliche Vorgaben dem nicht entgegenstehen.

**Dokumentinformation**

<b>Dokument-ID</b>	D0388624-2		
<b>Vermerk</b>	Originaldokument		
<b>Datum</b>	<b>Sprache</b>	<b>DCC</b>	<b>Werk / Abteilung</b>
2015-12-01	de	DA	WRD Management Support GmbH / Technische Redaktion

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rahmenbedingungen .....</b>	<b>5</b>
1.1	Standort .....	5
1.2	Betriebsparameter .....	5
1.3	Schallleistungspegel .....	5
<b>2</b>	<b>Betriebsmodus 0 s .....</b>	<b>7</b>
2.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 0 s .....	7
2.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 0 s .....	9
<b>3</b>	<b>Betriebsmodus I s .....</b>	<b>10</b>
3.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus I s .....	10
3.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus I s .....	12
<b>4</b>	<b>Betriebsmodus II s .....</b>	<b>13</b>
4.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus II s .....	13
4.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus II s .....	15
<b>5</b>	<b>Betriebsmodus 2500 kW s .....</b>	<b>16</b>
5.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 2500 kW s .....	16
5.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 2500 kW s .....	18
<b>6</b>	<b>Betriebsmodus 2000 kW s .....</b>	<b>19</b>
6.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 2000 kW s .....	19
6.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 2000 kW s .....	21
<b>7</b>	<b>Betriebsmodus 1500 kW s .....</b>	<b>22</b>
7.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 1500 kW s .....	22
7.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 1500 kW s .....	24
<b>8</b>	<b>Betriebsmodus 1000 kW s .....</b>	<b>25</b>
8.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 1000 kW s .....	25
8.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 1000 kW s .....	27
<b>9</b>	<b>Betriebsmodus 600 kW s .....</b>	<b>28</b>
9.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 600 kW s .....	28
9.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 600 kW s .....	30
<b>10</b>	<b>Betriebsmodus 400 kW s .....</b>	<b>31</b>
10.1	Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 400 kW s .....	31
10.2	Berechnete Schallleistungspegel Betriebsmodus 400 kW s .....	33

Quellenverzeichnis ..... 34

# 1 Rahmenbedingungen

Die in diesem Dokument angegebenen Leistungswerte sind nur unter den Rahmenbedingungen gemäß IEC 61400-12-1:2005 [4] gültig. Darüber hinaus gelten weitere Grenzen, die in den folgenden Kapiteln definiert werden.

## 1.1 Standort

Die in diesem Dokument angegebenen berechneten Leistungskurven sind für den in nachfolgender Tabelle angegebenen Bereich auf Basis von 10-Minuten-Mittelwerten ausgelegt. Die Berechnungen beruhen auf der Erfahrung mit Windenergieanlagen an den unterschiedlichsten Standorten.

Parameter	Wert
Standardluftdichte	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Turbulenzintensität	6 % bis 12 %
Höhenexponent	0,0 bis 0,3
maximale Windrichtungsänderung zwischen unterem und oberem Tip	0° bis 10°
maximale Schräganströmung	± 2°
maximaler Temperaturgradient zwischen unterem und oberem Tip	10 °C
Terrain	gemäß IEC 61400-12-1:2005 [4]
Schnee/Eis	nein
Regen	nein
Blattvorderkante	keine Beschädigung

## 1.2 Betriebsparameter

Einstellungen hinsichtlich der Blindleistungserzeugung der Windenergieanlage sowie Steuerungen und Regelungen von Windparks haben einen Einfluss auf das Leistungsverhalten. Die in diesem Dokument angegebenen berechneten Leistungskurven gelten unter der Voraussetzung eines uneingeschränkten Betriebs.

## 1.3 Schalleistungspegel

Die Zuordnung der Schalleistungspegel zur standardisierten Windgeschwindigkeit  $v_s$  in 10 m Höhe gilt nur unter Voraussetzung eines logarithmischen Windprofils mit Rauigkeitslänge 0,05 m. Die Zuordnung der Schalleistungspegel zur Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe gilt für alle Nabenhöhen. Die Windgeschwindigkeit wird bei Messungen aus der Leistungsabgabe und der Leistungskennlinie bestimmt.

Die Tonhaltigkeit liegt im gesamten Leistungsbereich bei  $KTN = 0-1$  dB (gilt für den Nahbereich gemäß TR 1:2008 [5] der FGW und DIN 45681:2005 [2]) bzw.  $\Delta L_{a,k} < 2$  dB (gilt für den Nahbereich gemäß IEC 61400-11:2002 [3]).

Die Impulshaltigkeit liegt im gesamten Leistungsbereich bei  $KIN = 0$  dB (gilt für den Nahbereich gemäß TR 1:2008 [5] und DIN 45645-1:1996 [1]).

Aufgrund der Messunsicherheiten bei Schallvermessungen und der Serienproduktstreuung gelten die in diesem Dokument angegebenen Werte der Schalleistungspegel unter Berücksichtigung einer Unsicherheit von  $\pm 1$  dB(A). Wird eine Messung nach gängigen Richtlinien durchgeführt, sind demnach Messergebnisse im Bereich angegebener Werte  $\pm 1$  dB(A) möglich. Gängige Richtlinien sind die TR 1:2008 [5] und die IEC 61400-11 [3]. Ist während einer Vermessung die Differenz zwischen Gesamtgeräusch und Fremdgeräusch kleiner als 6 dB(A), so muss von einer höheren Unsicherheit ausgegangen werden.

Eine projekt- und/oder standortspezifische Garantie über die Einhaltung des Schalleistungspegels wird durch dieses Datenblatt nicht übernommen.

## 2 Betriebsmodus 0 s

### 2.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 0 s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	628	0,45	0,90
7	1036	0,47	0,89
8	1549	0,47	0,84
9	2090	0,45	0,78
10	2580	0,40	0,73
11	2900	0,34	0,56
12	3000	0,27	0,40
13	3000	0,21	0,31
14	3000	0,17	0,24
15	3000	0,14	0,20
16	3000	0,11	0,16
17	3000	0,09	0,13
18	3000	0,08	0,11
19	3000	0,07	0,10
20	3000	0,06	0,09
21	3000	0,05	0,08
22	3000	0,04	0,07
23	3000	0,04	0,06
24	3000	0,03	0,05
25	3000	0,03	0,05

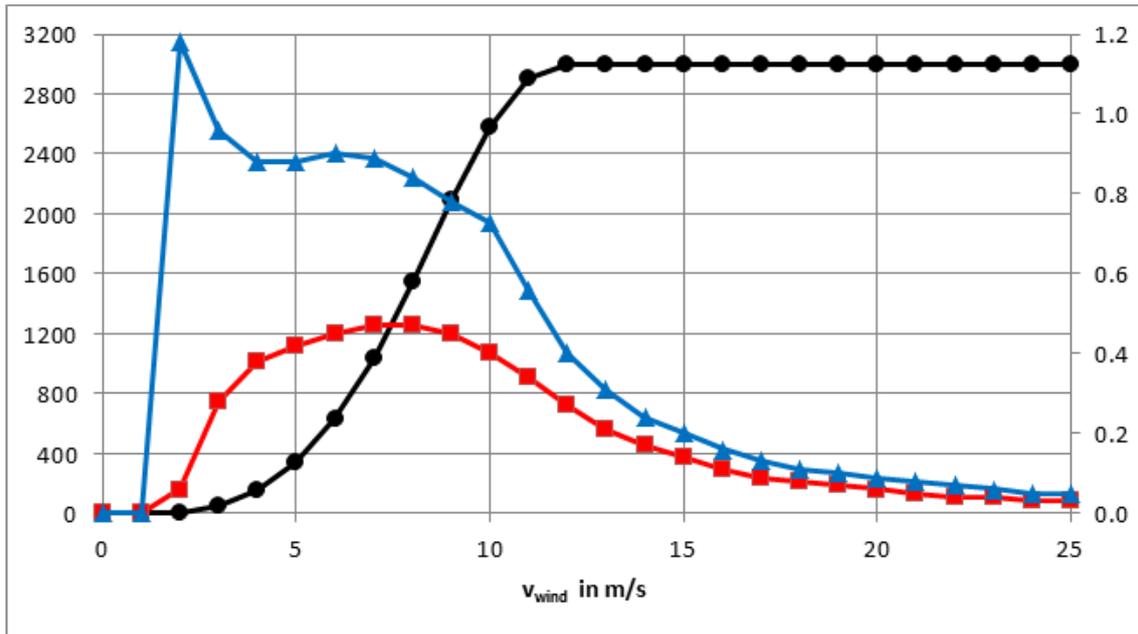


Abb. 1: Leistungskennlinie Betriebsmodus 0 s

	Wirkleistung P in kW
	$c_t$ -Wert
	$c_p$ -Wert

## 2.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 0 s

Im Modus 0 s wird die Windenergieanlage leistungsoptimiert mit optimaler Ertragsausbeute betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 105,0 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	3000	kW
Nennwindgeschwindigkeit	12,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	12,8	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,6	101,2	101,5	101,8
6 m/s	103,5	104,0	104,2	104,2
7 m/s	104,7	104,8	104,8	104,9
8 m/s	105,0	105,0	105,0	105,0
9 m/s	105,0	105,0	105,0	105,0
10 m/s	105,0	105,0	105,0	105,0
95 % $P_n$	105,0	105,0	105,0	105,0

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	102,7	104,1	104,8	105,0	105,0	105,0	105,0	105,0

### 3 Betriebsmodus I s

#### 3.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus I s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	620	0,45	0,90
7	1000	0,45	0,88
8	1470	0,45	0,82
9	1950	0,42	0,76
10	2400	0,37	0,71
11	2770	0,32	0,55
12	2980	0,27	0,40
13	3000	0,21	0,31
14	3000	0,17	0,24
15	3000	0,14	0,20
16	3000	0,11	0,16
17	3000	0,09	0,13
18	3000	0,08	0,11
19	3000	0,07	0,10
20	3000	0,06	0,09
21	3000	0,05	0,08
22	3000	0,04	0,07
23	3000	0,04	0,06
24	3000	0,03	0,05
25	3000	0,03	0,05

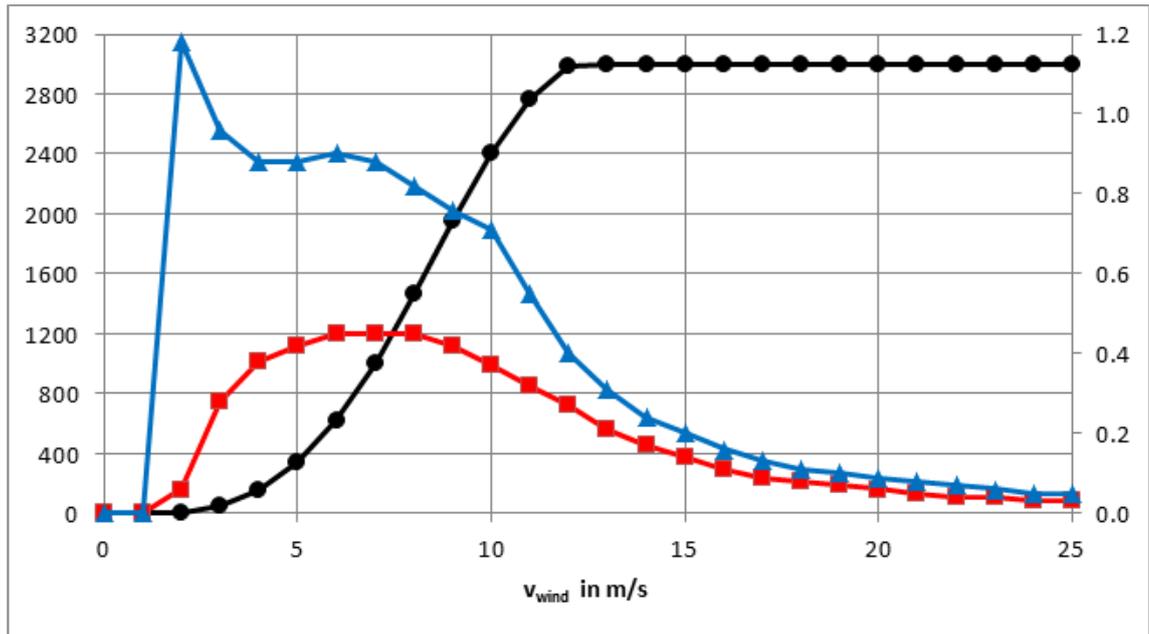


Abb. 2: Leistungskennlinie Betriebsmodus I s

◆—◆—◆	Wirkleistung P in kW
▲—▲—▲	$c_t$ -Wert
■—■—■	$c_p$ -Wert

### 3.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus I s

Im Modus I s wird die Windenergieanlage schallreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 104,4 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

#### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	3000	kW
Nennwindgeschwindigkeit	13,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	12,4	U/min

#### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,7	101,3	101,5	101,7
6 m/s	103,5	104,0	104,2	104,2
7 m/s	104,4	104,4	104,4	104,4
8 m/s	104,4	104,4	104,4	104,4
9 m/s	104,4	104,4	104,4	104,4
10 m/s	104,4	104,4	104,4	104,4
95 % $P_n$	104,4	104,4	104,4	104,4

#### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	102,7	104,0	104,4	104,4	104,4	104,4	104,4	104,4

## 4 Betriebsmodus II s

### 4.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus II s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	c <sub>p</sub> -Wert	c <sub>t</sub> -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	620	0,45	0,90
7	990	0,45	0,86
8	1420	0,43	0,79
9	1880	0,40	0,74
10	2300	0,36	0,68
11	2660	0,31	0,55
12	2900	0,26	0,40
13	2980	0,21	0,31
14	3000	0,17	0,24
15	3000	0,14	0,19
16	3000	0,11	0,16
17	3000	0,09	0,13
18	3000	0,08	0,11
19	3000	0,07	0,10
20	3000	0,06	0,08
21	3000	0,05	0,07
22	3000	0,04	0,07
23	3000	0,04	0,06
24	3000	0,03	0,05
25	3000	0,03	0,05

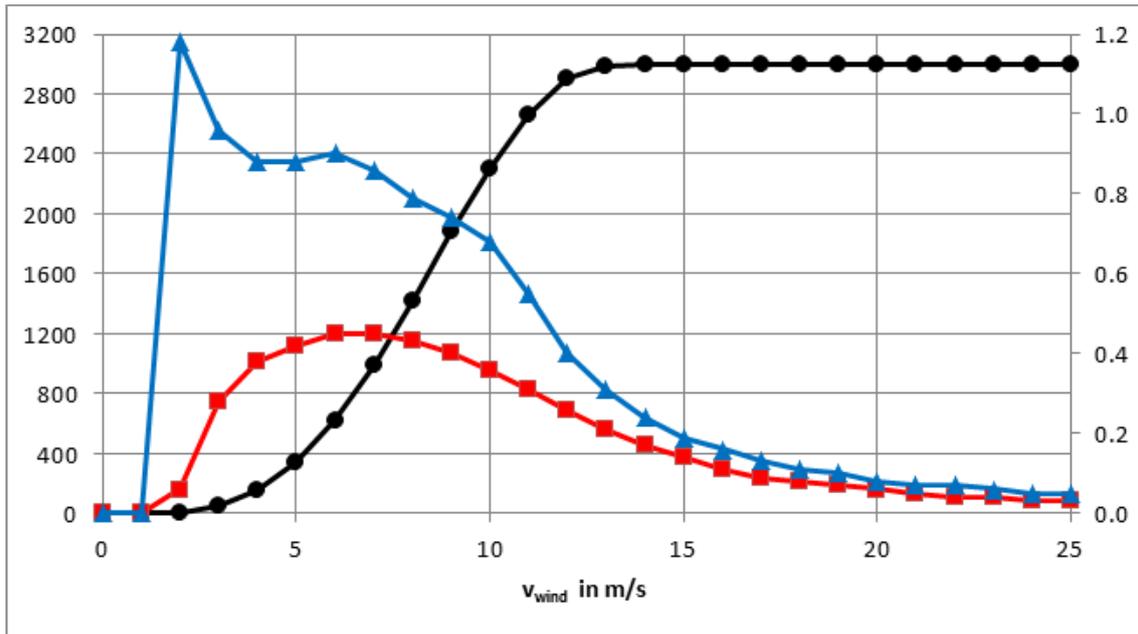


Abb. 3: Leistungskennlinie Betriebsmodus II s

	Wirkleistung P in kW
	$c_t$ -Wert
	$c_p$ -Wert

## 4.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus II s

Im Modus II s wird die Windenergieanlage schallreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 103,4 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	3000	kW
Nennwindgeschwindigkeit	14,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	11,8	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,7	101,3	101,5	101,7
6 m/s	103,0	103,2	103,3	103,4
7 m/s	103,4	103,4	103,4	103,4
8 m/s	103,4	103,4	103,4	103,4
9 m/s	103,4	103,4	103,4	103,4
10 m/s	103,4	103,4	103,4	103,4
95 % $P_n$	103,4	103,4	103,4	103,4

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	102,4	103,3	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4	103,4

## 5 Betriebsmodus 2500 kW s

### 5.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 2500 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	628	0,45	0,90
7	1036	0,47	0,89
8	1500	0,45	0,84
9	1950	0,42	0,78
10	2240	0,35	0,61
11	2420	0,28	0,42
12	2500	0,22	0,32
13	2500	0,18	0,24
14	2500	0,14	0,19
15	2500	0,12	0,16
16	2500	0,09	0,13
17	2500	0,08	0,11
18	2500	0,07	0,09
19	2500	0,06	0,08
20	2500	0,05	0,07
21	2500	0,04	0,06
22	2500	0,04	0,06
23	2500	0,03	0,05
24	2500	0,03	0,05
25	2500	0,02	0,04

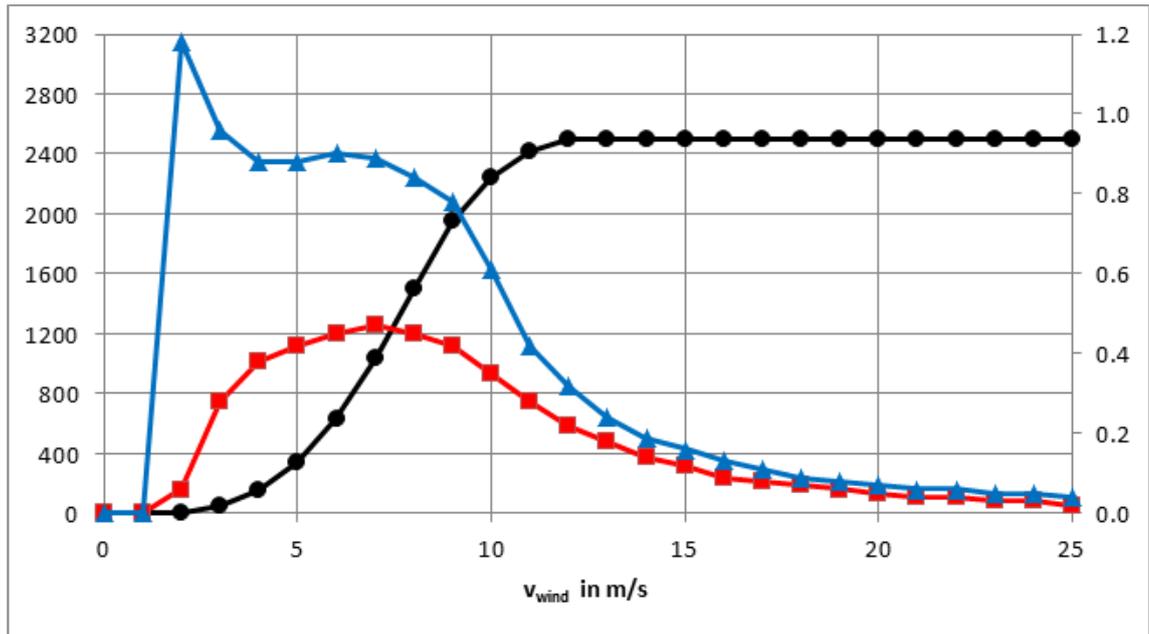


Abb. 4: Leistungskennlinie Betriebsmodus 2500 kW s

◆—◆—◆	Wirkleistung P in kW
▲—▲—▲	$c_t$ -Wert
■—■—■	$c_p$ -Wert

## 5.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 2500 kW s

Im Modus 2500 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 104,5 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	2500	kW
Nennwindgeschwindigkeit	12,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	11,8	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,6	101,2	101,5	101,8
6 m/s	103,5	103,8	104,0	104,1
7 m/s	104,5	104,5	104,5	104,5
8 m/s	104,5	104,5	104,5	104,5
9 m/s	104,5	104,5	104,5	104,5
10 m/s	104,5	104,5	104,5	104,5
95 % $P_n$	104,5	104,5	104,5	104,5

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	102,7	104,1	104,5	104,5	104,5	104,5	104,5	104,5

## 6 Betriebsmodus 2000 kW s

### 6.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 2000 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	628	0,45	0,90
7	1030	0,47	0,89
8	1460	0,44	0,84
9	1750	0,37	0,69
10	1920	0,30	0,45
11	1980	0,23	0,32
12	2000	0,18	0,24
13	2000	0,14	0,19
14	2000	0,11	0,15
15	2000	0,09	0,12
16	2000	0,08	0,10
17	2000	0,06	0,09
18	2000	0,05	0,08
19	2000	0,05	0,07
20	2000	0,04	0,06
21	2000	0,03	0,05
22	2000	0,03	0,05
23	2000	0,03	0,04
24	2000	0,02	0,04
25	2000	0,02	0,04

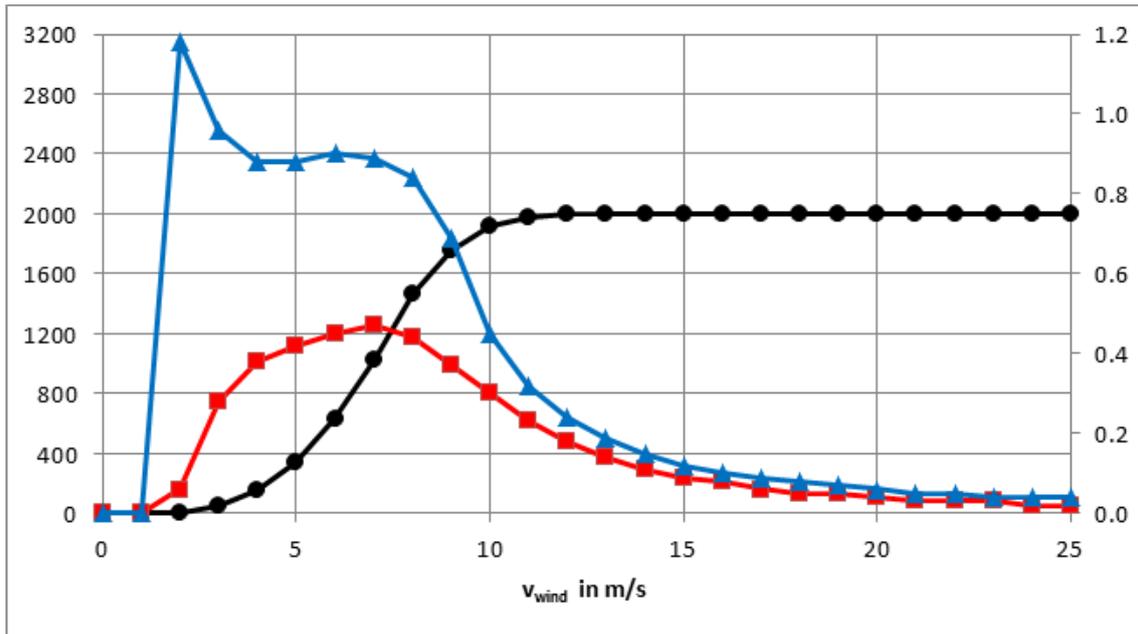


Abb. 5: Leistungskennlinie Betriebsmodus 2000 kW s

	Wirkleistung P in kW
	$c_t$ -Wert
	$c_p$ -Wert

## 6.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 2000 kW s

Im Modus 2000 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 102,9 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	2000	kW
Nennwindgeschwindigkeit	11,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	11,6	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,6	101,2	101,5	101,8
6 m/s	102,7	102,8	102,9	102,9
7 m/s	102,9	102,9	102,9	102,9
8 m/s	102,9	102,9	102,9	102,9
9 m/s	102,9	102,9	102,9	102,9
10 m/s	102,9	102,9	102,9	102,9
95 % $P_n$	102,9	102,9	102,9	102,9

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	102,7	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9	102,9

## 7 Betriebsmodus 1500 kW s

### 7.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 1500 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	628	0,45	0,90
7	1010	0,46	0,89
8	1240	0,38	0,81
9	1420	0,30	0,47
10	1480	0,23	0,32
11	1500	0,17	0,24
12	1500	0,13	0,18
13	1500	0,11	0,14
14	1500	0,08	0,12
15	1500	0,07	0,10
16	1500	0,06	0,08
17	1500	0,05	0,07
18	1500	0,04	0,06
19	1500	0,03	0,06
20	1500	0,03	0,05
21	1500	0,03	0,04
22	1500	0,02	0,04
23	1500	0,02	0,04
24	1500	0,02	0,03
25	1500	0,01	0,03

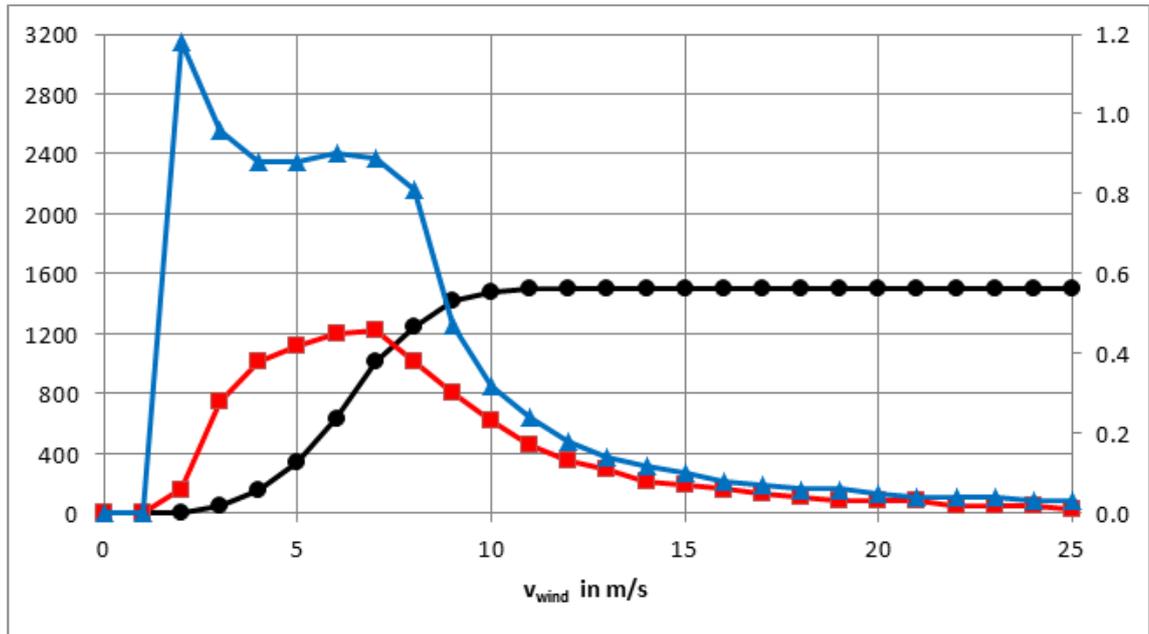


Abb. 6: Leistungskennlinie Betriebsmodus 1500 kW s

◆—◆—◆	Wirkleistung P in kW
▲—▲—▲	$c_t$ -Wert
■—■—■	$c_p$ -Wert

## 7.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 1500 kW s

Im Modus 1500 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 101,5 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	1500	kW
Nennwindgeschwindigkeit	10,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	11,3	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	100,6	101,1	101,3	101,4
6 m/s	101,5	101,5	101,5	101,5
7 m/s	101,5	101,5	101,5	101,5
8 m/s	101,5	101,5	101,5	101,5
9 m/s	101,5	101,5	101,5	101,5
10 m/s	101,5	101,5	101,5	101,5
95 % $P_n$	101,5	101,5	101,5	101,5

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
100,6	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5

## 8 Betriebsmodus 1000 kW s

### 8.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 1000 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	c <sub>p</sub> -Wert	c <sub>t</sub> -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	339	0,42	0,88
6	615	0,44	0,90
7	880	0,40	0,89
8	990	0,30	0,45
9	1000	0,21	0,30
10	1000	0,16	0,22
11	1000	0,12	0,16
12	1000	0,09	0,13
13	1000	0,07	0,10
14	1000	0,06	0,09
15	1000	0,05	0,07
16	1000	0,04	0,06
17	1000	0,03	0,06
18	1000	0,03	0,05
19	1000	0,02	0,04
20	1000	0,02	0,04
21	1000	0,02	0,04
22	1000	0,01	0,03
23	1000	0,01	0,03
24	1000	0,01	0,03
25	1000	0,01	0,02

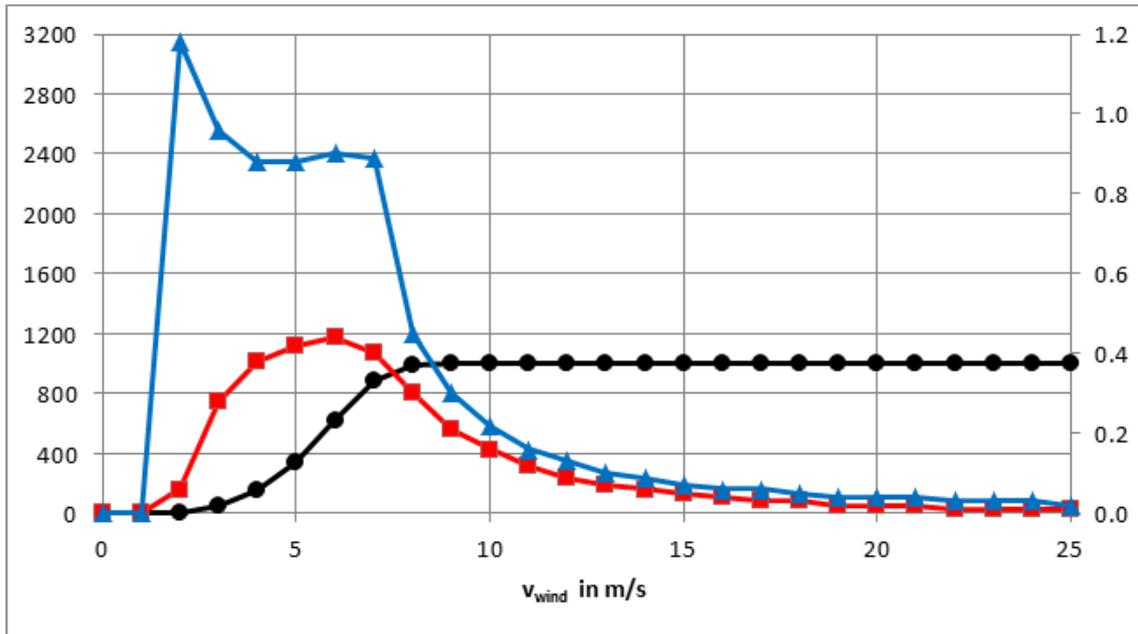


Abb. 7: Leistungskennlinie Betriebsmodus 1000 kW s

	Wirkleistung P in kW
	$c_t$ -Wert
	$c_p$ -Wert

## 8.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 1000 kW s

Im Modus 1000 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 99,8 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	1000	kW
Nennwindgeschwindigkeit	9,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	10,4	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	99,4	99,5	99,6	99,7
6 m/s	99,8	99,8	99,8	99,8
7 m/s	99,8	99,8	99,8	99,8
8 m/s	99,8	99,8	99,8	99,8
9 m/s	99,8	99,8	99,8	99,8
10 m/s	99,8	99,8	99,8	99,8
95 % $P_n$	99,8	99,8	99,8	99,8

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8	99,8

## 9 Betriebsmodus 600 kW s

### 9.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 600 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	330	0,41	0,88
6	520	0,37	0,75
7	600	0,27	0,40
8	600	0,18	0,25
9	600	0,13	0,18
10	600	0,09	0,13
11	600	0,07	0,10
12	600	0,05	0,08
13	600	0,04	0,07
14	600	0,03	0,06
15	600	0,03	0,05
16	600	0,02	0,04
17	600	0,02	0,04
18	600	0,02	0,03
19	600	0,01	0,03
20	600	0,01	0,03
21	600	0,01	0,02
22	600	0,01	0,02
23	600	0,01	0,02
24	600	0,01	0,02
25	600	0,01	0,02

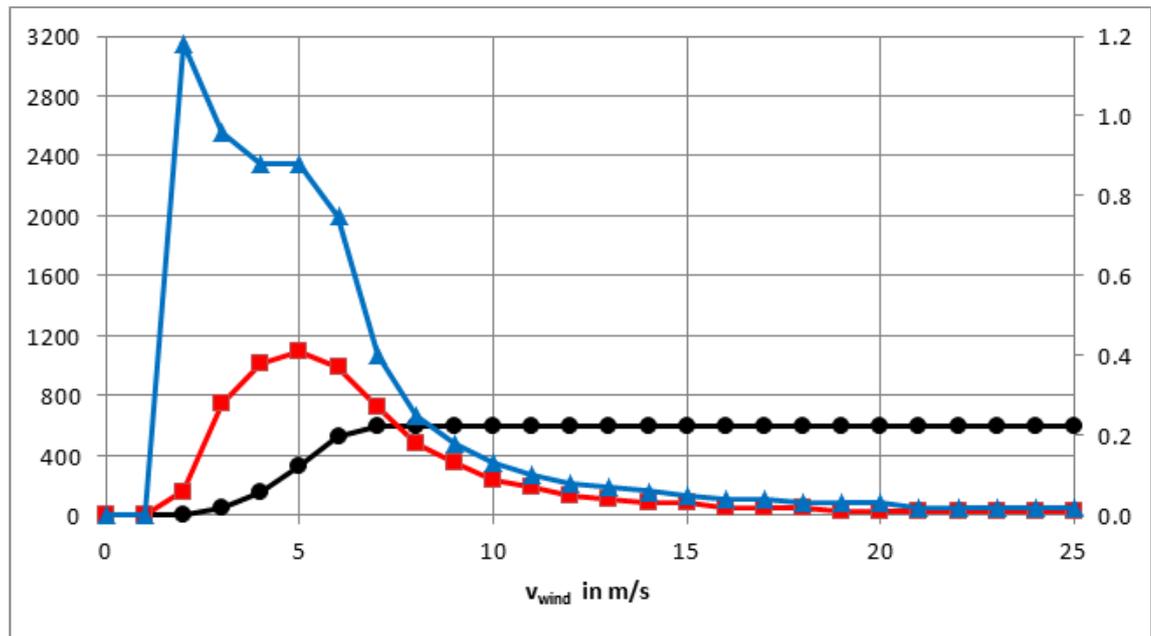


Abb. 8: Leistungskennlinie Betriebsmodus 600 kW s

◆—◆—◆	Wirkleistung P in kW
▲—▲—▲	$c_t$ -Wert
■—■—■	$c_p$ -Wert

## 9.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 600 kW s

Im Modus 600 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 96,5 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	600	kW
Nennwindgeschwindigkeit	7,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	9,0	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
6 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
7 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
8 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
9 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
10 m/s	96,5	96,5	96,5	96,5
95 % $P_n$	96,5	96,5	96,5	96,5

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
96,5	96,5	96,5	96,5	96,5	96,5	96,5	96,5	96,5

## 10 Betriebsmodus 400 kW s

### 10.1 Berechnete Leistungswerte Betriebsmodus 400 kW s

Windgeschwindigkeit v in m/s	Leistung P in kW	$c_p$ -Wert	$c_t$ -Wert
0	0	0,00	0,00
1	0	0,00	0,00
2	3	0,06	1,18
3	49	0,28	0,96
4	155	0,38	0,88
5	320	0,40	0,88
6	388	0,28	0,44
7	400	0,18	0,26
8	400	0,12	0,17
9	400	0,09	0,12
10	400	0,06	0,09
11	400	0,05	0,08
12	400	0,04	0,06
13	400	0,03	0,05
14	400	0,02	0,04
15	400	0,02	0,04
16	400	0,02	0,03
17	400	0,01	0,03
18	400	0,01	0,03
19	400	0,01	0,02
20	400	0,01	0,02
21	400	0,01	0,02
22	400	0,01	0,02
23	400	0,01	0,01
24	400	0,00	0,01
25	400	0,00	0,01

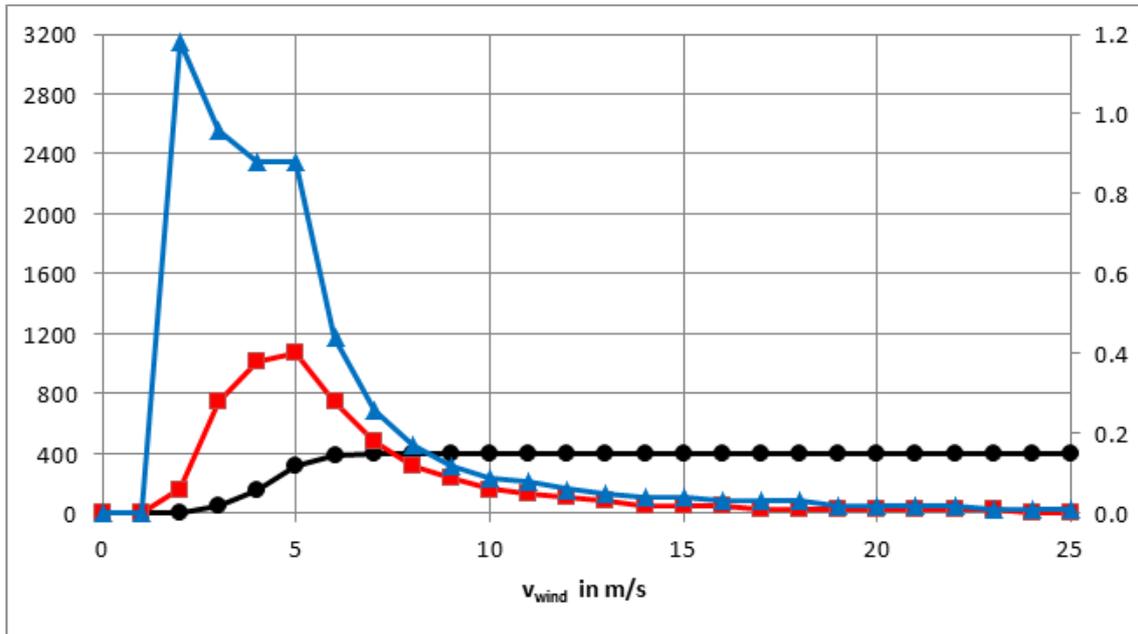


Abb. 9: Leistungskennlinie Betriebsmodus 400 kW s

	Wirkleistung P in kW
	$c_t$ -Wert
	$c_p$ -Wert

## 10.2 Berechnete Schalleistungspegel Betriebsmodus 400 kW s

Im Modus 400 kW s wird die Windenergieanlage leistungsreduziert betrieben. Der höchste zu erwartende Schalleistungspegel liegt bei 94,0 dB(A) im Bereich der Nennleistung. Nach Erreichen der Nennleistung wird ein gleichbleibender Pegel garantiert.

### Technische Daten

Parameter	Wert	Einheit
Nennleistung ( $P_n$ )	400	kW
Nennwindgeschwindigkeit	7,0	m/s
minimale Betriebsdrehzahl	4,6	U/min
Solldrehzahl	8,4	U/min

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die standardisierte Windgeschwindigkeit $V_s$ in 10 m Höhe

$v_s$ in 10 m Höhe	Nabenhöhen			
	92 m	122 m	135 m	149 m
5 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
6 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
7 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
8 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
9 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
10 m/s	94,0	94,0	94,0	94,0
95 % $P_n$	94,0	94,0	94,0	94,0

### Berechneter Schalleistungspegel in dB(A) bezogen auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe

7 m/s	8 m/s	9 m/s	10 m/s	11 m/s	12 m/s	13 m/s	14 m/s	15 m/s
94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0	94,0

## Quellenverzeichnis

- [1] DIN 45645-1:1996: Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Teil 1: Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft
- [2] DIN 45681:2005: Akustik - Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen
- [3] IEC 61400-11:2002: Wind turbine generator systems – Part 11: Acoustic noise measurement techniques
- [4] IEC 61400-12-1:2005: Wind turbines – Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines
- [5] TR 1:2008: Technische Richtlinien für Windenergieanlagen Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte



## Literaturverzeichnis

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

## Literaturverzeichnis

- 1.) BImSchG Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge; Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG
- 2.) 4. BImSchV Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen)
- 3.) TA-Lärm Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm, TA Lärm vom 26.08.1998)
- 4.) DIN ISO 9613-2 Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Oktober 1999
- 5.) DIN 45680 Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft, März 1997
- 6.) DIN 45681 Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Einzeltonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschemissionen, März 2005
- 7.) DIN EN 61400-11 Windenergieanlagen, Teil 11: Schallmessverfahren, November 2003
- 8.) DIN EN 50376.Entwurf Angabe des Schalleistungspegels und der Tonhaltigkeitswerte bei Windenergieanlagen, November 2001
- 9.) FGW Technische Richtlinie für Windenergieanlagen, Teil 1: Bestimmung der Schallemissionswerte, Fördergesellschaft Windenergie e.V. ( FGW ), 01.02.2008
- 10.) AKGerWEA Hinweise zum Schallimmissionsschutz bei Windenergieanlagen 109. Sitzung des LAI am 08. / 09. März 2005
- 11.) NRW Grundsätze für Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen (Windenergie-Erlass Nordrhein-Westfalen vom 04.11.2015)
- 12.) Ministerium für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumplanung Erlass des Ministeriums für Landwirtschaft, Umweltschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg zu Anforderungen an die Geräuschimmissionsprognose und an die Nachweismessung bei Windenergieanlagen, 31.07.2003 sowie Änderung des Erlasses vom 23.05.2013
- 13.) Niedersächsisches Umweltministerium Hinweise zur Beurteilung von Windenergieanlagen im Genehmigungs- verfahren vom 19.05.2005
- 14.) J. Kötter, Dr. Kühner TA-Lärm `98: Erläuterungen/Kommentare in: Immissionsschutz 2 (2000) S54-63
- 15.) B. Vogelsang TA-Lärm oder wer muss eigentlich wem wie was sicher nachweisen? in: DAGA 2002, Bochum S. 298-299
- 16.) Dr. Ing. Ulrich J. Kurze, Müller-BBM Abschätzung der Unsicherheit von Immissionsprognosen in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung / Heft 5 (2001)

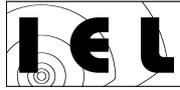
- 
- 17.) Dipl.-Ing. Detlef Piorr,  
Landesumweltamt  
NRW      Zum Nachweis der Einhaltung von Geräuschimmissionsrichtwerten  
mittels Prognose  
in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung / Heft 5 (2001)
- 18.) Helmut Klug      Infraschall von Windenergieanlagen: Realität oder Mythos?  
in: DEWI Magazin Nr. 20, Februar 2002
- 19.) Wolfgang Probst,  
Ulrich Donner      Die Unsicherheit des Beurteilungspegels bei der Immissionsprognose  
in: Zeitschrift für Lärmbekämpfung / Heft 3 (2002)
- 20.) Dietrich Determan,  
Dr. Hans Ulrich Stühler  
(Fickert/Fieseler)      Baunutzungsverordnung, Kommentar unter besonderer  
Berücksichtigung des deutschen und gemeinschaftlichen  
Umweltschutzes,  
12. grundlegend überarbeitete und ergänzte Auflage, 2014,  
Verlag W. Kohlhammer
- 21.) Niedersachsen      Gemeinsamer Erlass des Niedersächsischen Umweltministeriums  
und des Niedersächsischen Ministeriums für Soziales, Frauen,  
Familie und Gesundheit  
Verfahren für die Genehmigung von Windkraftanlagen vom  
05.11.2004
- 22.) Niedersachsen      Stellungnahme des Niedersächsischen Umweltministeriums zu 21.)  
vom 07. Dezember 2004
- 23.) Nordrhein-Westfalen      Schreiben des Umweltministeriums vom 21. Dezember 2005 an die  
Bezirksregierungen und Staatlichen Umweltämter NRW
- 24.) Landesamt für Natur,  
Umwelt u. Verbraucherschutz  
NRW      Materialien Nr. 63 „Windenergieanlagen und Immissionsschutz“, 2002
- 25.) Monika Agatz      „Windenergie-Handbuch“, 12. Ausgabe, Dezember 2015
- 26.) KÖTTER Consulting  
Engineers      Vortrag von Andrea Bauerdorff, Umweltbundesamt  
„Infraschall von Windenergieanlagen“,  
8. Rheiner Windenergie-Forum, 11. / 12. März 2015
- 27.) Landesverwaltungsamt  
Sachsen-Anhalt      Hinweise zur schalltechnischen Beurteilung von Windenergieanlagen  
(WKA) bei immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren im  
Landesverwaltungsamt Sachsen-Anhalt (LvwA LSA), 24.02.2009
- 28.) DIN 18005-1      Schallschutz in Städtebau, Juli 2002
- 29.) Landesumweltamt  
NRW      Empfehlungen zur Bestimmung der meteorologischen Dämpfung  $G_{met}$   
gemäß DIN ISO 9613-2, 26.09.2012
- 30.) MULEWF  
Rheinland-Pfalz      Hinweise zur Beurteilung der Zulässigkeit von Windenergieanlagen in  
Rheinland-Pfalz (Rundschreiben Windenergie); Rundschreiben des  
Ministeriums für Wirtschaft, Klimaschutz, Energie und  
Landesplanung, des Ministeriums der Finanzen, des Ministeriums für  
Umwelt, Landwirtschaft, Ernährung, Weinbau und Forsten und des  
Ministeriums des Innern, für Sport und Infrastruktur Rheinland-Pfalz,  
28.05.2013

- 
- |      |  |   |
|------|--|---|
| 31.) | Baden-Württemberg  | Windenergieerlass Baden-Württemberg, Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft, des Ministeriums für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz, des Ministeriums für Verkehr und Infrastruktur und des Ministeriums für Finanzen und Wirtschaft, 09. Mai 2012 |
| 32.) | Bayrisches Landesamt für Umwelt  | Windkraftanlagen - beeinträchtigt Infraschall die Gesundheit? Neufassung: März 2012 / 4. aktualisierte Auflage: November 2014   |
| 33.) | Dipl.-Ing. Detlef Piorr, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW       | Geräuschemissionen und -immissionen von Windenergieanlagen, Seminar BEW Duisburg 29. September 2011   |
| 34.) | Robert Koch-Institut   | Infraschall und tieffrequenter Schall - ein Thema für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz in Deutschland?, 30. November 2007  |
| 35.) | Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, RLP  | MERKBLATT für Vorhaben zur Errichtung von Windenergieanlagen hinsichtlich immissionsschutzrechtlicher und arbeitsschutzrechtlicher Anforderungen an die Antragsunterlagen in Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG, Oktober 2014   |
| 36.) | Niedersachsen  | Planung und Genehmigung von Windenergieanlagen an Land in Niedersachsen und Hinweise für die Zielsetzung und Anwendung (Windenergieerlass im Entwurf, Entwurfsstand 03.12.2015)   |
| 37.) | Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz | Verfahrenshandbuch zum Vollzug des BImSchG, Durchführung von Genehmigungsverfahren bei Windenergieanlagen (23.05.2014)  |
| 38.) | Gemeinsame Bekanntmachung div. Bayerischer Staatsministerien                         | Hinweise zur Planung und Genehmigung von Windkraftanlagen (WKA) (20.11.2011)  |
| 39.) | Umweltbundesamt  | Machbarkeitsstudie zu Wirkungen von Infraschall Fachgebiet I 3.4 Lärminderung bei Anlagen und Produkten, Lärmwirkungen, Juni 2014   |
| 40.) | LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg           | Tieffrequente Geräusche und Infraschall von Windkraftanlagen und anderen Quellen Zwischenbericht über Ergebnisse des Messprojekts 2013 - 2014 Stand: Dezember 2014  |
| 41.) | HA Hessen Agentur GmbH   | Faktenpapier Windenergie und Infraschall Bürgerforum Energieland Hessen Stand: Mai 2015   |
| 42.) | Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz | Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz Anleitung zur Erstellung der Antragsunterlagen für Windenergieanlagen Stand : Mai 2015   |



## **Rotorschattenwurfberechnung**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

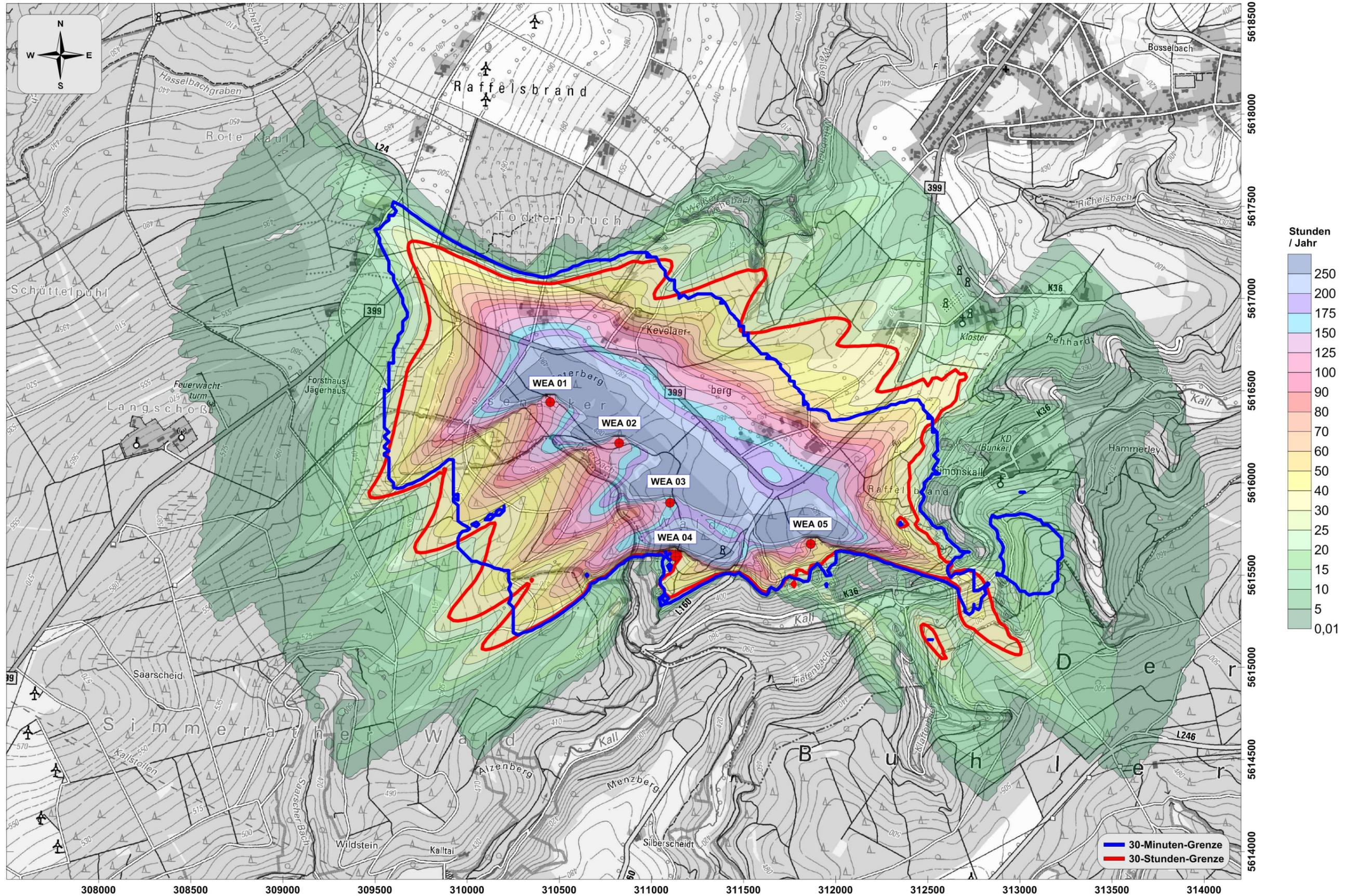


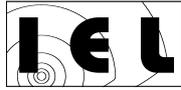
**Flächendeckende Darstellung  
Zusatzbelastung  
„Astronomisch mögliche  
Rotorschattenwurfdauer“**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

# Astronomisch mögliche\* Rotorschattenwurfdauer

\*ohne Berücksichtigung von Sonnenscheindauer und Windrichtungsverteilung





**Flächendeckende Darstellung  
Gesamtbelastung  
„Astronomisch mögliche  
Rotorschattenwurfdauer“**

Ingenieurbüro für Energietechnik und Lärmschutz

# Astronomisch mögliche\* Rotorschattenwurfdauer

\*ohne Berücksichtigung von Sonnenscheindauer und Windrichtungsverteilung

