



## **Stellungnahme**

**Einfluss der Nachlaufströmung von  
Windenergieanlagen auf  
Hochspannungsfreileitungen**

**am Standort Boizenburg,  
Mecklenburg-Vorpommern**

**Nr. FL190725-1**

**23. September 2019**

Rainer Cordsen  
Overspeed GmbH & Co. KG  
Im Technologiepark 4  
26129 Oldenburg

Auftraggeber:  
ENERKRAFT GmbH  
Wallfahrtsteich 27  
32425 Minden

**Titel:** Stellungnahme zum Einfluss der Nachlaufströmung von  
 Windenergieanlagen auf Hochspannungsfreileitungen am  
 Standort Boizenburg, Mecklenburg-Vorpommern  
**Datum:** 23. September 2019  
**Status:** Endfassung  
**Auftraggeber:** ENERKRAFT GmbH  
**Auftragnehmer:** Overspeed GmbH & Co. KG  
**Autor:** Rainer Cordsen  
**Einstufung:** vertraulich  
**Kontakt:** r.cordsen@overspeed.de  
**Datei:** FL190725-1\_Freileitungen-WPBoizenburg.2019-09-23  
**Dok. Nr.:** FL190725-1

Dokument Nr.	Datum	Änderung	Autor
FL190725-1	23.09.2019	Endfassung	Rainer Cordsen

Oldenburg, 23. September 2019

Verantwortlicher Bearbeiter:

Abgenommen durch:



Rainer Cordsen  
Dipl.-Phys.



Thomas Pahlke  
Dipl.-Phys.

© 2019 Overspeed GmbH & Co. KG  
 Im Technologiepark 4  
 26129 Oldenburg  
 Germany



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Räumliche Lage der WEA und der Freileitungen.....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungsergebnisse.....</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung und Empfehlung .....</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>Erläuterungen zu den Ergebnissen.....</b>	<b>11</b>
<b>6</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>12</b>
<b>7</b>	<b>Anhang.....</b>	<b>13</b>
7.1	Koordinaten der Freileitungsmasten.....	13



## 1 Einleitung

In einem Windpark-Planungsgebiet bei Boizenburg im Landkreis Ludwigslust-Parchim in Mecklenburg-Vorpommern ist die Neuerrichtung von drei Windenergieanlagen (WEA) vom Typ Nordex N163 5.7MW mit einem Rotordurchmesser von 163m und einer Nabenhöhe von 164m geplant (Windpark Boizenburg).

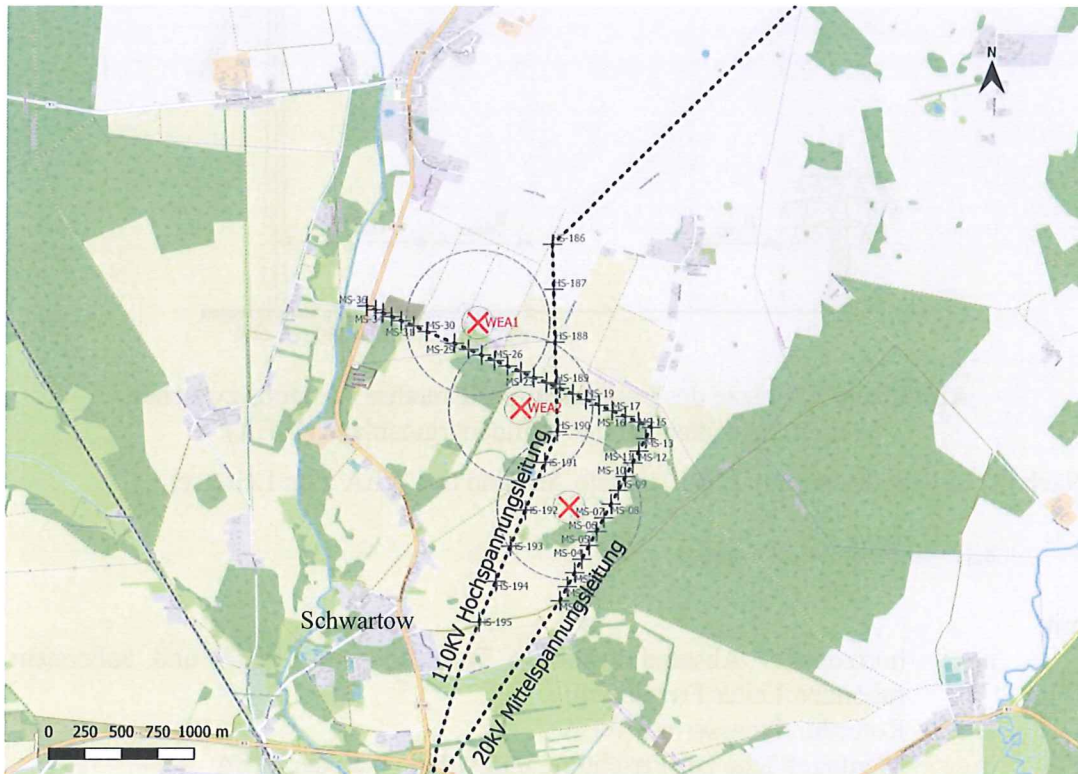
Durch das Planungsgebiet führen eine 110kV-Hochspannungsfreileitung und eine 20kVMittelspannungsfreileitung der WEMAG Netz GmbH. Gegenstand dieser Stellungnahme ist der Einfluss der Nachlaufströmung der Windenergieanlagen auf die Freileitungen. Die Untersuchung basiert auf der Norm DIN EN 50341-2-4 [1] sowie den folgenden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellten Unterlagen:

- Übersichtsplan mit geplanten WEA-Standorten [2]
- Daten der geplanten WEA [3]
- Daten der Freileitungsmasten [4][5]



## 2 Räumliche Lage der WEA und der Freileitungen

Die geplanten WEA befinden sich in etwa 1,5 km nordöstlich Ortschaft Schwartow. In Tabelle 1 sind die genauen Koordinaten und Höhen der geplanten Windenergieanlagen im Windpark Boizenburg aufgelistet, in Abbildung 1 ist die räumliche Lage der WEA zu den Freileitungen dargestellt. Die Koordinaten der Freileitungsmasten sind im Anhang zu finden.



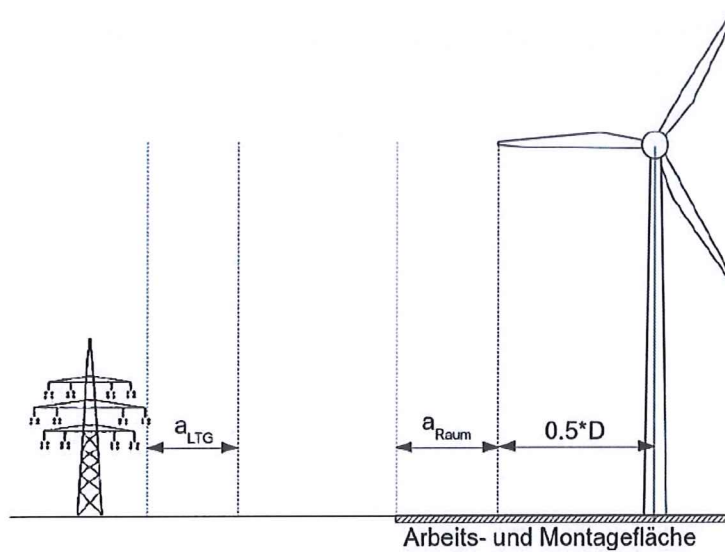
**Abbildung 1:** Räumliche Lage der geplanten WEA (rote Symbole) und der Hochspannungsfreileitungen (schwarze Linien) im Windpark Boizenburg

**Tabelle 1:** Koordinaten und Höhen der untersuchten WEA im Windpark Boizenburg

WEA	Typ	Rotor-durch-messer [m]	UTM ETRS89 Z33 Koordinaten		Nabenhöhe ü. NN [m]	Nabenhöhe ü. Grund [m]
			Rechtswert [m]	Hochwert [m]		
WEA 1	Nordex N163	163.0	217915	5926908	194.0	164
WEA 2	Nordex N163	163.0	218213	5926327	195.0	164
WEA 4 NEU	Nordex N163	163.0	218549	5925654	193.0	164

Die äußeren Leiterseile der 110kV-Leitung befinden sich laut Netzbetreiber in 9,45 m Abstand von der Leitungsachse (Trassenachse) entfernt [5].

Für die äußeren Leiterseile der 20kV-Leitung wurde der Abstand zur Trassenachse nach Begehung vor Ort mit 2 m konservativ abgeschätzt, da vom Netzbetreiber keine Angaben vorlagen.



**Abbildung 2:** Skizze des minimalen horizontalen Abstands zwischen Freileitungsaußenseil und Windenergieanlage (WEA).

Nach [1] beträgt der minimale horizontale Abstand der WEA zum Leiterseil:

$$a_{WEA} = 0.5 \cdot D + a_{Raum} + a_{LTG}$$

mit

$a_{WEA}$ : horizontaler Abstand zwischen Turmachse der WEA und äußerstem ruhenden Leiter Freileitung.

$D$ : Rotordurchmesser der WEA

$a_{Raum}$ : Montagefläche zur Errichtung und Arbeiten an der WEA

$a_{LTG}$ : spannungsabhängiger Mindestabstand:

10m bei 1kV < Netsspannung ≤ 45KV

20m bei 45kV < Netsspannung ≤ 110KV

30m bei Netsspannung > 110KV

In der folgenden Tabelle sind die horizontalen Abstände der äußeren Leiterseile zu den Turmachsen der WEA dargestellt (entsprechend Abbildung 2):

**Tabelle 2:** Kürzeste (lotrechte) Abstände [m] der WEA zu den äußeren Leiterseilen sowie die nach [1] definierten Mindestabstände

WEA	Horizontaler Abstand Turmachse – Leiterseil 110kV [m]	Horizontaler Mindestabstand Turmachse – Leiterseil 110kV [m]	Horizontaler Abstand Turmachse – Leiterseil 20kV [m]	Horizontaler Mindestabstand Turmachse – Leiterseil 20kV [m]
WEA 1	517.9	101.5	189.6	91.5
WEA 2	238.5	101.5	227.0	91.5
WEA 4 NEU	261.4	101.5	243.6	91.5

Die minimal zugelassenen horizontalen Abstände werden für alle WEA deutlich überschritten. Dabei wurde davon ausgegangen, dass die Montageflächen sich auf der den



Freileitungen jeweils abgewandten Seite befinden bzw. genügend Abstand aufweisen. Entsprechend wurde  $a_{\text{raum}} = 0$  angenommen. Es ist auf entsprechende Ausrichtung der Montageflächen zu achten.

### 3 Untersuchungsergebnisse

**Tabelle 3:** Kürzeste (lotrechte) Abstände (in [m] und in Rotordurchmesser [D]) der WEA zu den äußeren Leiterseilen

WEA	Horizontaler Abstand Turmachse – Leiterseil <u>110kV</u>		Horizontaler Abstand Turmachse – Leiterseil <u>20kV</u>	
	[m]	[D]	[m]	[D]
WEA 1	517.9m	3.2D	189.6m	1.2D
WEA 2	238.5m	1.5D	227.0m	1.4D
WEA 4 NEU	261.4m	1.6D	243.6m	1.5D

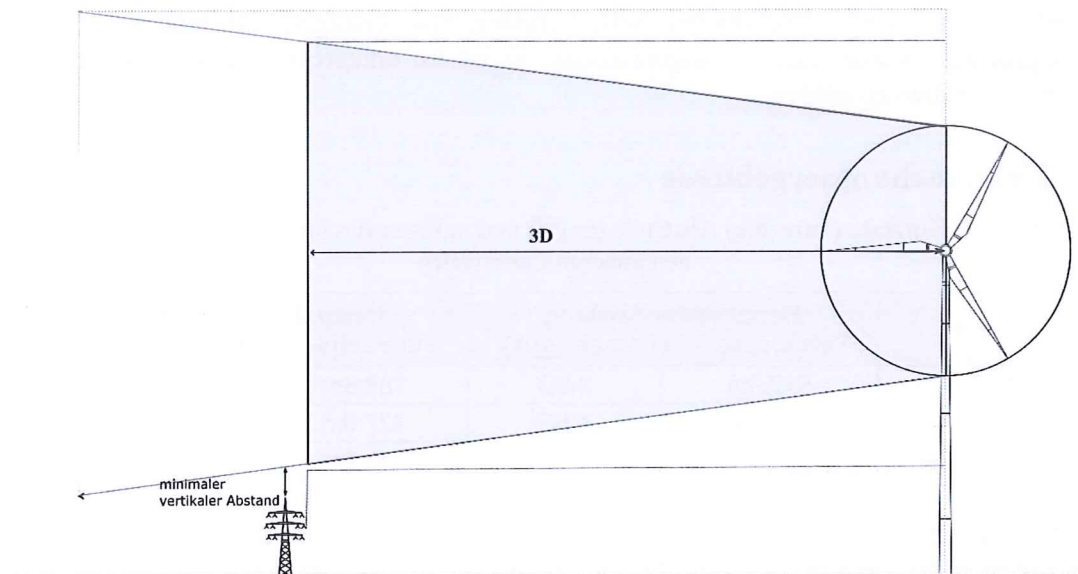
Mit Ausnahme der WEA 1 (110kV-Leitung) unterschreiten die Abstände den in [1] geforderten Mindestabstand von 3D, unterhalb dessen Schwingungsschutzmaßnahmen gefordert werden, wenn nicht sichergestellt ist, dass die Freileitung sich außerhalb der Nachlaufströmung (Wake) der WEA befindet (Siehe **Tabelle 3**).

Um einen schädigenden Einfluss der WEA auf die Leiterseile auszuschließen, muss nach DIN EN 50341-2-4 [1] die Höhe der Nachlaufströmung innerhalb eines Abstandes von drei Rotordurchmessern (3 D, unter Berücksichtigung der Exzentrizität der WEA) zwischen Turmachse und den Leiterseilen oberhalb der Leiterseile liegen. Dabei muss ein Winkelbereich von  $\pm 45^\circ$  bezogen auf den kürzesten Abstand zwischen WEA und Leiterseilen berücksichtigt werden.

Zur Ermittlung des vertikalen Abstandes zwischen der Nachlaufströmung der WEA und dem Freileitungsseil wurde entsprechend [1] das Nachlaufströmungsmodell nach Jensen mit einem konservativen Wake-Parameter von 0,1 eingesetzt. Das entspricht einem halben Öffnungswinkel des Kegels der Nachlaufströmung von  $5.7^\circ$ . Die Nachlaufströmung folgt zwar groben Geländestrukturen, nicht aber feinen. Deshalb werden zwei Grenzfälle betrachtet:

1. Die Strömung folgt der Horizontalen bezüglich NN.
2. Die Strömung folgt dem Bodenprofil gemessen über Grund (alle Masten stehen auf einer virtuellen Ebene, die Nachlaufströmung ist parallel zu dieser Ebene).

Für die Berechnung des vertikalen Abstandes wurde die konservative Annahme gemacht, dass die Leiterseile ideal straff gespannt sind. In Wirklichkeit beträgt der minimale Durchhang mehrere Meter. Als weitere konservative Annahme wurde im gesamten betrachteten Winkelbereich der Wake die maximale Höhe der betreffenden Leiterseile betrachtet. Die zu berücksichtigenden Masten sind in **Abbildung 4** dargestellt.



**Abbildung 3:** Beispielhafter vertikaler Schnitt durch den Kegel der Nachlaufströmung einer Windenergieanlage mit minimalem vertikalem Abstand zur Freileitung.

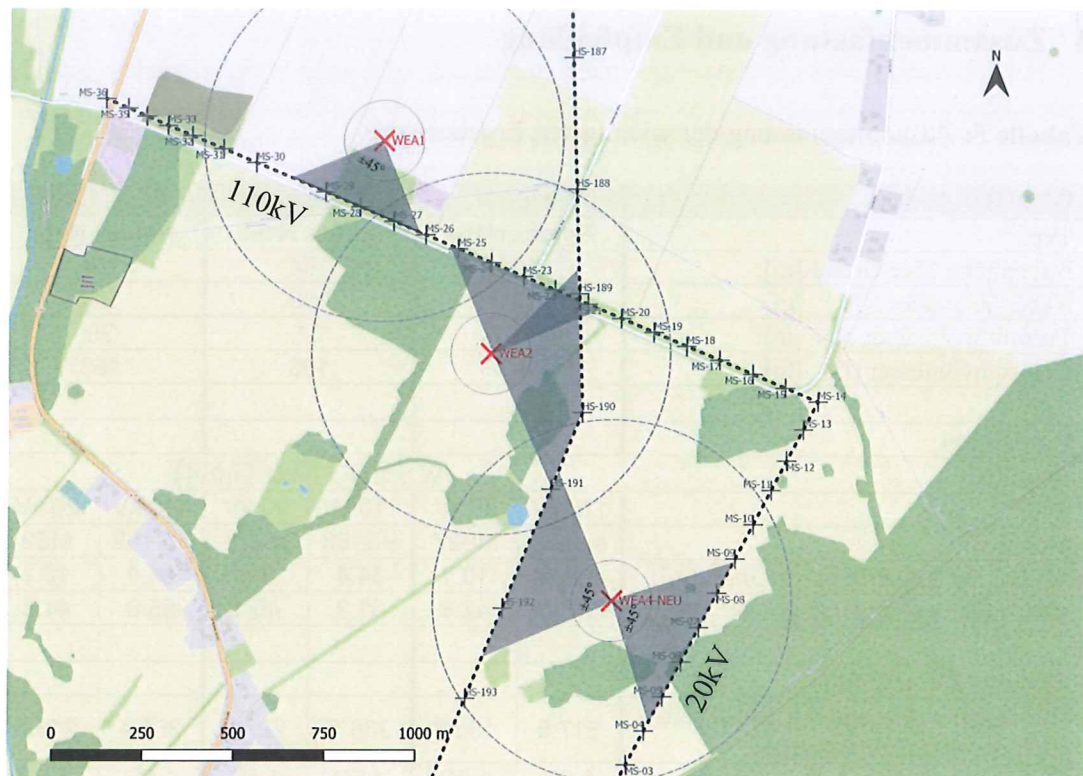
Die Differenz der Höhe der Wake zur Höhe der Freileitungsseile ist der **vertikale Abstand** zwischen der Nachlaufströmung und den Freileitungsseilen.

**Tabelle 4:** Minimaler vertikaler Abstand der Wake zu den Freileitungen im Radius 3D innerhalb der  $\pm 45^\circ$  Anströmung (siehe **Abbildung 4**).

WEA	Bezeichnung der relevanten Freileitungsmasten im Radius 3D unterhalb $45^\circ$ Anströmung	Minimaler vertikaler Abstand der Wake zum Leiterseil (110kV) [NN]	Minimaler vertikaler Abstand der Wake zum Leiterseil (110kV) [Grund]	Minimaler vertikaler Abstand der Wake zum Leiterseil (20kV) [NN]	Minimaler vertikaler Abstand der Wake zum Leiterseil (20kV) [Grund]
WEA 1	MS26 bis MS30	entfällt	entfällt	42.6 m	45.3 m
WEA 2	HS188 bis HS191 MS20 bis MS26	17.1 m	13.0 m	41.0 m	40.0 m
WEA 4 NEU	HS190 bis HS193 MS4 bis MS9	18.2 m	9.8 m	32.0 m	37.7 m

Im ungünstigsten Fall beträgt der Abstand also 9.8 m. **Die Freileitungsseile sind damit im Bereich von drei Rotordurchmessern und einem Winkelbereich der Anströmung von  $\pm 45^\circ$  (in Bezug auf den kürzesten Abstand von WEA zu Freileitung) außerhalb der Nachlaufströmung der betrachteten WEA.**





**Abbildung 4:** Zu berücksichtigende Masten im 3D-Umkreis der WEA innerhalb des Anströmwinkels von  $\pm 45^\circ$  (graue Flächen) bezogen auf den kürzesten Abstand WEA-Freileitung.



## 4 Zusammenfassung und Empfehlung

**Tabelle 5:** Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

WEA Bezeichnung:	WEA1		WEA2		WEA 4 Neu	
Typ:	Nordex N163		Nordex N163		Nordex N163	
Nabenhöhe über Grund [m]:	164		164		164	
Nabenhöhe über NN [m]:	194		195		193	
Turmfußhöhe über NN [m]:	30		31		29	
Rotordurchmesser (D) [m]:	163		163		163	
<b>Freileitung</b>						
Betreiber:	WEMAG Netz GmbH					
Typ:	110 kV	20 kV	110 kV	20 kV	110 kV	20 kV
Mast Nr.:	entfällt	MS27	HS188	MS23	HS192	MS9
Max. Höhe Leiterseil über Grund[m]:	entfällt	10.1	34.4	10.1	34.4	10.1
Max. Höhe Leiterseil über NN [m]:	entfällt	42.8	61.3	40.1	55.0	44.8
<b>Horizontale Abstände</b>						
Horizontaler Abstand des Außenseils zur Turmmitte der WEA [m]:	517.9	189.6	238.5	227.0	261.4	243.6
	3.2D	1.2D	1.5D	1.4D	1.6D	1.5D
Horizontaler Abstand des Außenseils zur Turmmitte bei 45° Anströmung[m]	732.4	268.1	337.3	321.0	369.7	344.5
	4.5 D	1.7 D	2.1 D	2.0 D	2.3 D	2.1 D
<b>Vertikale Abstände</b>						
Nachlaufströmung/Freileitungsseil im Radius 3D innerhalb ±45° Anströmung						
1) über NN [m]	entfällt	42.6	17.1	41.0	18.2	32.0
2) über Grund [m]	entfällt	45.3	13.0	40.0	9.8	37.7

**Auf Grund der großen Nabenhöhe der WEA und der vergleichsweise niedrigen Höhe der Freileitungssseile steht einer Errichtung der Anlagen am vorgesehenen Ort nichts entgegen, auch wenn der minimale Abstand zwischen der WEA und dem äußeren Freileitungssseil weniger als 3 Rotordurchmesser (D) beträgt. Im ungünstigsten Fall beträgt der vertikale Abstand zwischen Freileitung und WEA-Nachlaufströmung 9.8 m. Die Freileitung liegt also außerhalb der Nachlaufströmung. Der Abstand der WEA zum äußeren Freileitungssseil liegt innerhalb der in DIN EN 50341-2-4 [1] zugelassenen Toleranzen.**

Eine Beeinträchtigung der Lebensdauer des Freileitungssseils ist durch die Nachlaufströmung während des Betriebs der WEA nicht zu erwarten. **Auf Schwingungsschutzmaßnahmen kann gemäß EN 50341 verzichtet werden.**

Bei den Ergebnissen ist zu berücksichtigen, dass bei sämtlichen eingegangenen Größen konservative Annahmen getroffen wurden, dementsprechend sind auch die Ergebnisse als sehr konservativ einzuschätzen.



## 5 Erläuterungen zu den Ergebnissen

### **Hinweis:**

**Für die erhaltenen und verwendeten Eingangsgrößen der Berechnungen sowie die Berechnungsergebnisse übernimmt die Overspeed GmbH & Co. KG keine Gewähr. Eine Haftung für eventuell auftretende Folgeschäden schließen wir aus. Die Overspeed GmbH & Co. KG gewährleistet jedoch eine sorgfältige und fachgerechte Bearbeitung nach dem heutigen Stand der Technik und den einschlägigen Vorschriften und Richtlinien.**

**Overspeed GmbH & Co. KG  
Marie-Curie-Str. 1  
26129 Oldenburg**

**Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichts ist nur mit einer schriftlichen Genehmigung der Overspeed GmbH & Co. KG erlaubt.**



## 6 Quellen

- [1] VDE: *DIN EN 50341-2-4: Freileitungen über AC 1 kV*. Deutsche Norm, September 2019
- [2] Windpark-Übersichtskarte, Anhang zur Email von Enerkraft, T. Kompa vom 08.08.2019, "20190808 WP Boizenburg Übersichtskarte 1\_10.000.pdf".
- [3] Parkauslegung und Typen der WEA, Anhang der Email von Enerkraft, T. Kompa vom 08.08.2019, „20190808 WP Boizenburg WEA 1,2,4neu und UKA\_Komplett.pdf“.
- [4] Informationen zum Mittelspannungsnetz, aus Email von WEMAG Netz GmbH, R. Haker an Enerkraft, T. Kompa, 26.08.2019.
- [5] Mastdaten der WEMAG Netz GmbH 110-kV-Leitung, Anhang zur Email von WEMAG Netz GmbH, R. Haker an Enerkraft, T. Kompa vom 30.08.2019, „LP\_M186-M190.pdf“ und „LP\_M190-M196.pdf“.



## 7 Anhang

### 7.1 Koordinaten der Freileitungsmasten

**Tabelle 6:** Koordinaten und Höhen der Masten der 110 kV-Hochspannungsfreileitung der WEMAG Netz GmbH im Windpark Boizenburg

Mast Nr.	UTM ETRS89 Z33		Stützpunkthöhe ü. NN [m]	Masthöhe ü. NN [m]	Masthöhe ü. Grund [m]
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]			
HS-186	218425	5927442	23.7	52.8	29.6
HS-187	218435	5927136	28.2	57.8	29.6
HS-188	218447	5926776	30.8	61.3	30.5
HS-189	218456	5926492	27.6	56.9	29.3
HS-190	218466	5926167	30.0	51.0	21.0
HS-191	218381	5925958	24.5	53.7	29.2
HS-192	218248	5925634	20.6	55.0	34.4
HS-193	218146	5925388	20.0	50.0	30.0
HS-194	218048	5925149	16.5	46.5	30.0
HS-195	217935	5924873	18.2	48.2	30.0



**Tabelle 7:** Koordinaten und Höhen der Masten der 20 kV-Hochspannungsfreileitung der WEMAG Netz GmbH im Windpark Boizenburg

Mast Nr.	UTM ETRS89 Z33		Stützpunkthöhe ü. NN [m]	Masthöhe ü. NN [m]	Masthöhe ü. Grund [m]
	Rechtswert [m]	Hochwert [m]			
MS-1	218490	5925018	26.7	36.8	10.1
MS-2	218540	5925113	27.6	37.7	10.1
MS-3	218590	5925208	27.1	37.2	10.1
MS-4	218639	5925300	26.4	36.5	10.1
MS-5	218689	5925393	25.0	35.1	10.1
MS-6	218740	5925488	30.0	40.1	10.1
MS-7	218788	5925582	30.0	40.1	10.1
MS-8	218838	5925676	30.5	40.6	10.1
MS-9	218887	5925769	34.7	44.8	10.1
MS-10	218936	5925863	40.1	50.2	10.1
MS-11	218985	5925956	45.8	55.9	10.1
MS-12	219027	5926036	50.0	60.1	10.1
MS-13	219073	5926121	49.7	59.8	10.1
MS-14	219112	5926197	47.1	57.2	10.1
MS-15	219023	5926234	45.0	55.1	10.1
MS-16	218933	5926272	42.2	52.3	10.1
MS-17	218842	5926310	35.9	46.0	10.1
MS-18	218751	5926348	32.5	42.6	10.1
MS-19	218661	5926386	30.0	40.1	10.1
MS-20	218571	5926424	28.3	38.4	10.1
MS-21	218480	5926462	27.1	37.2	10.1
MS-22	218389	5926501	28.3	38.4	10.1
MS-23	218302	5926538	30.0	40.1	10.1
MS-24	218212	5926575	30.0	40.1	10.1
MS-25	218120	5926613	30.0	40.1	10.1
MS-26	218031	5926651	30.0	40.1	10.1
MS-27	217943	5926688	32.7	42.8	10.1
MS-28	217851	5926727	30.0	40.1	10.1
MS-29	217755	5926768	30.1	40.2	10.1
MS-30	217565	5926848	29.0	39.1	10.1
MS-31	217474	5926886	29.1	39.2	10.1
MS-32	217388	5926921	26.5	36.6	10.1
MS-33	217321	5926949	22.6	32.7	10.1
MS-34	217262	5926974	19.5	29.6	10.1
MS-35	217211	5926996	17.4	27.5	10.1