

|                                     |
|-------------------------------------|
| <b>16.1.1 Standorte der Anlagen</b> |
|-------------------------------------|

| Betriebsinterne<br>Bezeichnung<br>der Anlage | ETRS-89/UTM<br>Koordinaten |          | WGS-84-Koordinaten     |           |                   |                        |           |                  | Gemarkung | Flur | Flurstücke       | Richtfunk-<br>strecke<br>verläuft<br>durch den<br>Einflussbe-<br>reich<br>der Anlage | AZ<br>/Vorgangsnr.<br>der Bundes-<br>netzagentur<br>zur Voranfrage<br>"Mögliche<br>Richtfunkbe-<br>einträchtigung" |
|----------------------------------------------|----------------------------|----------|------------------------|-----------|-------------------|------------------------|-----------|------------------|-----------|------|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                              |                            |          | Breitengrad (Latitude) |           |                   | Längengrad (Longitude) |           |                  |           |      |                  |                                                                                      |                                                                                                                    |
|                                              | Ostwert                    | Nordwert | Grad °                 | Minuten ' | Sekunden " (Nord) | Grad °                 | Minuten ' | Sekunden " (Ost) |           |      |                  |                                                                                      |                                                                                                                    |
| 1                                            | 2                          | 3        | 4                      | 5         | 6                 | 7                      | 8         | 9                | 10        | 11   | 12               | 13                                                                                   | 14                                                                                                                 |
| WEA ROHN01.1 und ROHN02.1                    |                            |          |                        |           |                   |                        |           |                  |           |      |                  | <input type="checkbox"/>                                                             |                                                                                                                    |
| ROHN01.1<br>Vestas V162-6,0 MW 169 m NH      |                            |          | 51                     | 13        | 15.36             | 10                     | 51        | 41.61            | Rohnstedt | 5    | 198/181          | <input type="checkbox"/>                                                             |                                                                                                                    |
| ROHN02.1<br>Vestas V172-7,2 MW 175 m NH      |                            |          | 51                     | 13        | 19.91             | 10                     | 52        |                  | Rohnstedt | 6    | 361/192, 469/192 | <input type="checkbox"/>                                                             |                                                                                                                    |

**16.1.2 Raumordnung/Zielabweichung/Regionalplanung**

Die beantragten WEA befinden sich in dem Windvorranggebiet Vorranggebiete W-17 Kutzleben des 2. Entwurf des sachlichen Teilplans Windenergie des Regionalplans Mittelthüringen.

Anlagen:

- W-17\_Kutzleben.pdf

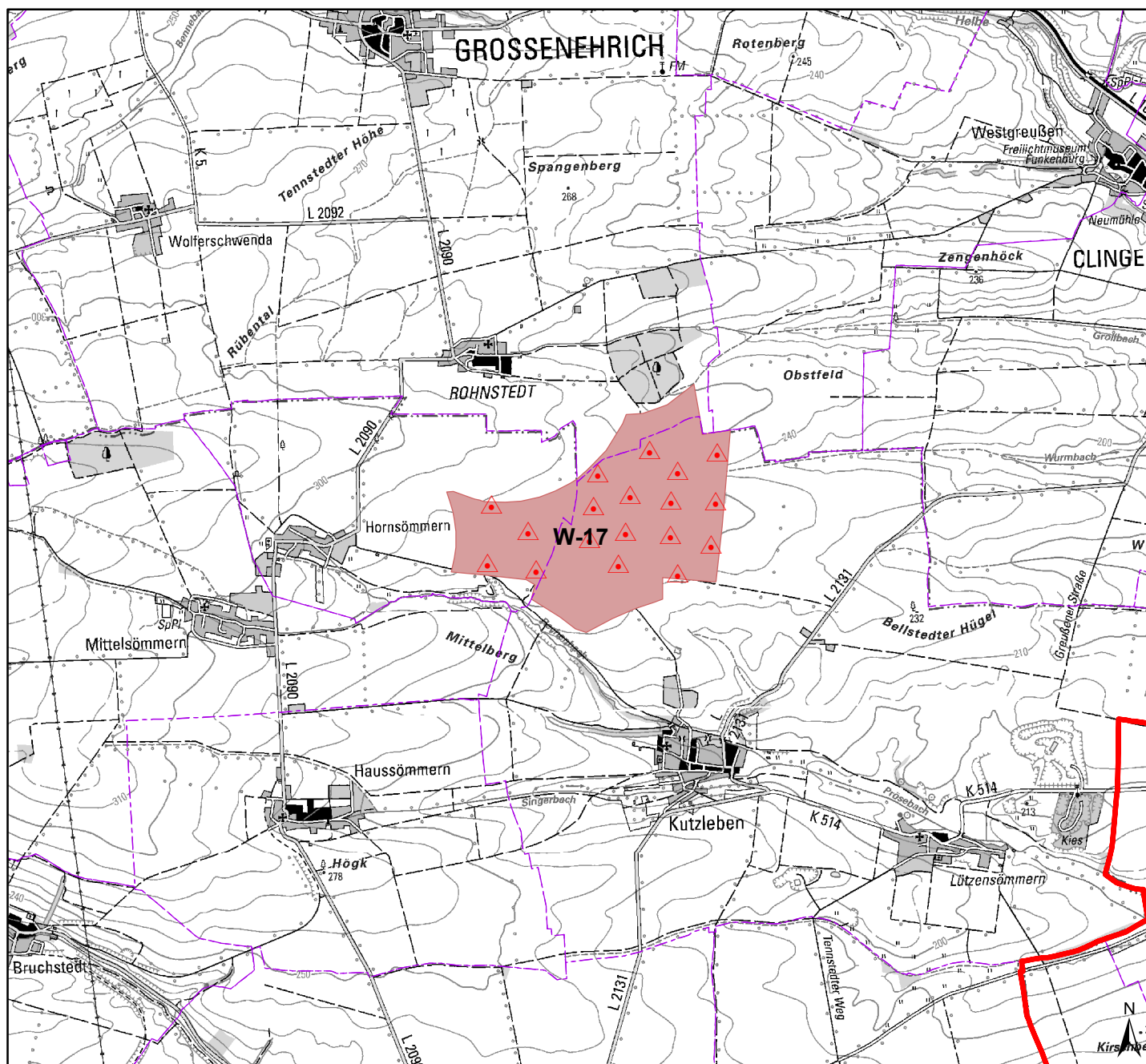
# Sachlicher Teilplan Windenergie Nordthüringen

## Karten der Vorranggebiete Windenergie





PV - Beschluss Nr. 26/04/2022 vom 13.07.2022

### Karte 3-2-17 Vorranggebiete Windenergie

#### W-17 Kutzleben



#### Legende

-  Vorranggebiet (gem. Z 3-4)
-  Windenergieanlage (Bestand, bestätigte Planung und erteilte Vorbescheide)  
(nachrichtliche Übernahme, Quelle: Digitales Raumordnungskataster TLVwA, Ref. 340)
-  Grenze der Planungsregion Nordthüringen
-  Gemeindegrenze

**16.1.3 Sicherheitstechnische Einrichtungen und Vorkehrungen**

siehe Anhänge

- Herstellerangabe: Eiserkennung Vestas
- Herstellerangabe: Blitzschutz Vestas

Anlagen:

- 0049-7921\_15-DE\_Allgemeine\_Spezifikation\_Vestas\_Eiserkennung\_\_VID\_.pdf
- 0055-4406\_8-DE\_Allgemeine\_Spezifikation\_VLD\_Vestas\_Blitzerkennungssystem.pdf
- 0077-8468\_5-DE\_Blitzschutz\_und\_elektromagnetische\_Vertr\_glichkeit\_EnVentus\_\_0077-8468\_.pdf

Eingeschränkte Weitergabe  
Dokumentennr.: 0049-7921 V15  
13. Oktober 2022

# Allgemeine Spezifikation

## Vestas Eiserkennungssystem (VID)

V162/V172 – 7.2 MW 50/60 Hz



## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                             |          |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>1</b> | <b>Referenzen .....</b>                                                     | <b>3</b> |
| <b>2</b> | <b>Allgemeine Beschreibung .....</b>                                        | <b>4</b> |
| <b>3</b> | <b>Mechanische Konstruktion .....</b>                                       | <b>5</b> |
| 3.1      | Rotorblätter .....                                                          | 5        |
| 3.2      | NABE .....                                                                  | 5        |
| <b>4</b> | <b>Elektrisches System .....</b>                                            | <b>5</b> |
| 4.1      | Stromversorgung .....                                                       | 5        |
| 4.2      | Elektrische Daten des VID-Systems .....                                     | 5        |
| 4.3      | Unterbrechung der Stromversorgung .....                                     | 5        |
| <b>5</b> | <b>WEA-Schutzsysteme .....</b>                                              | <b>6</b> |
| 5.1      | Blitzschutz von Rotorblättern, Maschinenhaus, Rotorblattnabe und Turm ..... | 6        |
| 5.2      | EMV-System .....                                                            | 6        |
| <b>6</b> | <b>Betriebsstrategie, Betriebsbereich und Leistungsmerkmale .....</b>       | <b>6</b> |
| 6.1      | Aktivierung des VID-Systems .....                                           | 6        |
| 6.2      | Betriebsstrategie .....                                                     | 6        |
| 6.3      | Über VestasOnline® SCADA verfügbare Daten .....                             | 7        |
| <b>7</b> | <b>Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse .....</b>   | <b>8</b> |

**Siehe allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse (einschließlich Abschnitt 7 Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse) der vorliegenden allgemeinen Spezifikation**

## 1 Referenzen

| Ref. | Dokumenttitel                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| [1]  | 13. Windenergieprojekte in kalten Klimagebieten. IEA Wind – Studie der Expertengruppe zu empfohlenen Maßnahmen, 22. Mai 2012                                                                                                                                                         |
| [2]  | RISK ANALYSIS OF ICE THROW FROM WIND TURBINES<br>(Risikoabschätzung des Eisabwurfs von Windenergieanlagen). Henry Seifert u. a., DEWI, Deutsches Windenergie-Institut GmbH                                                                                                           |
| [3]  | 0047-7240 „GL75172_BR_BLADEControl_Vestas_GA“ von Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH                                                                                                                                                                                        |
| [4]  | „MERKBLATT für Vorhaben zur Errichtung von Windenergieanlagen hinsichtlich immissionsschutzrechtlicher und arbeitsschutzrechtlicher Anforderungen an die Antragsunterlagen in Genehmigungsverfahren nach dem BImSchG“ von Struktur- und Genehmigungsdirektion Nord, Rheinland-Pfalz. |
| [5]  | 0050–7583 V01 Beschreibung des Weidmüller-Eiserkennungssystems                                                                                                                                                                                                                       |

## 2 Allgemeine Beschreibung

Bei dem optionalen Vestas Eiserkennungssystem (VID) handelt es sich um ein vollständig in die Windenergieanlage integriertes System, das den Anlagenbetrieb (Stromerzeugung) unterbricht, wenn sich auf den Rotorblättern eine Eisschicht bildet (Eisansatz) und bestimmte weitere Bedingungen erfüllt sind. Dies dient zur Verringerung der Gefahr von Eisabwurf [2]. Erst wenn die Vereisung beseitigt ist, geht die Windenergieanlage wieder in Betrieb oder kann manuell wieder in Betrieb gesetzt werden.

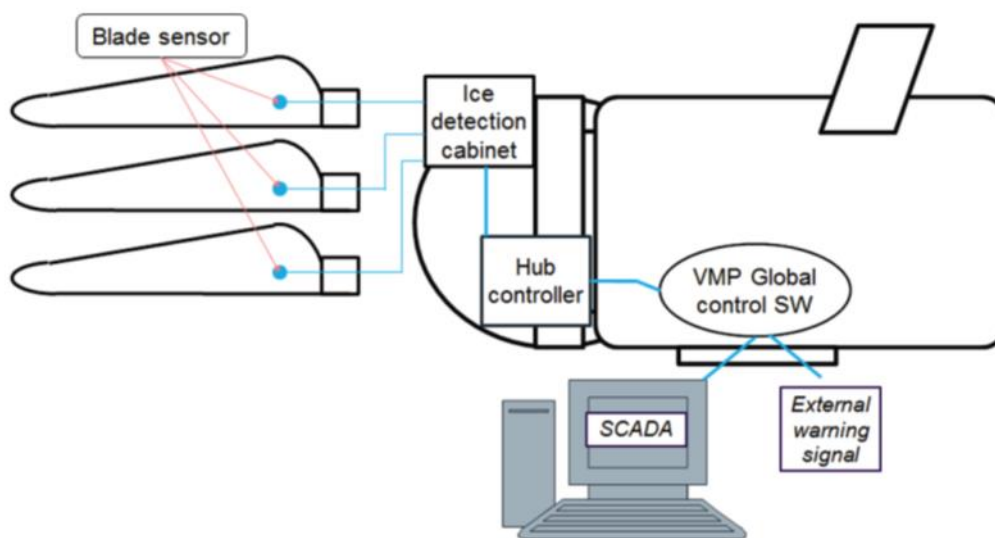


Abb. 1 Systemübersicht

Das VID-System besteht aus zwei Beschleunigungsmessern in jedem Rotorblatt, die mit einem in der Nabe angeordneten Schaltschrank (Schaltschrank der Eiserkennung) verbunden sind, der seinerseits mit der Nabensteuerung der Windenergieanlage verbunden ist.

Der Rotorblattsensor misst die Schwingungsfrequenzen des Rotorblatts, diese werden vom System überwacht. Eisansatz verändert die Grundfrequenzen.

Das System liefert Daten zum Eisansatz und unterbricht den Anlagenbetrieb (Stromerzeugung), sobald bestimmte Bedingungen erfüllt sind. In erster Linie muss der in [5] festgelegte Schwellenwert für den Eisansatz überschritten sein und die Temperatur weniger als 5 °C betragen.

Eisabwurf findet statt, wenn durch die Fliehkraft Eis von den Rotorblättern geschleudert wird, Eissturz hingegen, wenn die WEA stillsteht. Als Drehung gilt  $> 2$  U/min.

Die Daten des Schaltschranks des Eiserkennungssystems werden an die WEA-Steuerung übertragen.



Das Vestas Eiserkennungssystem (VID) leitet nach erfolgreicher Inbetriebnahme automatisch eine Kalibrierung ein, um das Vestas Eiserkennungssystem an die spezifische Windenergieanlage anzupassen. Die Kalibrierung läuft normalerweise zwei Tage lang im Hintergrund, bis sie vollständig durchgeführt wurde. Nach diesem Zeitraum ist das Vestas Eiserkennungssystem vollständig einsatzbereit. Die normale Kalibrierung kann nur bei einer Umgebungstemperatur von über +5 °C durchgeführt werden. Falls eine Kalibrierung erforderlich ist, die Temperaturen jedoch unter 5 °C liegen, muss gemeinsam mit dem Lieferanten des Vestas Eiserkennungssystems eine manuelle Kalibrierung durchgeführt werden.

### 3 Mechanische Konstruktion

#### 3.1 Rotorblätter

Die Versionen der Standardrotorblätter für die VID sind V105/112/V117/V126/V136 /V150 und V150/V162/V172.

#### 3.2 NABE

Der Schaltschrank der Eiserkennung ist innerhalb der NABE angeordnet und mit dem Steuerschrank der NABENSTEUERUNG sowie mit den Sensoren in den Rotorblättern verbunden.

### 4 Elektrisches System

Das VID-System ist optional und basiert auf der standardmäßigen Elektrik der Windenergieanlage.

#### 4.1 Stromversorgung

Das VID-System wird mit 24 V DC aus dem Steuerschrank der NABENSTEUERUNG versorgt. Siehe auch Abbildung 1.

#### 4.2 Elektrische Daten des VID-Systems

| Elektrische Daten des VID-Systems     |        |
|---------------------------------------|--------|
| Versorgungsspannung                   | 24 VDC |
| Nenn-Energieverbrauch des VID-Systems | <21 W  |

Tabelle 1: Elektrische Daten des VID-Systems

#### 4.3 Unterbrechung der Stromversorgung

Die Stromversorgung kann durch Abziehen des Steckers in der Nabensteuerung unterbrochen werden.

## 5 WEA-Schutzsysteme

### 5.1 Blitzschutz von Rotorblättern, Maschinenhaus, Rotorblattnabe und Turm

Die VID-Sensoren sind nahe der Blattwurzel angebracht, um die Wahrscheinlichkeit eines Blitzeinschlags in das Rotorblatt zu minimieren.

### 5.2 EMV-System

Das VID-System erfüllt die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) genau wie die Windenergieanlage.

Die Integration des VID-Systems in die folgenden Windenergieanlagen entspricht den Anforderungen der DNV-GL-Richtlinie [3] und des Merkblatts [4].

## 6 Betriebsstrategie, Betriebsbereich und Leistungsmerkmale

### 6.1 Aktivierung des VID-Systems

Während der Installation des Vestas Eiserkennungssystems verbindet der Monteur seinen PC mit dem Schaltschrank der Eiserkennung und konfiguriert das System. Bis zum Abschluss der Inbetriebnahme ist eine Kalibrierung des VID-Systems pro Windenergieanlage erforderlich, da das Rotorschwingungsmuster einzigartig ist. Die Kalibrierung läuft normalerweise einige Tage lang im Hintergrund, bis sie vollständig abgeschlossen ist. Nach Ablauf des Kalibrierungszeitraums kann die endgültige Inbetriebnahme des VID-Systems erfolgen.

Die automatische Kalibrierung kann nur bei einer Umgebungstemperatur von über +5 °C durchgeführt werden. Bei einer Umgebungstemperatur unter +5 °C muss eine manuelle Kalibrierung mit Unterstützung von Weidmüller durchgeführt werden, was zusätzliche Kosten verursacht. In diesem Fall muss der Rotor manuell auf Eisbildung überprüft werden. Nach Erfassung eines ausreichenden Datenbestands und der manuellen Prüfung ist der Kalibrierungszeitraum abgeschlossen und die endgültige Inbetriebnahme des Vestas Eiserkennungssystems kann erfolgen. Dabei wird die automatische Erkennung aktiviert.

### 6.2 Betriebsstrategie

Die Betriebsstrategie des VID-Systems beruht im Wesentlichen auf der kontinuierlichen Messung von Eis. Eisansatz an den Rotorblättern (jenseits des Schwellenwerts) und bestimmte weitere Parameter einschließlich Temperaturen unter 5 °C lösen eine Abschaltung der Windenergieanlage (Stromerzeugung) aus. Das Eiserkennungssystem setzt die Messungen an den Rotorblättern fort. Sobald kein Eis mehr erkannt wird (Unterschreitung des Schwellenwerts), nimmt die Windenergieanlage den Betrieb wieder auf. Der Schwellenwert ist einstellbar, alle Änderungen werden entsprechend protokolliert.

Es stehen zwei Konfigurationsvarianten für die Eiserkennung zur Verfügung:

1. Variante Eis-Alarm/Eis-Sicherheitsstopp

Wenn das VID-System Eis erkennt oder nicht in der Lage ist, den Eisansatz zu messen (etwa aufgrund eines Systemausfalls), wird die Windenergieanlage abgeschaltet, sobald die Temperatur unter 5 °C sinkt.

Diese Konfiguration bietet drei Modi, die definieren, wie die Windenergieanlage nach einem Alarm neu gestartet wird, d. h. *automatisch, manuell aus der Ferne* oder *manuell vor Ort*.

2. Variante Eis-Warnung.

Wenn das VID-System Eis erkennt oder nicht in der Lage ist, den Eisansatz zu messen (etwa aufgrund eines Systemausfalls), sendet es eine Warnmeldung.

Diese Variante ist nicht in der Lage, die WEA abzuschalten.

Eine optionale E/A-Lösung für den Benutzer ist verfügbar, um ein 24-VDC-Signal in der Turmsteuerung bereitzustellen. Das 24-VDC-Signal wird auf niedrig gesetzt, wenn das VID Eis auf den Rotorblättern feststellt. Das E/A-Signal kann verwendet werden, um eine externe Auslösevorrichtung (Warnton, Licht usw.) anzuschließen, wenn das VID Eis auf den Rotorblättern feststellt. Die Benutzer-EO-Lösung für den Turmschaltschrank ist als Option für 4-MW-Windenergieanlagen erhältlich und in verschiedenen Versionen der EnVentus-Turmsteuerung erhältlich.

## 6.3 Über VestasOnline® SCADA verfügbare Daten

Die folgenden Daten sind über SCADA verfügbar:

- Ausfallzeit infolge von Eisansatz [hh:mm:ss]
- Produktionsausfall infolge von Eisansatz [kWh]
- Daten zum Eisansatz

## 7 Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse

- © 2015 Vestas Wind Systems A/S. Dieses Dokument wurde von Vestas Wind Systems A/S und/oder einer der Tochtergesellschaften des Unternehmens (Vestas) erstellt und enthält urheberrechtlich geschütztes Material, Marken und andere geschützte Informationen. Alle Rechte vorbehalten. Das Dokument darf ohne vorherige schriftliche Erlaubnis durch Vestas Wind Systems A/S weder als Ganzes noch in Teilen reproduziert oder in irgendeiner Weise oder Form – sei es grafisch, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopien, Bandaufzeichnungen oder mittels Datenspeicherungs- und Datenzugriffssystemen – vervielfältigt werden. Die Nutzung dieses Dokuments über den ausdrücklich von Vestas Wind Systems A/S gestatteten Umfang hinaus ist untersagt. Marken-, Urheberrechts- oder sonstige Vermerke im Dokument dürfen nicht geändert oder entfernt werden.
- Die allgemeinen Spezifikationen, die in diesem Dokument beschrieben werden, gelten für die aktuelle Version des VID-Systems. Neuere Versionen des VID-Systems, die ggf. zukünftig hergestellt werden, haben unter Umständen hiervon abweichende allgemeine Spezifikationen. Falls Vestas dem Empfänger eine neuere Version des VID-Systems liefern sollte, wird das Unternehmen dem Empfänger hierzu eine aktualisierte allgemeine Spezifikation für das VID-System bereitstellen.
- Dieses Dokument, die allgemeine Spezifikation, stellt kein Verkaufsangebot dar und enthält keinerlei ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistungen, Garantien, Versprechen, Verpflichtungen und/oder Zusicherungen von Vestas. Diese werden hiermit ausdrücklich von Vestas ausgeschlossen, es sei denn, es liegt eine ausdrückliche schriftliche Zusicherung von Vestas gegenüber dem Empfänger vor.
- Bilder und Illustrationen im vorliegenden Dokument können von der tatsächlichen Ausführung/Bauweise abweichen.
- Die Windenergieanlage muss an das Stromnetz angeschlossen und eingeschaltet sein, damit das VID-System betrieben werden kann.
- Das VID-System trägt zur Minderung der Gefahr von Eiswurf bei, ist jedoch nicht für die Minderung der Gefahr von Eissturz oder Eisabfall und/oder Eissturz vorgesehen. Sollte der Empfänger das System für solche Zwecke benutzen oder sich diesbezüglich darauf verlassen, tut er dies auf eigene Gefahr. Die Gefahr von Eiswurf oder Eisabfall infolge des Betriebs der Windenergieanlage und des VID-Systems liegt in der alleinigen Verantwortung des Kunden. Die tatsächlichen Standortbedingungen weisen viele Variablen auf, entsprechend kann die Vereisung in unterschiedlichen Formen auftreten (z. B. Eisstürme oder Vereisung durch Reifansatz). Diese Unterschiede können sich je nach eingestelltem Schwellenwert auf die Leistung des VID-Systems auswirken.
- Angaben zur Verfügbarkeit sind der Betriebs- und Wartungsvereinbarung zu entnehmen.

Eingeschränkte Weitergabe  
Dokumentennr.: 0055-4406 V08  
12.07.2023

# Allgemeine Spezifikation

## VLD Vestas Blitzerkennungssystem

V100/V110/V116/V120 – 2.0/2.2 MW 50/60 Hz  
V105/V112/V126/V136 – 3.45/3.6 MW 50/60 Hz  
V117 – 4.0/4.2 MW, V136/V150 – 4.0/4.2/4.5 MW  
V136/V150 – 3.6/4.0/4.2/4.5 MW 50/60 Hz  
V150 – 5.6/6.0 MW 50/60 Hz,  
V162 – 5.6/6.0/6.2 MW 50/60 Hz, V163 – 4.5 MW  
V166 – 4.5 MW, V172 – 6.8/7.2 MW,  
V164/174 8-10 MW, V236 15 MW



Dokumentenhistorie

| Version no. | Date       | Description of changes                                                                                                                                                                                                     |
|-------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 00          | 2015-10-30 | Initial version                                                                                                                                                                                                            |
| 02          | 2017-11-01 | Front page, 1.- General Description – types of turbines were added, where VLD could be used.                                                                                                                               |
| 03          | 2017-12-12 | Front page, 1.- General Description – misprint of turbine´s power was corrected                                                                                                                                            |
| 04          | 2018-02-08 | Front page, 1.- 4.0 MW was added                                                                                                                                                                                           |
| 05          | 2019-01-17 | Front page, 1.- 5.6 MW was added                                                                                                                                                                                           |
| 06          | 2022-09-27 | Front page, 1.-4.5 MW was added                                                                                                                                                                                            |
| 07          | 2023-07-12 | Updated with more detailed specifications and Functional Description. Adding 8-10 MW platform and 15 MW platform.                                                                                                          |
| 08          | 2023-09-29 | Front page, 1.- General Description – types of turbines were added, where VLD could be used.<br>V117-4.5 MW has been removed from the list.<br>V155- 3.3/3.6 MW has been removed as turbine has already been de-activated. |

Inhaltsverzeichnis

|   |                                                                    |   |
|---|--------------------------------------------------------------------|---|
| 1 | Allgemeine Beschreibung .....                                      | 3 |
| 2 | Systemarchitektur.....                                             | 3 |
| 3 | VLD-Spezifikationen .....                                          | 4 |
| 4 | Blitzdaten .....                                                   | 4 |
| 5 | Funktionsbeschreibung .....                                        | 4 |
| 6 | Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse ..... | 5 |



## 1 Allgemeine Beschreibung

Das Vestas Blitzerkennungssystem wurde entwickelt, um Blitzparameter in den Blitzableitern zu messen, und befindet sich abhängig vom Windenergieanlagentyp im Inneren der Rotorblätter oder in der Nabe.

Die Blitzparameter werden von Sensoren gemessen, die in jedem Blatt oder in der Nabe montiert sind, und die Blitzstrom-Daten werden zur weiteren Verarbeitung an die Blitzdatenverarbeitungseinheit übermittelt, die sich in der Nabe befindet.

Verarbeitete Blitzdaten werden der Steuerung der Windenergieanlage und dem SCADA-System über die Steuerung der Windenergieanlage zur Verfügung gestellt (Ethernet/TCP).

Das Vestas-Blitzerkennungssystem (VLD) ist derzeit optional für bestimmte Markversionen von Vestas-Windenergieanlagen erhältlich: V100/V110/V116/V120 2/2.2 MW, V105/V112/V117/V126/V136 3.45/3.6 MW, V117/V136/V150 4.5 MW, V150/V162 5.6 MW, V164/174 8-10 MW, V236 15 MW.

## 2 Systemarchitektur

Die Architektur des Vestas Blitzerkennungssystems (VLD) ist in Abbildung 2-1 dargestellt.

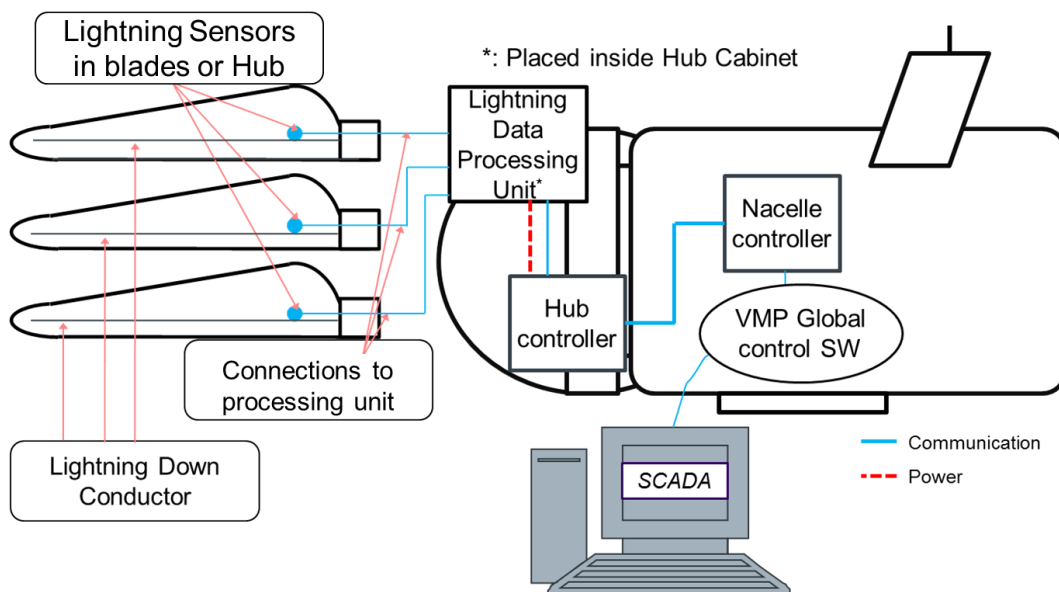


Abbildung 2-1: Darstellung der Architektur des Vestas Blitzerkennungssystems (VLD) mit Sensoren im Blatt.

Die drei Blitzsensoren sind je nach Windenergieanlagentyp neben den Blitzableitern in den Rotorblättern oder in der Nabe angebracht.

Die Blitzsensoren sind an eine Blitzdatenverarbeitungseinheit in der Nabe angeschlossen, die mit dem Kommunikationsnetzwerk der Windenergieanlage verbunden ist, durch das die verarbeiteten Blitzdaten der Steuerung der Windenergieanlage und dem SCADA-System zur Verfügung stehen.

Die Stromversorgung für das Blitzerkennungssystem wird vom USV-System der Windenergieanlage bereitgestellt und gewährleistet, dass das System für einen bestimmten Zeitraum nach Netzausfällen, die gegebenenfalls mit Blitzschlägen einhergehen, mit Strom versorgt wird.

### 3 VLD-Spezifikationen

Das VLD-System hat mindestens die folgenden Spezifikationen:

- Mindeststromerfassungsfrequenz  $\leq 0,5$  Hz
- Maximale Stromerfassungsfrequenz  $\geq 2$  MHz
- Größter messbarer Stromwert  $\geq 250$  kA
- Größter messbarer Stromladungswert  $\geq 600$  C
- Kleinster erfassbarer Stromwert  $\leq 5$  kA
- Kleinster erfassbarer Stromladungswert  $\leq 1$  C
- Beobachtungszeitraum  $\geq 1$  s
- Alarm- und Warnmeldung im gesamten Messbereich einstellbar für maximalen Strom und Ladung.

### 4 Blitzdaten

Nach Blitzeinschlägen stellt die Blitzdatenverarbeitungseinheit mindestens die folgenden Daten zur Verfügung:

- Zeitstempel für Blitzereignis
- Maximale Blitzstromamplitude
- Maximales Blitzstromgefälle,  $di/dt$  [kA/ $\mu$ s]
- Blitzladung [C]
- Spezifische Blitzenergie [kJ/ $\Omega$ ]

### 5 Funktionsbeschreibung

Die WEA-Steuerung kommuniziert kontinuierlich mit dem Blitzerkennungssystem und überwacht, ob das System ordnungsgemäß funktioniert.

Bei Problemen mit den Blitzsensoren, der Verarbeitungseinheit oder der Kommunikation mit dem System löst die Steuerung der Windenergieanlage eine Warnung aus, die das Problem angibt.

Das VLD kann so eingerichtet werden, dass es eine Warnung auslöst, wenn einer der mindestens vier gemessenen Werte eines Blitzschlags, die in Abschnitt 5 aufgeführt sind, einen definierten Schwellwert überschreitet. Wenn ein Alarm eingestellt ist, stoppt die Windenergieanlage automatisch, wenn dieser ausgelöst wird.

Für jeden der gemessenen Blitzwerte kann eine individuelle Warn- und/oder Alarmgrenze eingestellt werden.



### Beispiel:

Eine Warnung kann ausgelöst werden, wenn:

- Maximale Blitzstromamplitude > 10 kA oder
- Blitzladung > 100 As

Ein Alarm kann ausgelöst werden, wenn:

- Maximale Blitzstromamplitude > 50 kA oder
- Blitzladung > 250 As

## 6 Allgemeine Einschränkungen, Hinweise und Haftungsausschlüsse

- © 2022 Vestas Wind Systems A/S. Dieses Dokument wurde von Vestas Wind Systems A/S und/oder einer der Tochtergesellschaften des Unternehmens (Vestas) erstellt und enthält urheberrechtlich geschütztes Material, Marken und andere geschützte Informationen. Alle Rechte vorbehalten. Das Dokument darf ohne vorherige schriftliche Erlaubnis durch Vestas Wind Systems A/S weder als Ganzes noch in Teilen reproduziert oder in irgendeiner Weise oder Form – sei es grafisch, elektronisch oder mechanisch, einschließlich Fotokopien, Bandaufzeichnungen oder mittels Datenspeicherungs- und Datenzugriffssystemen – vervielfältigt werden. Die Nutzung dieses Dokuments über den ausdrücklich von Vestas Wind Systems A/S gestatteten Umfang hinaus ist untersagt. Marken-, Urheberrechts- oder sonstige Vermerke im Dokument dürfen nicht geändert oder entfernt werden.
- Die im vorliegenden Dokument beschriebenen allgemeinen Spezifikationen gelten für die derzeitige Ausführung des VLD-Systems. Neuere Versionen des VLD-Systems, die ggf. zukünftig hergestellt werden, können von der vorliegenden allgemeinen Spezifikation abweichen. Falls Vestas dem Empfänger eine neuere Version des VLD-Systems liefern sollte, wird das Unternehmen dem Empfänger hierzu eine aktualisierte allgemeine Spezifikation für das VLD-System bereitstellen.
- Das vorliegende Dokument, die allgemeine Spezifikation, stellt kein Verkaufsangebot dar, wird dem Empfänger nur zu Informationszwecken bereitgestellt und erzeugt, begründet oder enthält keinerlei ausdrückliche oder stillschweigende Gewährleistungen, Garantien, Versprechen, Zusicherungen, Erklärungen und/oder Verpflichtungen (Zusicherungen) von Vestas. Diese werden hiermit ausdrücklich von Vestas ausgeschlossen, es sei denn, es liegt eine ausdrückliche Zusicherung von Vestas gegenüber dem Empfänger in einem schriftlichen Vertrag und nicht im vorliegenden Dokument vor. Bilder und Illustrationen im vorliegenden Dokument können von der tatsächlichen Ausführung/Bauweise abweichen.
- Die Stromversorgung des VLD muss hergestellt sein, damit das VLD betrieben werden kann.

# Blitzschutz und elektromagnetische Verträglichkeit

Dokumentennr.: 0077-8468 v05

Klassifizierung: EINGESCHRÄNKTE WEITERGABE

Typ: T09

Datum: 30.11.2022

| Windenergieanlagentyp |
|-----------------------|
| EnVentus              |

## Inhaltsverzeichnis

|        |                                                         |    |
|--------|---------------------------------------------------------|----|
| 1      | Abkürzungen und Fachbegriffe .....                      | 2  |
| 2      | Einführung.....                                         | 2  |
| 3      | Blitzschutz.....                                        | 2  |
| 3.1    | Schutzklasse.....                                       | 3  |
| 3.2    | Definition von Blitzschlagpunkten.....                  | 3  |
| 3.3    | Überblick über das Blitzschutzsystem .....              | 5  |
| 3.3.1  | Blitzschlagpunkte .....                                 | 5  |
| 3.4    | Rotorblattschutz .....                                  | 6  |
| 3.5    | Schutz des CoolerTop® .....                             | 7  |
| 3.6    | Hauptlagerschutz .....                                  | 8  |
| 3.7    | Ableitung vom Maschinenhaus zum Turm .....              | 9  |
| 3.8    | Turmkonstruktion .....                                  | 10 |
| 3.9    | Das Ableitungssystem vom Turmfuß zum Erdungssystem..... | 10 |
| 3.10   | Schutz der Elektrik und der Steuerungssysteme .....     | 10 |
| 3.11   | Erdungssysteme .....                                    | 11 |
| 3.11.1 | Onshore-Windenergieanlage .....                         | 11 |
| 3.11.2 | Offshore-Windenergieanlage .....                        | 13 |
| 3.12   | Verifizierung .....                                     | 15 |
| 4      | EMV .....                                               | 16 |
| 4.1    | Rechtsvorschriften .....                                | 16 |
| 4.1.1  | Grundlegende EMV-Anforderungen .....                    | 17 |
| 4.2    | Konformität der Windenergieanlagen .....                | 18 |
| 4.3    | Anerkannte Regeln der Technik.....                      | 18 |
| 4.4    | Komponentenübergreifende Konformität.....               | 18 |

## 1 Abkürzungen und Fachbegriffe

Tabelle 1-1: Abkürzungen

| Abkürzung | Erklärung                                             |
|-----------|-------------------------------------------------------|
| EMV       | Elektromagnetische Verträglichkeit                    |
| IEC       | International Electrotechnical Commission             |
| LCTU      | Lightning Current Transfer Units (Blitzstromableiter) |

Tabelle 1-2: Begriffserklärung

| Laufzeit   | Erklärung                                                                                                                                              |
|------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mittelwert | Der arithmetische Durchschnitt einer Reihe von Werten oder Mengen, der durch Division der Summe aller Werte durch die Anzahl der Werte errechnet wird. |

## 2 Einführung

In diesem Dokument werden der Zweck der Bauweise des Blitzschutzsystems sowie der Schutz vor unerwünschten elektromagnetischen Umwelteinwirkungen beschrieben.

EMV und Blitze fallen in dieselbe Kategorie unerwünschter elektromagnetischer Einwirkungen. Die zur Beurteilung der Konformität herangezogenen Normen unterscheiden sich jedoch deutlich. Aus diesem Grund wurde die Themen Blitzschutz und EMV in zwei eigenständige Hauptkapitel aufgeteilt.

## 3 Blitzschutz

Alle Vestas-Windenergieanlagen sind mit einem Blitzschutzsystem ausgestattet, um Schäden an mechanischen Komponenten, Elektrik und Steuerungen möglichst gering zu halten.

Das Vestas-Blitzschutzsystem umfasst äußere und innere Blitzschutzsysteme.

Das äußere Schutzsystem nimmt einen direkten Blitzschlag auf und leitet den Blitzstrom in das Erdungssystem unterhalb des Turms. Beispielsweise zählen der Blitzkontakt an der Rückseite des Maschinenhauses und die Blitzrezeptoren der Blätter zu den äußeren Blitzschutzkomponenten.

Das innere Schutzsystem leitet den Blitzstrom sicher in das Erdungssystem. Außerdem beseitigt es die durch Blitzschlag verursachten magnetischen und elektrischen Induktionsfelder. Beispiele für innere Blitzschutzkomponenten sind EMV/Blitzschutzabdeckungen, abgeschirmte Kabel und Überspannungsschutzgeräte.

Potenzialausgleich und Überspannungsschutz sind die wichtigsten Maßnahmen, um den Schutz der Elektronik in der Windenergieanlage sicherzustellen.

Blitzeinschläge gelten als höhere Gewalt. Das bedeutet, dass Vestas nicht für Schäden durch Blitzeinschläge aufkommt.

### 3.1 Schutzklasse

Vestas-Windenergieanlagen werden weltweit in Küstenbereichen und Berggegenden installiert, in denen die Blitzhäufigkeit groß ist. Um lokale Gefährdungsbeurteilungen zu vermeiden und die unterschiedlichen Blitzschutzanforderungen verschiedener Standorte besser verwalten zu können, hat Vestas ein Standard-Blitzschutzsystem entwickelt, das der höchsten in der Norm IEC 61400-24 Ed. 2 angegebenen Schutzklasse entspricht, wie in [Tabelle Numerische Werte des Blitzstroms, Seite 5](#) angegeben.

Die Schutzklasse 1 entspricht der Norm IEC 61400-24 Ed. 2, d. h. Vestas-Windenergieanlagen sind für Blitzschläge mit hoher Energie ausgelegt.

Tabelle 3-1: Numerische Werte des Blitzstroms

| Blitzparameter               |                    |                      | Schutzklasse 1 |
|------------------------------|--------------------|----------------------|----------------|
| Scheitelwert des Blitzstroms | $I_{\max}$         | [kA]                 | 200            |
| Gesamtladung                 | $Q_{\text{total}}$ | [C]                  | 300            |
| Spezifische Energie          | W/R                | [kJ/ $\Omega$ ]      | 10.000         |
| Durchschnittliche Steilheit  | $di/dt_{30/90\%}$  | [kA/ $\mu\text{s}$ ] | 200            |

### 3.2 Definition von Blitzschlagpunkten

Mit dem „Rollkugelfverfahren“ werden gemäß IEC 61400-24 Ed. 2 Blitzschlagpunkte definiert. Studien haben gezeigt, dass die Blattspitzen und die Wetterstation (und, sofern vorhanden, die Gefahrenfeuer) am hinteren Ende des Maschinenhauses die Bereiche mit der höchsten Blitzschlaggefahr darstellen.

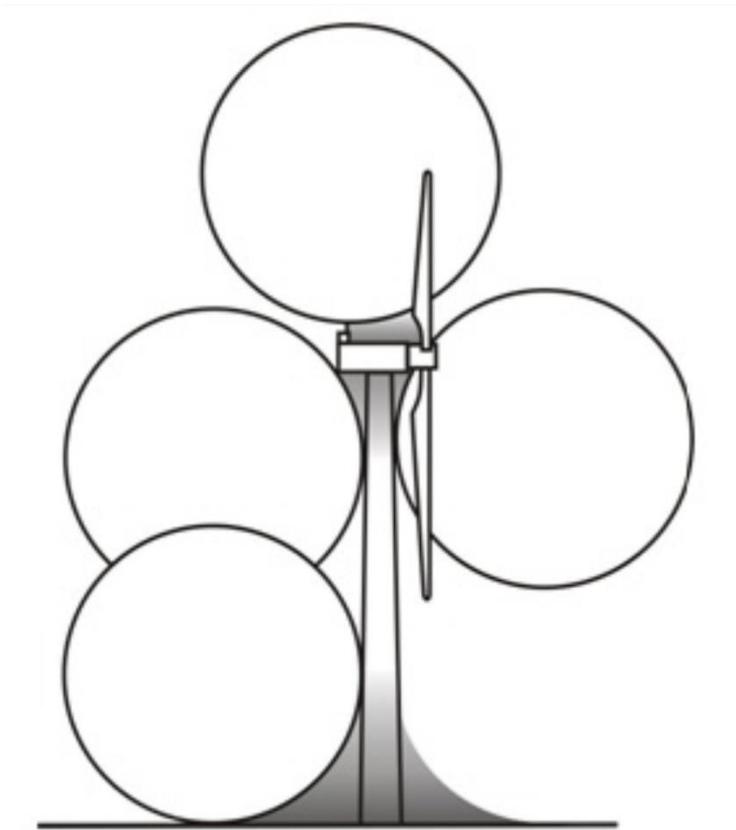


Abbildung 3-1: Das Blitzkugelverfahren

2024-07-10 09:46 UTC - y.foerster@boreas.de - Yvonne Förster  
Übersetzung der Originalbetriebsanleitung: T09 0077-8468 VER 05

T09 0077-8468 Ver 05 - Approved- Exported from DMS: 2022-12-19 by INVOL

### 3.3 Überblick über das Blitzschutzsystem

Die Windenergieanlage ist darauf ausgelegt, direkte Blitzeinschläge auszuhalten.

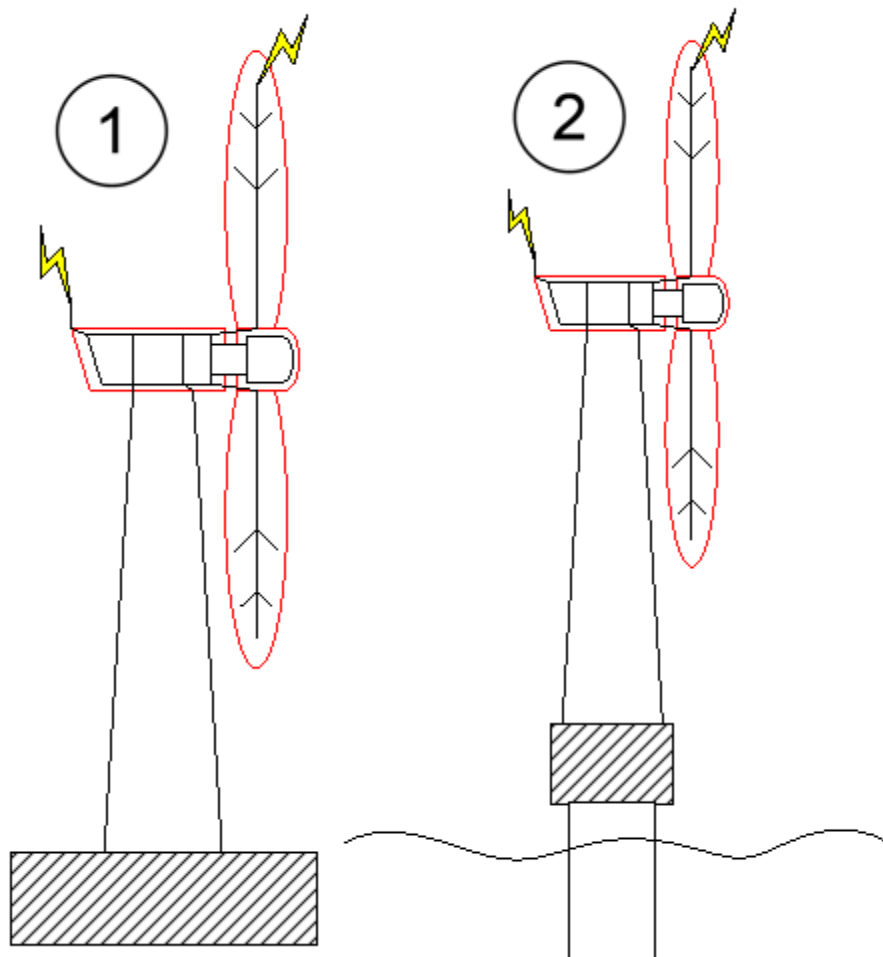


Abbildung 3-2: Blitzschlagpunkte und Blitzableitungssystem

1 Onshore-Windenergieanlage

2 Offshore-Windenergieanlage

#### 3.3.1 Blitzschlagpunkte

Bereiche auf der Windenergieanlage, in denen mit Blitzschlägen zu rechnen ist.

##### Maschinenhaus

Die Konstruktionsteile des Maschinenhauses sind so ausgelegt, dass sie Blitzströme sicher zum Turm ableiten. Die Komponenten im Maschinenhaus sind so ausgelegt, dass sie hohen magnetischen und elektrischen Feldern bei Blitzschlägen standhalten.

## Turm

Der Turm bildet den primären Weg für die Ableitung des Blitzstroms nach unten in das Erdungssystem.

## Rotorblätter

Die Rotorblätter sind die empfindlichsten Komponenten, die Blitzschlägen ausgesetzt sind. Die Rotorblätter sind standardmäßig so ausgelegt, dass sie diesen extremen Blitzschlagbedingungen standhalten.

## Blitzstromableiter (LCTU)

Das Blitzstromableiter (LCTU)-System schützt Blattlager, Hauptlager und Azimutlager vor hohen Blitzspannungen. Aufgabe des Blitzstromableitersystems ist es, die Blitzspannung sicher von den Blättern zum Maschinenhaus, vom Maschinenhaus zum Turm und dann in das Erdungssystem zu leiten.

## Erdungssystem

Aufgabe des Erdungssystems ist die sichere Entladung des Blitzstroms in den umgebenden Boden.

## Blitzableitungssystem

Der schwarze Teil der Windenergieanlage ist das Blitzableitungssystem. Die Rotorblätter der Windenergieanlage werden häufig von Blitzen getroffen. Wenn ein Blitz in ein Rotorblatt einschlägt, wird der Strom über den Blatableiter und über die Blitzstromableiter der Rotorblätter/des Maschinenhauses zu den Strukturteilen des Maschinenhauses geleitet. Von dort aus wird die elektrische Energie des Blitzes weiter zum Blitzstromableiter des Maschinenhauses/Turms geführt, wobei eine Ableitung am Turm herab erfolgt. Abschließend wird der Blitzstrom über das Erdungssystem entladen.

## 3.4 Rotorblattschutz

### Blatt EnVentus V150/V162

Das Blitzschutzsystem des Blatts besteht aus vier Hauptelementen: Spitzenschutz-Rezeptoren, Oberflächenschutz, Ableitungssystem und Blitzableiterband.

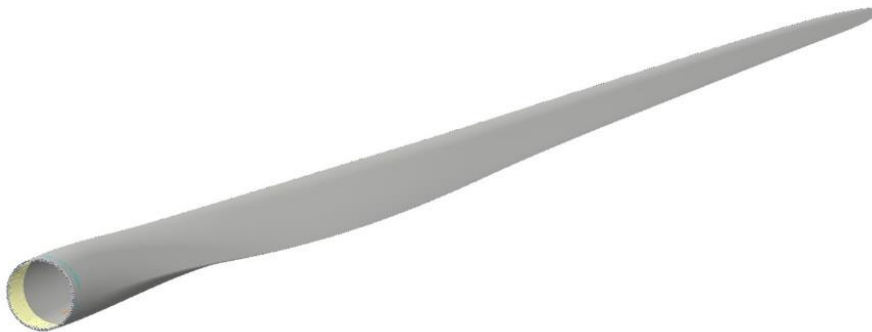


Abbildung 3-3: Blatt mit Blattband



Die Spitzenschutz-Rezeptoren verfügen über eine massive Metallspitze und mehrere Blitzrezeptoren. Die massive Metallspitze und die Blitzrezeptoren ziehen Blitze an, sodass die Glasfaserschalen oder der Hauptteil des Rotorblatts seltener von Blitzen getroffen werden. Die massive Metallspitze und die Rezeptoren sind mit einem isolierten Mittelspannungskabel verbunden.

Ein Teil der druck- und saugseitigen Schalen zwischen Blitzrezeptorengruppe und Blattwurzel ist mit einer Streckmetallfolie bedeckt. Ebenso wie die massive Metallspitze und die Blitzrezeptorengruppe bietet die Streckmetallfolie einen bevorzugten Blitzschlagpunkt und schützt so den unbedeckten Teil des Blatts vor direkten Blitzschlägen. Die Streckmetallfolie ist mit der Blitzrezeptorengruppe und dem Ableitungssystem verbunden.

Das Ableitungssystem enthält ein isoliertes Mittelspannungskabel, das durch den Hinterkanten-Hohlraum des Blatts verläuft. Das Mittelspannungskabel wird gemäß IEC 61400-24 Ed. 2 ausgewählt.

Das Ableitungssystem endet am Rotorblattband an der Blattwurzel. Das Blattband dient als Schnittstelle zum Blitzstromableiter. Weitere Informationen zum LTCU sind in Abschnitt [3.6 Hauptlagerschutz, Seite 8](#), enthalten.

### Blatt EnVentus V172

Das Blatt der EnVentus V172 ist mit einem Kohlefaser-Pultrusion-Blitzschutzsystem (PLPS) ausgestattet. Das PLPS erfüllt die neue Version der Norm IEC 61400-24:2019, gemäß der alle Hauptkomponenten Labortests unterzogen wurden, in denen die Auswirkungen und das Verhalten des Systems bei einem Blitzschlag simuliert wurden.

Das Blitzableitersystem ist so ausgelegt, dass es den Wartungsbedarf senkt, da die Blitzrezeptoren und Ableiter die einzigen Blitzableiterteile sind, die gewartet werden müssen.

Neben dem Spitzenrezeptorpaar befinden sich zusätzlich vier Rezeptorpaare entlang des Blattes, drei Paare in der Spitze und zwei in der Wurzel. Der Potenzialausgleich erfolgt auf Grundlage der Simulationsergebnisse an den Rezeptorenpositionen zwischen den Schalen und dem Ableitungssystem.

Das PLPS besteht aus fünf Blitzableiterpaaren, die in den Blitzableiter und die Blattspitze sowohl an der Luv- als auch an der Lee-Fläche integriert sind.

Blitzrezeptoren fangen Blitzeinschläge ab, leiten den Blitz durch den integrierten Blitzableiter und von dort zur Blattwurzel in den Nabenanschluss.

## 3.5 Schutz des CoolerTop®

Die Geräte auf dem Kühlsystem werden durch Blitzableiterstangen und Rezeptorringe geschützt. Alle Metallteile sind über einen Potenzialausgleich mit der internen Stahlkonstruktion des Maschinenhauses verbunden.



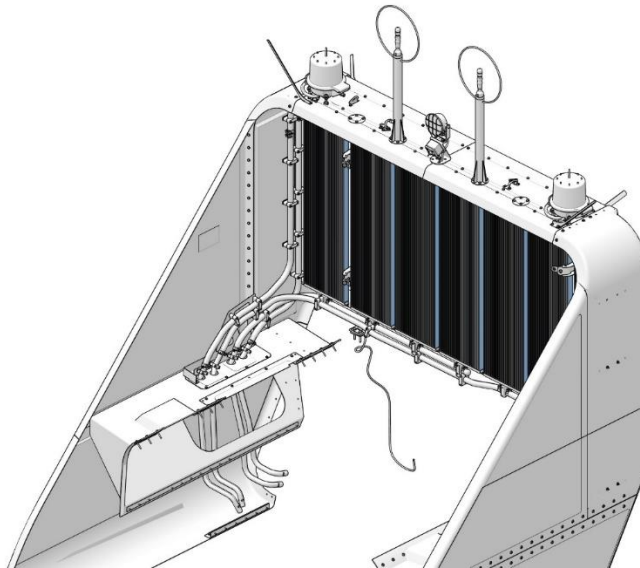


Abbildung 3-4: Darstellung von Ultraschall-Anemometer und Gefahrenfeuer am CoolerTop® an der Rückseite des Maschinenhausdaches

### 3.6 Hauptlagerschutz

Um den Blitzstrom von den einzelnen Rotorblättern zur Maschinenhausstruktur zu leiten, ohne dass dabei Strom durch die Rotorblattnabe und die Hauptlager fließt, ist ein drehbarer Blitzstromableiter zwischen den Rotorblättern und dem Maschinenhaus vorgesehen.

Die Ableitungssysteme der einzelnen Rotorblätter werden vom Nabengehäuse getrennt gehalten und sind über den Blitzstromableiter mit der Maschinenhausstruktur verbunden.

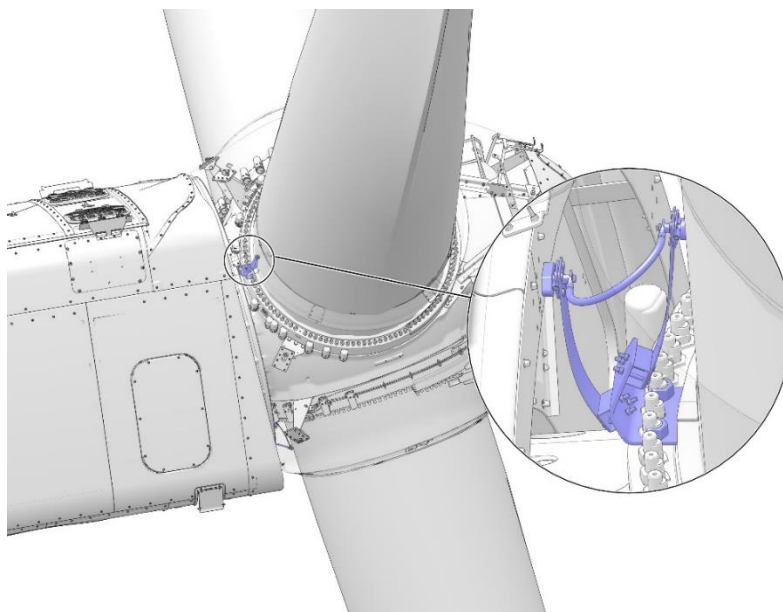


Abbildung 3-5: Darstellung eines Blitzstromableiters zwischen den Rotorblättern und der Maschinenhauskonstruktion

### 3.7 Ableitung vom Maschinenhaus zum Turm

Es gibt strukturelle Verbindungen vom Maschinenhaus zum oberen Azimutflansch. Um eine Stromführung durch die Azimutgetriebe und -lager zu vermeiden, sind Blitzstromübertragungskontakte aus Messing im Azimutlager installiert.

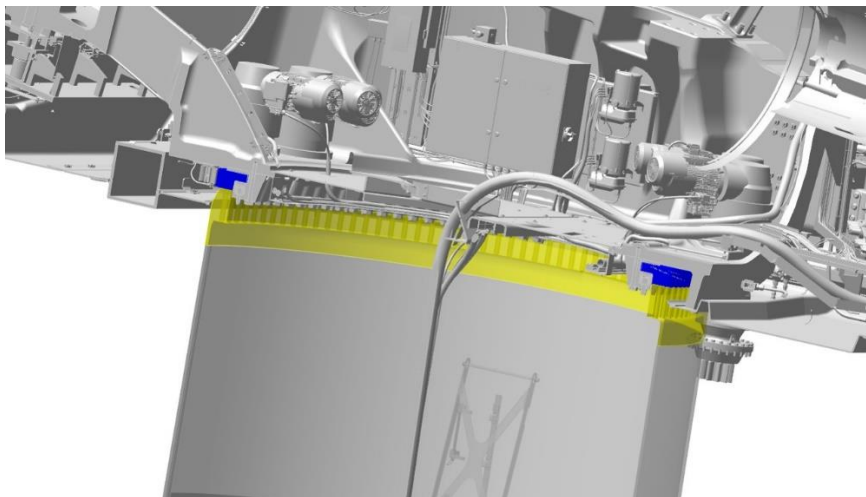


Abbildung 3-6: Darstellung des Azimutlagerschutzes

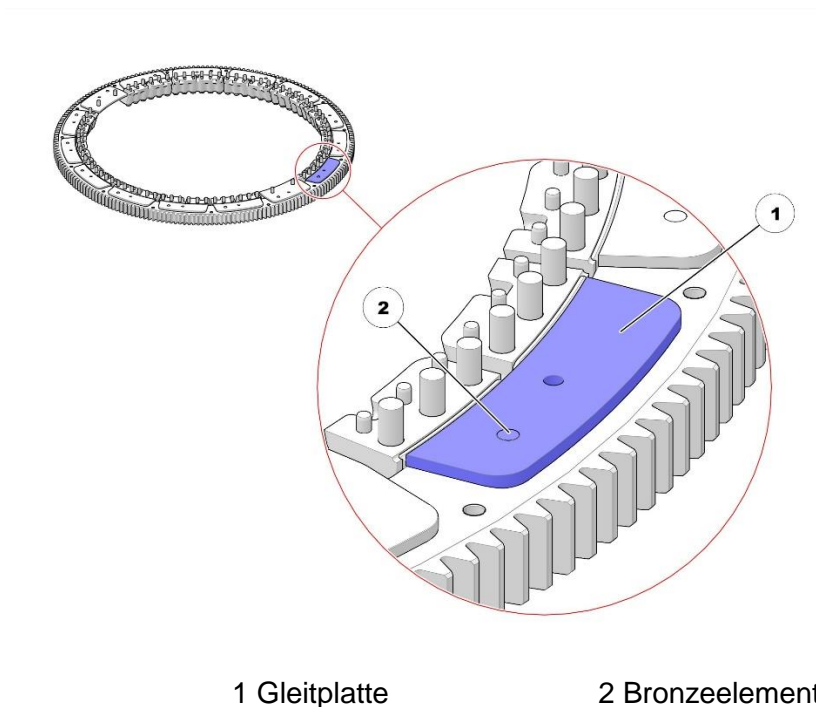


Abbildung 3-7: Darstellung eines Bronzelements in einer Nylon-Gleitplatte, welches das Maschinenhaus elektrisch mit dem Turm verbindet

### 3.8 Turmkonstruktion

Es gibt zwei Arten von Türmen:

- Stahlrohrturm
- Hybridturm (Oberteil aus Stahl und Betonsockel)

Der Turm fungiert als Ableitungssystem mit sehr großem Querschnitt, wodurch der Spannungsabfall im Turm gering ist.

### 3.9 Das Ableitungssystem vom Turmfuß zum Erdungssystem

Im Turmsockel sind alle Erdungskabel und Erdungsverbindungen mit der Haupterdungsschiene verbunden.

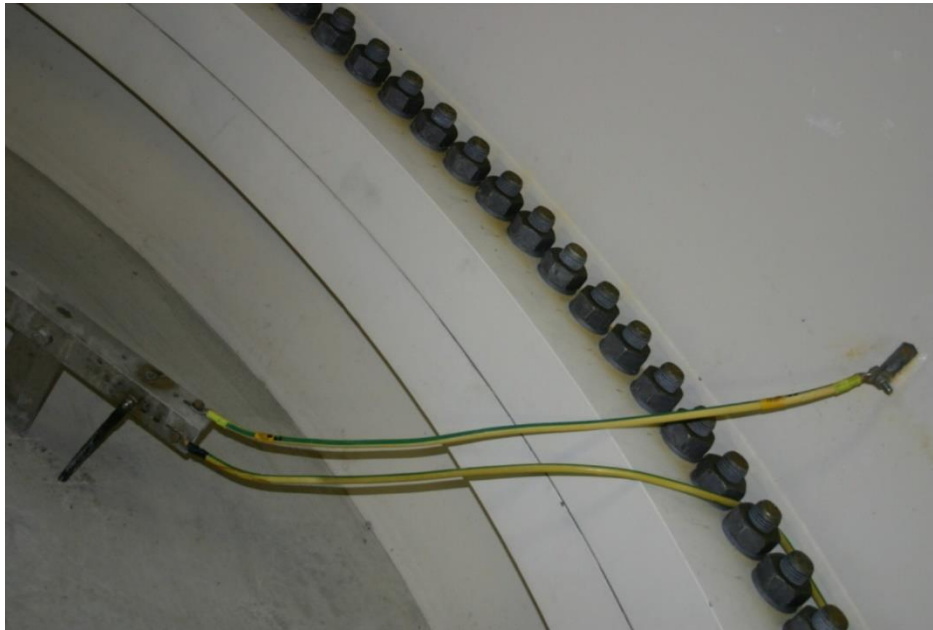


Abbildung 3-8: Verbindung zwischen Turm und Haupterdungsschiene

### 3.10 Schutz der Elektrik und der Steuerungssysteme

Der Mittelspannungstransformator muss unbedingt gegen Blitzschlag geschützt werden. Vestas gewährleistet dies durch den Einbau von Mittelspannungsableitern an den Mittelspannungsanschlüssen und am Überspannungsschutz auf der Niederspannungsseite.

## 3.11 Erdungssysteme

### 3.11.1 Onshore-Windenergieanlage

Es gibt 2 Arten von Erdungssystemen: Erstens das Erdungssystem von Vestas und zweitens das bei der Hybridturm-lösung eingesetzte extern bereitgestellte Erdungssystem.

Das Hybridturm-Erdungssystem ist eine Kombination aus dem Erdungssystem von Vestas und dem Erdungssystem des Lieferanten. Ein Hybridturm besteht aus einem Oberteil aus Stahl und einem Betonsockel. Für die Erdungssysteme von Hybridtürmen ist der Lieferant zuständig (nicht Vestas). Die erforderlichen Zertifikate für den Hybridturm und die zugehörigen Erdungssysteme werden vom Lieferanten erworben.

Die nachfolgende Beschreibung gilt sowohl für das Erdungssystem von Vestas als auch für das Hybridturm-Erdungssystem:

Das Erdungssystem ist als Sicherheitserdung und Funktionserdung in einer „Typ-B-Anordnung“ konzipiert.

Aus Sicht einer einzelnen Windenergieanlage besteht das Erdungssystem prinzipiell aus drei einzelnen Erdungssystemen. Die erste Einheit ist die Fundamenterdung. Die zweite und die dritte Einheit sind die Erdverbindungskabel zwischen den einzelnen Windenergieanlagen und der horizontalen Erdungselektrode.

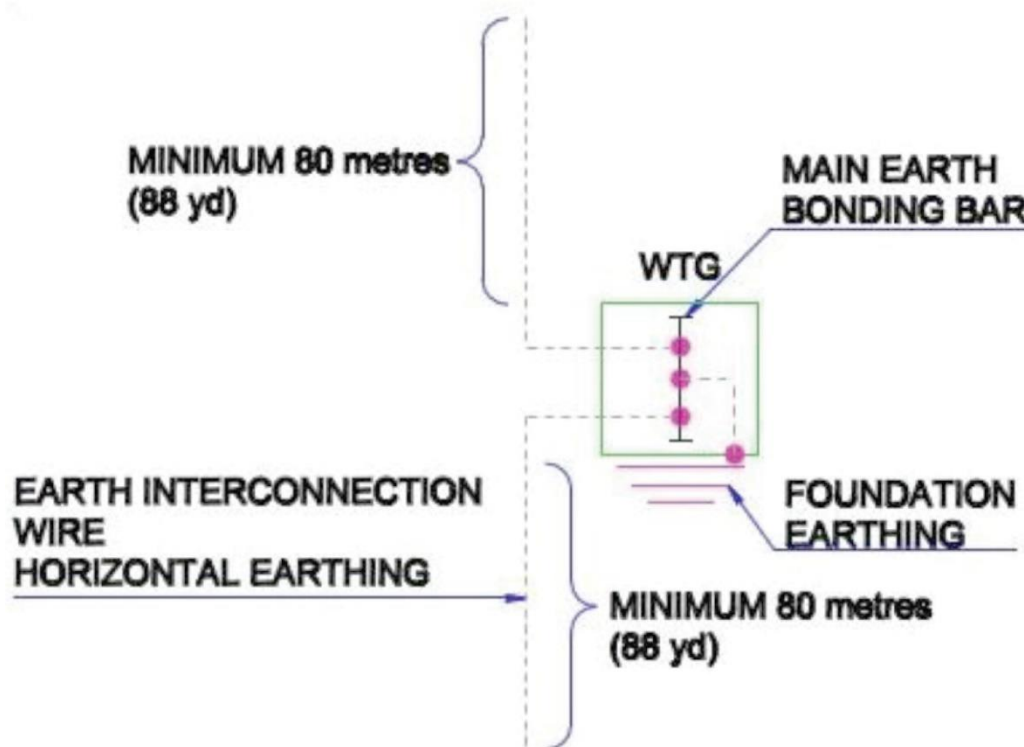


Abbildung 3-9: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems

Im Erdungssystem sind die Windenergieanlagen in einem Windpark oder einem Netz von Windenergieanlagen zusätzlich mit einem Erdverbindungskabel zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden.

Das Erdungssystem ist das Erdungssystem für das Mittelspannungssystem, das Niederspannungssystem und das Blitzschutzsystem für jede Windenergieanlage. Es ist darüber hinaus das Erdungssystem für die Mittelspannungsverteilung innerhalb des Windparks.

Bezüglich des Blitzschutzes der Windenergieanlage fordert Vestas für dieses System keinen bestimmten, in Ohm gemessenen Widerstand zur Bezugserde. Die Erdung der Blitzschutzsysteme basiert auf dem Aufbau und der Konstruktion des Vestas-Erdungssystems und entspricht den IEC-Normen.

Ein Teil des Erdungssystems ist die Hauptpotenzialausgleichsschiene, die am Kabeleintritt aller Zuleitungen zur Windenergieanlage montiert ist. Alle Erdungselektroden sind mit dieser Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Zusätzlich sind Potenzialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage installiert.

Die Anforderungen der Spezifikation und der Arbeitsanweisung für das Vestas-Erdungssystem entsprechen den Mindestanforderungen von Vestas und der IEC. Lokale und nationale sowie projektspezifische Anforderungen können gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.

### 3.11.2 Offshore-Windenergieanlage

Das Vestas-Erdungssystem ist als „Typ-B-Anordnung“ basierend auf Fundamenterdung (Monopile) konzipiert. Der Monopile fungiert als zusätzliche vertikale Erdungselektrode, damit das Erdungssystem die im Vergleich zum Blitzschutzsystem erforderliche Größe und Länge aufweist. Im Vestas-Erdungssystem sind die Windenergieanlagen in einem Windpark oder einem Netz von Windenergieanlagen zusätzlich mit einem Verbindungskabel zu einem gemeinsamen Erdungssystem verbunden.

Ein Teil des Vestas-Erdungssystems ist die Hauptpotenzialausgleichsschiene, die am Kabeleintritt aller Seekabel zum Turm der Windenergieanlage montiert ist. Die Erdungselektrode selbst ist mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Potenzialausgleichsverbindungen an allen Zu- oder Ableitungen der Windenergieanlage am Kabeleintritt sind mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene verbunden. Die Hauptpotenzialausgleichsschiene wird direkt an die Fundamentsektion des Turms geschweißt/geschraubt. Sie ist somit direkt mit dem Turm und allen anderen metallischen Teilen der Windenergieanlage verbunden.

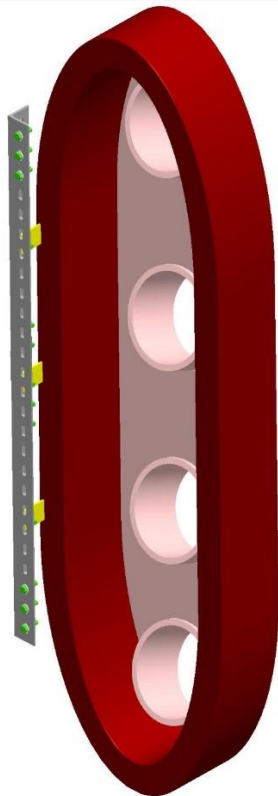


Abbildung 3-10: Mögliche Einbaulage der Hauptpotenzialausgleichsschiene

Lichtwellenleiter mit Metallkabelschirmen oder anderen metallischen Komponenten müssen ebenfalls direkt mit der Hauptpotenzialausgleichsschiene am Eintrittspunkt verbunden werden.



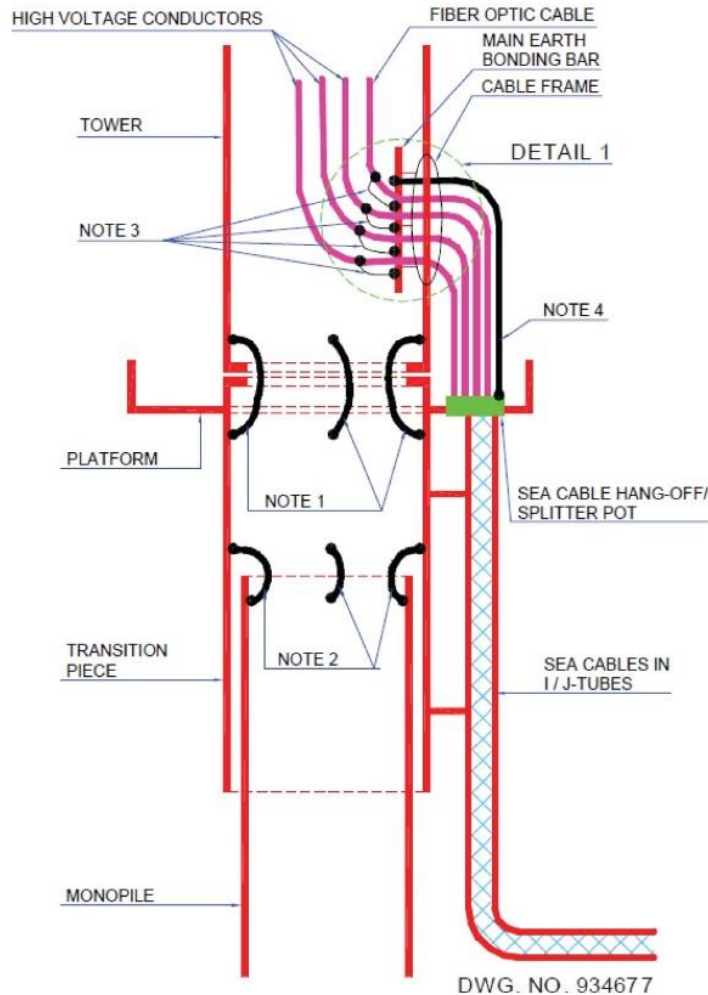


Abbildung 3-11: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems bei J-Rohr-Aufstellung

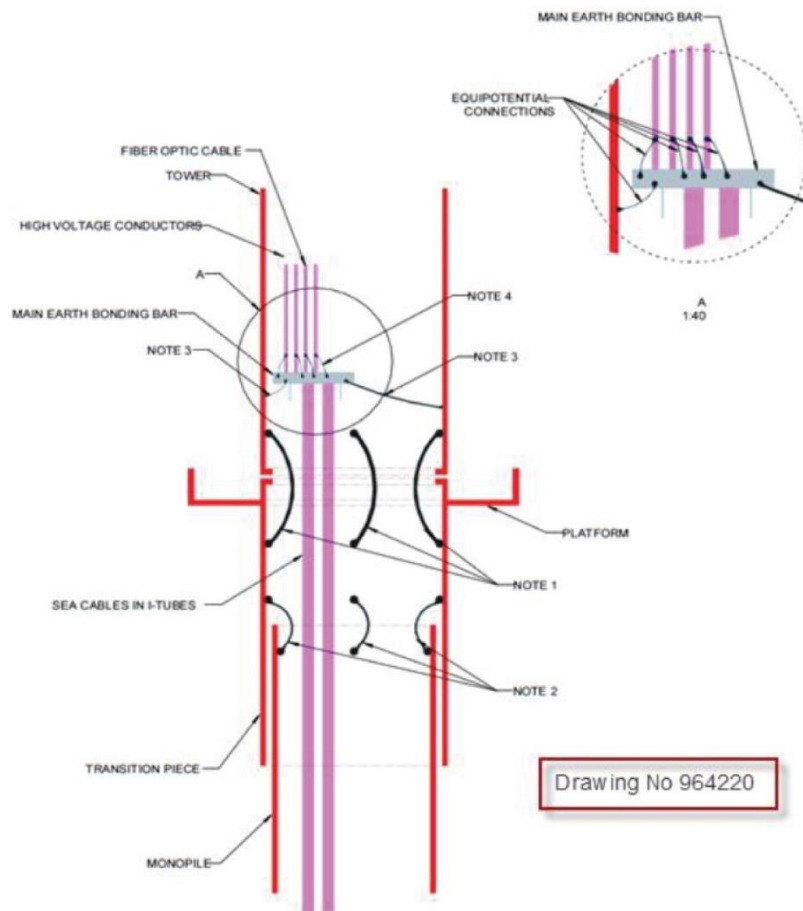


Abbildung 3-12: Prinzipdarstellung des Vestas-Erdungssystems bei I-Rohr-Aufstellung

Generell sind alle metallischen Teile in und in unmittelbarer Reichweite der Windenergieanlage miteinander und mit dem Erdungssystem verbunden. All dies hat zur Folge, dass alle Teile sowie das umgebende Erdreich und Wasser beim Auftreten von Strömen im Erdungssystem auf dasselbe Potenzial gehoben werden. Wenn alle metallischen Teile sowie das umgebende Erdreich und Wasser auf das gleiche Potenzial gehoben werden, kann keine Berührungsspannung oder Schrittspannung entstehen.

### 3.12 Verifizierung

Die Überprüfung des Blitzschutzsystems erfolgt gemäß IEC 61400-24 Ed. 2.



## 4 EMV

Vestas-Windenergieanlagen müssen die EMV-Richtlinie 2014/30/EU sowie alle EMV-bezogenen Aspekte der Maschinenrichtlinie 2006/42/EG zur funktionalen Sicherheit erfüllen.

Motivation für die EMV-Richtlinie ist die Gewährleistung der elektromagnetischen Verträglichkeit zwischen elektrischen Geräten. Eine detaillierte Beschreibung ist im Abschnitt „Grundlegende EMV-Anforderungen“ zu finden.

Vestas konzentriert sich auf drei Bereiche, um die Anforderungen der europäischen EMV-Richtlinie zu erfüllen:

- Konformität der Windenergieanlagen
- Anerkannte Regeln der Technik
- Komponentenübergreifende Konformität

### 4.1 Rechtsvorschriften

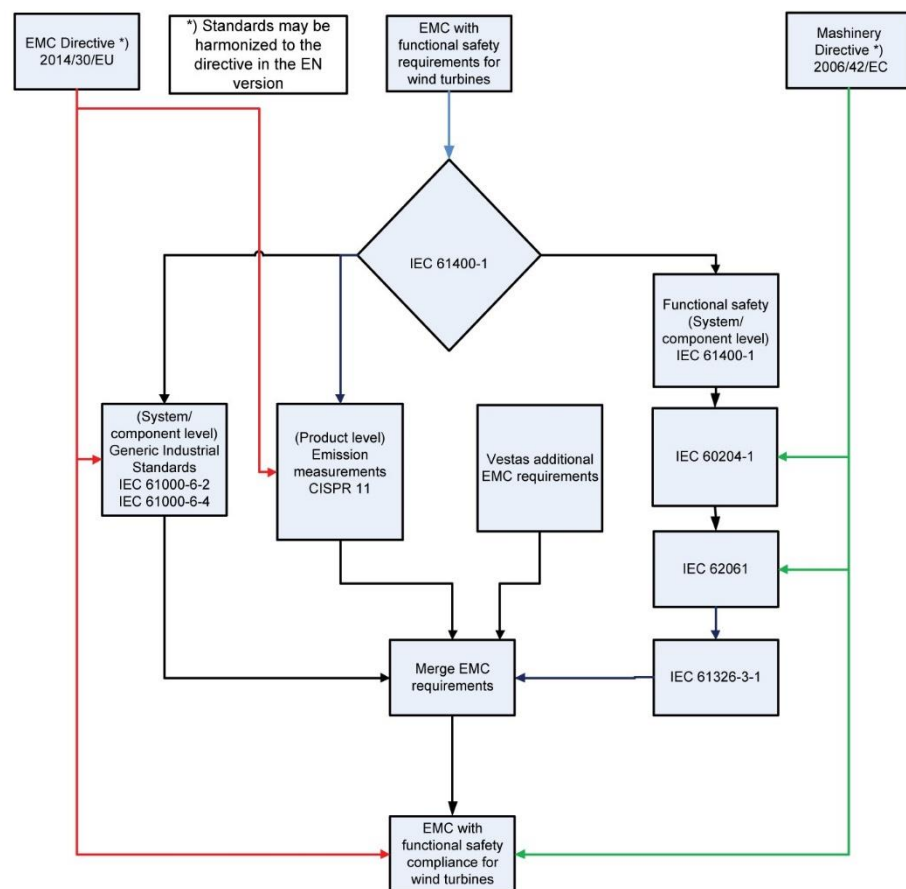


Abbildung 4-1: Rechtsvorschriften

Vestas entwickelt und produziert unter Einhaltung der EMV-Anforderungen gemäß den in der EMV-Richtlinie und in der Maschinenrichtlinie festgelegten Anforderungen des Europäischen Rates im Hinblick auf die funktionale Sicherheit.

RICHTLINIE 2014/30/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 26. Februar 2014 zur Harmonisierung der Rechtsvorschriften der Mitgliedstaaten über die elektromagnetische Verträglichkeit (Neufassung)

Richtlinie 2006/42/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Mai 2006 über Maschinen und zur Änderung der Richtlinie 95/16/EG (Neufassung)

Die Einhaltung der EMV-Richtlinie und der Maschinenrichtlinie wird durch die in der Norm für die Produktebene genannten Prüfungen belegt:

IEC 61400–1 Ed. 4 Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen“ behandelt Sicherheitsaspekte, Integrität von Qualitätssicherung und Konstruktion und legt die Sicherheitsanforderungen bei Entwicklung, Aufstellung und Betrieb von Windenergieanlagen-Generatorsystemen fest.

IEC 61400–1 nennt die grundlegenden Auslegungsanforderungen zur Gewährleistung der Konstruktionsintegrität von Windenergieanlagen. Ziel ist der angemessene Schutz vor Schäden durch unterschiedlichste Gefahren während der gesamten geplanten Lebensdauer. Diese Norm gilt für alle Untersysteme von Windenergieanlagen, darunter Steuer- und Schutzmechanismen, interne elektrische Systeme, mechanische Systeme und Trägerkonstruktionen. Diese Norm gilt für Windenergieanlagen jeder Größe.

CISPR 11 Ed. 6 „Industrielle, wissenschaftliche und medizinische Geräte – Funkstörungen – Grenzwerte und Messverfahren“.

CISPR 11 definiert den Messaufbau und die Messverfahren sowie die zulässigen Grenzwerte für Funkstörungen durch Industriegeräte.

#### 4.1.1 Grundlegende EMV-Anforderungen

Die grundlegenden EMV-Anforderungen sind in ANHANG I der EMV-Richtlinie 2014/30/EU unter „Schutzanforderungen“ und „Besondere Anforderungen an ortsfeste Anlagen“ aufgeführt.

Die Windenergieanlage muss nach dem Stand der Technik so konstruiert und gefertigt sein, dass

- die von ihr verursachten elektromagnetischen Störungen den Pegel übersteigen, bei dem ein bestimmungsgemäßer Betrieb von Funk- und Telekommunikationsgeräten oder anderen Betriebsmitteln nicht möglich ist;
- die Windenergieanlage gegen die bei bestimmungsgemäßem Betrieb zu erwartenden elektromagnetischen Störungen hinreichend unempfindlich sind, um ohne unzumutbare Beeinträchtigung bestimmungsgemäß arbeiten zu können.

## 4.2 Konformität der Windenergieanlagen

Der Nachweis über die Erfüllung der grundlegenden Anforderungen der EMV-Richtlinie wird durch Durchführung einer Messung der *endgültigen Emissionsmenge* erbracht.

Die Messungen der *endgültigen Emissionsmenge* sind verschiedene *in-situ*-Messungen, die an der repräsentativen Windenergieanlage der jeweiligen Mk-Version durchgeführt werden.

Die Zuverlässigkeitsanforderungen umfassen zusätzliche EMV-Testfälle, welche die in [Abschnitt 3 Blitzschutz auf Seite 4](#) beschriebenen Auswirkungen von Blitzschlägen behandeln.



In situ kommt aus dem Lateinischen und bedeutet wörtlich „vor Ort“.

## 4.3 Anerkannte Regeln der Technik

Zur Einhaltung der anerkannten Regeln der Technik hat Vestas einige individuelle Richtlinien entwickelt, die sich besonders mit der Aufstellung spezieller Bauteile in einer Windenergieanlage befassen.

Die Beurteilung der EMV- und Blitzschutz-Installationsmethoden erfolgt auf Systemebene.

## 4.4 Komponentenübergreifende Konformität

Zur Gewährleistung komponentenübergreifender Konformität müssen alle elektronischen Bauteile aufgrund der anspruchsvollen Blitzumgebung die generischen EMV-Konformitätsanforderungen sowie die Zuverlässigkeitsanforderungen von Vestas erfüllen.

Hinsichtlich der Immunität gegenüber ausgestrahlten und leitungsgeführten Störungen erfüllen alle in der Windenergieanlage verbauten Komponenten die jeweiligen Produktnormen oder zumindest die Vorschriften von IEC 61000-6-2 Ed. 3 und IEC 61400-24 Ed. 2. Für elektronische Komponenten gilt im Hinblick auf die Beurteilung der funktionalen Sicherheit die Norm IEC 61326-3-1 Ed. 2.

Für die interne Umgebung gelten die Emissionsanforderungen aus der Norm IEC 61000-6-4 Ed. 3 oder die entsprechenden Produktnormen für Komponenten.

**16.1.4 Standsicherheit**

Anlagen:

- f2e\_gutachten\_rohnstedt\_r0\_final.pdf



## Gutachten zur Standorteignung von WEA am Standort Rohnstedt

### Referenz-Nummer:

2024-E-009-P3-R0

### Auftraggeber:

BOREAS Energie GmbH

Moritzburger Weg 67, 01109 Dresden

### Die Ausarbeitung des Gutachtens erfolgte durch:

Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG

Borsteler Chaussee 178, 22453 Hamburg, [www.f2e.de](http://www.f2e.de)

### Verfasser:

M.Sc. Victor de Diego, Sachverständiger,

Hamburg, 14.11.2024

### Geprüft:

Dr.-Ing. Thomas Hahn, Sachverständiger,

Hamburg, 14.11.2024

### Urheber- und Nutzungsrecht:

Urheber des Gutachtens ist die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erwirbt ein einfaches Nutzungsrecht entsprechend dem Gesetz über Urheberrecht und verwandte Schutzrechte (UrhG). Das Nutzungsrecht kann nur mit Zustimmung des Urhebers übertragen werden. Eine Veröffentlichung und Bereitstellung der ungekürzten Fassung des Gutachtens zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien sind verboten. Eine Einsichtnahme der gekürzten Fassung des Gutachtens gemäß UVPg §23 (2) über die zentralen Internetportale von Bund und Ländern gemäß UVPg §20 Absatz (1) wird gestattet.



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                                  |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1 Aufgabenstellung.....                                                                                          | 3  |
| 2 Grundlagen.....                                                                                                | 4  |
| 2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen.....                                                            | 4  |
| 2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten.....                                                                     | 10 |
| 2.3 Auslegungswerte.....                                                                                         | 11 |
| 2.3.1 Turbulenzintensität.....                                                                                   | 11 |
| 2.3.2 Windgeschwindigkeit.....                                                                                   | 11 |
| 2.3.3 Weitere Windbedingungen.....                                                                               | 11 |
| 2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden.....                                                               | 12 |
| 2.4.1 Bestimmung der Komplexität.....                                                                            | 12 |
| 2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität.....                                                           | 13 |
| 2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten.....                                                       | 14 |
| 2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten.....                                                  | 16 |
| 2.4.5 Bestimmung der Luftdichte.....                                                                             | 16 |
| 2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten.....                                                                        | 16 |
| 2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung.....                                                                       | 17 |
| 2.4.8 Extrapolation der Winddaten.....                                                                           | 17 |
| 2.5 Gültigkeit der Ergebnisse.....                                                                               | 18 |
| 2.5.1 Betriebsbeschränkungen.....                                                                                | 19 |
| 2.6 Darstellung von Betriebsbeschränkungen im Gutachten.....                                                     | 20 |
| 2.6.1 Einfluss von benachbarten Windenergieanlagen.....                                                          | 20 |
| 2.6.2 Alternative Betriebsbeschränkungen.....                                                                    | 20 |
| 2.6.3 Einfluss der Umgebungsbedingungen.....                                                                     | 22 |
| 3 Eingangsdaten.....                                                                                             | 23 |
| 3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte.....                                                               | 23 |
| 3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort.....                                                              | 23 |
| 3.3 Extremwind am Standort.....                                                                                  | 24 |
| 3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort.....                                                                | 24 |
| 3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen.....                                                                      | 24 |
| 4 Bestimmung der Standortbedingungen.....                                                                        | 24 |
| 4.1 Standortbesichtigung.....                                                                                    | 24 |
| 4.2 Ergebnisse Standortbedingungen.....                                                                          | 25 |
| 4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem<br>Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren..... | 26 |
| 5 Nachweis der Standorteignung.....                                                                              | 26 |
| 5.1 Allgemeine Hinweise.....                                                                                     | 26 |
| 5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen.....                                  | 27 |
| 5.2.1 Erläuterungen und Hinweise.....                                                                            | 30 |



|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.2 Betriebsbeschränkungen.....                                      | 30  |
| 5.2.3 Einschränkungen.....                                             | 30  |
| 5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten..... | 30  |
| 6 Zusammenfassung.....                                                 | 31  |
| 7 Literaturangaben.....                                                | 33  |
| Anhang: wake2e-Bericht, Projektname Rohnstedt .....                    | A.1 |

## 1 Aufgabenstellung

Die Fluid & Energy Engineering GmbH & Co. KG ist beauftragt worden, Windenergieanlagen (WEA) hinsichtlich ihrer Standorteignung gemäß Kapitel 16 (Standorteignung von Windenergieanlagen) der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu betrachten und zu bewerten.

Voraussetzung für einen Nachweis der Standorteignung ist gemäß /2.8/ das Vorliegen einer gültigen Typenprüfung bzw. Einzelprüfung für die WEA. Im Folgenden ist die Möglichkeit der Einzelprüfung stets eingeschlossen, wenn von Typenprüfung gesprochen wird, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Der Nachweis der Standorteignung der WEA erfolgt entweder durch einen Vergleich der am jeweiligen Standort der WEA herrschenden Windbedingungen mit den Windbedingungen, die der Typenprüfung zugrunde liegen, oder durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten, die der Typenprüfung zugrunde liegen (siehe auch Kapitel 2).

Die Windbedingungen sind in den jeweiligen DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ festgelegt und Bestandteil der Typenprüfung einer WEA. Auf Basis dieser Windbedingungen und der daraus resultierenden Lasten garantiert eine Typenprüfung nach /2.6, 2.7, 2.8/ eine Entwurfslebensdauer der WEA von mindestens 20 Jahren.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch Nachbar-WEA erhöhte Turbulenzbelastung einer WEA können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines BImSchG-Antrages herangezogen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA zumutbar sind, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Das vorliegende Gutachten zur Standorteignung ist daher gleichzeitig eine Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG.





## 2 Grundlagen

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Bedingungen ausgesetzt, die Belastung, Haltbarkeit und den Betrieb beeinflussen können. Die Umweltbedingungen werden in Wind- und andere Umweltbedingungen unterteilt. Für die Integrität der Konstruktion sind die Windbedingungen die primär zu berücksichtigenden Einflussfaktoren.

Der Nachweis der Standsicherheit von Turm und Gründung einer WEA wird in Form einer Typenprüfung nach der jeweils gültigen DIBt-Richtlinie /2.6, 2.7, 2.8/ geführt. Hierzu definieren die Richtlinien Windzonen in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Turbulenzparametern, welche die meisten Anwendungsfälle erfassen sollen, jedoch keinen spezifischen Standort einer WEA exakt abbilden. Auf Basis der Windbedingungen der Windzone werden anschließend die Lasten der WEA durch den Hersteller ermittelt.

Das vom Hersteller verwendete Modell zur Berechnung der Lasten und die Berechnungsergebnisse werden durch unabhängige Berechnungen im Rahmen der Typenprüfung durch eine akkreditierte Stelle geprüft und bestätigt.

Im konkreten Einzelfall der Errichtung einer WEA ist die Anwendbarkeit der Typenprüfung nachzuweisen. Dies kann auf zwei Wegen geschehen. Zum einen durch einen Vergleich der standortspezifischen Windbedingungen mit den Windbedingungen der Typenprüfung oder zum anderen durch einen Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lasten der Typenprüfung. Im zweiten Fall dienen die standortspezifischen Windbedingungen als Eingangswerte für die Ermittlung der standortspezifischen Lasten. Das bedeutet insbesondere, dass kein neuer Standsicherheitsnachweis für Turm und Gründung geführt wird, sondern dass jeweils die Randbedingungen der Typenprüfung, also des bestehenden Standsicherheitsnachweises, überprüft werden.

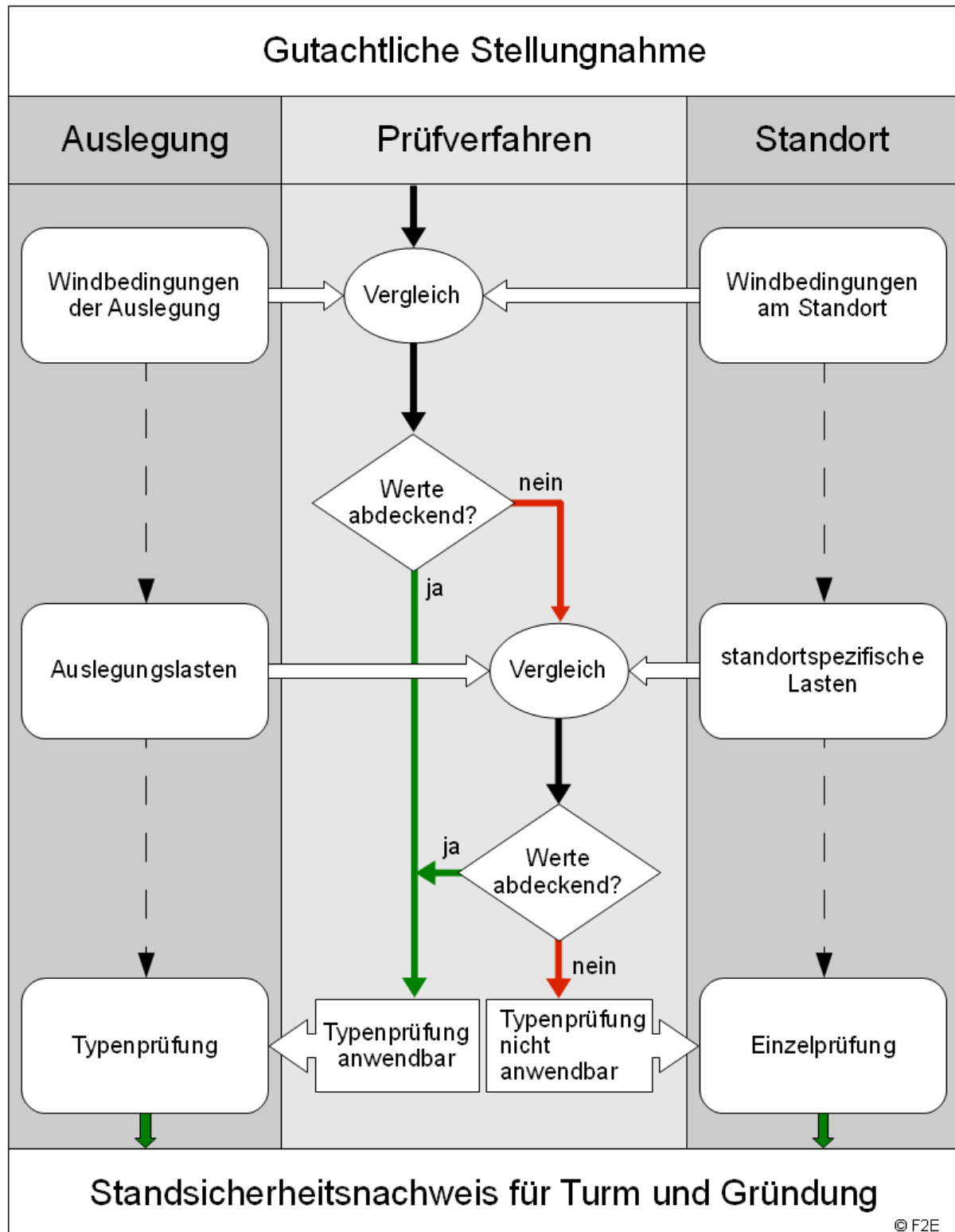
Abbildung 2.1.1 gibt einen Überblick über das Prüfverfahren.

### 2.1 Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen

Gemäß /2.2, 2.3/ sind für neu geplante WEA folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren  $v_{50}$ ,
- Windgeschwindigkeitsverteilung im Bereich von  $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$ ,
- Turbulenzintensität für Windgeschwindigkeiten von  $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$





**Abbildung 2.1.1:** Schematische Darstellung des Prüfverfahrens.



- Extremwerte der Turbulenzintensität,
- Höhenexponent  $\alpha$  des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils,
- mittlere Neigung der Anströmung,
- mittlere Luftdichte  $\rho$  für Windgeschwindigkeiten  $\geq v_r$ .

In /2.4/ wurde der Windgeschwindigkeitsbereich, für den die Windgeschwindigkeitsverteilung und die Turbulenzintensität nachgewiesen werden müssen, von  $0.2v_{\text{ref}} - 0.4v_{\text{ref}}$  auf  $v_{\text{ave}} - 2v_{\text{ave}}$  geändert. Dieser Windgeschwindigkeitsbereich kann daher alternativ zugrunde gelegt werden.

Überschreitungen der Extremwerte der Turbulenzintensität treten typischerweise stets mit Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf. Für einen Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen werden die Extremwerte der Turbulenzintensität daher nicht explizit ausgewiesen. Diese sind gegebenenfalls dann im Rahmen eines Nachweises durch einen Vergleich der Lasten (siehe Kapitel 2.2) zu berücksichtigen und werden daher in den Ergebnissen im Anhang aufgeführt.

Zusätzlich werden in /2.3/ Nachweise für Extremwerte des Windgradienten gefordert. Der Nachweis für Extremwerte des Windgradienten ist mit /2.4/ wieder entfallen und wird daher hier nicht berücksichtigt.

Werden abweichend von den in /2.2 - 2.4/ definierten Turbulenzkategorien individuelle Auslegungswerte der Turbulenzintensität definiert, kann es notwendig sein, den zu bewertenden Windgeschwindigkeitsbereich auf den gesamten Betriebsbereich der WEA auszudehnen.

Den Ermittlungen der Standortbedingungen ist nach /2.8/ dabei eine Standortbesichtigung zugrunde zu legen.

Alternativ zum oben genannten Nachweis nach /2.2, 2.3/ kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Windbedingungen auf Nabenhöhe nachzuweisen:

- mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe,
- Turbulenzintensität,
- 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren  $v_{50}$  (nur wenn die Windzone der Typenprüfung nicht die Windzone des jeweiligen Standortes der WEA abdeckt).

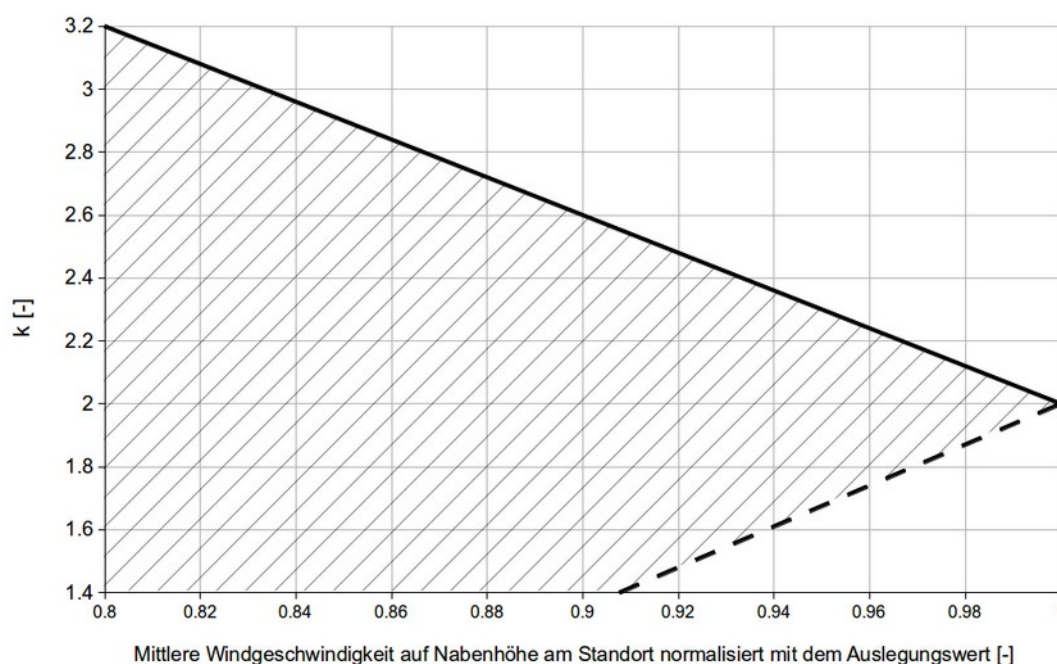
Nach /2.8/ muss dabei die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{\text{ave}}$  auf Nabenhöhe



5% kleiner sein als der Auslegungswert oder die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{ave}$  auf Nabenhöhe muss kleiner gleich dem Auslegungswert und der Formparameter  $k$  der Weibull-Verteilung gleichzeitig größer gleich 2 sein.

Das vereinfachte Verfahren setzt an dieser Stelle voraus, dass der Auslegungswert des Formparameters der Weibullverteilung einen Wert von 2.0 aufweist. Bei abweichenden Auslegungswerten muss die Bewertung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und des Formparameter  $k$  der Weibull-Verteilung über einen Vergleich der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit mit der Verteilung der Auslegung entsprechend /2.2, 2.3/ erfolgen.

Im Rahmen der Überarbeitung der internationalen Richtlinie /2.2, 2.3/ wurde ein Verfahren entwickelt, das die Bewertung der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit auf Basis der Parameter der entsprechenden Weibull-Verteilung ermöglicht /2.4/. Dieses Verfahren kann angewendet werden, wenn sich die standortspezifische Kurve der Häufigkeitsverteilung und die der Auslegung schneiden. Gemäß /2.4/ sind verschiedene Kombinationen des Formparameters  $k$  der Weibull-Verteilung und der normierten mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe möglich, die durch den schraffierten Bereich in Abbildung 2.1.2 dargestellt sind. Für WEA, die nicht für einen Formparameter der Weibullverteilung von  $k = 2$  ausgelegt sind, kann das Diagramm in konservativer Weise angepasst werden.



**Abbildung 2.1.2:** Mögliche Kombinationen von normierter Windgeschwindigkeit und Formparameter  $k$  der Weibull-Verteilung (schraffierter Bereich).



Für bestehende WEA, die nach den DIBt-Richtlinien von 1995 bzw. 2004 /2.6, 2.7/ errichtet wurden, darf der Nachweis der Standorteignung weiterhin nach dem in der DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ genannten Verfahren erfolgen.

Gemäß /2.4/ kann bei Luftdichten, die die Auslegungswerte überschreiten, der Nachweis alternativ erbracht werden, indem gezeigt wird, dass folgende Bedingung erfüllt ist:

$$\rho_{\text{Auslegung}} \cdot (V_{\text{ave, Auslegung}})^2 \geq \rho_{\text{Standort}} \cdot (V_{\text{ave, Standort}})^2$$

Die Bedingung entspricht einem Vergleich des standortspezifischen, mittleren Geschwindigkeitsdrucks mit dem Wert der Auslegung.

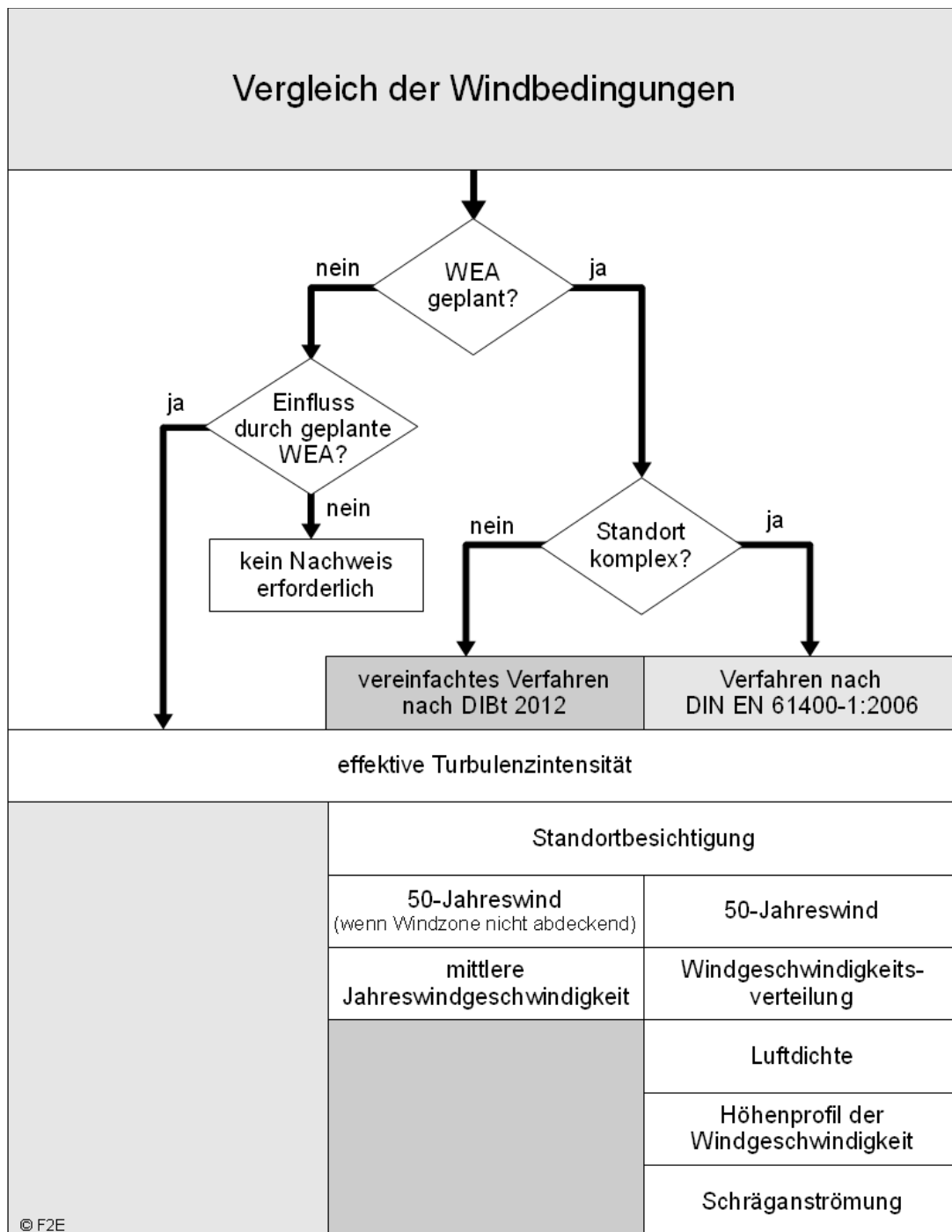
Der nachzuweisenden Turbulenzintensität kommt insofern eine besondere Bedeutung zu, da die Turbulenzintensität die einzige Windbedingung ist, über die eine Bewertung des Einflusses der WEA untereinander erfolgt.

Dieser Einfluss ist nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ zu berücksichtigen, wenn der auf den Rotordurchmesser D der jeweils größeren WEA bezogene Abstand zwischen zwei WEA für typische küstennahe Standorte kleiner gleich fünf und für typische Binnenstandorte kleiner gleich acht Rotordurchmesser beträgt /2.8/. Für größere Abstände braucht eine Beeinflussung der WEA untereinander nicht betrachtet zu werden. Im Folgenden wird dabei konservativ immer der größere Einflussbereich von 8D zugrunde gelegt.

Hieraus folgen unmittelbar die benachbarten WEA, für die eine Standorteignung im Rahmen des betrachteten Zubaues der geplanten WEA erneut nachzuweisen ist. Da es einen Einfluss der geplanten WEA auf diese benachbarten WEA nur in Form einer Erhöhung der Turbulenzintensität gibt, ist für benachbarte WEA unabhängig von der anzuwendenden DIBt-Richtlinie auch nur diese Windbedingung erneut zu überprüfen.

Abbildung 2.1.3 gibt einen Überblick über die jeweils nachzuweisenden Windbedingungen.

Liegt eine der oben aufgeführten für den Nachweis der Standorteignung erforderlichen Windbedingungen oberhalb des entsprechenden Auslegungswertes, der bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurde, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Windbedingungen nicht möglich.



**Abbildung 2.1.3:** Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen gemäß /2.8/.



## 2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

Die entsprechend dem in Kapitel 2.1 beschriebenen Verfahren ermittelten Windbedingungen können als Eingangsparameter für einen standortspezifischen Nachweis durch einen Vergleich der Lasten verwendet werden.

Im Falle eines Windparks mit entsprechendem Einfluss von benachbarten WEA sind nach /2.2/ sowohl die Betriebs- als auch die Extremlasten nachzuweisen. Für die Betriebslasten sind gemäß /2.2, 2.3/ hierzu der Auslegungslastfall DLC 1.2 unter Berücksichtigung der effektiven Turbulenzintensität und für die Extremlasten die Auslegungslastfälle DLC 1.1 oder 1.3 sowie der DLC 1.5 nachzurechnen.

Alternativ hierzu kann nach /2.8/ ein vereinfachtes Verfahren angewendet werden, wenn der jeweilige Standort der geplanten WEA nicht orografisch komplex gemäß der Definition in /2.2, 2.3/ ist. Nach dem vereinfachten Verfahren sind folgende Lasten zu ermitteln:

- Betriebslasten, wenn die mittlere Windgeschwindigkeit oder die Turbulenzintensität überschritten sind.
- Extremlasten, wenn der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren  $v_{ref}$  überschritten ist.

Eine solche standortspezifische, detaillierte Lastberechnung ist im Vergleich zu dem in Kapitel 2.1 dargestellten Nachweis durch einen Vergleich der Windbedingungen sehr aufwändig. Sie kann in der Regel nur vom jeweiligen Hersteller durchgeführt werden.

Diese standortspezifischen Lasten können mit den entsprechenden Auslegungslasten der Typenprüfung verglichen werden. Liegen die standortspezifischen Lasten unterhalb bzw. auf dem Niveau der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist die Standorteignung der WEA gegeben.

Liegen die standortspezifischen Lasten oberhalb der Auslegungslasten, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zugrunde gelegt wurden, ist ein Nachweis der Standorteignung der WEA durch einen Vergleich der Lasten nicht möglich.

In diesem Fall kann die Typenprüfung der WEA nicht angewendet werden und ein Einzelnachweis durch den Hersteller ist erforderlich.





## 2.3 Auslegungswerte

### 2.3.1 Turbulenzintensität

Die Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in den DIBt-Richtlinien von 1993/1995 /2.6/ und 2004 /2.7/ noch unabhängig von der Windzone definiert. Der Auslegungswert liegt gemäß DIBt-Richtlinie von 1993/1995 konstant bei 0.2 (20%). Die DIBt-Richtlinie von 2004 /2.7/ schreibt die Turbulenzkategorie A nach /2.1/ vor.

In der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ wird die Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2006 /2.2/ nur noch empfohlen. Grundsätzlich können auch andere Auslegungswerte der Turbulenzintensität zugrunde gelegt werden. In vielen Fällen finden hier die in den internationalen Richtlinien /2.2, 2.3, 2.4/ definierten Turbulenzkategorien Anwendung.

### 2.3.2 Windgeschwindigkeit

Die Typenprüfung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ erfolgt für eine bestimmte Windzone. Abhängig von der Windzone ist sowohl der Auslegungswert des 10-min-Mittelwertes der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren  $v_{\text{ref}}$  als auch die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe  $v_{\text{ave}}$  definiert. Diese Werte sind abhängig von der Nabenhöhe und unterscheiden sich in den einzelnen Windzonen. Der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren  $v_{\text{ref}}$  kann weiterhin entweder gemäß /2.9/ oder nach einer vereinfachten Formel gemäß /2.8/ bestimmt werden. Die Auslegungswerte sind daher der individuellen Typenprüfung der WEA zu entnehmen und können nicht allgemeingültig angegeben werden. Die Windgeschwindigkeitsverteilung ergibt sich in allen Fällen aus der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe unter Verwendung einer Rayleigh-Verteilung.

Nach den DIBt-Richtlinien /2.6, 2.7, 2.8/ werden die Auslegungswerte der Windgeschwindigkeit in die Windzonen 1 bis 4 bzw. I bis IV unterteilt, wobei die Windzone 4 oder IV die höchsten Auslegungswerte aufweist. In der zitierten Literatur werden hier sowohl arabische als auch römische Zahlen verwendet.

### 2.3.3 Weitere Windbedingungen

Den nach /2.2, 2.3/ zusätzlich nachzuweisenden Windbedingungen liegen im allgemeinen nach den DIBt-Richtlinien /2.7, 2.8/ folgende Auslegungswerte zugrunde:

- Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils:  $\alpha = 0.2$ ,





- mittlere Neigung der Anströmung:  $8^\circ$ ,
- mittlere Luftdichte:  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ .

## 2.4 Erläuterungen zu den verwendeten Methoden

Kommen im Einzelfall andere Berechnungsmethoden oder Eingangsdaten zur Anwendung als hier aufgeführt wird dies in Kapitel 4 entsprechend dargestellt.

### 2.4.1 Bestimmung der Komplexität

Große Geländesteigungen und Höhenunterschiede können zu erhöhten Umgebungsturbulenzintensitäten führen und müssen daher in orografisch komplexem Gelände bewertet werden. Der Einfluss der Geländeorografie kann nach /2.2, 2.3, 2.4/ durch einen Turbulenzstrukturparameter erfasst werden, der als Faktor auf die Turbulenzintensität wirkt.

Die Bestimmung der Komplexität kann gemäß DIBt-Richtlinie /2.8/ auf Basis der IEC 61400-1 Edition 3 /2.3/ erfolgen. Da die Bewertung der Komplexität in der IEC 61400-1 mit der Edition 4 /2.4/ maßgeblich überarbeitet wurde, erfolgt im Folgenden die Bestimmung der Komplexität gemäß /2.4/.

Die Bewertung der orografischen Komplexität eines WEA-Standortes erfolgt nach /2.4/ auf Basis von Geländesteigungen und Geländedifferenzen zu insgesamt 39 Ausgleichsebenen. Die Ausgleichsebenen werden mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate durch die Höhendaten gelegt. Zur Bewertung werden in /2.4/ Kriterien definiert, nach denen sowohl eine bestimmte Anströmrichtung als auch der gesamte Standort als „non complex“, „low complex“ (L), „medium complex“ (M) oder „high complex“ (H) charakterisiert werden kann.

Den einzelnen Komplexitätskategorien wird dann ein Turbulenzstrukturparameter gemäß Tabelle 2.4.1.1 zugeordnet. Der maximale sektorische Turbulenzstrukturparameter, der für eine Anströmrichtung ermittelt wird, wirkt dabei als Faktor auf die aus dieser Richtung ermittelte Umgebungsturbulenzintensität.

**Tabelle 2.4.1.1:** Turbulenzstrukturparameter  $C_{CT}$  für die verschiedenen Komplexitätskategorien L, M und H nach /2.4/.

|          | Komplexitätskategorie |      |      |
|----------|-----------------------|------|------|
|          | L                     | M    | H    |
| $C_{CT}$ | 1.05                  | 1.10 | 1.15 |

Das vereinfachte Verfahren zur Bewertung der Standorteignung nach /2.8/ wird im



Weiteren nur angewandt, wenn der gesamte Standort gemäß /2.4/ als nicht komplex eingestuft werden kann.

## 2.4.2 Bestimmung der Umgebungsturbulenzintensität

Die Turbulenzintensität ist definiert als das Verhältnis der Standardabweichung der zeitlichen Windgeschwindigkeitsverteilung zu ihrem Mittelwert bezogen auf ein Intervall von 600s. Die Umgebungsturbulenzintensität beschreibt dabei ausschließlich die Turbulenz der freien Strömung ohne den Einfluss von WEA.

Für die spätere Berechnung der effektiven Turbulenzintensität ist nicht die mittlere Umgebungsturbulenzintensität sondern abhängig von der Auslegung der jeweiligen WEA die charakteristische Turbulenzintensität (DIBt 1993/95, DIBt 2004 und IEC 61400-1 Edition 2) bzw. die repräsentative Turbulenzintensität (DIBt 2012, IEC 61400-1 Edition 3) zugrunde zu legen. Die charakteristische Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der einfachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität. Die repräsentative Turbulenzintensität ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität.

Wenn keine ausreichenden Messdaten zur Turbulenzintensität am Standort vorliegen, wird die mittlere langfristig zu erwartende Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt.

Im Bereich der atmosphärischen Bodengrenzschicht ergibt sich die zu berücksichtigende Umgebungsturbulenzintensität im Wesentlichen aus dem Einfluss der Rauigkeitselemente des Bodens wie Bäumen, Büschen, Bauwerken etc.. Hierzu erfolgt eine Typisierung von Geländeoberflächen hinsichtlich ihres Bewuchses, ihrer Bebauung und Nutzung auf Basis detaillierter Satellitendaten zur Bodenbedeckung /1.7/, wobei Geländeabschnitte bis 25km Entfernung um die jeweilige Koordinate einbezogen werden. Den einzelnen Geländeabschnitten werden anschließend Rauigkeitsklassen gemäß der Empfehlungen des für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Europäischen Windatlanten /1.3/ zugeordnet. Der Einfluss der verschiedenen Geländeabschnitte wird abhängig vom Abstand zur Koordinate in zwölf Richtungssektoren à 30° bewertet, wodurch sich gewichtete Mittel für die Rauigkeiten in den jeweiligen Sektoren ergeben.

Auf Grundlage dieser Rauigkeitsklassifizierung werden die notwendigen Werte von uns auf Basis der Empfehlungen der VDI-Richtlinie VDI 3783 Blatt 12 /1.1/ sowie der DIN EN 1991-1-4 /2.9/ bestimmt.

Die zu berücksichtigenden Umgebungsturbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu



den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend für die verschiedenen Richtungen und Windgeschwindigkeiten für jede einzelne WEA auf Nabenhöhe ermittelt und in den weiteren Berechnungen berücksichtigt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) der IEC 61400-1 /2.3/.

Einzelstrukturen und orografische Hindernisse, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen und orografischen Hindernisse auf den Rotor einer WEA nicht ausgeschlossen werden kann, können nicht als Rauigkeitselemente aufgelöst werden. Ihr Einfluss ist gegebenenfalls gesondert zu bewerten (siehe hierzu Kapitel 4.1).

### 2.4.3 Bestimmung der effektiven Turbulenzintensitäten

In /1.4/ ist ein Verfahren beschrieben, um den Einfluss mehrerer, verschieden weit entfernter WEA unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Nachlaufsituationen zu bewerten. Die Bewertung erfolgt mit Hilfe einer effektiven Turbulenzintensität. Die effektive Turbulenzintensität ist eine Ersatzgröße, welche über die gesamte Lebensdauer der WEA anzusetzen ist. Sie gewichtet die Belastung durch die Umgebungsturbulenzintensität und die zusätzlich durch die Nachlaufsituation induzierte Belastung. Das Verfahren wird sowohl im internationalen Regelwerk als auch in der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ empfohlen. Eine zusätzliche Belastung besteht nach diesem Berechnungsverfahren nicht mehr, wenn der Abstand zur benachbarten WEA mehr als zehn Rotordurchmesser beträgt. Da dieses Berechnungsverfahren im Folgenden Anwendung findet, wird bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einer WEA daher der Einfluss aller benachbarten WEA berücksichtigt, die bis zu 10D (bezogen auf ihren jeweiligen Rotordurchmesser) entfernt stehen.

Gegenüber der in /1.4/ dargestellten Form des Berechnungsverfahrens verwenden wir das Verfahren mit zwei Modifikationen, welche im Folgenden erläutert werden.

Das in /1.4/ eingesetzte Modell für die zusätzlich im Nachlauf produzierte Turbulenzintensität ist abhängig vom Schubbeiwert  $c_T$  der WEA. Hier verwenden wir für die Modellierung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität ein aufwändigeres Modell nach /1.2/, in das neben dem Schubbeiwert  $c_T$  der WEA auch die Schnelllaufzahl der WEA und die Umgebungsturbulenzintensität als Parameter eingehen. Ist es möglich eine WEA leistungsreduziert oder in einem veränderten Betriebsmodus zu betreiben, verwenden wir die zur jeweiligen Nennleistung bzw. dem Betriebsmodus gehörenden oder abdeckende Parameter. Sowohl in /1.4/ als



auch im internationalen Regelwerk /2.2, 2.3/ ist weiterhin ein Modell zur Bestimmung der zusätzlich im Nachlauf produzierten Turbulenzintensität angegeben, das ganz ohne anlagenspezifische Parameter auskommt. Hier wird ein generalisierter, konservativer Verlauf der Schubbeiwerte zugrunde gelegt /1.4/. Dieses Modell wird von uns verwendet, wenn für eine WEA die anlagenspezifischen Parameter nicht vorliegen oder diese einen Verlauf zeigen, der deutlich von denen der WEA abweicht, die der ursprünglichen Validierung zugrunde lagen.

Die zweite Modifikation betrifft die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation, die nach /2.8/ mit 6% angenommen werden kann. Dieser konstanten Häufigkeit liegt die Annahme eines voll ausgebildeten Nachlaufs (far wake) zugrunde, der sich typischerweise drei bis fünf Rotordurchmesser hinter der WEA einstellt. Um auch für geringe Anlagenabstände konservative Werte zu erhalten, wird die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation von uns davon abweichend auf Basis der realen geometrischen Verhältnisse im Windpark und unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtungen berechnet. Zusätzliche Sicherheit für den Nahbereich entsteht durch die Annahme, dass der Nachlauf der WEA von Anfang an eine deutlich größere Ausdehnung als der Rotor aufweist.

Die Ausdehnung des Nachlaufs wird auch in vertikaler Richtung berücksichtigt, so dass bei ausreichendem Höhenunterschied kein Einfluss des Nachlaufs auf die deutlich niedrigere bzw. höhere WEA mehr besteht.

Für den materialspezifischen Wöhlerlinien-Koeffizienten  $m$  wird der höchste Koeffizient für die schwächste Strukturkomponente der WEA zugrunde gelegt. Daraus ergibt sich ein abdeckender Wert von  $m = 10$  /1.5/ für glasfaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 30 bis 55 Volumen-% /2.5/. Für kohlefaserverstärkte Kunststoffe mit einem Faseranteil von 50 bis 60 Volumen-% wird nach /2.5/ ein Wert von  $m = 14$  zugrunde gelegt. Herstellerspezifisch können abweichende Wöhlerlinien-Koeffizienten für die schwächste Strukturkomponente der WEA verwendet werden. Wenn nicht anders gekennzeichnet, beziehen sich die hier dargestellten effektiven Turbulenzintensitäten auf einen Wöhlerlinien-Koeffizienten von  $m = 10$ .

Die DIBt von 2004 und 2012 /2.7, 2.8/ definiert die Auslegungswerte der Turbulenzintensität windgeschwindigkeitsabhängig. Demgegenüber definiert die DIBt von 1995 /2.6/ einen konstanten mittleren Auslegungswert für die Turbulenzintensität von 20%, der allen Windgeschwindigkeiten zugeordnet ist.

Da im Falle eines standortspezifischen Nachweises der Betriebslasten diese auf Basis der ermittelten windgeschwindigkeitsabhängigen effektiven Turbulenzintensitäten berechnet werden müssen, werden für alle betrachteten WEA die windgeschwindigkeitsabhängigen Werte ausgewiesen.



Für die WEA, für die Auslegungswerte der Turbulenzintensität auf Basis der DIBt von 1995 (1993) /2.6/ zugrunde gelegt werden, sind entsprechende konstante mittlere effektive Turbulenzintensitäten ausgewiesen. Benachbarte WEA mit einer sehr geringen oder sehr hohen Leistung pro Quadratmeter der Rotorfläche oder benachbarte WEA mit einer sehr niedrigen oder sehr hohen Nennwindgeschwindigkeit können dabei qualitativ abweichende Ergebnisse im Vergleich zu einer Bewertung auf Basis von windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten hervorrufen. In diesen Fällen kann der Vergleich mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten zugrunde gelegt werden.

#### **2.4.4 Bestimmung der Extremwerte der Turbulenzintensitäten**

Die Extremwerte der Turbulenzintensität werden entsprechend den Vorgaben in /2.3/ unter Berücksichtigung der Nachlaufsituationen bestimmt. Als Maß dient der über alle Richtungen gebildete Maximalwert der Turbulenzintensität im Zentrum des Nachlaufs.

#### **2.4.5 Bestimmung der Luftdichte**

Zur Berechnung der Luftdichte wird die mittlere Temperatur in 2m Höhe über den Zeitraum von 1981 bis 2010 aus einem 1km-Raster des Deutschen Wetterdienstes zugrunde gelegt /1.9/. Die Luftdichte auf Nabenhöhe der WEA wird anschließend auf Grundlage der Berechnungsvorschrift nach DIN ISO 2533 /2.12/ ermittelt und gemäß /2.4/ für Windgeschwindigkeiten oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit korrigiert.

#### **2.4.6 Bestimmung des Höhenexponenten**

Der Höhenexponent unterliegt sehr starken tageszeitlichen und saisonalen Schwankungen. Die Stabilität der Atmosphäre beeinflusst den Höhenexponenten dabei maßgeblich. Stabilitätsbedingte große Höhenexponenten sind dabei jedoch oft mit niedrigen Turbulenzen korreliert und werden bezüglich der Lasten durch diese oft ausgeglichen. Da entsprechend dem Regelwerk ein einziger über alle Zeiten, Windrichtungen und Windgeschwindigkeiten gemittelter Wert gefordert wird, erfolgt die Berechnung des mittleren Höhenexponenten daher alleine auf Basis der ermittelten Rauigkeiten. Einflüsse der Stabilität der Atmosphäre werden im Mittel dabei vernachlässigt.

Der Einfluss des Höhenexponenten auf die Lasten der einzelnen Komponenten einer WEA ist sehr unterschiedlich. Sowohl sehr kleine als auch sehr große Werte des Höhenexponenten können zu einer Erhöhung der Lasten führen. Ein einfacher Vergleich mit dem Auslegungswert des Höhenexponenten ist daher nicht möglich.





Der Mittelwert des Höhenexponenten sollte bei einem Auslegungswert von 0.2 gemäß /2.4/ in einem Wertebereich von 0.05 bis 0.25 liegen und kann damit um 25% nach oben und um 75% nach unten abweichen. Für andere Auslegungswerte des Höhenexponenten können analoge Gültigkeitsbereiche definiert werden.

Stehen die geplanten WEA in orografisch exponierter Lage auf oder in der Nähe von Hügelkuppen oder sind schroffe Geländekanten oder Steilhänge in direkter Umgebung vorhanden, ist zu überprüfen, ob es zu erhöhten Windgeschwindigkeitsgradienten in vertikaler Richtung im Bereich des Rotors der WEA kommen kann. Falls erforderlich, wird hierauf in Kapitel 4 hingewiesen.

### 2.4.7 Bestimmung der Schräganströmung

Die Bewertung der Schräganströmung kann gemäß /2.3/ auf Basis der durch die Höhendaten am Standort gelegten Ausgleichsebenen erfolgen. Da die Bewertung der Komplexität des Standortes, für den diese Ausgleichsebenen erzeugt werden, hier entsprechend der IEC 61400-1 Ed. 4 /2.4/ erfolgt, wird abweichend von der DIBt-Richtlinie /2.8/ die Bewertung der Schräganströmung ebenfalls nach /2.4/ durchgeführt. Dies ist erforderlich, um ein Bewertungsverfahren zu verwenden, das konform mit den Komplexitätskriterien nach /2.4/ ist.

Gemäß /2.4/ kann dabei angenommen werden, dass das energiegewichtete Mittel der Steigungen der sektoriellen Ausgleichsebenen, ermittelt für einen Umkreis vom fünffachen der Nabenhöhe der WEA, ein Maß für die Schräganströmung des WEA-Standortes darstellt.

Im Falle ausgeprägter Kuppen- oder Kammlagen, sind eventuell weitere Ausgleichsebenen gemäß Kapitel 2.4.1 heranzuziehen und werden dann zusätzlich in Kapitel 4 ausgewiesen.

### 2.4.8 Extrapolation der Winddaten

Die zur Verfügung gestellten Winddaten werden nicht in der Horizontalen umgerechnet. Es findet vielmehr in Abstimmung mit dem Auftraggeber eine Zuordnung der WEA-Standorte zu dem oder den Windreferenzpunkten statt. Diese Zuordnung kann dem Anhang entnommen werden.

Besteht ein signifikanter Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA findet eine Umrechnung der Winddaten in der Vertikalen statt. Diese Extrapolation erfolgt unter Annahme eines logarithmischen Höhenprofils der Windgeschwindigkeit. Die erforderlichen mittleren Rauigkeitslängen werden für die WEA auf Basis der Rauigkeitsklassifizierung ermittelt.



Eine Haftung für die Richtigkeit der extrapolierten Werte wird nicht übernommen.

Mit zunehmendem Höhenunterschied zwischen Bezugshöhe der Winddaten und Nabenhöhe der WEA steigen die mit der Umrechnung verbundenen Unsicherheiten. Gleiches gilt für einen zunehmenden Abstand zwischen den WEA-Standorten und den Referenzpunkten der Winddaten. Diese Unsicherheiten können die Verwendung der Winddaten insbesondere als Eingangsdaten für eine standortspezifische Lastrechnung einschränken. Auf eine solche Einschränkung wird gegebenenfalls im Gutachten hingewiesen.

## 2.5 Gültigkeit der Ergebnisse

Alle Werte mit Höhenbezug beziehen sich, wenn nichts anderes angegeben ist, auf die Nabenhöhe ( $z_{\text{hub}}$ ) der entsprechenden WEA.

Die für den Nachweis der Standorteignung notwendige effektive Turbulenzintensität hängt von mehreren Faktoren ab. Dies sind die Windparkkonfiguration in Form der WEA-Daten (Koordinaten, WEA-Typ, Nabenhöhe, Nennleistung und eventuelle vorhandene Betriebsbeschränkungen), die Windbedingungen (Häufigkeitsverteilung der Windrichtung, sektorielle Weibull-Parameter der Windgeschwindigkeitsverteilung sowie die Umgebungsturbulenzintensität) und die Typenprüfung der WEA, die festlegt, welcher statistische Wert der Umgebungsturbulenzintensität zugrunde zu legen ist.

Jede Änderung dieser Randbedingungen erfordert daher eine Neubewertung der Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität.

Änderungen in der Nabenhöhe von  $\pm 1\text{m}$  liegen innerhalb der Toleranzen und sind durch die Ergebnisse abgedeckt.

Da bei den betrachteten WEA anlagenspezifische Werte (siehe Kapitel 2.1) berücksichtigt werden, kann insbesondere bei einem Wechsel auf einen anderen WEA-Typ mit z.B. kleinerem Rotordurchmesser nicht unterstellt werden, dass die Aussage des Gutachtens weiterhin gültig ist.

Bei den verwendeten anlagenspezifischen Werten (siehe Kapitel 2.1) kann es sich um berechnete oder gemessene Größen des Herstellers handeln. Diese können voneinander abweichen und zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die jeweils aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen. Für alle betrachteten WEA wird für die Bewertung die Entwurfslebensdauer der Typenprüfung zugrunde gelegt.

Für bestehende WEA, die ihre Entwurfslebensdauer bereits überschritten haben,





kann es durch eine Neuplanung zu einer Verkürzung der möglichen Weiterbetriebszeit kommen. Eine Bewertung der Zumutbarkeit dieses Einflusses ist nicht Gegenstand dieses Gutachtens. Die ermittelten Ergebnisse können aber als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebslasten verwendet werden, um den Einfluss der geplanten WEA auf die mögliche Weiterbetriebszeit zu ermitteln.

Zum Zeitpunkt der Erstellung des Gutachtens steht nicht fest, welche Dokumente im Rahmen des Genehmigungsverfahrens später bei der Behörde eingereicht werden. Die im Gutachten zitierten Quelldokumente der verwendeten Auslegungswerte müssen daher nicht zwingend mit den Dokumenten übereinstimmen, welche im Rahmen des Bauantrages bzw. der Baugenehmigung vorgelegt werden. Sie dienen hier lediglich als Quellenangabe für die verwendeten Auslegungswerte.

Wenn in den uns vorliegenden Dokumenten zur Auslegung der WEA kein eindeutiger Rückschluss auf Auslegungswerte möglich ist, verwenden wir konservativ abdeckende Werte. Eine Haftung für die Richtigkeit der ermittelten Werte wird nicht übernommen.

Auf Basis des Gutachtens ist zu prüfen, ob die im Gutachten aufgeführten Auslegungswerte mit den Auslegungswerten in den zur Baugenehmigung vorgelegten Dokumenten übereinstimmen. Wenn die Auslegungswerte übereinstimmen ist die Gültigkeit des Gutachtens unabhängig von den zitierten Quelldokumenten gegeben.

Die bei sehr geringen Abständen mögliche gegenseitige Beeinflussung benachbarter WEA durch die Nachlaufschleppe der Turmbauwerke wird nicht betrachtet. Ebenso wird ein möglicher Einfluss von sehr nahe liegenden großen Einzelstrukturen wie z.B. hohen Gebäuden auf betrachtete WEA nicht untersucht.

### 2.5.1 Betriebsbeschränkungen

Wenn bei sonst gleichbleibenden Randbedingungen WEA entfallen oder zusätzliche Betriebsbeschränkungen definiert werden, führt dies stets zu gleichbleibenden bzw. niedrigeren effektiven Turbulenzintensitäten. Die betroffenen Aussagen zur Standorteignung sind daher in diesen Fällen weiterhin anwendbar.

Der Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA kann sich aber stärker abbilden. Aussagen zu einem nicht signifikanten Einfluss neu geplanter WEA auf bestehende WEA behalten in diesen Fällen daher nicht immer ihre Gültigkeit und sind neu zu bewerten.

Aufgeführte Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wird nicht vorgenommen.



## **2.6 Darstellung von Betriebsbeschränkungen im Gutachten**

### **2.6.1 Einfluss von benachbarten Windenergieanlagen**

Betriebsbeschränkungen, bei denen der Einfluss einer windaufwärts gelegenen WEA auf eine windabwärts gelegene WEA reduziert oder ausgeschlossen wird, werden in Kapitel A.2.6 des Anhangs aufgeführt.

Für verschiedene Berechnungsvarianten können dabei unterschiedliche Betriebsbeschränkungen definiert werden. Die Betriebsbeschränkungen werden daher in Gruppen zusammengefasst. Diese Betriebsbeschränkungs-Gruppen werden dann den Berechnungsvarianten zugeordnet. Die Zuordnung ist in der Übersicht der Berechnungsvarianten in Kapitel A.2.5 des Anhangs dargestellt.

Innerhalb der Betriebsbeschränkungs-Gruppe werden die einzelnen Betriebsbeschränkungen durchnummeriert.

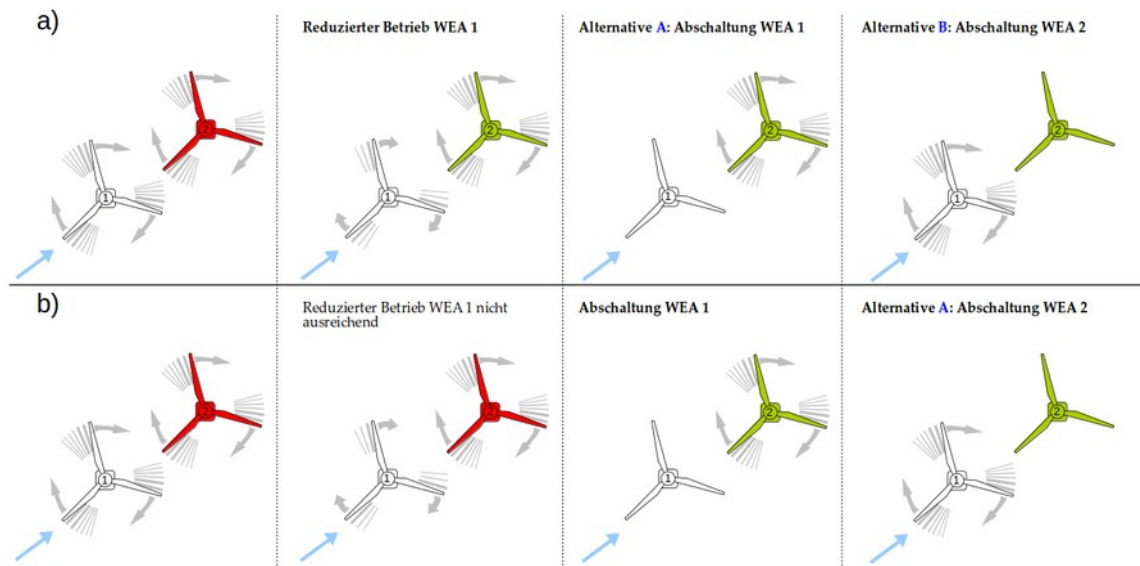
### **2.6.2 Alternative Betriebsbeschränkungen**

Da die Lasten bei einer abgeschalteten WEA auch in der erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung der verursachenden Nachbar-WEA geringer sind als im Betrieb bei ungestörter Anströmung, kann statt der windaufwärts gelegenen, verursachenden WEA alternativ auch die zu schützende WEA abgeschaltet werden.

Betriebsbeschränkungen, bei denen für einen bestimmten Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich Abschaltungen definiert sind, decken Betriebsbeschränkungen, bei denen ein anderer Betriebsmodus oder eine Blattwinkelverstellung für dieselben Bereiche definiert wird, ab.

Es ergeben sich also zu jeder definierten Betriebsbeschränkung automatisch entweder zwei mögliche Alternativen (Beispiel a in Abbildung 2.6.2.1) oder eine mögliche Alternative (Beispiel b in Abbildung 2.6.2.1).

In den Ergebnissen wird oft nur eine der Betriebsbeschränkungsvarianten dargestellt. Die genannten Alternativen sind aber stets möglich.



**Abbildung 2.6.2.1:** Betriebsbeschränkung mit zwei Alternativen (a) und mit nur einer Alternative (b) für die verursachende WEA 1 und die zu schützende WEA 2.

Abbildung 2.6.2.2 zeigt ein Beispiel für die Darstellung einer Betriebsbeschränkungs-Gruppe mit zwei Betriebsbeschränkungen im Gutachten, wenn auch die Alternativen mit aufgeführt werden.

In der obersten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 wird zunächst eine Übersicht dargestellt. Die WEA 3 wird zum Schutz der WEA 2 bei einigen Windgeschwindigkeiten in einem anderen Betriebsmodus betrieben (Betriebsbeschränkung Nr. 1). Die WEA 3 wird weiterhin zum Schutz der WEA 4 bei einigen Windgeschwindigkeiten abgeschaltet (Betriebsbeschränkung Nr. 2).

In der zweiten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 sind die Details der Betriebsbeschränkung dargestellt.

In der dritten und vierten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 folgen dann die oben genannten Alternativen, die sich automatisch ergeben. Die Betriebsbeschränkung Nr. 2 besitzt dabei nur eine mögliche, sich automatisch ergebende Alternative. Die Betriebsbeschränkung Nr. 2 ist daher in der zweiten und dritten Tabelle identisch.

Für jede Betriebsbeschränkung muss eine der Alternativen umgesetzt werden. Es ist aber nicht erforderlich für alle Betriebsbeschränkungen die Alternativen aus der selben Tabelle umzusetzen. Für die Betriebsbeschränkung Nr. 1 kann also z.B. die Variante aus der zweiten Tabelle in Abbildung 2.6.2.2 und für die Betriebsbeschränkung Nr. 2 die Variante aus der vierten Tabelle gewählt werden.



### 3 Eingangsdaten

#### 3.1 Windparkkonfiguration und Auslegungswerte

Am Standort Rohnstedt (Thüringen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA 19 und 20). Am Standort befinden sich 18 weitere benachbarte WEA.

Die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration sind in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs bzw. in Abschnitt A.2.7 des Anhangs dargestellt.




Die Zuordnung der einzelnen WEA zu den Winddatensätzen (Kapitel A.2.4 des Anhangs und gegebenenfalls zu den Datensätzen der Umgebungsturbulenzintensität (Kapitel A.2.1 des Anhangs) kann den letzten beiden Spalten (Datensatz-Nr.) der Tabelle A.2.2.1 des Anhangs entnommen werden.

Alle Benennungen von WEA im Dokument beziehen sich auf die Nomenklatur von Spalte 2 (Nr.) in Tabelle A.2.2.1 des Anhangs.

Für die zu betrachtenden WEA werden die in Tabelle 3.1.1 dargestellten Auslegungen zugrunde gelegt.

Die zu den Auslegungen gehörenden Auslegungswerte sind im Anhang in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 dargestellt.

**Tabelle 3.1.1:** Auslegungen der zu betrachtenden WEA (Detailwerte und Quellenangaben siehe Anhang Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 sowie A.5).

| WEA                                                                                 |          | Auslegung      |          |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|----------|
|                                                                                     | Lfd. Nr. | Richtlinie     | Windzone |
|  | 1 - 9    | DIBt 1993/1995 | ---      |
|  | 11 - 14  | DIBt 2004      | ---      |
|  | 19, 20   | DIBt 2012      | WZ S     |

#### 3.2 Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und Windgeschwindigkeiten zum Standort Rohnstedt wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /3.1/ und sind in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellt.

Die in Kapitel A.2.4 des Anhangs dargestellten Koordinaten werden eventuell nicht im Original-Koordinatensystem aus /3.1/ dargestellt, sondern auf das hier verwendete Koordinatensystem umgerechnet (siehe Kapitel A.1.1 des Anhangs). Für die Umrechnung der Koordinaten wird keine Gewähr übernommen.



Die verwendeten Daten werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung im Windpark am Standort Rohnstedt vorausgesetzt.


### 3.3 Extremwind am Standort

Durch die anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH wurde in /3.3/ der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf 166m Höhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren standortspezifisch ermittelt.

Eine Extrapolation des in Tabelle 3.3.1 aufgeführten standortspezifischen 10-min-Mittelwertes der Windgeschwindigkeit mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren auf einer Höhe von 166m auf die Nabenhöhe der WEA 19 und 20 (169m und 175m) würde unter Berücksichtigung eines konservativen Höhenexponenten den Auslegungswert  $v_{\text{ref}}$  der WEA 19 und 20 nicht überschreiten.

Der in /3.3/ ermittelte Wert ist in Tabelle 3.3.1 aufgeführt.

**Tabelle 3.3.1:** 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf 166 mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren /3.3/.

| WEA                                                                                 |          | $v_{50}$ [m/s] |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------------|
|                                                                                     | Lfd. Nr. |                |
|  | 19 - 20  | 32.3           |

### 3.4 Umgebungsturbulenzintensität am Standort

Die Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität erfolgt gemäß Kapitel 2.4.2 und den dort genannten Eingangsdaten.

Die Bewertung des Orografieeinflusses erfolgt im vorliegenden Fall auf Basis von Höhendaten nach /1.8/.

### 3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen

Die in Tabelle 5.2.1 dargestellten Ergebnisse berücksichtigen keine Betriebsbeschränkungen.

## 4 Bestimmung der Standortbedingungen

### 4.1 Standortbesichtigung

Gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Standortbesichtigung durchzuführen. Im Rahmen des Nachweises der Standorteignung dient die Standortbesichtigung der Dokumentation der aktuellen Situation vor Ort und der Bestimmung der Geländekategorie nach /2.9/.





Weiterhin sollen Einzelstrukturen und orografische Hindernisse identifiziert werden, die auf Grund ihrer Entfernung und Höhe so groß sind, dass der direkte Einfluss der Nachlaufströmung dieser Einzelstrukturen und orografischen Hindernisse auf den Rotor einer WEA nicht ausgeschlossen werden kann. Diese Einzelstrukturen können dann nicht als Rauigkeitselement aufgelöst werden und ihr Einfluss ist gesondert zu bewerten.

Im schwächer gestörten Bereich hinter einer Einzelstruktur kommt es dabei im Wesentlichen zu erhöhten Turbulenzintensitäten und der Einfluss auf eine WEA kann in Form erhöhter Umgebungsturbulenzintensitäten berücksichtigt werden. Dieser Einfluss ist auch für bestehende WEA zu berücksichtigen, da diese im Zuge des Zubaus hinsichtlich der Turbulenzintensität bewertet werden. Im Falle orografischer Hindernisse im weiteren Umfeld der WEA erfolgt eine solche Bewertung automatisch durch die Bestimmung des Orografiebeiwertes (siehe Kapitel 2.4.1).

Im stärker gestörten Bereich hinter einer Einzelstruktur kommt es zu weiteren Effekten, die detaillierte Untersuchungen durch z.B. eine dreidimensionale Strömungsberechnung erfordern. Dieser Einfluss ist nur für die geplanten WEA zu untersuchen.

Benachbarte WEA sind nicht als Einzelstrukturen zu betrachten. Die Verifizierung der Windparkkonfiguration (siehe Kapitel 3) ist daher nicht Umfang der Standortbesichtigung.

Der Standort wurde am 30.05.2024 von einem Mitarbeiter der Firma Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH besichtigt. Als Ergebnis dieser Besichtigung liegen uns folgende Unterlagen vor:

- Fotos vom Standort Rohnstedt /3.2/,
- Standortbeschreibung inklusive Übersichtskarte zum Standort Rohnstedt /3.2/.

Die im vorliegenden Bericht /3.2/ gemachten Angaben werden im Folgenden als richtig vorausgesetzt.

Der Standort wurde in den vorliegenden Unterlagen /3.2/ in die Geländekategorie II nach /2.9/ eingeordnet.

Relevante Einzelstrukturen, deren Nachlaufströmungen gesondert zu betrachten wären, wurden in den vorliegenden Unterlagen /3.2/ nicht identifiziert.

## **4.2 Ergebnisse Standortbedingungen**

Die ermittelten Standortbedingungen sind in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.4 des





Anhangs dargestellt. Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in Tabelle A.3.1.1 des Anhangs rot markiert.

Entsprechend der DIBt-Richtlinie /2.8/ werden die Ergebnisse für alle WEA ausgewiesen, deren Abstand bezogen auf den Rotordurchmesser  $D$  der geplanten WEA kleiner gleich acht Rotordurchmesser ist. Diese Betrachtungsweise ist abdeckend für alle Referenzwindgeschwindigkeiten  $v_{\text{ref}}$  (siehe Kapitel 2).

Für die WEA, die in Tabelle A.3.1.4 des Anhangs als komplex markiert sind, kann das vereinfachte Verfahren zum Nachweis der Standorteignung nach DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ nicht angewendet werden.

In Tabelle A.2.5.1 ist eine Übersicht aller durchgeführten Berechnungsvarianten dargestellt.

Es sind zusätzlich in den Tabellen A.3.2.1 und A.3.3.1 des Anhangs effektive Turbulenzintensitäten für die Wöhlerlinien-Koeffizienten  $m = 4$  und  $8$  dargestellt.

#### **4.2.1 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren**

Die Windzone der Standorte der geplanten WEA und der zugehörige 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren wurden gemäß /2.10/ bzw. /2.11/ ermittelt und können Tabelle A.3.1.4 des Anhangs entnommen werden.

Sofern in Kapitel 3.3 kein standortspezifischer Wert ermittelt wurde, finden diese Werte Anwendung.

Sofern es sich um einen küstennahen Standort der höchsten Windzone handelt wird der 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren sowohl für die Geländekategorie I als auch für die Geländekategorie II angegeben. Der Wert für die Geländekategorie I ist zu verwenden, wenn die Standortbesichtigung eine Einordnung in Geländekategorie I ergeben hat (siehe Kapitel 4.1). In allen anderen Fällen kann der Wert der Geländekategorie II angesetzt werden.

## **5 Nachweis der Standorteignung**

### **5.1 Allgemeine Hinweise**

- Bezüglich der Gültigkeit der getroffenen Aussagen gelten die in Kapitel 2.5 genannten Anmerkungen.



## **5.2 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen**

In Tabelle 5.2.1 ist das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen sowie die Einzelergebnisse für die einzelnen Windparameter in einer Übersicht dargestellt. Die Bewertung beruht auf einem Vergleich der in Tabelle 3.3.1 sowie in den Tabellen A.3.1.1 und A.3.1.4 des Anhangs dargestellten Werte mit den Auslegungswerten in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2. Für die Bewertung der Windgeschwindigkeitsverteilung werden die Parameter A und k der Weibullverteilung dabei nicht direkt verglichen, sondern dienen als Eingangswerte für die in Kapitel 2.1 aufgeführten Nachweismethoden.

Das Gesamtergebnis ist nur positiv, wenn alle Einzelergebnisse positiv bewertet sind. Für bestehende WEA wird nur der Einfluss der geplanten WEA auf Auslegungswerte der Turbulenzintensität betrachtet (siehe Kapitel 2.1).

Laut DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ ist eine Verwendung von Windgeschwindigkeitsklassen mit einer Klassenbreite von 2m/s zulässig. Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität in einzelnen isolierten Windgeschwindigkeitsbereichen mit einer Breite von nur 1m/s können daher in der Regel als vernachlässigbar bewertet werden.




Die Bewertung der effektiven Turbulenzintensität in Tabelle 5.2.1 bezieht sich auf den zu bewertenden Windgeschwindigkeitsbereich (siehe Kapitel 2.1). Überschreitungen außerhalb dieses Bereiches können als vernachlässigbar bewertet werden.

Weisen zu betrachtende WEA bereits vor dem Zubau der hier als geplant betrachteten WEA Überschreitungen bei der effektiven Turbulenzintensität auf, wird in Tabelle 5.2.1 darauf hingewiesen, ob es zu einer signifikanten Erhöhung dieser Werte und damit zu einem signifikanten Einfluss der geplanten WEA kommt.



Betriebsbeschränkungen, die als Randbedingungen in die Berechnung eingehen, werden in Tabelle 5.2.1 jeweils der zu schützenden WEA zugeordnet. Verwiesen wird dabei jeweils auf die Übersichtstabelle der Betriebsbeschränkungen im Anhang. Details und mögliche Alternativen können den darauffolgenden Tabellen des jeweiligen Kapitels im Anhang entnommen werden (siehe auch Kapitel 2.6.2).



**Tabelle 5.2.1:** Übersicht über das Ergebnis des Nachweises der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen (+: erfüllt, -: nicht erfüllt, ---: Bewertung nicht erforderlich).

| WEA                                                                                 |          |             | Randbedingungen | Einzelergebnisse |          |           |        |      |          | Gesamt-<br>ergebnis | Kommentar                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-----------------|------------------|----------|-----------|--------|------|----------|---------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                     | Lfd. Nr. | Bezeichnung |                 | $I_{\text{eff}}$ | $\alpha$ | $\varphi$ | $\rho$ | A, k | $v_{50}$ |                     |                                                 |
|    | 1        | KL 01       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 2        | KL 02       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 3        | KL 03       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 4        | KL 04       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 5        | KL 05       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 6        | KL 06       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|    | 7        | KL 07       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | Bewertung $I_{\text{eff}}$ nach DIBt 1995 /2.6/ |
|   | 8        | KL 08       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|  | 9        | KL 09       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|  | 11       | KL 11       | ---             | -                |          |           | ---    |      |          | -                   | ---                                             |
|  | 12       | KL 12       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|  | 13       | KL 13       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |
|  | 14       | KL 14       | ---             | +                |          |           | ---    |      |          | +                   | ---                                             |



| WEA                                                                               |          |             | Randbedingungen | Einzelergebnisse |          |           |        |      |          | Gesamt-<br>ergebnis | Kommentar |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------|-----------------|------------------|----------|-----------|--------|------|----------|---------------------|-----------|
|                                                                                   | Lfd. Nr. | Bezeichnung | BBS             | $I_{\text{eff}}$ | $\alpha$ | $\varphi$ | $\rho$ | A, k | $v_{50}$ |                     |           |
|  | 19       | ROHN 01.1   | ---             | +                | ---      | ---       | ---    | +    | +        | +                   | ---       |
|  | 20       | ROHN 02.1   | ---             | +                | ---      | ---       | ---    | +    | +        | +                   | ---       |



## 5.2.1 Erläuterungen und Hinweise

- Bezüglich der in /3.3/ getroffenen Aussage zum 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren ist gemäß /3.3/ die Möglichkeit einer Überschreitung des in /3.3/ ausgewiesenen Extremwertes nicht auszuschließen, da Extremwinde nicht vorher-sagbaren klimatologischen Einflüssen unterworfen sind und somit Extremwinde eines längeren Bezugszeitraumes auch in einem kürzeren Zeitraum auftreten können.

## 5.2.2 Betriebsbeschränkungen

Alle aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen Mindestanforderungen dar. Eine Prüfung der technischen Umsetzbarkeit wurde nicht vorgenommen.

Die notwendigen Betriebsbeschränkungen hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität sind in der Übersichtstabelle A.2.6.1.1 dargestellt. Für jede notwendige Betriebsbeschränkung zwischen zwei WEA können die Details (Windgeschwindigkeits- und Windrichtungsbereich sowie Art der Beschränkung und gegebenenfalls mögliche Alternativen) den darauffolgenden Tabellen desselben Kapitels im Anhang entnommen werden. Zu den implizit mit abgedeckten alternativen Betriebsbeschränkungen siehe Kapitel 2.6.2.

## 5.2.3 Einschränkungen

Die Aussagen zum Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Windbedingungen unterliegen keinen Einschränkungen.

## 5.3 Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten

Die in den Tabellen A.3.1.1 - A.3.1.4, A.3.2.1 und A.3.3.1 des Anhangs dargestellten Werte oder diese bezüglich der Lasten abdeckende Werte können als Eingangsparameter für standortspezifische Berechnungen der Betriebs- und Extremlasten durch den Hersteller verwendet werden, um die Standorteignung der zu betrachtenden WEA durch einen Vergleich mit den Auslegungslasten zu überprüfen.

Die Komplexität von WEA-Standorten kann dabei entweder in der effektiven Turbulenzintensität über entsprechende Turbulenzstrukturparameter erfasst werden oder sie ist in den standortspezifischen Berechnungen der Betriebslasten gemäß /2.2, 2.3/ durch eine Erhöhung der lateralen und vertikalen Komponente der Standardabweichung der Windgeschwindigkeit auf den einfachen bzw. den



0.7fachen Wert der longitudinalen Komponente zu berücksichtigen.

Die Richtlinien /2.1 - 2.4, 2.6 - 2.8/ definieren keine Anwendungsgrenzen für die Verwendung effektiver Turbulenzintensitäten als Eingangsdaten für eine Lastrechnung hinsichtlich enger Abstände zwischen den WEA. Grundsätzlich gelten die effektiven Turbulenzintensitäten auch im sogenannten near-wake-Bereich, der sich auf einen Abstand von etwa 2 bis 3 Rotordurchmesser hinter der WEA erstreckt /1.4/. Werden Lastrechnungsmodelle im near-wake-Bereich eingesetzt, wird deren Anwendbarkeit vorausgesetzt. Besondere Anforderungen an die Modellierung, die eventuell in den verschiedenen Lastrechnungsmodellen für den near-wake-Bereich existieren, obliegen der Verantwortung des Erstellers der Lastrechnung und sind nicht Teil der hier durchgeführten Plausibilitätsprüfung der Lastrechnung.

Ein entsprechender Berechnungsbericht liegt für die WEA 11 nicht vor.

## 6 Zusammenfassung

Am Standort Rohnstedt (Thüringen) plant der Auftraggeber die Errichtung von zwei Windenergieanlagen (WEA). Am Standort befinden sich 18 weitere benachbarte WEA.

Die Planung wurde von uns daraufhin bewertet, ob die Standorteignung der zu betrachtenden WEA gemäß DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen von 2012 /2.8/ gewährleistet ist.

Die Ergebnisse beziehen sich dabei auf eine vorliegende gültige Typenprüfung für die betrachteten WEA. Der Typenprüfung müssen mindestens die in den Tabellen A.2.3.1 und A.2.3.2 aufgeführten Auslegungswerte zugrunde liegen.

Die berücksichtigte Entwurfslebensdauer der geplanten WEA ist in Tabelle A.2.3.1 dargestellt.



Die Ergebnisse dienen gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG. Das heißt, die Immissionen sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Die abschließenden Aussagen zur Standorteignung der geplanten WEA bzw. der weiteren zu betrachtenden WEA sind in Tabelle 6.1 dargestellt. Gemäß DIBt-Richtlinie /2.8/ erfolgt der Nachweis der Standorteignung der weiteren zu betrachtenden WEA, sofern keine Lastrechnung vorliegt, hinsichtlich des Einflusses benachbarter WEA.



Für WEA, für die in Tabelle 6.1 ein vernachlässigbarer Einfluss durch die neu geplanten WEA ausgewiesen wird, ist ein abschließender Nachweis der Standorteignung im Rahmen des Zubaus der geplanten WEA nicht erforderlich und wurde nicht erbracht, da die Standorteignung dieser WEA durch den Zubau der geplanten WEA nicht gefährdet wird.

Betriebsbeschränkungen werden in Tabelle 6.1 jeweils der zu schützenden WEA zugeordnet. Verwiesen wird dabei jeweils auf die Übersichtstabelle der Betriebsbeschränkungen im Anhang. Details und mögliche Alternativen können den darauffolgenden Tabellen des jeweiligen Kapitels im Anhang entnommen werden (siehe auch Kapitel 2.6.2).

**Tabelle 6.1:** Übersicht über die Bewertung der Standorteignung für die geplanten WEA  und für die weiteren zu betrachtenden WEA  (Bewertungen: - = nicht nachgewiesen,  $\Delta \approx 0$  = vernachlässigbarer Einfluss durch die geplanten WEA, + = nachgewiesen).

|                                                                                     | Lfd. Nr.<br>WEA | Bewertung | Lastrechnung<br>berücksichtigt | Einzuhaltende<br>BBS     | Einschränkungen |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-----------|--------------------------------|--------------------------|-----------------|
|  | 1 - 9, 12 - 14  | +         | ---                            | ---                      | ---             |
|  | 11              | +         | ---                            | Nr. 1 Tabelle A.2.6.1.1* | ---             |
|  | 19, 20          | +         | ---                            | ---                      | ---             |

\*: Die Betriebsbeschränkung kann entfallen, wenn auf Basis der hier ermittelten Windbedingungen ein Nachweis der Standorteignung durch einen Vergleich der Lasten erbracht wird (siehe Kapitel 5.3).





## 7 Literaturangaben

### Allgemein

- /1.1/ Verein Deutscher Ingenieure; VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Dezember 2000; Düsseldorf, Deutschland.
- /1.2/ ECN Solar & Wind Energy; Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II; 1998; Petten, Netherlands.
- /1.3/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; 1989; Risø, Denmark.
- /1.4/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in windturbine clusters; Wind Energy Department; Januar 2007; Roskilde, Risø-R-1188(EN), Denmark.
- /1.5/ Kunte A.; Landesamt für Landwirtschaft; Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, Seite 28-30; Seevetal, Deutschland.
- /1.6/ OpenStreetMap und Mitwirkende; siehe Internet: <http://www.openstreetmap.org>, <http://opendatacommons.org>, <http://creativecommons.org>.
- /1.7/ European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20.0; Juni 2019; Copenhagen, Denmark.
- /1.8/ U.S. Geological Survey (USGS); EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global.
- /1.9/ Deutscher Wetterdienst; DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2m) für Deutschland 1981-2010, Version v1.0; Offenbach, Deutschland.

### Normen

- /2.1/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 2, 1999-02; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:1999); August 2004; Berlin, Deutschland).
- /2.2/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2005-08; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005); Juli 2006; Berlin, Deutschland).
- /2.3/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Amendment 1, Wind turbines - Part 1: Design requirements; Edition 3, 2010-10; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1):2011-08; Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); August 2011; Berlin, Deutschland).
- /2.4/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1, Wind energy generation systems - Part 1: Design requirements; Edition 4, 2019-12; Geneva, Switzerland (Deutsche Fassung: Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1 (VDE 0127-1); Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Dezember 2019; Berlin, Deutschland).



- /2.5/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guidelines for the Certification of Wind Turbines; 2010; Hamburg, Deutschland.
- /2.6/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Aufl., 1995; Berlin, Deutschland.
- /2.7/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Berlin, Deutschland.
- /2.8/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 sowie korrigierte Fassung März 2015; Berlin, Deutschland.
- /2.9/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4 und DIN EN 1991-1-4/NA (Nationaler Anhang); Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen - Windlasten; Dezember 2010; Berlin, Deutschland.
- /2.10/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen, 'Windzonen\_Formular\_nach\_Verwaltungsgrenzen.xlsx'; Fassung April 2019.
- /2.11/ DIN Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN 4131; Antennentragwerke aus Stahl; November 1991; Berlin, Deutschland.
- /2.12/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN ISO 2533; Normatmosphäre; Dezember 1979; Berlin, Deutschland.

### Projektspezifisch

- /3.1/ Winddaten zum Standort Rohnstedt; als Dateien 'Rohnstedt\_Winddaten-HS02\_anemos.pdf' am 30.08.2024 und '20241112\_dse\_Windklima-Rohnstedt.pdf' am 12.11.2024 per E-Mail vom Auftraggeber.
- /3.2/ Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH; Dokumentation Standortbesichtigung Kutzleben-Rohnstedt; Bericht SV-IBK-8380824; 20.08.2024; Dresden, Deutschland.
- /3.3/ anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Kutzleben-Rohnstedt; Berichts-Nr.: 20-095-7020266-Rev.00-EX-MS; 26. Mai 2020; Reppenstedt, Deutschland.

## A.1 Allgemeine Daten

### A.1.1 Einstellungen

|                            |                                   |
|----------------------------|-----------------------------------|
| Benutzername               | Victor de Diego, F2E              |
| Kunde                      | BOREAS Energie GmbH               |
| Projektname                | Rohnstedt                         |
| Referenznummer             | 2024-E-009-P3-R0                  |
| Software                   | Wake2e 3.11.5.9                   |
|                            | WEA-Bibliothek Version 7.429.1    |
| Koordinatensystem          | UTM WGS84/ETRS89, Nord-Hemisphäre |
| Abstand der relevanten WEA | 8.0D                              |

### A.1.2 Filter-Einstellungen

|                 |                                                    |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| Geplante WEA    | Angezeigt                                          |
| Relevante WEA   | Angezeigt                                          |
| Vorhandene WEA  | Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt |
| Irrelevante WEA | Eingabedaten angezeigt, Ergebnisse nicht angezeigt |
| Inaktive WEA    | Nicht angezeigt                                    |

### A.1.3 Standortbesichtigung

|                                |                                              |
|--------------------------------|----------------------------------------------|
| Datum der Besichtigung         | 30.05.2024                                   |
| Durchgeführt von               | Daniel Schelter, Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH |
| Ermittelte Geländekategorie    | II                                           |
| Orografisch relevante Struktur | Nein                                         |















## A.2 Eingabedaten

### A.2.1 Umgebungsturbulenzintensitäten

**Methode** Rauigkeitsdaten für jeden WEA-Standort aus den Landnutzungsdaten  
**Datensatz** European Environment Agency; CORINE Land Cover (CLC) 2018, Version 20; June 2019; Copenhagen, Denmark.  
**Höhendaten** "USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global" by Earth Resources Observation and Science (EROS) Center - July 30, 2018







### A.2.2 Windparkkonfiguration

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

| WEA                                                                                 |     |             |                            |                        |                         |          | Koordinaten |         | Datensatz-Nr. |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----------------------------|------------------------|-------------------------|----------|-------------|---------|---------------|-----------|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | WEA-Typ                    | P <sub>N</sub><br>[MW] | Z <sub>hub</sub><br>[m] | D<br>[m] | Ost         | Nord    | Wind          | Turbulenz |
|    | 1   | KL 01       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629674    | 5675532 | 1             | —         |
|    | 2   | KL 02       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629640    | 5675257 | 1             | —         |
|    | 3   | KL 03       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629607    | 5674993 | 1             | —         |
|   | 4   | KL 04       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629940    | 5675352 | 1             | —         |
|  | 5   | KL 05       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629904    | 5675052 | 1             | —         |
|  | 6   | KL 06       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32629845    | 5674782 | 1             | —         |
|  | 7   | KL 07       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32630334    | 5675554 | 1             | —         |
|  | 8   | KL 08       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32630278    | 5675309 | 1             | —         |
|  | 9   | KL 09       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32630274    | 5675025 | 1             | —         |
|  | 10  | KL 10       | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 2                      | 105                     | 90       | 32630333    | 5674707 | 1             | —         |
|  | 11  | KL 11       | Vestas V112 3.0MW Mode 0   | 3.075                  | 140                     | 112      | 32630102    | 5675721 | 2             | —         |
|  | 12  | KL 12       | Vestas V112 3.0MW Mode 0   | 3.075                  | 140                     | 112      | 32630661    | 5675707 | 2             | —         |
|  | 13  | KL 13       | Vestas V112 3.0MW Mode 0   | 3.075                  | 140                     | 112      | 32630646    | 5675299 | 2             | —         |
|  | 14  | KL 14       | Vestas V112 3.0MW Mode 0   | 3.075                  | 140                     | 112      | 32630611    | 5674943 | 2             | —         |













Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.2.2.1: Windparkkonfiguration

| WEA                                                                               |     |             |                                        |                        |                         |          | Koordinaten |         | Datensatz-Nr. |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----------------------------------------|------------------------|-------------------------|----------|-------------|---------|---------------|-----------|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | WEA-Typ                                | P <sub>N</sub><br>[MW] | z <sub>hub</sub><br>[m] | D<br>[m] | Ost         | Nord    | Wind          | Turbulenz |
|  | 15  | HS 01       | Vestas V112 3.0MW Mode 0               | 3.075                  | 140                     | 112      | 32628798    | 5675276 | 2             | —         |
|  | 16  | HS 02       | Vestas V112 3.0MW Mode 0               | 3.075                  | 140                     | 112      | 32628764    | 5674794 | 2             | —         |
|  | 17  | HS 03       | Vestas V112 3.0MW Mode 0               | 3.075                  | 140                     | 112      | 32629098    | 5675061 | 2             | —         |
|  | 18  | HS 04       | Vestas V112 3.0MW Mode 0               | 3.075                  | 140                     | 112      | 32629164    | 5674741 | 2             | —         |
|  | 19  | ROHN 01.1   | Vestas V162-6.0 Mode PO6000/PO6000-0S  | 6                      | 169                     | 162      | 32629998    | 5676040 | 3             | —         |
|  | 20  | ROHN 02.1   | Vestas V172-7.2 Mode PO7200 restricted | 7.2                    | 175                     | 172      | 32630487    | 5676193 | 4             | —         |

## A.2.3 Auslegungswerte

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung

|                                                                                     | Nr. | Richtlinie | WZ             | I <sub>amb</sub> | I <sub>des</sub> | τ <sub>design</sub> | v <sub>ave</sub> | k | α <sub>min</sub> | α <sub>max</sub> | φ  | ρ     | v <sub>50</sub> | Quellen   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|----------------|------------------|------------------|---------------------|------------------|---|------------------|------------------|----|-------|-----------------|-----------|
|    | 1   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|   | 2   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 3   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 4   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 5   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 6   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 7   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 8   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 9   | DIBt 1993  | WZ II          | Charakteristisch | 1                | 20                  | 6.46             | 2 | 0.16             | 0.16             | 10 | 1.25  | 40.2            | /A.1-A.2/ |
|  | 11  | DIBt 2004  | WZ II Anhang B | Charakteristisch | 2                | 20                  | 7.58             | 2 | 0.2              | 0.2              | 8  | 1.225 | 42.1            | /A.3-A.4/ |
|  | 12  | DIBt 2004  | WZ II Anhang B | Charakteristisch | 2                | 20                  | 7.58             | 2 | 0.2              | 0.2              | 8  | 1.225 | 42.1            | /A.3-A.4/ |
|  | 13  | DIBt 2004  | WZ II Anhang B | Charakteristisch | 2                | 20                  | 7.58             | 2 | 0.2              | 0.2              | 8  | 1.225 | 42.1            | /A.3-A.4/ |

Diese Tabellen wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.2.3.1: WEA-Auslegung




|                                                                                   | Nr. | Richtlinie | WZ             | $I_{amb}$        | $I_{des}$ | $\tau_{design}$ | $v_{ave}$ | k    | $\alpha_{min}$ | $\alpha_{max}$ | $\varphi$ | $\rho$ | $v_{50}$ | Quellen   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|------------|----------------|------------------|-----------|-----------------|-----------|------|----------------|----------------|-----------|--------|----------|-----------|
|  | 14  | DIBt 2004  | WZ II Anhang B | Charakteristisch | 2         | 20              | 7.58      | 2    | 0.2            | 0.2            | 8         | 1.225  | 42.1     | /A.3-A.4/ |
|  | 19  | DIBt 2012  | WZ S           | Repräsentativ    | 29        | 20              | 7.5       | 2.22 | 0.27           | 0.27           | 8         | 1.224  | 37.6     | /A.5-A.6/ |
|  | 20  | DIBt 2012  | WZ S           | Repräsentativ    | 45        | 20              | 7.2       | 2    | 0.27           | 0.27           | 8         | 1.225  | 38       | /A.7-A.9/ |

Tabelle A.2.3.2: Auslegungswerte der Turbulenzintensität  $I_{des}$  [%]

| WEA |                                                    | Auslegungswerte für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----|----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Id  | Turbulenzkategorie                                 | Alle                                                             | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26   | 27   | 28   | 29   |
| 1   | DIBt 1993                                          | 20.0                                                             | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    | —    |
| 2   | DIBt 2004                                          | —                                                                | 42.0 | 34.5 | 30.0 | 27.0 | 24.9 | 23.3 | 22.0 | 21.0 | 20.2 | 19.5 | 18.9 | 18.4 | 18.0 | 17.6 | 17.3 | 17.0 | 16.7 | 16.5 | 16.3 | 16.1 | 15.9 | 15.8 | 15.6 | 15.5 | 15.3 | 15.2 | 15.1 |
| 29  | Vestas V150-5.x/6.0 V162 (20y lifetime) not HH105m | —                                                                | 39.0 | 36.0 | 33.4 | 30.7 | 28.4 | 26.5 | 25.2 | 22.9 | 20.7 | 18.7 | 16.9 | 16.0 | 15.4 | 14.9 | 14.5 | 14.2 | 13.9 | 13.7 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.1 | 13.0 | —    | —    | —    | —    |
| 45  | Vestas V172 (20y lifetime)                         | —                                                                | 39.0 | 36.0 | 33.4 | 30.7 | 28.4 | 26.5 | 25.2 | 22.9 | 20.7 | 18.7 | 16.9 | 16.0 | 15.4 | 14.9 | 14.5 | 14.2 | 13.9 | 13.7 | 13.7 | 13.5 | 13.3 | 13.1 | 13.0 | —    | —    | —    | —    |

## A.2.4 Winddaten

Quelle Externe Datei  
 Dateiname info\_se\_rohnstedt\_rev0\_hma.csv

Tabelle A.2.4.1: Wind-Datensatz "Wind 1"

|                     | N     | NNO   | ONO   | O     | OSO  | SSO   | S     | SSW   | WSW   | W     | WNW   | NNW  | Mittelwerte über alle Richtungen |       |                      | Koordinaten des Referenzpunkts |          |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|----------|
| A [m/s]             | 4.9   | 5.3   | 5.8   | 4.8   | 3.7  | 3.1   | 3.6   | 6.5   | 9.1   | 8.4   | 7.3   | 6    | A [m/s]                          | 6.60  | Aus der Eingabedatei | Höhe über Grund [m]            | 105      |
| k [-]               | 1.97  | 2.11  | 2.3   | 2.06  | 1.89 | 1.7   | 1.46  | 1.8   | 2.45  | 2.44  | 2.35  | 2.23 | k [-]                            | 1.850 | Aus der Eingabedatei | Ost                            | 32630278 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.038 | 0.044 | 0.087 | 0.099 | 0.05 | 0.034 | 0.039 | 0.079 | 0.199 | 0.152 | 0.108 | 0.07 | $v_{ave}$ [m/s]                  | 5.90  | Aus der Eingabedatei | Nord                           | 5675309  |

Tabelle A.2.4.2: Wind-Datensatz "Wind 2"

|                     | N     | NNO   | ONO   | O     | OSO   | SSO   | S     | SSW   | WSW  | W     | WNW   | NNW   | Mittelwerte über alle Richtungen |       |                      | Koordinaten des Referenzpunkts |          |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|----------|
| A [m/s]             | 5.1   | 5.4   | 6.1   | 6     | 4.9   | 5.7   | 7     | 8.2   | 9.5  | 9     | 9     | 7     | A [m/s]                          | 7.80  | Aus der Eingabedatei | Höhe über Grund [m]            | 140      |
| k [-]               | 2.21  | 1.99  | 2.2   | 2.22  | 2.22  | 1.92  | 2.23  | 2.09  | 2.31 | 2.26  | 2.27  | 2.01  | k [-]                            | 1.990 | Aus der Eingabedatei | Ost                            | 32628764 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.031 | 0.052 | 0.089 | 0.068 | 0.028 | 0.027 | 0.072 | 0.139 | 0.21 | 0.163 | 0.083 | 0.038 | v <sub>ave</sub> [m/s]           | 6.91  | Aus der Eingabedatei | Nord                           | 5674788  |

Tabelle A.2.4.3: Wind-Datensatz "Wind 3"

|                     | N     | NNO   | ONO   | O     | OSO   | SSO   | S     | SSW   | WSW  | W     | WNW   | NNW   | Mittelwerte über alle Richtungen |       |                      | Koordinaten des Referenzpunkts |          |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|----------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|----------|
| A [m/s]             | 5.3   | 5.8   | 6.5   | 5.4   | 4.2   | 3.4   | 4     | 7     | 10   | 9.5   | 8.2   | 6.6   | A [m/s]                          | 7.40  | Aus der Eingabedatei | Höhe über Grund [m]            | 169      |
| k [-]               | 1.87  | 1.99  | 2.19  | 1.94  | 1.79  | 1.61  | 1.38  | 1.7   | 2.33 | 2.31  | 2.22  | 2.12  | k [-]                            | 1.780 | Aus der Eingabedatei | Ost                            | 32629998 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.037 | 0.042 | 0.087 | 0.101 | 0.052 | 0.033 | 0.038 | 0.075 | 0.2  | 0.155 | 0.111 | 0.069 | v <sub>ave</sub> [m/s]           | 6.55  | Aus der Eingabedatei | Nord                           | 5676040  |

Tabelle A.2.4.4: Wind-Datensatz "Wind 4"

|                     | N     | NNO   | ONO   | O    | OSO   | SSO   | S     | SSW   | WSW   | W     | WNW   | NNW  | Mittelwerte über alle Richtungen |       |                      | Koordinaten des Referenzpunkts |          |
|---------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|----------------------------------|-------|----------------------|--------------------------------|----------|
| A [m/s]             | 5.4   | 5.8   | 6.5   | 5.3  | 4.2   | 3.4   | 4     | 7     | 10.1  | 9.4   | 8.2   | 6.6  | A [m/s]                          | 7.40  | Aus der Eingabedatei | Höhe über Grund [m]            | 175      |
| k [-]               | 1.86  | 1.98  | 2.18  | 1.94 | 1.78  | 1.6   | 1.38  | 1.7   | 2.32  | 2.3   | 2.22  | 2.11 | k [-]                            | 1.780 | Aus der Eingabedatei | Ost                            | 32630487 |
| Häufigkeit (100%=1) | 0.037 | 0.042 | 0.087 | 0.1  | 0.052 | 0.034 | 0.039 | 0.076 | 0.199 | 0.154 | 0.111 | 0.07 | v <sub>ave</sub> [m/s]           | 6.55  | Aus der Eingabedatei | Nord                           | 5676193  |

## A.2.5 Berechnungsvarianten

Tabelle A.2.5.1: Berechnungsvarianten

| Id | Beschriftung                | BBS-Gruppe | Wöhlerlinien-Koeffizient | Einfluss der Orografie ignorieren | Ergebnisse im Abschnitt |
|----|-----------------------------|------------|--------------------------|-----------------------------------|-------------------------|
| 2  | Situation nach dem Zubau    | —          | Projekt-Vorgabewert      | Nein                              | A.3.1                   |
| 3  | Wöhlerlinienkoeffizient m=4 | —          | 4                        | Nein                              | A.3.2                   |
| 4  | Wöhlerlinienkoeffizient m=8 | —          | 8                        | Nein                              | A.3.3                   |
| 5  | Betriebsbeschränkungen      | 1          | Projekt-Vorgabewert      | Nein                              | A.3.4                   |

## A.2.6 Betriebsbeschränkungen (BBS)

### A.2.6.1 BBS-Gruppe 1



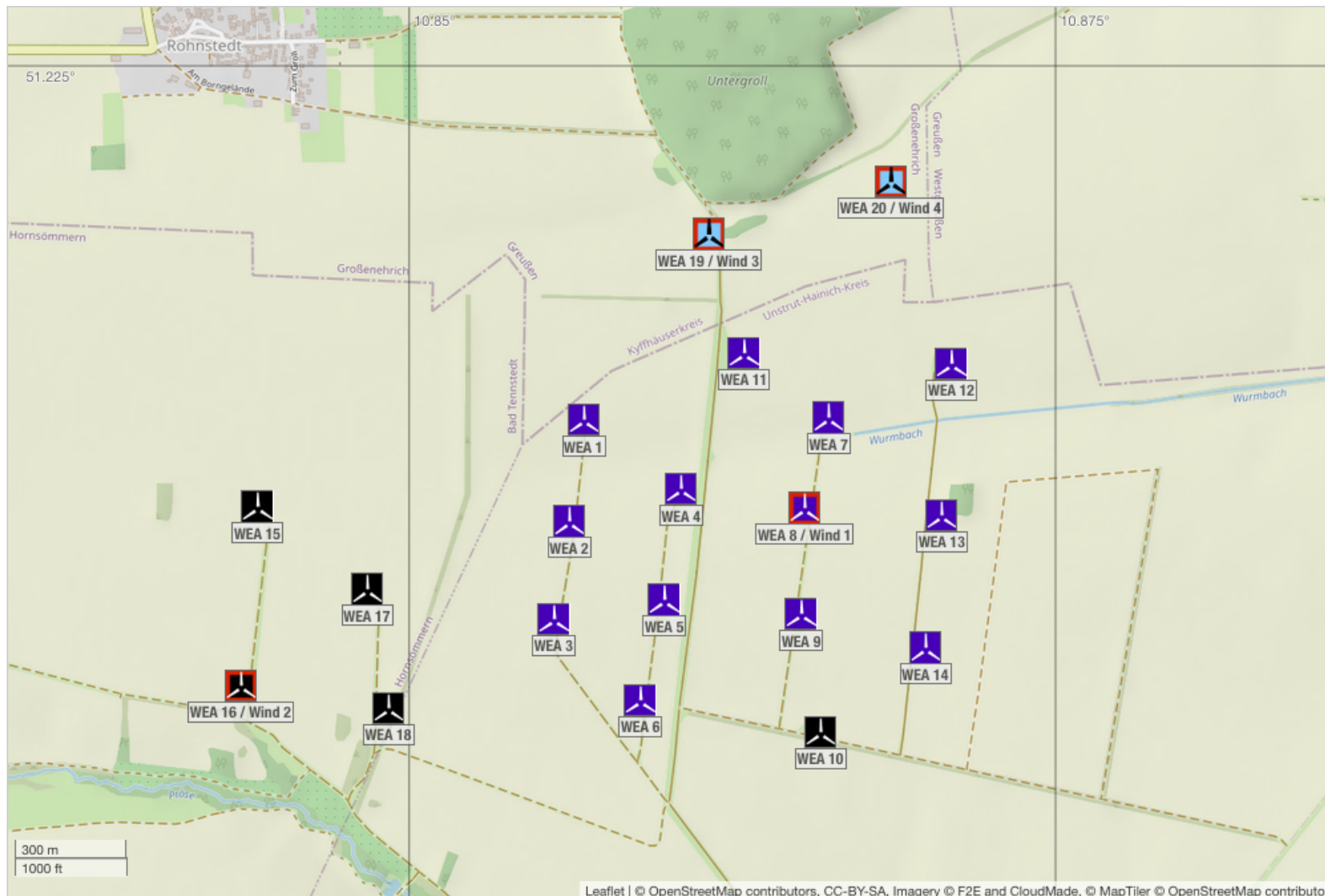
Tabelle A.2.6.1.1: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Übersicht (A=Abschaltung, R=Eingeschränkter Betrieb)

| Windaufwärts gelegene WEA |          |             | Zu schützende WEA |             | Windgeschwindigkeitsbereiche [m/s] |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |
|---------------------------|----------|-------------|-------------------|-------------|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--|
| Nr.                       | Lfd. Nr. | Bezeichnung | Lfd. Nr.          | Bezeichnung | 3                                  | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |  |
| 1                         | 19       | ROHN 01.1   | 11                | KL 11       |                                    |   |   |   |   |   | R |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |  |

Tabelle A.2.6.1.2: Betriebsbeschränkungen der BBS-Gruppe 1 - Details
















| Beschränkte WEA |          |             | Zu schützende WEA |             | Beschränkungen |                        |             |                             |                            |                          |                         |
|-----------------|----------|-------------|-------------------|-------------|----------------|------------------------|-------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------------|
| Nr.             | Lfd. Nr. | Bezeichnung | Lfd. Nr.          | Bezeichnung | Abschaltung    | Betriebsmodus          | $\beta$ [°] | $\gamma_{\text{start}}$ [°] | $\gamma_{\text{stop}}$ [°] | $v_{\text{start}}$ [m/s] | $v_{\text{stop}}$ [m/s] |
| 1               | 19       | ROHN 01.1   | 11                | KL 11       | -              | Mode SO6 (v-out 20m/s) | -           | 312.9                       | 13.9                       | 7.7                      | 8.7                     |
|                 | 19       | ROHN 01.1   |                   |             | -              | Mode SO4 (v-out 20m/s) | -           | 312.9                       | 13.9                       | 8.7                      | 9.7                     |

## A.2.7 Karte des Windparks



## A.2.8 Abstände zwischen aktiven Windenergieanlagen

Tabelle A.2.8.1: Abstände zu den nächsten fünf aktiven WEA in Rotordurchmessern der jeweiligen Nachbar-WEA

| WEA                                                                                 |     |             | Nachbar 1 |            | Nachbar 2 |            | Nachbar 3 |            | Nachbar 4 |            | Nachbar 5 |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|-----------|------------|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | Nr.       | Entfernung | Nr.       | Entfernung | Nr.       | Entfernung | Nr.       | Entfernung | Nr.       | Entfernung |
|    | 1   | KL 01       | 2         | 3.08       | 4         | 3.57       | 19        | 3.72       | 11        | 4.18       | 5         | 5.91       |
|    | 2   | KL 02       | 3         | 2.96       | 1         | 3.08       | 4         | 3.50       | 5         | 3.71       | 17        | 5.15       |
|    | 3   | KL 03       | 2         | 2.96       | 5         | 3.36       | 6         | 3.53       | 18        | 4.55       | 17        | 4.59       |
|    | 4   | KL 04       | 5         | 3.36       | 2         | 3.50       | 1         | 3.57       | 11        | 3.60       | 8         | 3.79       |
|    | 5   | KL 05       | 6         | 3.07       | 4         | 3.36       | 3         | 3.36       | 2         | 3.71       | 9         | 4.12       |
|    | 6   | KL 06       | 5         | 3.07       | 3         | 3.53       | 9         | 5.48       | 10        | 5.49       | 2         | 5.75       |
|    | 7   | KL 07       | 11        | 2.55       | 8         | 2.79       | 12        | 3.22       | 13        | 3.60       | 19        | 3.65       |
|    | 8   | KL 08       | 7         | 2.79       | 9         | 3.16       | 13        | 3.29       | 4         | 3.79       | 11        | 4.00       |
|    | 9   | KL 09       | 14        | 3.10       | 8         | 3.16       | 10        | 3.59       | 5         | 4.12       | 13        | 4.13       |
|    | 11  | KL 11       | 19        | 2.07       | 7         | 3.18       | 20        | 3.54       | 4         | 4.48       | 8         | 4.98       |
|   | 12  | KL 12       | 20        | 3.00       | 13        | 3.65       | 7         | 4.01       | 19        | 4.58       | 11        | 4.99       |
|  | 13  | KL 13       | 14        | 3.19       | 12        | 3.65       | 8         | 4.09       | 7         | 4.48       | 9         | 5.13       |
|  | 14  | KL 14       | 13        | 3.19       | 9         | 3.85       | 10        | 4.05       | 8         | 5.50       | 12        | 6.84       |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 20        | 2.98       | 11        | 3.00       | 7         | 6.56       | 12        | 6.62       | 1         | 6.69       |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 19        | 3.16       | 12        | 4.61       | 11        | 5.44       | 7         | 7.30       | 13        | 8.11       |

## A.3 Ergebnisse

### A.3.1 Situation nach dem Zubau

BBS definiert                      Nein  
 Einfluss der Orografie bewerten    Ja  
 Ist Vorherfall                      Nein

Tabelle A.3.1.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]
















| WEA                                                                                 |     |             |    | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|--|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | m  | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 |  |
|    | 1   | KL 01       | 10 | 15.8                                                                  | —    | 26.8 | 23.7 | 21.6 | 19.8 | 18.2 | 17.0 | 15.5 | 14.0 | 12.8 | 12.0 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 2   | KL 02       | 10 | 17.0                                                                  | —    | 28.5 | 25.3 | 23.2 | 21.5 | 19.9 | 18.7 | 16.9 | 15.3 | 13.7 | 12.7 | 12.1 | 11.6 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 3   | KL 03       | 10 | 16.9                                                                  | —    | 28.6 | 25.4 | 23.3 | 21.6 | 20.0 | 18.9 | 17.5 | 15.8 | 14.2 | 13.1 | 12.4 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.1 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 4   | KL 04       | 10 | 17.3                                                                  | —    | 28.3 | 25.4 | 23.6 | 22.4 | 21.2 | 20.4 | 18.9 | 17.6 | 16.0 | 14.4 | 13.6 | 12.8 | 12.3 | 11.8 | 11.5 | 11.2 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 5   | KL 05       | 10 | 17.5                                                                  | —    | 28.7 | 25.8 | 24.0 | 22.7 | 21.4 | 20.6 | 19.0 | 17.6 | 15.8 | 14.2 | 13.3 | 12.4 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 6   | KL 06       | 10 | 16.3                                                                  | —    | 27.5 | 24.6 | 22.7 | 21.3 | 19.9 | 18.9 | 17.2 | 15.7 | 14.1 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 9.9  | 9.9  | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|   | 7   | KL 07       | 10 | 18.9                                                                  | —    | 31.7 | 28.6 | 26.6 | 24.9 | 23.4 | 22.9 | 21.7 | 18.8 | 16.1 | 14.3 | 13.1 | 12.3 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 8   | KL 08       | 10 | 17.8                                                                  | —    | 30.0 | 26.7 | 24.6 | 22.9 | 21.3 | 20.2 | 18.4 | 16.8 | 15.2 | 13.8 | 13.0 | 12.3 | 11.8 | 11.4 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 9   | KL 09       | 10 | 16.9                                                                  | —    | 28.6 | 25.2 | 23.0 | 21.3 | 19.8 | 18.8 | 17.3 | 15.9 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 11  | KL 11       | 10 | —                                                                     | 31.2 | 28.9 | 28.9 | 27.8 | 25.9 | 24.4 | 22.4 | 19.7 | 17.0 | 14.9 | 13.5 | 12.5 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.4 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 12  | KL 12       | 10 | —                                                                     | 28.6 | 25.7 | 23.5 | 22.0 | 20.6 | 19.4 | 18.6 | 17.4 | 16.0 | 14.6 | 13.4 | 12.6 | 12.0 | 11.6 | 11.2 | 10.9 | 10.6 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 13  | KL 13       | 10 | —                                                                     | 30.3 | 27.1 | 24.1 | 22.3 | 20.8 | 19.6 | 18.9 | 17.8 | 16.1 | 14.5 | 13.2 | 12.5 | 11.9 | 11.4 | 11.0 | 10.8 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 14  | KL 14       | 10 | —                                                                     | 29.3 | 26.3 | 23.3 | 21.4 | 20.0 | 18.8 | 18.1 | 16.8 | 15.6 | 14.3 | 13.1 | 12.4 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.7 | 10.4 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 10 | —                                                                     | 31.4 | 27.0 | 24.7 | 23.1 | 21.2 | 19.4 | 17.8 | 16.0 | 14.4 | 13.0 | 12.0 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 10 | —                                                                     | 28.4 | 24.8 | 24.1 | 23.2 | 22.0 | 21.1 | 19.9 | 18.0 | 16.2 | 14.7 | 13.7 | 12.9 | 12.3 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 9.9  | —  | —  | —  | —  |  |

Tabelle A.3.1.2: Extremwerte der Turbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]



















| WEA                                                                                 |     |             |    | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|--|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | m  | 3                                                                     | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 |  |
|    | 1   | KL 01       | 10 | —                                                                     | 32.6 | 29.4 | 27.5 | 26.1 | 24.6 | 23.7 | 21.7 | 20.1 | 18.0 | 15.9 | 14.8 | 13.7 | 13.0 | 12.4 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | 11.1 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 2   | KL 02       | 10 | —                                                                     | 33.4 | 30.1 | 28.2 | 26.7 | 25.2 | 24.3 | 22.3 | 20.6 | 18.4 | 16.3 | 15.2 | 14.1 | 13.4 | 12.7 | 12.3 | 11.8 | 11.4 | 11.4 | 11.4 | 11.5 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 3   | KL 03       | 10 | —                                                                     | 34.2 | 31.0 | 28.9 | 27.5 | 26.0 | 25.0 | 22.9 | 21.1 | 18.9 | 16.7 | 15.5 | 14.3 | 13.6 | 12.9 | 12.4 | 12.0 | 11.5 | 11.5 | 11.6 | 11.6 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 4   | KL 04       | 10 | —                                                                     | 31.3 | 28.1 | 26.2 | 24.8 | 23.4 | 22.5 | 20.9 | 19.2 | 17.3 | 15.4 | 14.4 | 13.4 | 12.8 | 12.2 | 11.7 | 11.4 | 11.1 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 5   | KL 05       | 10 | —                                                                     | 32.8 | 29.6 | 27.7 | 26.2 | 24.8 | 23.9 | 21.9 | 20.2 | 18.1 | 16.1 | 15.1 | 14.1 | 13.4 | 12.8 | 12.4 | 12.0 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | 11.6 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 6   | KL 06       | 10 | —                                                                     | 33.9 | 30.6 | 28.6 | 27.2 | 25.6 | 24.7 | 22.6 | 20.9 | 18.8 | 16.6 | 15.5 | 14.3 | 13.7 | 13.0 | 12.5 | 12.0 | 11.6 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 7   | KL 07       | 10 | —                                                                     | 36.8 | 32.9 | 30.5 | 28.5 | 26.8 | 26.4 | 25.2 | 22.0 | 19.1 | 16.8 | 15.5 | 14.3 | 13.5 | 12.8 | 12.3 | 11.8 | 11.3 | 11.3 | 11.4 | 11.4 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 8   | KL 08       | 10 | —                                                                     | 35.8 | 32.5 | 30.4 | 28.9 | 27.3 | 26.3 | 24.1 | 22.2 | 19.8 | 17.4 | 16.1 | 14.8 | 14.1 | 13.3 | 12.8 | 12.3 | 11.8 | 11.9 | 11.9 | 11.9 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 9   | KL 09       | 10 | —                                                                     | 33.5 | 30.2 | 28.2 | 26.8 | 25.3 | 24.3 | 22.3 | 20.6 | 18.5 | 16.5 | 15.4 | 14.3 | 13.6 | 12.9 | 12.5 | 12.0 | 11.6 | 11.6 | 11.7 | 11.7 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 11  | KL 11       | 10 | 39.9                                                                  | 36.7 | 37.6 | 36.3 | 34.0 | 32.1 | 29.7 | 26.1 | 22.5 | 19.5 | 17.4 | 16.0 | 14.8 | 13.9 | 13.2 | 12.5 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.7 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 12  | KL 12       | 10 | 34.0                                                                  | 29.7 | 28.4 | 27.1 | 25.1 | 23.3 | 21.7 | 19.8 | 18.1 | 16.4 | 15.0 | 14.0 | 13.2 | 12.6 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 10.9 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |  |
|    | 13  | KL 13       | 10 | 36.4                                                                  | 32.0 | 28.4 | 26.3 | 24.5 | 23.0 | 22.6 | 21.6 | 19.0 | 16.6 | 15.0 | 13.9 | 13.0 | 12.4 | 11.8 | 11.4 | 11.0 | 10.8 | 10.6 | 10.6 | 10.5 | 10.4 | 10.4 | —  | —  | —  | —  |  |
|   | 14  | KL 14       | 10 | 37.2                                                                  | 32.7 | 29.1 | 26.8 | 25.0 | 23.5 | 23.1 | 22.0 | 19.5 | 16.9 | 15.3 | 14.2 | 13.4 | 12.7 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.9 | 10.8 | 10.7 | 10.6 | 10.5 | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 10 | 37.8                                                                  | 33.4 | 29.7 | 27.4 | 25.6 | 24.1 | 23.6 | 22.6 | 19.9 | 17.2 | 15.5 | 14.3 | 13.4 | 12.7 | 12.2 | 11.8 | 11.4 | 11.0 | 10.8 | 10.7 | 10.5 | 10.5 | —    | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 10 | 32.4                                                                  | 28.8 | 28.3 | 27.0 | 25.1 | 23.7 | 22.0 | 19.7 | 17.4 | 15.6 | 14.3 | 13.4 | 12.7 | 12.1 | 11.6 | 11.2 | 10.8 | 10.5 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | —  | —  | —  | —  |  |

Tabelle A.3.1.3: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3 | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 1   | KL 01       | 4.2                                                                   | — | 7.7 | 6.3 | 5.4 | 5.1 | 5.1 | 5.0 | 5.5 | 6.2 | 6.7 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 2   | KL 02       | 3.0                                                                   | — | 6.0 | 4.7 | 3.8 | 3.4 | 3.4 | 3.3 | 4.1 | 4.9 | 5.8 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 3   | KL 03       | 3.1                                                                   | — | 5.9 | 4.6 | 3.7 | 3.3 | 3.3 | 3.1 | 3.5 | 4.4 | 5.3 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 5.9 | 5.8 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 4   | KL 04       | 2.7                                                                   | — | 6.2 | 4.6 | 3.4 | 2.5 | 2.1 | 1.6 | 2.1 | 2.6 | 3.5 | 4.5 | 4.8 | 5.2 | 5.3 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.6 | 5.4 | 5.2 | 5.0 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.3.1.3: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]



























| WEA                                                                               |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 5   | KL 05       | 2.5                                                                   | —    | 5.8  | 4.2 | 3.0 | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 2.0 | 2.6 | 3.7 | 4.7 | 5.1 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 5.9 | 5.8 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 6   | KL 06       | 3.7                                                                   | —    | 7.0  | 5.4 | 4.3 | 3.6 | 3.4 | 3.1 | 3.8 | 4.5 | 5.4 | 6.1 | 6.4 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.2 | 6.0 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 7   | KL 07       | 1.1                                                                   | —    | 2.8  | 1.4 | 0.4 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 0.7 | 1.4 | 3.4 | 4.6 | 5.3 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 2.2                                                                   | —    | 4.5  | 3.3 | 2.4 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 2.6 | 3.4 | 4.3 | 5.1 | 5.4 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 5.9 | 5.9 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 3.1                                                                   | —    | 5.9  | 4.8 | 4.0 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 3.7 | 4.3 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 11  | KL 11       | —                                                                     | 10.8 | 5.6  | 1.1 | 0.8 | 1.0 | 1.1 | 0.4 | 1.3 | 3.2 | 4.6 | 5.4 | 5.9 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.4 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.7 | 5.6 | 5.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | —                                                                     | 13.4 | 8.8  | 6.5 | 5.0 | 4.3 | 3.9 | 3.4 | 3.6 | 4.2 | 4.9 | 5.5 | 5.8 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 5.4 | 5.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | —                                                                     | 11.7 | 7.4  | 5.9 | 4.7 | 4.1 | 3.7 | 3.1 | 3.2 | 4.1 | 5.0 | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.6 | 5.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | —                                                                     | 12.7 | 8.2  | 6.7 | 5.6 | 4.9 | 4.5 | 3.9 | 4.2 | 4.6 | 5.2 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.8 | 5.7 | 5.5 | —  | —  | —  | —  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | —                                                                     | 7.6  | 9.0  | 8.7 | 7.6 | 7.2 | 7.1 | 7.4 | 6.9 | 6.3 | 5.7 | 4.9 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4.0 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | —                                                                     | 10.6 | 11.2 | 9.3 | 7.5 | 6.4 | 5.4 | 5.3 | 4.9 | 4.5 | 4.0 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.2 | 3.1 | 2.9 | 3.1 | —  | —  | —  | —  |

Tabelle A.3.1.4: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

| WEA-Eigenschaften                                                                   |     |                            |                         |          |      | Nächste WEA     |     | Ergebnisse                |          |         |                       |          |              |       |                                 |                                 |            |                                |          |                           |                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|----------------------------|-------------------------|----------|------|-----------------|-----|---------------------------|----------|---------|-----------------------|----------|--------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|------------|--------------------------------|----------|---------------------------|-----------------------------------------------|
|                                                                                     | Nr. | WEA-Typ                    | z <sub>hub</sub><br>[m] | D<br>[m] | BBS  | Abstand<br>in D | Nr. | Geschützt<br>durch<br>BBS | m<br>[-] | Komplex | α <sub>n</sub><br>[-] | φ<br>[°] | ρ<br>[kg/m³] | WZ    | v <sub>50</sub><br>GK2<br>[m/s] | v <sub>50</sub><br>GK1<br>[m/s] | A<br>[m/s] | A<br>ρ <sub>kor</sub><br>[m/s] | k<br>[-] | v <sub>ave</sub><br>[m/s] | v <sub>ave</sub><br>ρ <sub>kor</sub><br>[m/s] |
|  | 1   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 3.078           | 2   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 1.0      | 1.210        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.53                           | 1.85     | 5.9                       | 5.8                                           |
|  | 2   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 2.956           | 3   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.5      | 1.210        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.53                           | 1.85     | 5.9                       | 5.8                                           |
|  | 3   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 2.956           | 2   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.8      | 1.210        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                           | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                          |
|  | 4   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 3.357           | 5   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.9      | 1.210        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                           | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                          |
|  | 5   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 3.07            | 6   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.6      | 1.211        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                           | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                          |
|  | 6   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 3.07            | 5   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.7      | 1.212        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                           | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                          |
|  | 7   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995 | 105                     | 90       | Nein | 2.552           | 11  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 1.4      | 1.212        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                           | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                          |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt






Tabelle A.3.1.4: Eigenschaften und Windbedingungen der jeweiligen WEA

| WEA-Eigenschaften                                                                 |     |                                           |                         |          |      | Nächste WEA     |     | Ergebnisse                |          |         |                       |          |              |       |                                 |                                 |            |                                  |          |                           |                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------------------------------------|-------------------------|----------|------|-----------------|-----|---------------------------|----------|---------|-----------------------|----------|--------------|-------|---------------------------------|---------------------------------|------------|----------------------------------|----------|---------------------------|-------------------------------------------------|
|                                                                                   | Nr. | WEA-Typ                                   | z <sub>hub</sub><br>[m] | D<br>[m] | BBS  | Abstand<br>in D | Nr. | Geschützt<br>durch<br>BBS | m<br>[-] | Komplex | α <sub>n</sub><br>[-] | φ<br>[°] | ρ<br>[kg/m³] | WZ    | v <sub>50</sub><br>GK2<br>[m/s] | v <sub>50</sub><br>GK1<br>[m/s] | A<br>[m/s] | A<br>ρ <sub>korrr</sub><br>[m/s] | k<br>[-] | v <sub>ave</sub><br>[m/s] | v <sub>ave</sub><br>ρ <sub>korrr</sub><br>[m/s] |
|  | 8   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995                | 105                     | 90       | Nein | 2.792           | 7   | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.6      | 1.211        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                             | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                            |
|  | 9   | Vestas V90 2.0MW DIBt 1995                | 105                     | 90       | Nein | 3.096           | 14  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.13                  | 0.8      | 1.211        | 2 / I | 36.4                            |                                 | 6.6        | 6.54                             | 1.85     | 5.9                       | 5.81                                            |
|  | 11  | Vestas V112 3.0MW Mode 0                  | 140                     | 112      | Nein | 2.071           | 19  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 0.9      | 1.206        | 2 / I | 38.1                            |                                 | 7.8        | 7.74                             | 1.99     | 6.91                      | 6.86                                            |
|  | 12  | Vestas V112 3.0MW Mode 0                  | 140                     | 112      | Nein | 3.001           | 20  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 1.0      | 1.208        | 2 / I | 38.1                            |                                 | 7.8        | 7.74                             | 1.99     | 6.91                      | 6.86                                            |
|  | 13  | Vestas V112 3.0MW Mode 0                  | 140                     | 112      | Nein | 3.193           | 14  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 0.5      | 1.207        | 2 / I | 38.1                            |                                 | 7.8        | 7.74                             | 1.99     | 6.91                      | 6.86                                            |
|  | 14  | Vestas V112 3.0MW Mode 0                  | 140                     | 112      | Nein | 3.193           | 13  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 0.9      | 1.208        | 2 / I | 38.1                            |                                 | 7.8        | 7.74                             | 1.99     | 6.91                      | 6.86                                            |
|  | 19  | Vestas V162-6.0 Mode<br>PO6000/PO6000-0S  | 169                     | 162      | Nein | 2.978           | 20  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 1.0      | 1.202        | 2 / I | 39.3                            |                                 | 7.4        | 7.3                              | 1.78     | 6.55                      | 6.49                                            |
|  | 20  | Vestas V172-7.2 Mode PO7200<br>restricted | 175                     | 172      | Nein | 3.162           | 19  | Nein                      | 10       | Nein    | 0.12                  | 1.0      | 1.203        | 2 / I | 39.5                            |                                 | 7.4        | 7.3                              | 1.78     | 6.55                      | 6.49                                            |

### A.3.2 Berechnungsvariante “Woehlerlinienkoeffizient m=4”

BBS definiert                      Nein  
 Einfluss der Orografie bewerten    Ja  
 Ist Vorherfall                      Nein

Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             |   | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-----------------------------------------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|--|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | m | Alle                                                                  | 3 | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |  |
|  | 1   | KL 01       | 4 | 15.2                                                                  | — | 26.1 | 22.6 | 20.2 | 18.3 | 16.7 | 15.6 | 14.5 | 13.4 | 12.5 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 2   | KL 02       | 4 | 16.5                                                                  | — | 27.8 | 24.4 | 22.0 | 20.2 | 18.5 | 17.3 | 16.1 | 14.8 | 13.6 | 12.8 | 12.3 | 11.9 | 11.6 | 11.4 | 11.1 | 10.9 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.6 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 3   | KL 03       | 4 | 16.6                                                                  | — | 28.0 | 24.6 | 22.3 | 20.4 | 18.9 | 17.9 | 16.9 | 15.5 | 14.1 | 13.2 | 12.5 | 12.0 | 11.6 | 11.2 | 10.9 | 10.7 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 4   | KL 04       | 4 | 17.5                                                                  | — | 28.3 | 25.3 | 23.4 | 22.1 | 20.9 | 20.2 | 18.8 | 17.6 | 16.2 | 14.9 | 14.1 | 13.4 | 13.0 | 12.6 | 12.3 | 12.0 | 11.7 | 11.8 | 11.8 | 11.7 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 5   | KL 05       | 4 | 17.3                                                                  | — | 28.4 | 25.4 | 23.4 | 22.0 | 20.7 | 19.8 | 18.3 | 17.0 | 15.4 | 14.0 | 13.2 | 12.4 | 11.9 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt



Tabelle A.3.2.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]


























| WEA                                                                               |     |             |   | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | m | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 6   | KL 06       | 4 | 15.7                                                                  | —    | 26.5 | 23.5 | 21.5 | 20.0 | 18.6 | 17.5 | 16.2 | 14.9 | 13.6 | 12.7 | 12.0 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.3 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 7   | KL 07       | 4 | 17.6                                                                  | —    | 29.6 | 26.6 | 24.7 | 23.1 | 21.6 | 20.8 | 19.5 | 17.3 | 15.4 | 14.0 | 13.2 | 12.5 | 12.0 | 11.7 | 11.4 | 11.1 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 4 | 17.4                                                                  | —    | 29.0 | 25.7 | 23.6 | 21.9 | 20.5 | 19.5 | 18.0 | 16.7 | 15.4 | 14.2 | 13.5 | 12.8 | 12.4 | 12.0 | 11.7 | 11.4 | 11.1 | 11.1 | 11.0 | 11.0 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 4 | 16.3                                                                  | —    | 27.4 | 24.1 | 22.0 | 20.4 | 19.0 | 18.1 | 16.8 | 15.7 | 14.5 | 13.4 | 12.7 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 11  | KL 11       | 4 | —                                                                     | 27.9 | 26.7 | 24.7 | 23.0 | 21.3 | 19.9 | 18.6 | 17.0 | 15.6 | 14.3 | 13.3 | 12.7 | 12.1 | 11.8 | 11.4 | 11.1 | 10.9 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.7 | 10.8 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | 4 | —                                                                     | 27.3 | 25.1 | 22.7 | 21.2 | 20.0 | 19.1 | 18.4 | 17.4 | 16.2 | 15.0 | 13.9 | 13.3 | 12.7 | 12.3 | 11.9 | 11.6 | 11.4 | 11.1 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | 11.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | 4 | —                                                                     | 27.9 | 25.9 | 23.1 | 21.4 | 20.1 | 19.0 | 18.4 | 17.3 | 16.1 | 14.8 | 13.7 | 13.0 | 12.4 | 12.0 | 11.6 | 11.3 | 11.1 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | 10.8 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | 4 | —                                                                     | 27.0 | 24.9 | 22.0 | 20.3 | 19.0 | 18.0 | 17.4 | 16.3 | 15.4 | 14.3 | 13.3 | 12.7 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 4 | —                                                                     | 29.4 | 25.2 | 22.4 | 20.4 | 18.6 | 17.0 | 15.6 | 14.3 | 13.3 | 12.4 | 11.8 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.1 | 10.1 | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 4 | —                                                                     | 27.6 | 23.6 | 21.9 | 20.7 | 19.7 | 19.0 | 18.2 | 16.9 | 15.5 | 14.3 | 13.5 | 12.9 | 12.4 | 12.0 | 11.6 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 10.6 | 10.6 | 10.5 | 10.4 | 9.9  | —  | —  | —  | —  |

Tabelle A.3.2.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|----|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3 | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 1   | KL 01       | 4.8                                                                   | — | 8.4 | 7.4 | 6.8 | 6.6 | 6.6 | 6.4 | 6.5 | 6.8 | 7.0 | 7.0 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 2   | KL 02       | 3.5                                                                   | — | 6.7 | 5.6 | 5.0 | 4.7 | 4.8 | 4.7 | 4.9 | 5.4 | 5.9 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 6.0 | 5.9 | 5.9 | 5.8 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | 5.3 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 3   | KL 03       | 3.4                                                                   | — | 6.5 | 5.4 | 4.7 | 4.5 | 4.4 | 4.1 | 4.1 | 4.7 | 5.4 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.0 | 6.1 | 6.0 | 5.9 | 5.7 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 4   | KL 04       | 2.5                                                                   | — | 6.2 | 4.7 | 3.6 | 2.8 | 2.4 | 1.8 | 2.2 | 2.6 | 3.3 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.6 | 4.7 | 4.7 | 4.7 | 4.8 | 4.5 | 4.3 | 4.2 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 5   | KL 05       | 2.7                                                                   | — | 6.1 | 4.6 | 3.6 | 2.9 | 2.6 | 2.2 | 2.7 | 3.2 | 4.1 | 4.9 | 5.2 | 5.6 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 6.0 | 5.8 | 5.7 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 6   | KL 06       | 4.3                                                                   | — | 8.0 | 6.5 | 5.5 | 4.9 | 4.7 | 4.5 | 4.8 | 5.3 | 5.9 | 6.2 | 6.4 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.5 | 6.4 | 6.4 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 7   | KL 07       | 2.4                                                                   | — | 4.9 | 3.4 | 2.3 | 1.8 | 1.7 | 1.2 | 1.5 | 2.9 | 4.1 | 4.9 | 5.2 | 5.5 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.6 | 5.4 | 5.2 | 5.0 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 2.6                                                                   | — | 5.5 | 4.3 | 3.4 | 3.0 | 2.8 | 2.5 | 3.0 | 3.5 | 4.1 | 4.7 | 4.9 | 5.2 | 5.2 | 5.3 | 5.3 | 5.3 | 5.4 | 5.2 | 5.1 | 4.9 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 3.7                                                                   | — | 7.1 | 5.9 | 5.0 | 4.5 | 4.3 | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 5.0 | 5.5 | 5.7 | 5.9 | 5.9 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 6.0 | 5.8 | 5.7 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt










Tabelle A.3.2.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                               |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 11  | KL 11       | —                                                                     | 14.1 | 7.8  | 5.3  | 4.0  | 3.6 | 3.4 | 3.4 | 4.0 | 4.6 | 5.2 | 5.6 | 5.7 | 5.9 | 5.8 | 5.9 | 5.9 | 5.8 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | 5.2 | 5.1 | 4.8 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | —                                                                     | 14.7 | 9.4  | 7.3  | 5.8  | 4.9 | 4.2 | 3.6 | 3.6 | 4.0 | 4.5 | 5.0 | 5.1 | 5.3 | 5.3 | 5.4 | 5.4 | 5.3 | 5.4 | 5.1 | 4.9 | 4.7 | 4.6 | 4.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | —                                                                     | 14.1 | 8.6  | 6.9  | 5.6  | 4.8 | 4.3 | 3.6 | 3.7 | 4.1 | 4.7 | 5.2 | 5.4 | 5.6 | 5.6 | 5.7 | 5.7 | 5.6 | 5.7 | 5.5 | 5.3 | 5.1 | 5.0 | 4.8 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | —                                                                     | 15.0 | 9.6  | 8.0  | 6.7  | 5.9 | 5.3 | 4.6 | 4.7 | 4.8 | 5.2 | 5.6 | 5.7 | 5.9 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 5.4 | 5.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | —                                                                     | 9.6  | 10.8 | 11.0 | 10.3 | 9.8 | 9.5 | 9.6 | 8.6 | 7.4 | 6.3 | 5.1 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4.0 | 3.9 | 3.7 | 3.7 | 3.7 | 3.5 | 3.2 | 3.0 | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | —                                                                     | 11.4 | 12.4 | 11.5 | 10.0 | 8.7 | 7.5 | 7.0 | 6.0 | 5.2 | 4.4 | 3.4 | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 2.9 | 3.1 | 2.9 | 2.8 | 2.7 | 3.1 | —  | —  | —  | —  |

### A.3.3 Berechnungsvariante “Woehlerlinienkoeffizient m=8”

BBS definiert                   Nein  
 Einfluss der Orografie bewerten   Ja  
 Ist Vorherfall                   Nein

Tabelle A.3.3.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             |   | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |   |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |    |    |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-----------------------------------------------------------------------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|--|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | m | Alle                                                                  | 3 | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 |  |
|  | 1   | KL 01       | 8 | 15.5                                                                  | — | 26.4 | 23.3 | 21.1 | 19.2 | 17.6 | 16.4 | 15.1 | 13.7 | 12.6 | 12.0 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 2   | KL 02       | 8 | 16.6                                                                  | — | 28.1 | 24.9 | 22.7 | 21.0 | 19.3 | 18.1 | 16.5 | 15.0 | 13.6 | 12.7 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 3   | KL 03       | 8 | 16.7                                                                  | — | 28.2 | 25.0 | 22.8 | 21.1 | 19.5 | 18.5 | 17.3 | 15.7 | 14.1 | 13.1 | 12.4 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 4   | KL 04       | 8 | 17.2                                                                  | — | 28.1 | 25.3 | 23.5 | 22.2 | 21.0 | 20.3 | 18.8 | 17.5 | 15.9 | 14.4 | 13.6 | 12.9 | 12.4 | 11.9 | 11.6 | 11.3 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | 11.0 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 5   | KL 05       | 8 | 17.3                                                                  | — | 28.5 | 25.5 | 23.7 | 22.4 | 21.2 | 20.3 | 18.7 | 17.4 | 15.7 | 14.1 | 13.2 | 12.3 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 6   | KL 06       | 8 | 15.9                                                                  | — | 27.0 | 24.1 | 22.2 | 20.8 | 19.4 | 18.4 | 16.8 | 15.4 | 13.9 | 12.7 | 12.0 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 9.9  | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 7   | KL 07       | 8 | 18.4                                                                  | — | 31.1 | 28.0 | 26.1 | 24.4 | 22.9 | 22.3 | 21.1 | 18.3 | 15.8 | 14.1 | 13.0 | 12.3 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 8   | KL 08       | 8 | 17.5                                                                  | — | 29.6 | 26.3 | 24.1 | 22.5 | 20.9 | 19.8 | 18.2 | 16.7 | 15.1 | 13.8 | 13.1 | 12.4 | 11.9 | 11.5 | 11.2 | 10.9 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | 10.6 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |
|  | 9   | KL 09       | 8 | 16.6                                                                  | — | 28.1 | 24.8 | 22.6 | 20.9 | 19.5 | 18.5 | 17.1 | 15.8 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  | —  | —  |  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.3.3.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]





















| WEA                                                                               |     |             |   | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|---|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | m | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 11  | KL 11       | 8 | —                                                                     | 30.1 | 28.0 | 27.5 | 26.3 | 24.5 | 23.0 | 21.2 | 18.7 | 16.4 | 14.5 | 13.2 | 12.4 | 11.8 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.3 | 10.3 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | 8 | —                                                                     | 28.2 | 25.4 | 23.2 | 21.7 | 20.4 | 19.2 | 18.5 | 17.3 | 16.0 | 14.6 | 13.4 | 12.7 | 12.1 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | 8 | —                                                                     | 29.5 | 26.6 | 23.7 | 21.9 | 20.5 | 19.3 | 18.7 | 17.5 | 16.0 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | 8 | —                                                                     | 28.4 | 25.7 | 22.8 | 21.0 | 19.6 | 18.5 | 17.8 | 16.6 | 15.5 | 14.2 | 13.1 | 12.4 | 11.8 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 8 | —                                                                     | 30.7 | 26.3 | 24.0 | 22.3 | 20.4 | 18.7 | 17.1 | 15.4 | 14.0 | 12.7 | 11.9 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 8 | —                                                                     | 28.1 | 24.4 | 23.4 | 22.5 | 21.4 | 20.6 | 19.4 | 17.7 | 16.0 | 14.5 | 13.6 | 12.9 | 12.3 | 11.9 | 11.5 | 11.2 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 9.9  | —  | —  | —  | —  |

Tabelle A.3.3.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3    | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|    | 1   | KL 01       | 4.5                                                                   | —    | 8.1 | 6.7 | 5.9 | 5.7 | 5.7 | 5.6 | 5.9 | 6.5 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 2   | KL 02       | 3.4                                                                   | —    | 6.4 | 5.1 | 4.3 | 3.9 | 4.0 | 3.9 | 4.5 | 5.2 | 5.9 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.1 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.6 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 3   | KL 03       | 3.3                                                                   | —    | 6.3 | 5.0 | 4.2 | 3.8 | 3.8 | 3.5 | 3.7 | 4.5 | 5.4 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 5.9 | 5.8 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 4   | KL 04       | 2.8                                                                   | —    | 6.4 | 4.7 | 3.5 | 2.7 | 2.3 | 1.7 | 2.2 | 2.7 | 3.6 | 4.5 | 4.8 | 5.1 | 5.2 | 5.4 | 5.4 | 5.4 | 5.5 | 5.3 | 5.1 | 4.9 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 5   | KL 05       | 2.7                                                                   | —    | 6.0 | 4.5 | 3.3 | 2.5 | 2.1 | 1.7 | 2.3 | 2.8 | 3.8 | 4.8 | 5.2 | 5.7 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 5.9 | 5.8 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 6   | KL 06       | 4.1                                                                   | —    | 7.5 | 5.9 | 4.8 | 4.1 | 3.9 | 3.6 | 4.2 | 4.8 | 5.6 | 6.2 | 6.4 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 6.0 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 7   | KL 07       | 1.6                                                                   | —    | 3.4 | 2.0 | 0.9 | 0.5 | 0.4 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 1.9 | 3.7 | 4.8 | 5.4 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 2.5                                                                   | —    | 4.9 | 3.7 | 2.9 | 2.4 | 2.4 | 2.2 | 2.8 | 3.5 | 4.4 | 5.1 | 5.3 | 5.6 | 5.7 | 5.8 | 5.8 | 5.8 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 5.3 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 3.4                                                                   | —    | 6.4 | 5.2 | 4.4 | 4.0 | 3.8 | 3.5 | 3.9 | 4.4 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 11  | KL 11       | —                                                                     | 11.9 | 6.5 | 2.5 | 0.7 | 0.4 | 0.3 | 0.8 | 2.3 | 3.8 | 5.0 | 5.7 | 6.0 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 5.3 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | —                                                                     | 13.8 | 9.1 | 6.8 | 5.3 | 4.5 | 4.1 | 3.5 | 3.7 | 4.2 | 4.9 | 5.5 | 5.7 | 5.9 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | 5.3 | 5.1 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | —                                                                     | 12.5 | 7.9 | 6.3 | 5.1 | 4.4 | 4.0 | 3.3 | 3.5 | 4.2 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | 5.5 | 5.3 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | —                                                                     | 13.6 | 8.8 | 7.2 | 6.0 | 5.3 | 4.8 | 4.2 | 4.4 | 4.7 | 5.3 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.6 | 5.4 | —  | —  | —  | —  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt













Tabelle A.3.3.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                               |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 19  | ROHN 01.1   | —                                                                     | 8.3  | 9.7  | 9.4  | 8.4 | 8.0 | 7.8 | 8.1 | 7.5 | 6.7 | 6.0 | 5.0 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4.0 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | —                                                                     | 10.9 | 11.6 | 10.0 | 8.2 | 7.0 | 5.9 | 5.8 | 5.2 | 4.7 | 4.2 | 3.3 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.3 | 3.1 | 3.0 | 2.9 | 3.1 | —  | —  | —  | —  |

### A.3.4 Berechnungsvariante “Betriebsbeschränkungen”

BBS definiert Ja  
 Einfluss der Orografie bewerten Ja  
 Ist Vorherfall Nein

Tabelle A.3.4.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             |    | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----|----|----|----|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | m  | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25   | 26 | 27 | 28 | 29 |
|    | 1   | KL 01       | 10 | 15.8                                                                  | —    | 26.8 | 23.7 | 21.6 | 19.8 | 18.2 | 17.0 | 15.5 | 14.0 | 12.8 | 12.0 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|    | 2   | KL 02       | 10 | 17.0                                                                  | —    | 28.5 | 25.3 | 23.2 | 21.5 | 19.9 | 18.7 | 16.9 | 15.3 | 13.7 | 12.7 | 12.1 | 11.6 | 11.3 | 11.0 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.3 | 10.3 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|   | 3   | KL 03       | 10 | 16.9                                                                  | —    | 28.6 | 25.4 | 23.3 | 21.6 | 20.0 | 18.9 | 17.5 | 15.8 | 14.2 | 13.1 | 12.4 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.6 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 10.1 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 4   | KL 04       | 10 | 17.3                                                                  | —    | 28.3 | 25.4 | 23.6 | 22.4 | 21.2 | 20.4 | 18.9 | 17.6 | 16.0 | 14.4 | 13.6 | 12.8 | 12.3 | 11.8 | 11.5 | 11.2 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | 10.9 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 5   | KL 05       | 10 | 17.5                                                                  | —    | 28.7 | 25.8 | 24.0 | 22.7 | 21.4 | 20.6 | 19.0 | 17.6 | 15.8 | 14.2 | 13.3 | 12.4 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.3 | 10.3 | 10.2 | 10.1 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 6   | KL 06       | 10 | 16.3                                                                  | —    | 27.5 | 24.6 | 22.7 | 21.3 | 19.9 | 18.9 | 17.2 | 15.7 | 14.1 | 12.8 | 12.0 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.2 | 10.0 | 10.0 | 9.9  | 9.9  | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 7   | KL 07       | 10 | 18.9                                                                  | —    | 31.7 | 28.6 | 26.6 | 24.9 | 23.4 | 22.9 | 21.7 | 18.8 | 16.1 | 14.3 | 13.1 | 12.3 | 11.7 | 11.3 | 11.0 | 10.7 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 10 | 17.8                                                                  | —    | 30.0 | 26.7 | 24.6 | 22.9 | 21.3 | 20.2 | 18.4 | 16.8 | 15.2 | 13.8 | 13.0 | 12.3 | 11.8 | 11.4 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | 10.5 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 10 | 16.9                                                                  | —    | 28.6 | 25.2 | 23.0 | 21.3 | 19.8 | 18.8 | 17.3 | 15.9 | 14.5 | 13.3 | 12.6 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —    | —    | —  | —  | —  | —  |
|  | 11  | KL 11       | 10 | —                                                                     | 31.2 | 28.9 | 28.9 | 27.8 | 25.9 | 22.9 | 21.8 | 19.7 | 17.0 | 14.9 | 13.5 | 12.5 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.6 | 10.4 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | 10 | —                                                                     | 28.6 | 25.7 | 23.5 | 22.0 | 20.6 | 19.4 | 18.6 | 17.4 | 16.0 | 14.6 | 13.4 | 12.6 | 12.0 | 11.6 | 11.2 | 10.9 | 10.6 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | 10.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | 10 | —                                                                     | 30.3 | 27.1 | 24.1 | 22.3 | 20.8 | 19.6 | 18.9 | 17.8 | 16.1 | 14.5 | 13.2 | 12.5 | 11.9 | 11.4 | 11.0 | 10.8 | 10.5 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | 10.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | 10 | —                                                                     | 29.3 | 26.3 | 23.3 | 21.4 | 20.0 | 18.8 | 18.1 | 16.8 | 15.6 | 14.3 | 13.1 | 12.4 | 11.8 | 11.3 | 10.9 | 10.7 | 10.4 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | 10.1 | —  | —  | —  | —  |

Diese Tabelle wird auf der nächsten Seite fortgesetzt

Tabelle A.3.4.1: Effektive Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]































| WEA                                                                               |     |             |    | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |     |    |    |    |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|----|-----------------------------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|----|----|----|----|
|                                                                                   | Nr. | Bezeichnung | m  | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|  | 19  | ROHN 01.1   | 10 | —                                                                     | 31.4 | 27.0 | 24.7 | 23.1 | 21.2 | 19.4 | 17.8 | 16.0 | 14.4 | 13.0 | 12.0 | 11.4 | 11.0 | 10.7 | 10.5 | 10.3 | 10.1 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | 10.0 | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | 10 | —                                                                     | 28.4 | 24.8 | 24.1 | 23.2 | 22.0 | 21.1 | 19.9 | 18.0 | 16.2 | 14.7 | 13.7 | 12.9 | 12.3 | 11.9 | 11.5 | 11.1 | 10.8 | 10.5 | 10.4 | 10.3 | 10.2 | 10.2 | 9.9 | —  | —  | —  | —  |

Tabelle A.3.4.2: Differenzen zwischen Auslegungswerten und effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA [%]

| WEA                                                                                 |     |             | Ergebnisse gemittelt für alle Windgeschwindigkeiten bzw. von 3-29 m/s |      |      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |    |    |    |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----|-------------|-----------------------------------------------------------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|
|                                                                                     | Nr. | Bezeichnung | Alle                                                                  | 3    | 4    | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | 16  | 17  | 18  | 19  | 20  | 21  | 22  | 23  | 24  | 25  | 26 | 27 | 28 | 29 |
|    | 1   | KL 01       | 4.2                                                                   | —    | 7.7  | 6.3 | 5.4 | 5.1 | 5.1 | 5.0 | 5.5 | 6.2 | 6.7 | 6.9 | 6.9 | 6.9 | 6.8 | 6.7 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 2   | KL 02       | 3.0                                                                   | —    | 6.0  | 4.7 | 3.8 | 3.4 | 3.4 | 3.3 | 4.1 | 4.9 | 5.8 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 3   | KL 03       | 3.1                                                                   | —    | 5.9  | 4.6 | 3.7 | 3.3 | 3.3 | 3.1 | 3.5 | 4.4 | 5.3 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.1 | 6.2 | 6.1 | 5.9 | 5.8 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 4   | KL 04       | 2.7                                                                   | —    | 6.2  | 4.6 | 3.4 | 2.5 | 2.1 | 1.6 | 2.1 | 2.6 | 3.5 | 4.5 | 4.8 | 5.2 | 5.3 | 5.5 | 5.5 | 5.5 | 5.6 | 5.4 | 5.2 | 5.0 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 5   | KL 05       | 2.5                                                                   | —    | 5.8  | 4.2 | 3.0 | 2.2 | 1.9 | 1.4 | 2.0 | 2.6 | 3.7 | 4.7 | 5.1 | 5.6 | 5.8 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.0 | 5.9 | 5.8 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 6   | KL 06       | 3.7                                                                   | —    | 7.0  | 5.4 | 4.3 | 3.6 | 3.4 | 3.1 | 3.8 | 4.5 | 5.4 | 6.1 | 6.4 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.6 | 6.5 | 6.5 | 6.3 | 6.2 | 6.0 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|    | 7   | KL 07       | 1.1                                                                   | —    | 2.8  | 1.4 | 0.4 | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 0.7 | 1.4 | 3.4 | 4.6 | 5.3 | 5.7 | 5.9 | 6.0 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 8   | KL 08       | 2.2                                                                   | —    | 4.5  | 3.3 | 2.4 | 2.0 | 2.0 | 1.8 | 2.6 | 3.4 | 4.3 | 5.1 | 5.4 | 5.7 | 5.8 | 5.9 | 5.9 | 5.9 | 6.0 | 5.8 | 5.6 | 5.4 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 9   | KL 09       | 3.1                                                                   | —    | 5.9  | 4.8 | 4.0 | 3.6 | 3.5 | 3.2 | 3.7 | 4.3 | 5.0 | 5.6 | 5.8 | 6.1 | 6.1 | 6.2 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | —   | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 11  | KL 11       | —                                                                     | 10.8 | 5.6  | 1.1 | 0.8 | 1.0 | 0.4 | 0.2 | 1.3 | 3.2 | 4.6 | 5.4 | 5.9 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.4 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.7 | 5.6 | 5.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 12  | KL 12       | —                                                                     | 13.4 | 8.8  | 6.5 | 5.0 | 4.3 | 3.9 | 3.4 | 3.6 | 4.2 | 4.9 | 5.5 | 5.8 | 6.0 | 6.0 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.5 | 5.4 | 5.2 | —  | —  | —  | —  |
|  | 13  | KL 13       | —                                                                     | 11.7 | 7.4  | 5.9 | 4.7 | 4.1 | 3.7 | 3.1 | 3.2 | 4.1 | 5.0 | 5.7 | 5.9 | 6.1 | 6.2 | 6.3 | 6.2 | 6.2 | 6.3 | 6.1 | 5.9 | 5.7 | 5.6 | 5.4 | —  | —  | —  | —  |
|  | 14  | KL 14       | —                                                                     | 12.7 | 8.2  | 6.7 | 5.6 | 4.9 | 4.5 | 3.9 | 4.2 | 4.6 | 5.2 | 5.8 | 6.0 | 6.2 | 6.3 | 6.4 | 6.3 | 6.3 | 6.4 | 6.2 | 6.0 | 5.8 | 5.7 | 5.5 | —  | —  | —  | —  |
|  | 19  | ROHN 01.1   | —                                                                     | 7.6  | 9.0  | 8.7 | 7.6 | 7.2 | 7.1 | 7.4 | 6.9 | 6.3 | 5.7 | 4.9 | 4.6 | 4.4 | 4.2 | 4.0 | 3.9 | 3.8 | 3.7 | 3.7 | 3.5 | 3.3 | 3.1 | —   | —  | —  | —  | —  |
|  | 20  | ROHN 02.1   | —                                                                     | 10.6 | 11.2 | 9.3 | 7.5 | 6.4 | 5.4 | 5.3 | 4.9 | 4.5 | 4.0 | 3.2 | 3.1 | 3.1 | 3.0 | 3.0 | 3.1 | 3.1 | 3.2 | 3.3 | 3.2 | 3.1 | 2.9 | 3.1 | —  | —  | —  | —  |

## A.4 Legende

| Erläuterung der Begriffe                                                          |                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Geplante WEA                | WEA, deren Standorteignung im Rahmen des Gutachtens zu bewerten ist.                                                                                                                                                                                                                                                            |
|  | Benachbarte WEA             | Alle weiteren WEA, die vom Auftraggeber übermittelt wurden. Es ist dabei unerheblich, ob sich einzelne benachbarte WEA ebenfalls in Planung oder Bau befinden. Entscheidend ist die Windparkkonfiguration, die als Vorbelastung für die geplanten WEA zu unterstellen ist. Alle benachbarten WEA gehen in die Berechnungen ein. |
|  | Inaktive WEA                | WEA, die nicht als Vorbelastung zu berücksichtigen sind und daher nicht in die Berechnungen eingehen. Diese WEA werden in der Regel nicht im Gutachten aufgeführt.                                                                                                                                                              |
|  | Betrachtete WEA             | Für alle betrachteten WEA werden Ergebnisse ausgewiesen und abschließende Aussagen getroffen.                                                                                                                                                                                                                                   |
|                                                                                   | Windpark                    | Der Begriff wird im Sinne des Anhangs A der DIBt-Richtlinie von 2004 verwendet und umfasst "geplante" und "benachbarte" WEA.                                                                                                                                                                                                    |
|  | Referenzpunkt der Winddaten | Jeweiliger Standort, auf dessen Koordinaten sich die verwendeten Winddaten beziehen.                                                                                                                                                                                                                                            |

| Farbliche Zuordnung der Symbole                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | Geplante WEA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|    | Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA zu betrachten sind.                                                                                                                                                                                                                                         |
|    | Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind, die aber Einfluss auf die zu betrachtenden WEA (  ) ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet.        |
|  | Benachbarte WEA, die aufgrund ihres Abstandes zu den geplanten WEA nicht zu betrachten sind und die keinen Einfluss auf die zu betrachtenden WEA (  ) ausüben. Diese WEA sind eventuell nur zum Teil in der Kartendarstellung abgebildet. |
|  | Inaktive WEA.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|  | Referenzpunkte der Winddaten.                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|  | Referenzpunkt der Winddaten auf den Koordinaten einer (in diesem Fall geplanten) WEA.                                                                                                                                                                                                                                          |

## A.5 Literaturangaben

- /A.1/ Germanischer Lloyd AG; Prüfbericht zur Typenprüfung 5-teiliger Stahlvollwandturm für die Windenergieanlage Vestas V90 - 2.0MW, Nabenhöhe 105 m (V1) Windzone II nach DIBt ohne Erhöhung der Windgeschwindigkeit durch exponierte Lage; Prüfbericht Nr. 73376; 05.09.2007; Hamburg, Deutschland.
- /A.2/ Germanischer Lloyd AG; Gutachtliche Stellungnahme für eine Typenprüfung Windenergieanlage V90-2.0MW VCS, Lastannahmen DIBt WZ II, Nabenhöhe 105 m; Prüfbericht Nr. 71766-1; 23.06.2003; Hamburg, Deutschland.
- /A.3/ TÜV SÜD Industrie Service GmbH; Prüfbericht für eine Typenprüfung; Prüfnummer 1826831-3-d; 09.05.2012; München, Deutschland.
- /A.4/ Det Norske Veritas, Danmark A/S; Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V112-3.0MW mit 140 m Nabenhöhe für Staudruckzone II; PD-642197-122PQ01-68 rev 2 Lastgutachten DIBt2A V112-3MW HH140 .doc; 19.02.2012.
- /A.5/ Vestas Deutschland GmbH; Verfügbare und geplante Typenprüfungen für Projekte in Deutschland; 07.02.2023; Hamburg, Deutschland.
- /A.6/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz Enventus V162-6.0 MW 50/60 Hz 20 Jahre; Documentnr.: 0099-0199 V00; 08.10.2020; Aarhus N, Dänemark.
- /A.7/ Vestas Wind Systems A/S; Performance Specification EnVentusTM V172-7.2 MW 50/60 Hz; Document no.: 0127-1584 V01; 08.07.2022; Aarhus N, Denmark.
- /A.8/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz EnVentusTM V172-7.2 MW 50/60 Hz 20 Jahre; Documentnr.: 0125-0416 V01; 19.05.2022; Aarhus N, Dänemark.
- /A.9/ Vestas Deutschland GmbH; Angaben zu den Auslegungswerten per E-Mail vom Hersteller; 27.05.2022; Hamburg, Deutschland.



## A.6 Abkürzungen und Formelzeichen

|         |                                                 |
|---------|-------------------------------------------------|
| WEA     | Windenergieanlage                               |
| DIBt    | Deutsches Institut für Bautechnik               |
| IEC     | Internationale Elektrotechnische Kommission     |
| BImSchG | Bundes-Immissionsschutzgesetz                   |
| NTM     | Normales Windturbulenzmodell                    |
| DLC     | Auslegungslastfall                              |
| PD      | Potsdam-Datum                                   |
| ETRS89  | Europäisches Terrestrisches Referenzsystem 1989 |
| UTM     | Universale Transversale Mercator Projektion     |
| WGS84   | World Geodetic System 1984                      |
| WZ      | Windzone                                        |
| BBS     | Betriebsbeschränkung                            |
| LR      | Lastrechnung                                    |
| GK      | Geländekategorie                                |
| üNN     | über Normal-Null                                |

|                         |                                                                                                         |                      |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| D                       | Rotordurchmesser                                                                                        | [m]                  |
| $z_{\text{hub}}$        | Nabenhöhe der WEA                                                                                       | [m]                  |
| $P_N$                   | Nennleistung der WEA                                                                                    | [MW]                 |
| $c_T$                   | Schubbeiwert des Rotors                                                                                 | [-]                  |
| $C_{ct}$                | Turbulenzstrukturparameter                                                                              | [-]                  |
| $I_{\text{eff}}$        | Effektive Turbulenzintensität                                                                           | [-]                  |
| A                       | Skalierungsparameter der Weibull-Verteilung                                                             | [m/s]                |
| k                       | Formparameter der Weibull-Verteilung                                                                    | [-]                  |
| h                       | Höhe über Grund                                                                                         | [m]                  |
| m                       | Wöhlerlinienkoeffizient                                                                                 | [-]                  |
| v                       | Windgeschwindigkeit                                                                                     | [m/s]                |
| $v_{\text{ave}}$        | Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe                                                      | [m/s]                |
| $v_{\text{ref}}$        | Referenz-Windgeschwindigkeit (Auslegungswert für $v_{50}$ )                                             | [m/s]                |
| $v_{50}$                | 10-min-Mittel der extremen Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren | [m/s]                |
| $v_r$                   | Nennwindgeschwindigkeit der WEA                                                                         | [m/s]                |
| $v_{\text{in}}$         | Einschaltwingsgeschwindigkeit der WEA                                                                   | [m/s]                |
| $v_{\text{out}}$        | Abschaltwingsgeschwindigkeit der WEA                                                                    | [m/s]                |
| $\Sigma$                | Summe                                                                                                   | [-]                  |
| $\alpha$                | Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils                                                | [-]                  |
| $\alpha_n$              | Höhenexponent des vertikalen Windgeschwindigkeitsprofils für neutrale Schichtung                        | [-]                  |
| $\varphi$               | Neigung der Anströmung                                                                                  | [°]                  |
| $\beta$                 | Blattwinkelverstellung                                                                                  | [°]                  |
| $\gamma_{\text{start}}$ | Startwinkel der BBS                                                                                     | [°]                  |
| $\gamma_{\text{stop}}$  | Endwinkel der BBS                                                                                       | [°]                  |
| $v_{\text{start}}$      | Startwindgeschwindigkeit der BBS                                                                        | [m/s]                |
| $v_{\text{stop}}$       | Endwindgeschwindigkeit der BBS                                                                          | [m/s]                |
| $\rho$                  | Mittlere Luftdichte                                                                                     | [kg/m <sup>3</sup> ] |
| $\tau_{\text{design}}$  | Entwurfslebensdauer in Jahren                                                                           | [a]                  |
|                         | Altgrad (Vollkreis = 360°)                                                                              | [°]                  |

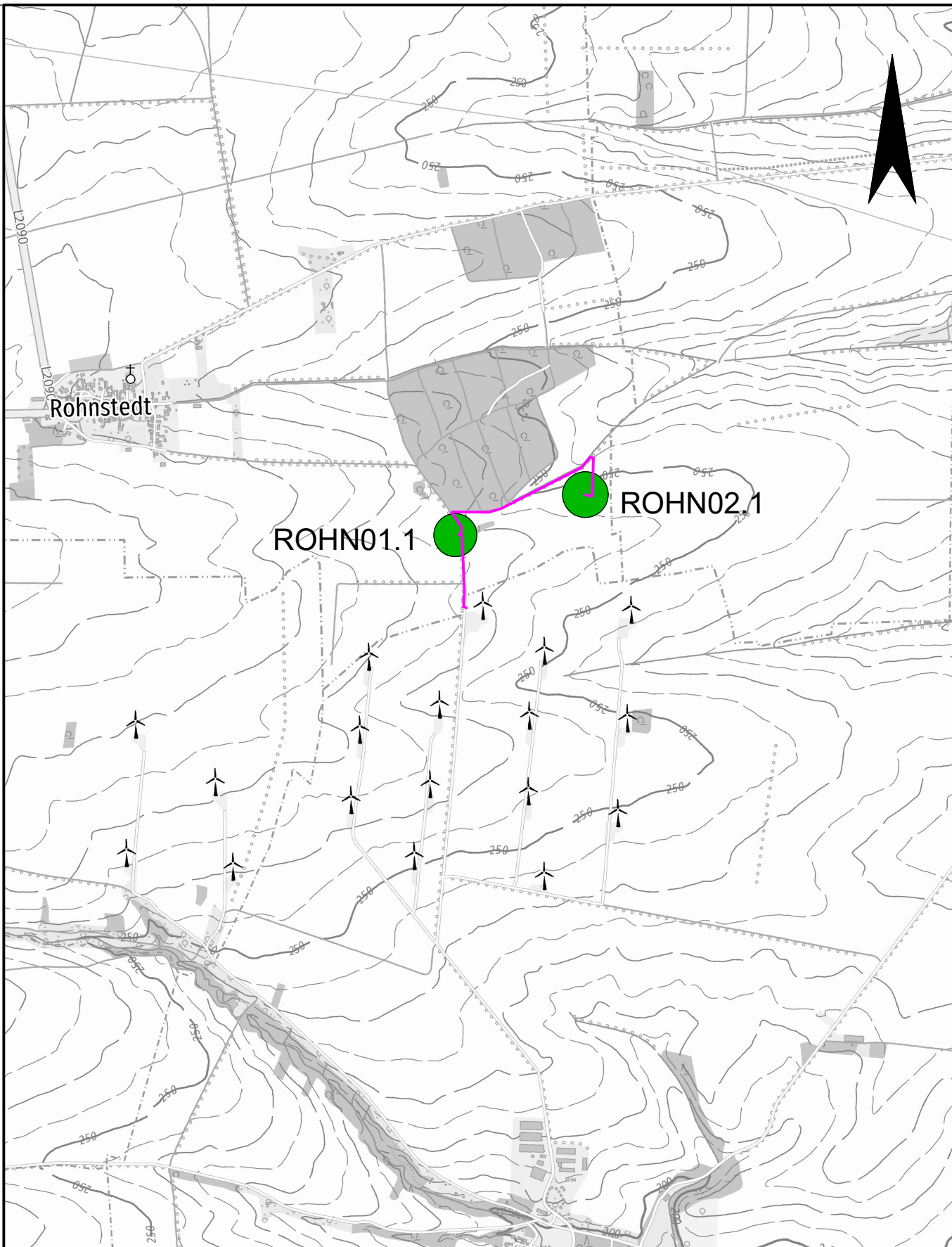
**16.1.5 Anlagenwartung**

**16.1.6 Zuwegung, Kabelverbindung, Kranstellfläche**

siehe Anhang Kapitel 2.5.

Anlagen:

- 20250115\_BE-ROHN-0952\_Netzplan\_czi.pdf



### Legende:

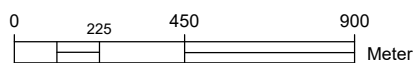


Windenergieanlage  
Planung



Windenergieanlage  
Bestand

— Kabeltrasse Planung



## Windfeld Kutzleben / Hornsömmern

### Übersichtskarte Planung Kabeltrasse



**BOREAS**  
energy unlimited

|           |            |            |      |
|-----------|------------|------------|------|
| Maßstab:  | 1 : 20.000 | Proj.-Nr.: | 0952 |
| Datum:    | 15.01.2024 | Blattnr.:  |      |
| bearb.:   | yfo        |            |      |
| gezeich.: | czi        |            |      |
| geprüft:  |            |            |      |

BOREAS Energie GmbH  
Moritzburger Weg 67  
01109 Dresden  
fon/ fax: (0351) 885070/ 75  
e-mail: boreas@boreas.de

**16.1.7 Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen**

siehe Anhang

- Formblatt Luftfahrt
- Herstellerangabe:Tages- und Nachtkennzeichnung

Anlagen:

- 0049-8134\_26-DE\_Tages-und-Nachtkennzeichnung.pdf
- 20240820\_ROHN-0952\_ROHN01.1\_Formblatt-Luftverkehr.pdf
- 20240820\_ROHN-0952\_ROHN02.1\_Formblatt-Luftverkehr.pdf

|                            |                                                                              |                                                                                     |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |  |
| T05                        |                                                                              |                                                                                     |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) |                                                                                     |

2024-08-13 08:23 UTC - y.foerster@boreas.de - Yvonne Förster

# Tages- und Nachtkennzeichnung von Vestas Windenergieanlagen in Deutschland

QMS 00091 VER 00

## Versionshistorie

| VERSION: | DATUM:     | ÄNDERUNG: :                                                                                                                                                                                                                                                      |
|----------|------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 00       | 17/12/2014 | Erstfassung MASEP                                                                                                                                                                                                                                                |
| 01       | 13/01/2015 | Korrigierte Turmkennzeichnung                                                                                                                                                                                                                                    |
| 02       | 14/01/2015 | Korrigierte CoolerTop-Kennzeichnung, Sichtweitenmessgerät und USV                                                                                                                                                                                                |
| 03       | 03/08/2015 | Neue Türme hinzugefügt und an neue AVV (vom 10.07.2015) angepasst                                                                                                                                                                                                |
| 04       | 31/08/2015 | V136 hinzugefügt, V126 Turmbefeuern korrigiert                                                                                                                                                                                                                   |
| 05       | 18/12/2015 | Tageskennzeichnung von Maschinenhäusern an Windenergieanlagen <150 m korrigiert, neue Maschinenhauskennzeichnung                                                                                                                                                 |
| 06       | 01/02/2016 | Redaktionelle Änderungen, aktualisierte Turmbefeuern V126 & V136                                                                                                                                                                                                 |
| 07       | 10/11/2016 | 166m Turm zu der V126 und V136 zugefügt                                                                                                                                                                                                                          |
| 08       | 23/06/2017 | V126 MK3B HTq, V136 MK3E, und V150 zugefügt                                                                                                                                                                                                                      |
| 09       | 23/02/2018 | V150-4.2MW 145mNH zugefügt                                                                                                                                                                                                                                       |
| 10       | 15/01/2019 | V150-5.6 und V162-5.6MW zugefügt                                                                                                                                                                                                                                 |
| 11       | 31.07.2019 | V162-5.6 auf 166m – Turmbefeuern wegen Turmflansch verlegt                                                                                                                                                                                                       |
| 12       | 06.09.2019 | Kap. 2.5: Dargestellter Wert Abstand Blattspitze zu Turmzentrum der V150 nicht korrekt – gilt nicht für beide V150 Varianten. Alle dargestellten Dimensionen zum Abstand Blattspitze zu Turmzentrum in Kapitel 5 entfernt.<br>[4] in Kap. 2 ergänzt um 0067-0753 |
| 13       | 28.11.2019 | CHT Betonfarbe und 169m NH Anpassungen gemacht                                                                                                                                                                                                                   |
| 14       | 21.04.2020 | V136-4.2MW auf 82m hinzugefügt, AVV 2020 Anpassungen                                                                                                                                                                                                             |
| 15       | 16.06.2020 | V136-3.45/3.6/4.0/4.2MW auf 149m Nabenhöhe korrigiert, AVV Link korrigiert                                                                                                                                                                                       |
| 16       | 06.10.2020 | V162-5.6MW wurde für NH 119m und 169m auf 6.0MW erweitert                                                                                                                                                                                                        |
| 17       | 26.10.2020 | Aufnahme V150-5.6MW 105 m Nabenhöhe                                                                                                                                                                                                                              |
| 18       | 26.02.2021 | Aufnahme V150-6.0MW für 105m, 125m, 148m und 166m;<br>Referenzdokumente zur Befeuern angepasst                                                                                                                                                                   |
| 19       | 10.08.2021 | V162-5.6/6.0MW wurde für NH 119m und 169m auf 6.2MW erweitert                                                                                                                                                                                                    |
| 20       | 20.01.2022 | V150-5.6/6.0MW für 169m wurde 6.0MW zugefügt                                                                                                                                                                                                                     |
| 21       | 25.02.2022 | V162-7.2MW hinzugefügt, Referenzdokumente zur Befeuern angepasst                                                                                                                                                                                                 |
| 22       | 28.04.2022 | V172-7.2MW hinzugefügt                                                                                                                                                                                                                                           |
| 23       | 29.11.2022 | Marginale Korrekturen an den Zeichnungen der folgenden Anlagen:<br>- V136-4.0/4.2MW NH112<br>- V150-4.0/4.2MW NH145<br>- V150-5.6/6.0MW NH105<br>- V150-4.0/4.2/5.6/6.0MW NH125<br>- V162-5.6MW NH148<br>- V162-6.8/7.2MW NH169<br>V172-7.2MW NH199 hinzugefügt  |
| 24       | 14.08.2023 | Update Referenzen, neue Versionen der Hardware                                                                                                                                                                                                                   |
| 25       | 22.09.2023 | V172-7.2MW HH114m hinzugefügt                                                                                                                                                                                                                                    |
| 26       | 16.05.2024 | Korrektur V172-7.2MW HH114m                                                                                                                                                                                                                                      |



|                            |                                                                              |               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC        |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>3/37 |

Inhaltsverzeichnis

1. GESETZLICHE GRUNDLAGE FÜR KENNZEICHNUNGSANFORDERUNGEN ..... 4

1.1. GELTUNGSBEREICH ..... 4

1.2. ANFORDERUNGEN AN DIE TAGESKENNZEICHNUNG ..... 4

1.3. BESTANDTEILE DER NACHTKENNZEICHNUNG..... 5

1.3.1. MASCHINENHAUSBEFEUERUNG ..... 5

1.3.2. TURMBEFEUERUNG ..... 6

1.3.3. ZUSATZEINRICHTUNGEN ..... 6

1.3.4. NACHTKENNZEICHNUNG VON VESTAS WINDENERGIEANLAGEN ..... 6

2. ANLAGENKENNZEICHNUNGEN – STANDARD NACH AVV ..... 7

2.1. V112-3.3MW UND 3.45MW ..... 7

2.1.1. 94M NABENHÖHE (150M SPITZENHÖHE) ..... 7

2.1.2. 119M NABENHÖHE (175M SPITZENHÖHE) ..... 8

2.1.3. 140M NABENHÖHE (196M SPITZENHÖHE) ..... 9

2.2. V117-3.3MW UND 3.45MW ..... 10

2.2.1. 91,5M NABENHÖHE (150M SPITZENHÖHE) ..... 10

2.2.2. 116,5M NABENHÖHE (175M SPITZENHÖHE) ..... 11

2.2.3. 141,5M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) ..... 12

2.3. V126-3.3MW, 3.45MW UND 3.6MW..... 13

2.3.1. 87M NABENHÖHE (150M SPITZENHÖHE) ..... 13

2.3.2. 117M NABENHÖHE (180M SPITZENHÖHE) ..... 14

2.3.3. 137M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) ..... 15

2.3.4. 149M NABENHÖHE (212M SPITZENHÖHE) ..... 16

2.3.5. 166M NABENHÖHE (229M SPITZENHÖHE) ..... 17

2.4. V136-3.45 / 3.6 / 4.0 / 4.2MW ..... 18

2.4.1. 82M NABENHÖHE (150M SPITZENHÖHE) ..... 18

2.4.2. 112M NABENHÖHE (180M SPITZENHÖHE) ..... 19

2.4.3. 132M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) ..... 20

2.4.4. 149M NABENHÖHE (217M SPITZENHÖHE) ..... 21

2.4.5. 166M NABENHÖHE (234M SPITZENHÖHE) ..... 22

2.5. V150-4.0 / 4.2MW -5.6 / 6.0MW..... 23

2.5.1. 105M NABENHÖHE (180M SPITZENHÖHE) ..... 23

2.5.2. 125M NABENHÖHE\* (200M SPITZENHÖHE)..... 24

2.5.3. 145M NABENHÖHE (220M SPITZENHÖHE) ..... 25

2.5.4. 148M NABENHÖHE (223M SPITZENHÖHE) ..... 26

2.5.5. 166/169M NABENHÖHE (241/244M SPITZENHÖHE) ..... 27

2.6. V162-5.6 / 6.0 / 6.2MW ..... 28

2.6.1. 119M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) ..... 28

2.6.2. 148M NABENHÖHE (229M SPITZENHÖHE) ..... 29

|        |                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------|----|
| 2.6.3. | 166M/169M NABENHÖHE (247/250M SPITZENHÖHE) ..... | 30 |
| 2.7.   | V162-7.2MW .....                                 | 31 |
| 2.7.1. | 119M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) .....          | 31 |
| 2.7.2. | 169M NABENHÖHE (250M SPITZENHÖHE) .....          | 32 |
| 2.8.   | V172-7.2MW .....                                 | 33 |
| 2.8.1. | 114M NABENHÖHE (200M SPITZENHÖHE) .....          | 33 |
| 2.8.2. | 164M NABENHÖHE (250M SPITZENHÖHE) .....          | 34 |
| 2.8.3. | 175M NABENHÖHE (261M SPITZENHÖHE) .....          | 35 |
| 2.8.4. | 199M NABENHÖHE (285M SPITZENHÖHE) .....          | 36 |
| 3.     | VERWEISE .....                                   | 37 |

# 1. Gesetzliche Grundlage für Kennzeichnungsanforderungen

Die Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen (im Folgenden „die AVV“) [1] regelt die Anforderungen der Hinderniskennzeichnung an in Deutschland errichteten Windenergieanlagen. Das vorliegende Dokument erläutert die zur Erfüllung der Anforderungen der AVV in der aktuellen, im Staatsanzeiger im April 2020 veröffentlichten Fassung erforderliche Standardkonfiguration der von Vestas gelieferten Windenergieanlagen. Im Zuge des Antragsverfahrens für eine immissionsschutzrechtliche Genehmigung kann die örtliche Luftfahrtbehörde nach eigenem Ermessen den Wunsch nach zusätzlichen Kennzeichnungen äußern, um dadurch die Luftverkehrssicherheit in der Region verantwortlich zu gewährleisten. Sie kann bei Errichtung an Standorten mit geringem Gefährdungspotenzial auch einer eingeschränkten Kennzeichnung aus ästhetischen Gründen zustimmen (z.B. Blockbefeuerung). In Einzelfällen können also von Vestas Abweichungen von den hier gezeigten Standardkennzeichnungen gefordert werden.

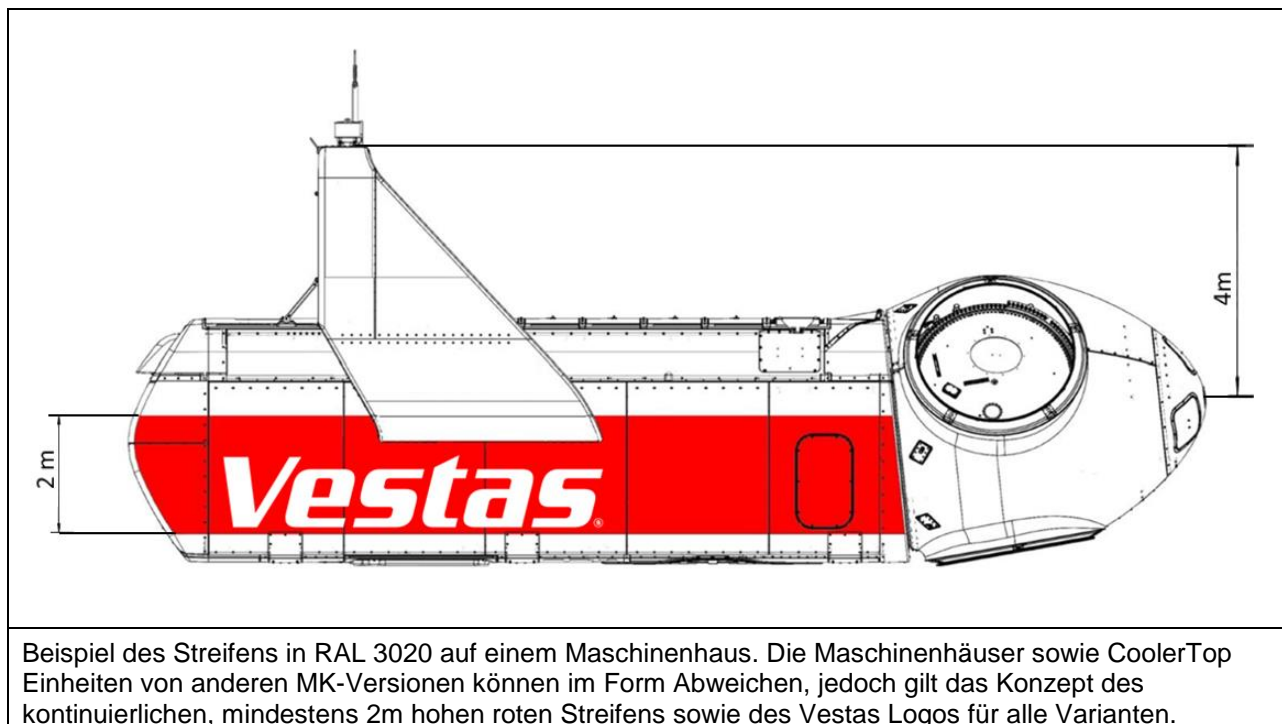
## 1.1. Geltungsbereich

Die AVV beschreibt in ihrer aktuellen Fassung die erforderliche Kennzeichnung von Bauwerken innerhalb von Flugplatzbereichen, von Bauwerken mit einer Höhe von mehr als 150 m in dicht besiedelten Gebieten außerhalb von Flugplatzbereichen sowie von Bauwerken mit einer Höhe von mehr als 100 m in weniger dicht besiedelten Gebieten außerhalb von Flugplatzbereichen. In der Regel fallen Windenergieanlagen nur in die letzte Kategorie. Daher sind die in diesem Dokument beschriebenen Kennzeichnungen so konfiguriert, dass sie den Anforderungen an diese Kategorie entsprechen. Sofern keine abweichenden Einzelfallregelungen vorliegen, sind alle Windenergieanlagen innerhalb eines Windparks mit diesen Kennzeichnungen zu liefern. Das vorliegende Dokument bezieht sich auf Onshore-Anlagen. Für Windparks im Küstenvorfeld können daher zusätzliche Vorschriften gelten.

## 1.2. Anforderungen an die Tageskennzeichnung

Die für Windenergieanlagen geltenden Tageskennzeichnungen werden in den Kapiteln 2 und 4 der AVV behandelt. Als Hauptanforderung gilt die Sichtbarkeit der Windenergieanlage aus der Luft durch einen rot/weißen Anstrich. Bei Kennzeichnung durch weiß-rote Streifen sind die folgenden Kombinationen zulässig: vgl. AVV Teil 2 – Technische Spezifikationen Punkt 4 sowie Teil 4 – Windenergieanlagen, Abschnitt 2 – Tageskennzeichnung Punkt 14.

Stahltürme, Maschinenhäuser und Rotorblätter von Vestas Windenergieanlagen sind mit RAL 7035 angestrichen. Betonsegmente bei Hybridtürmen werden in der Standardkonfiguration ohne Anstrich in Beton-Grau ausgeliefert, der Farbton von Beton ähnelt mit dem Farbton RAL 7035, weshalb ein zusätzlicher Anstrich nicht notwendig ist. Optional kann ein Anstrich in RAL 7035 angeboten werden. Daher werden die roten Streifen am Turm, am Maschinenhaus sowie auf den Rotorblättern in RAL 3020 ausgeführt. Dies sind die im vorliegenden Dokument dargestellten Konfigurationen. Die folgende Abbildung zeigt die Maschinenhaus-Kennzeichnung. Wie in der AVV angefordert, läuft der rote Streifen mit einer Höhe von mindestens 2m um das Maschinenhaus herum. Grafische Elemente beanspruchen maximal ein Drittel der Fläche der jeweiligen Maschinenhausseite.



## 1.3. Bestandteile der Nachtkennzeichnung

Die Nachtkennzeichnung von Windenergieanlagen bis zu einer Gesamthöhe von 315m ist gemäß Teil 4 – Windenergieanlagen, Abschnitt 3 Nachtkennzeichnung der AVV auszuführen. Die Nachtkennzeichnung der Windenergieanlagen ist durch das spezielle deutsche „Feuer W, rot“ oder „Feuer W, rot ES“ zu erfolgen. Nach Ziffer 16.4 ist zusätzlich eine Infrarotkennzeichnung gemäß Anhang 3 der AVV auf dem Maschinenhausdach vorzusehen.

### 1.3.1. Maschinenhausbefeuerung

Die Lampen müssen paarweise auf dem Dach des Maschinenhauses angebracht werden, um zu gewährleisten, dass jederzeit mindestens ein Feuer aus jeder Richtung sichtbar ist. Die Bauwerksspitze darf bis einschließlich 315m betragen. Die Blinkfolge wird in der AVV festgelegt.

|                            |                                                                              |               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC        |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>6/37 |

### 1.3.2. Turmbefeuering

Gemäß AVV müssen Windenergieanlagen mit einer maximalen Spitzenhöhe von mehr als 150 m mit einer zusätzlichen Hindernisbefeuerungsebenen am Turm ausgestattet werden, wobei aus jeder Richtung mindestens zwei Hindernisfeuer sichtbar sein müssen. Diese ist auf halber Höhe zwischen Gondelbefeuerung und Geländeoberkante anzubringen und darf technisch bedingt davon abweichen.

### 1.3.3. Zusatzeinrichtungen

Eine bestimmte Reduzierung der Lichtstärken der Befeuerung (Gefahrenfeuer und Feuer W, rot) abhängig von den Messungen eines zertifizierten Sichtweitenmessgerätes ist zulässig.

Einem Ausfall der Hindernisbefeuerung ist durch Installation einer Notstromversorgung mit ausreichender Kapazität zur Überbrückung der Stromversorgung von mind. 16h vorzubeugen. Die Aktivierung der Notstromversorgung darf nicht später als 2 Minuten nach dem Stromausfall erfolgen. Fehler in diesem Ablauf, die einen Ausfall der Befeuerung verursachen, müssen eine entsprechende Meldung an den Anlagenbetreiber auslösen, sodass dieser die NOTAM-Zentrale unverzüglich telefonisch benachrichtigen kann. Ist eine Behebung innerhalb von zwei Wochen nicht möglich, so ist die NOTAM-Zentrale nach zwei Wochen erneut zu informieren.

### 1.3.4. Nachtkennzeichnung von Vestas Windenergieanlagen

Vestas Windenergieanlagen werden in Deutschland standardmäßig mit zwei blinkenden Feuern W, rot, in Kombination mit einer Infrarotbefeuerung auf dem CoolerTop (ca. 4 m über der Nabenhöhe) geliefert. Die allgemeine Spezifikation für diese Komponenten findet sich in [2]. Eine Tageskennzeichnung mittels Weißblitz ist nicht vorgesehen.

Eine zusätzliche Befeuerung des Turms mit einer Reihe von vier Hindernisfeuern, die um den Turmumfang in rechten Winkeln zueinander angeordnet sind, ist gemäß den folgenden Zeichnungen installiert. Technisch bedingt kann zu marginalen Abweichungen der Höhe der Turmbefeuerungsebene kommen. Die Spezifikation für diese Komponenten findet sich in [3].

Optional ist auf Wunsch ein Sichtweitenmessgerät gemäß Spezifikation in [4] und/oder eine Unterbrechungsfreie Stromversorgung (USV) gemäß Spezifikation in [5] von Vestas erhältlich, um den Störeinfluss der Befeuerung zu reduzieren bzw. um der Forderung der AVV nach einer Notversorgung der Befeuerung während eines Netzausfalls nachzukommen.

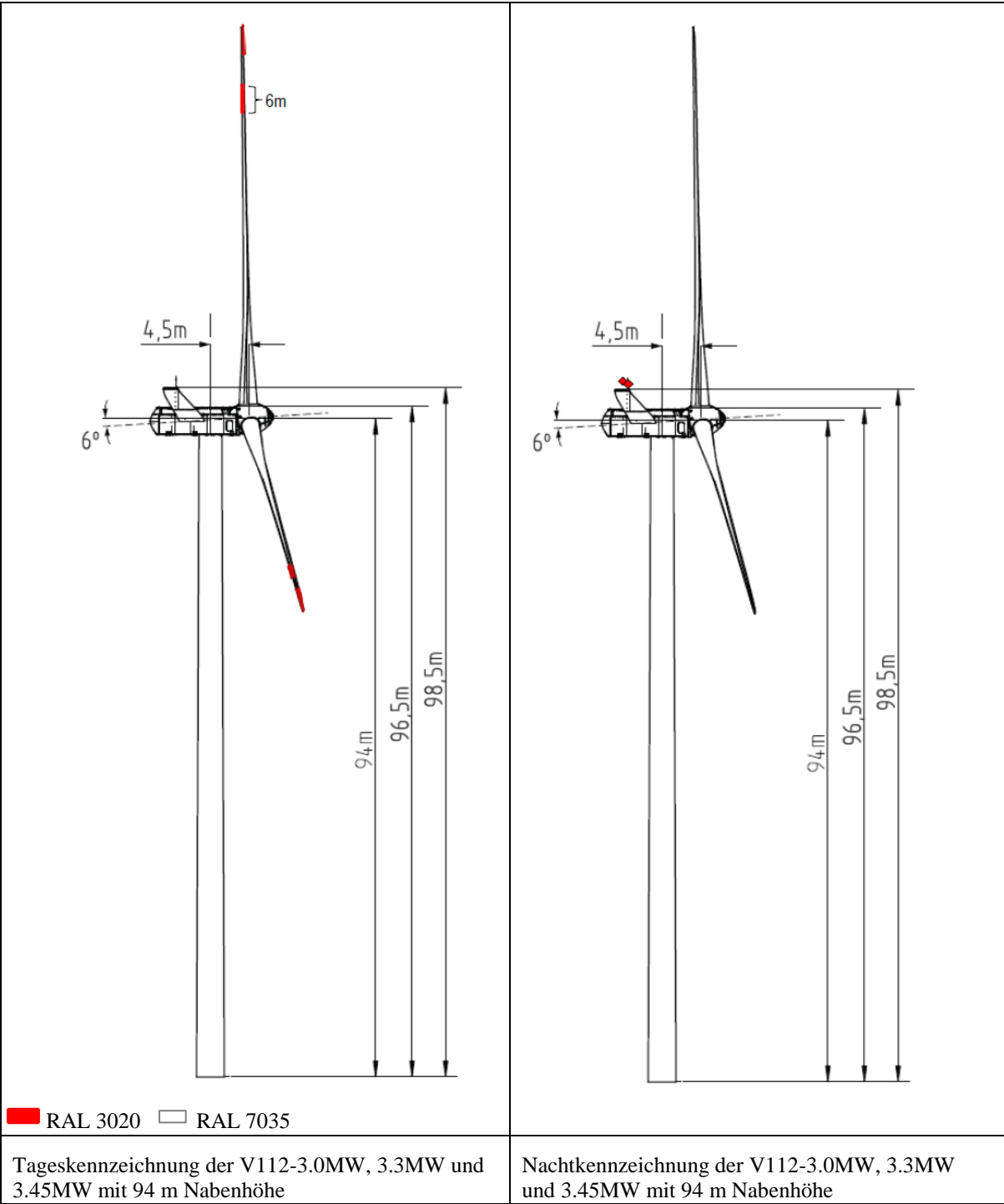
|                            |                                                                              |               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |               |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>7/37 |

2. Anlagenkennzeichnungen – Standard nach AVV

Die Grafiken auf den folgenden Seiten zeigen die standardmäßig konfigurierten Tages- und Nachtkennzeichnungen an Vestas-Produkten aus dem aktuellen deutschen Lieferprogramm.

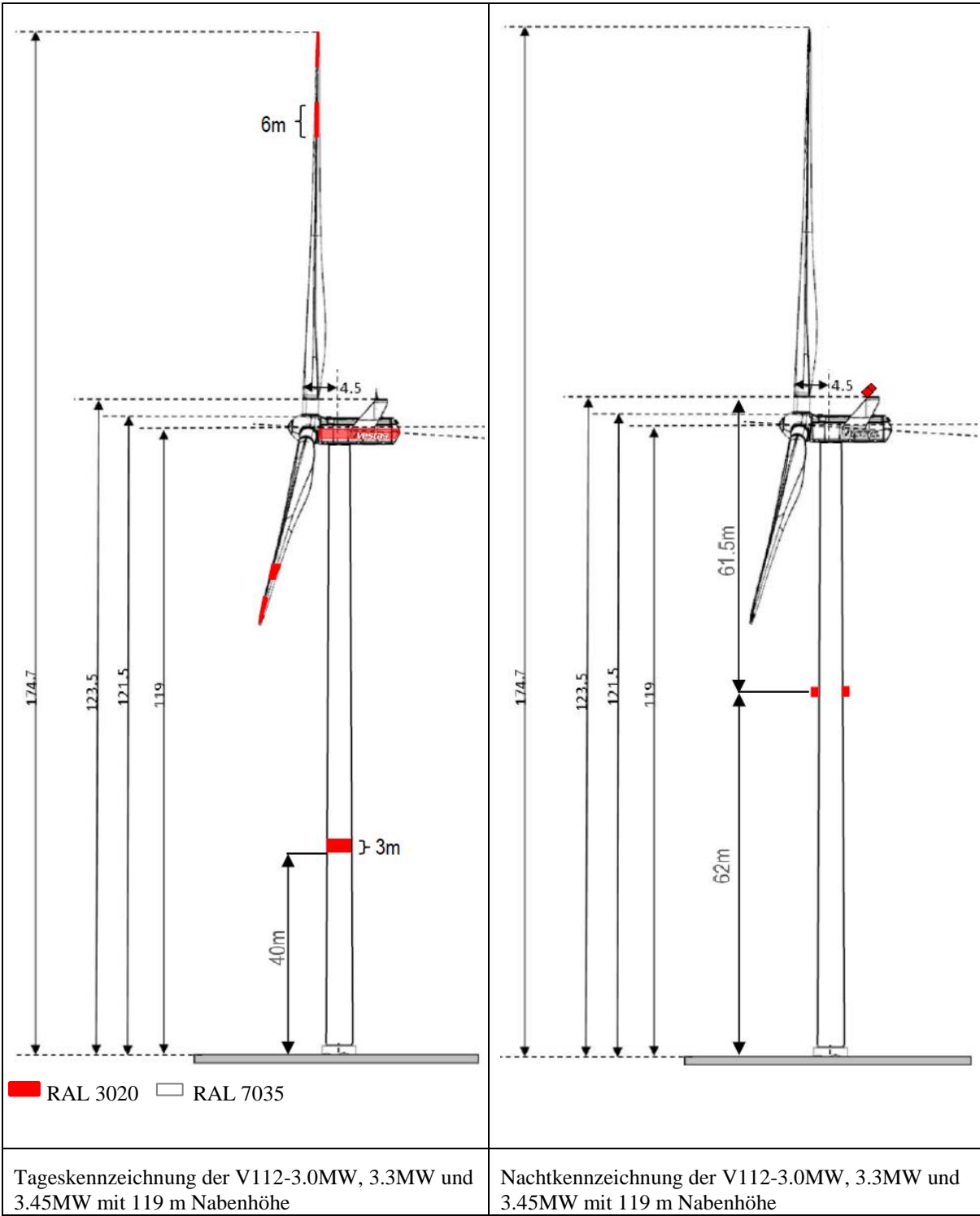
2.1. V112-3.3MW und 3.45MW

2.1.1. 94m Nabenhöhe (150m Spitzenhöhe)



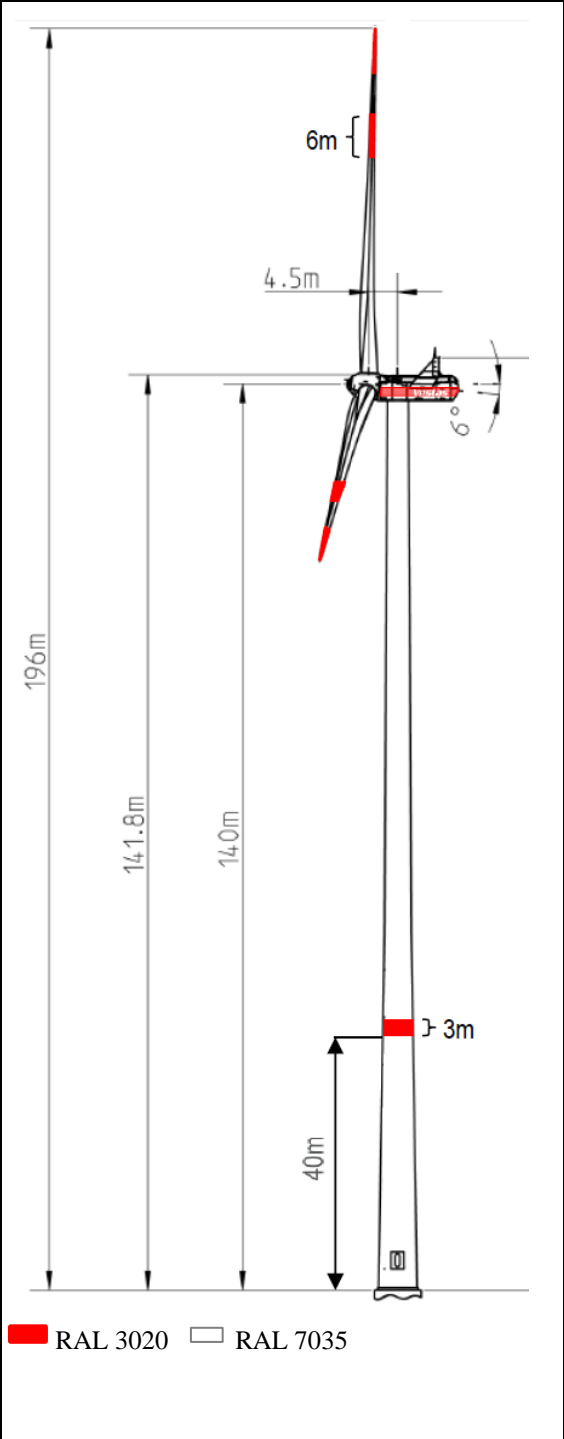
|                            |                                                                              |               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |               |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>8/37 |

2.1.2. 119m Nabenhöhe (175m Spitzenhöhe)

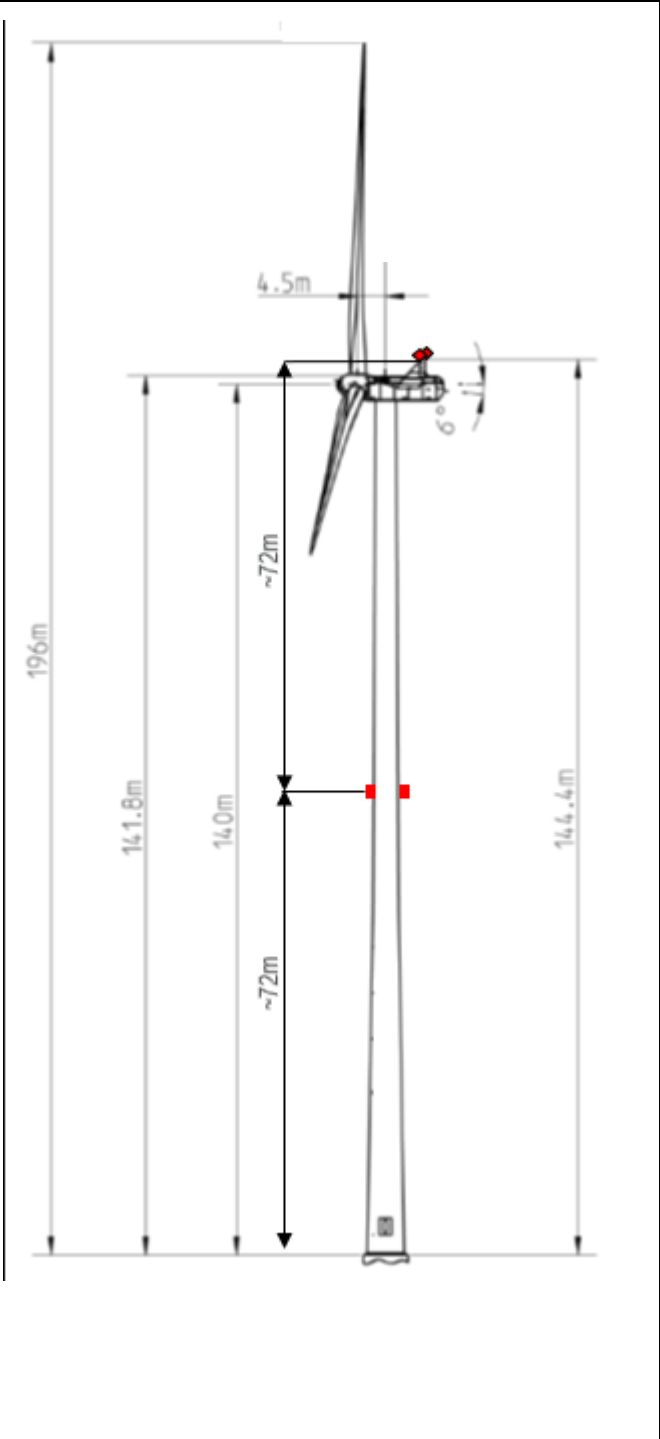


|                            |                                                                              |               |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |               |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>9/37 |

2.1.3. 140m Nabenhöhe (196m Spitzenhöhe)



Tageskennzeichnung der V112-3.0MW, 3.3MW und 3.45MW mit 140 m Nabenhöhe



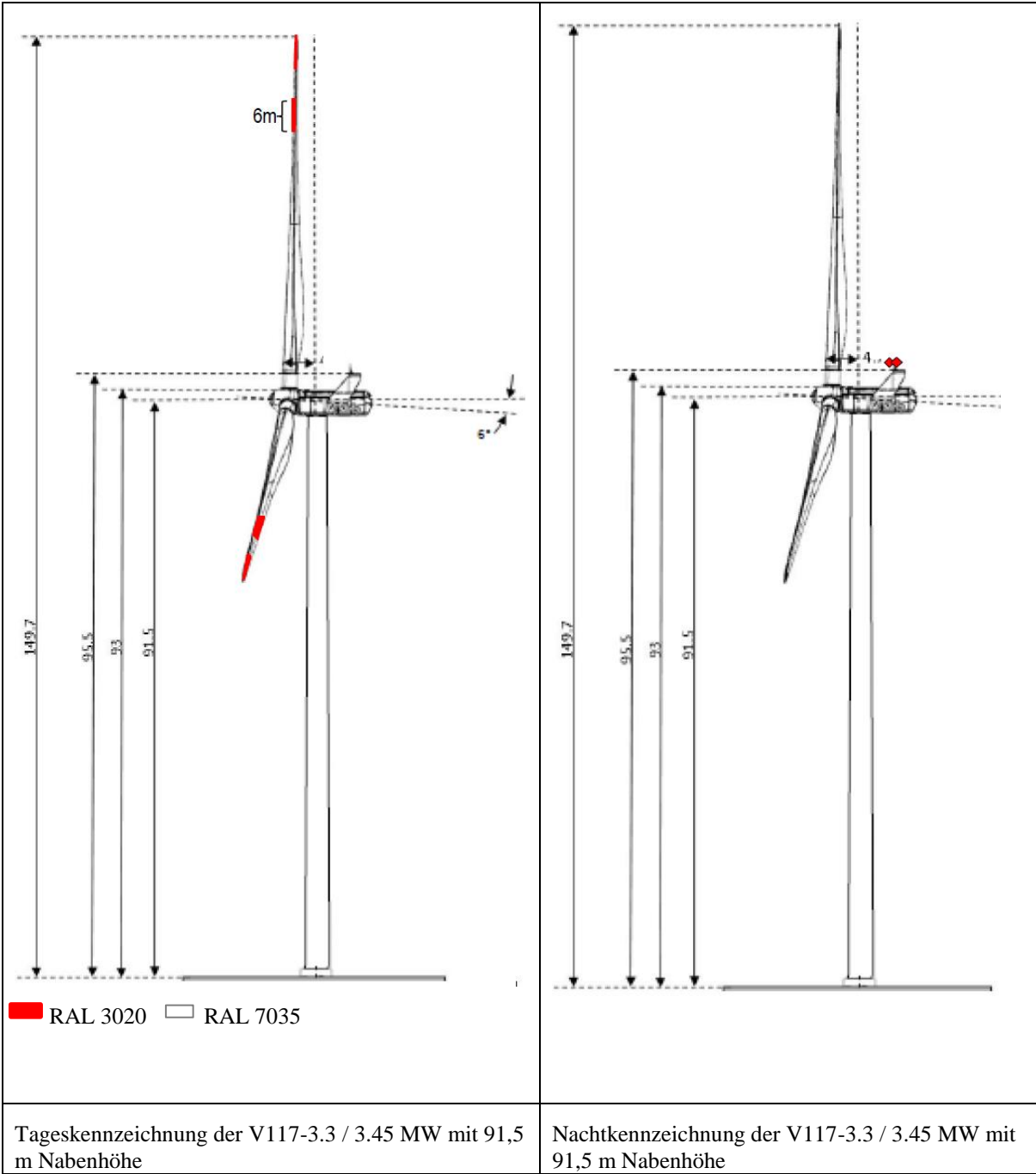
Nachtkennzeichnung der V112-3.0MW, 3.3MW und 3.45MW mit 140 m Nabenhöhe



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>10/37 |

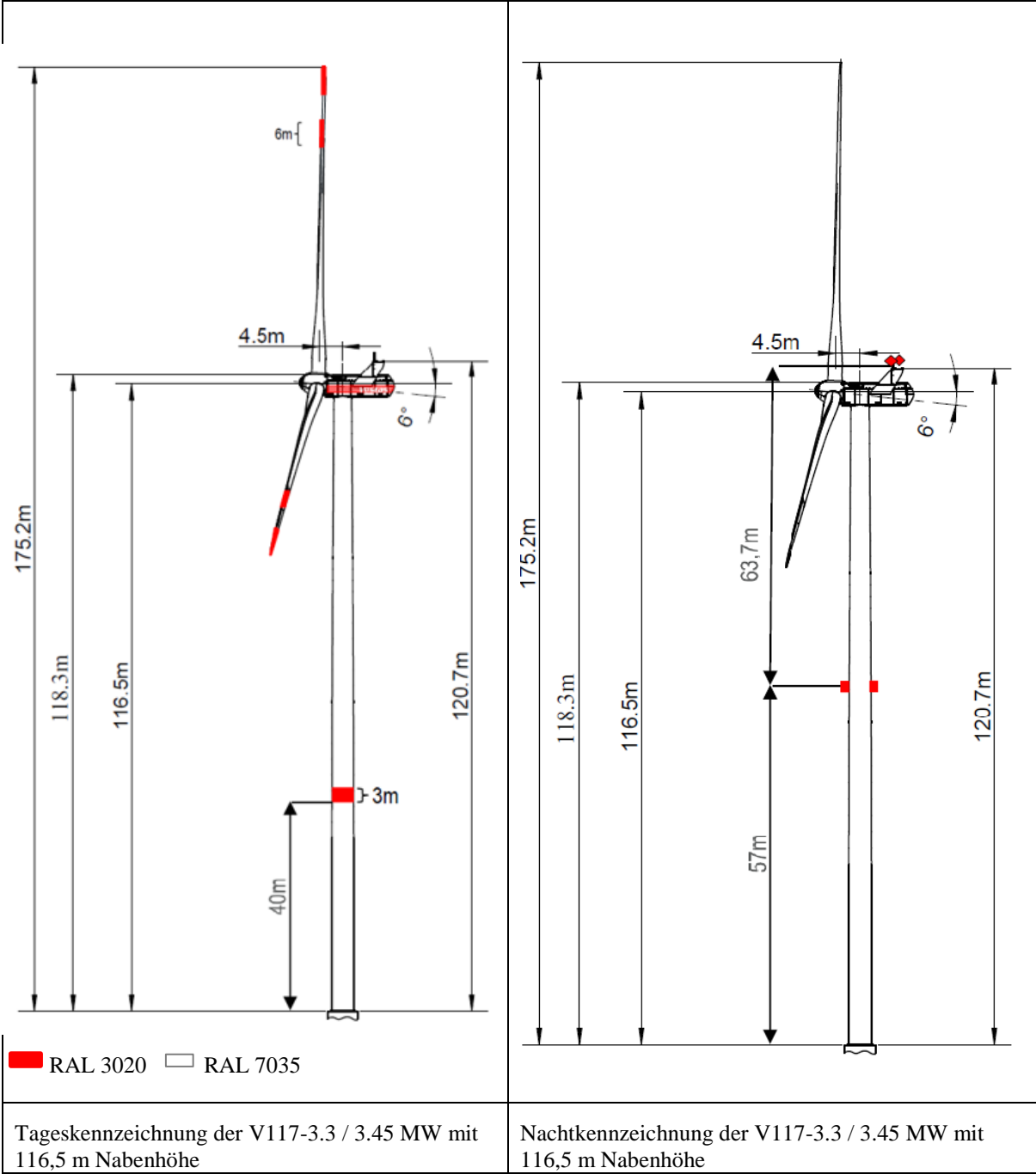
2.2. V117-3.3MW und 3.45MW

2.2.1. 91,5m Nabenhöhe (150m Spitzenhöhe)



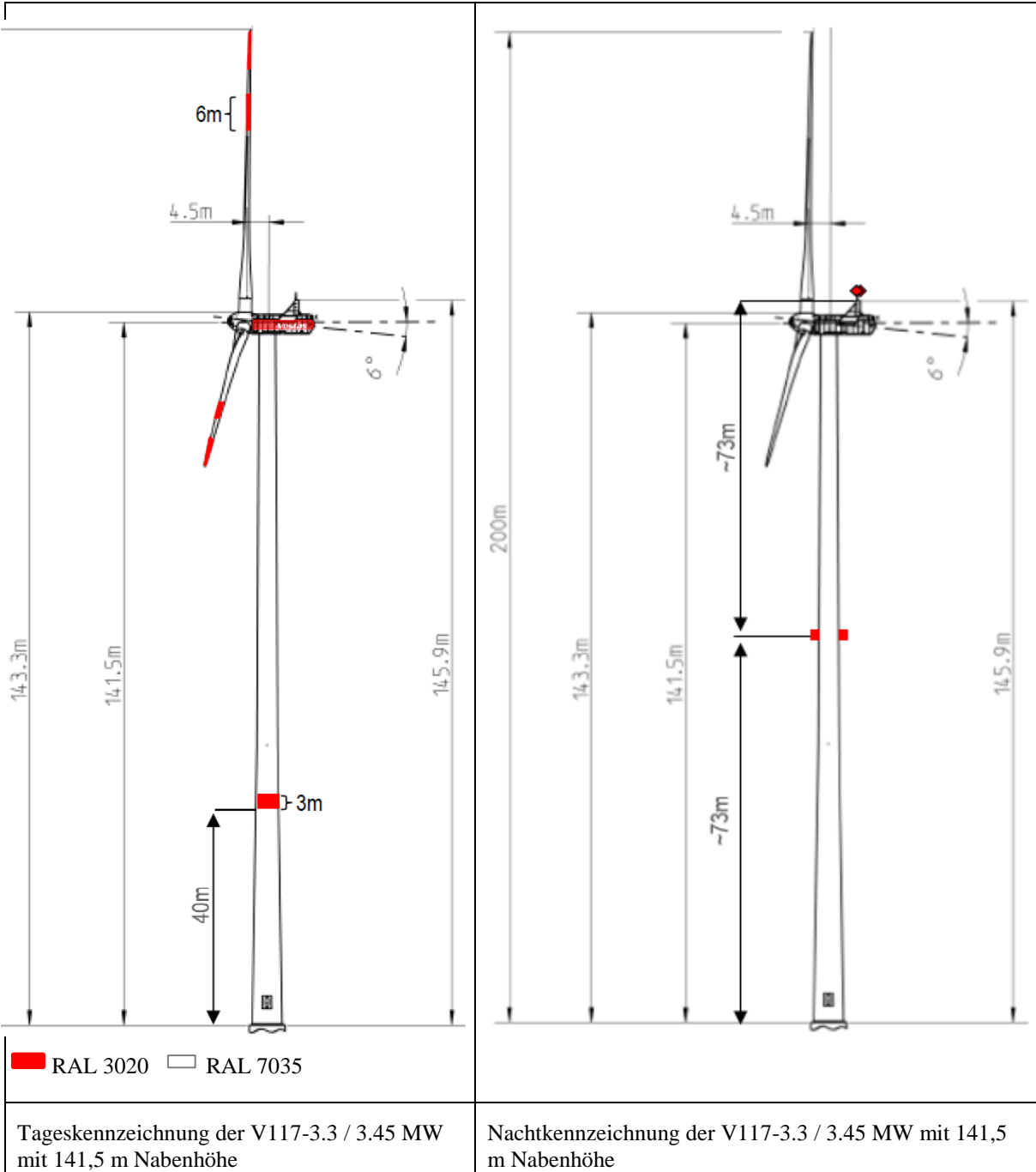
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>11/37 |

2.2.2. 116,5m Nabenhöhe (175m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC         |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>12/37 |

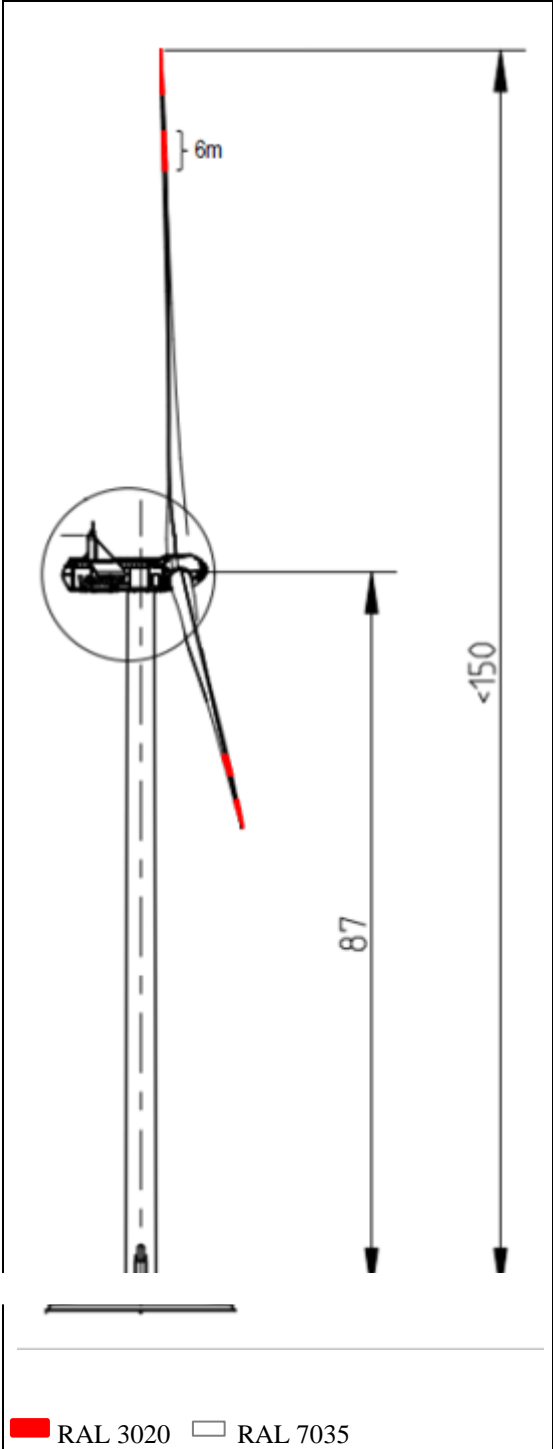
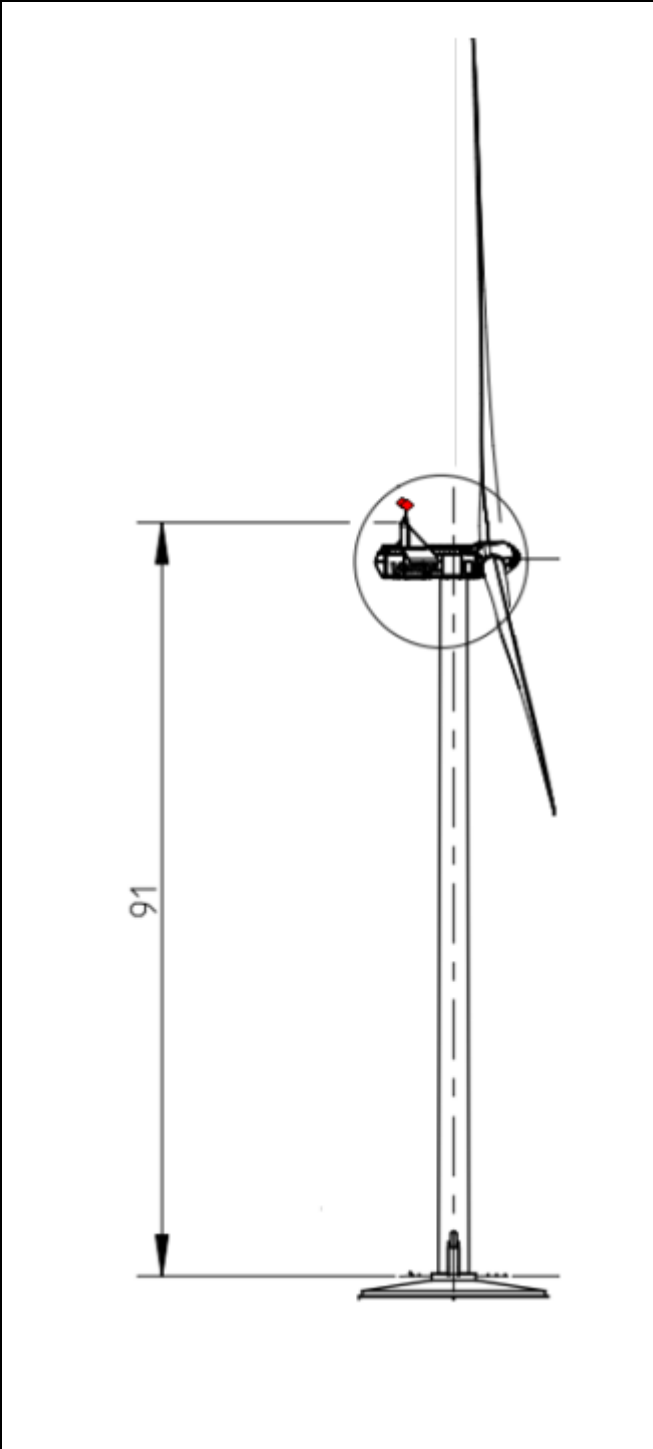
2.2.3. 141,5m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>13/37 |

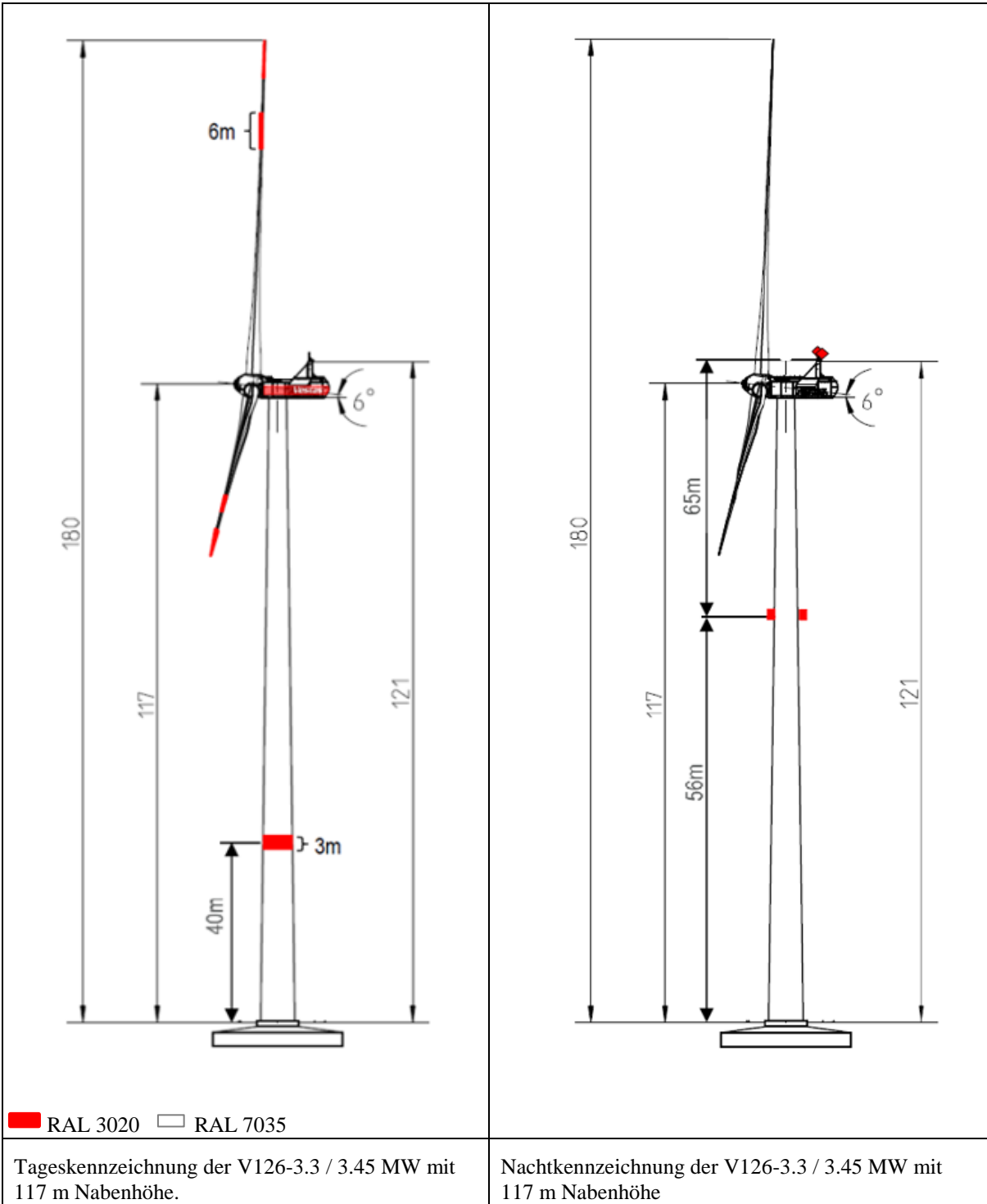
2.3. V126-3.3MW, 3.45MW und 3.6MW

2.3.1. 87m Nabenhöhe (150m Spitzenhöhe)

|                                                                                                                      |                                                                                                                      |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                   |
| Tageskennzeichnung der V126-3.45 / 3.6 MW mit 87m Nabenhöhe. Nabenhöhe nicht bei der V126-3.3/3.45 (MK3A) verfügbar. | Nachtkennzeichnung der V126-3.45 / 3.6 MW mit 87m Nabenhöhe. Nabenhöhe nicht bei der V126-3.3/3.45 (MK3A) verfügbar. |

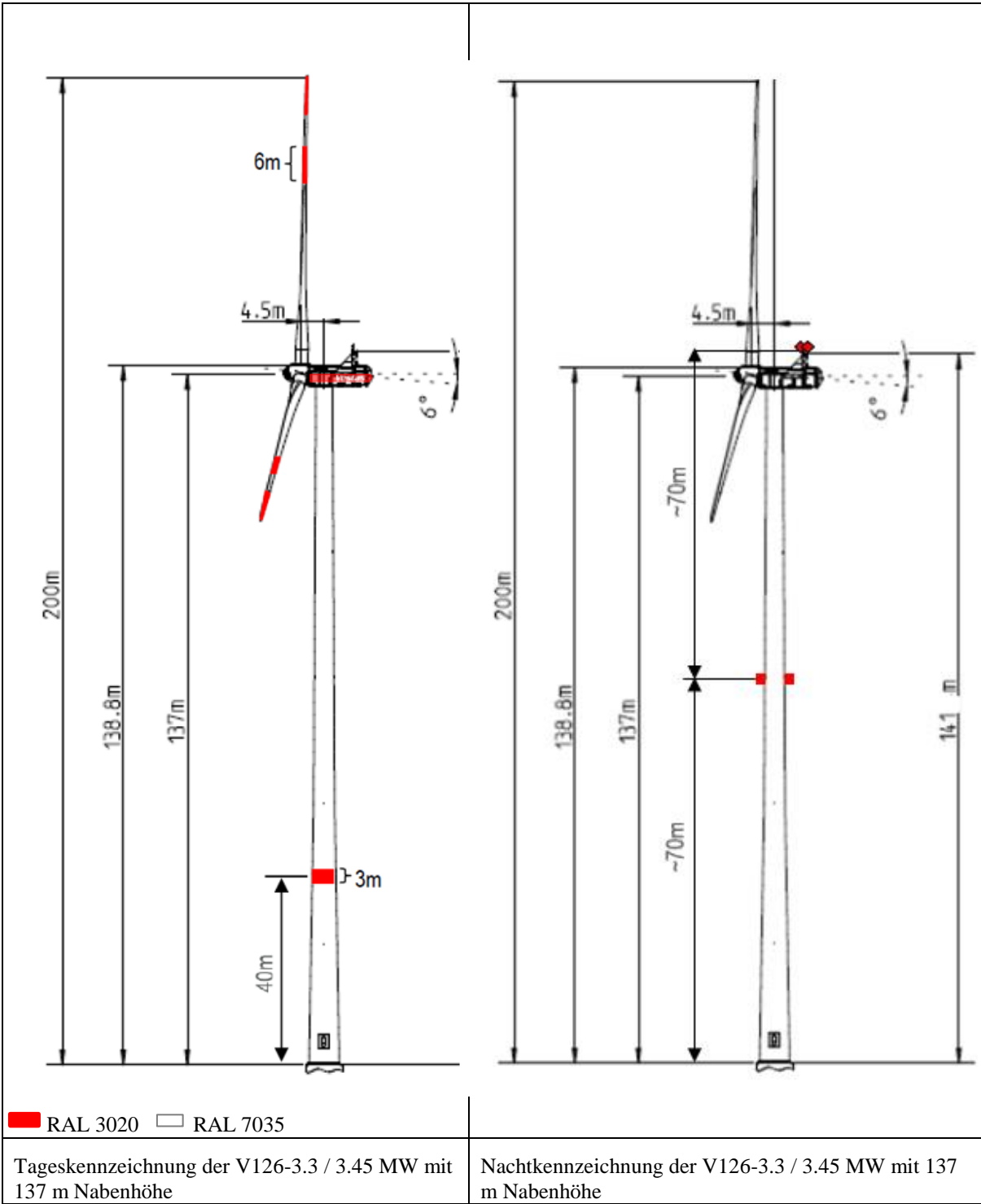
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>14/37 |

2.3.2. 117m Nabenhöhe (180m Spitzenhöhe)

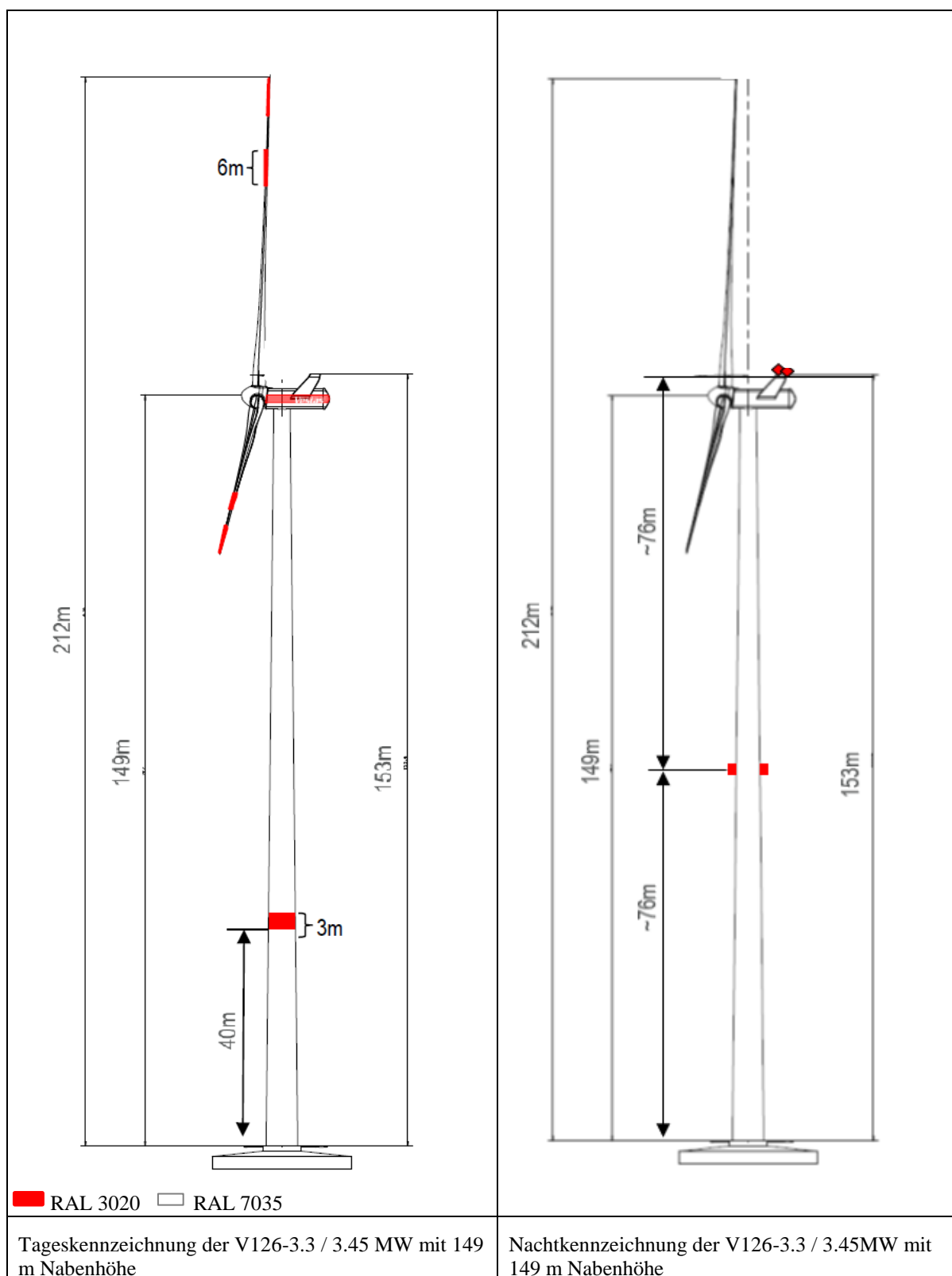


|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>15/37 |

2.3.3. 137m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)



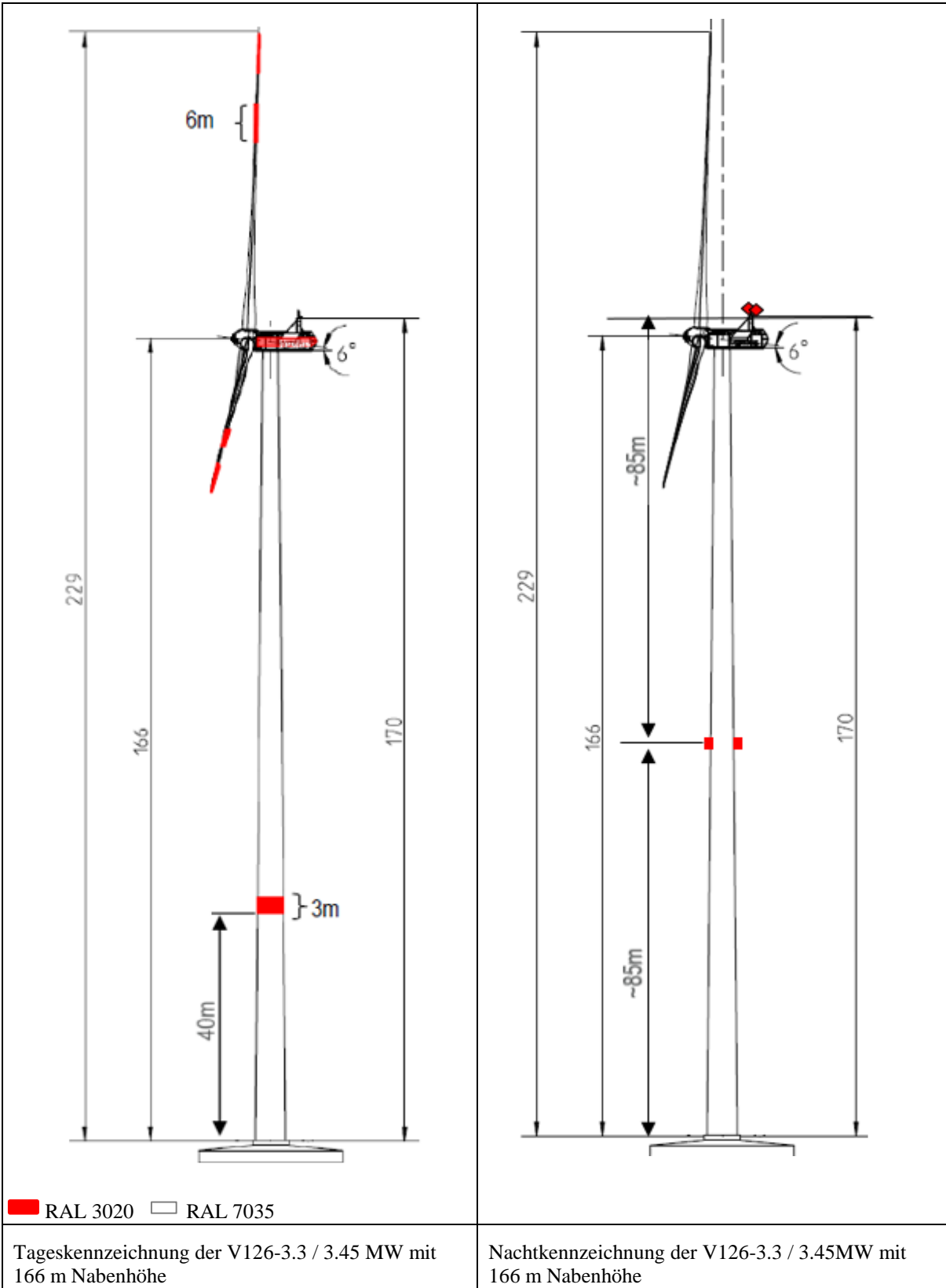
### 2.3.4. 149m Nabenhöhe (212m Spitzenhöhe)





|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>17/37 |

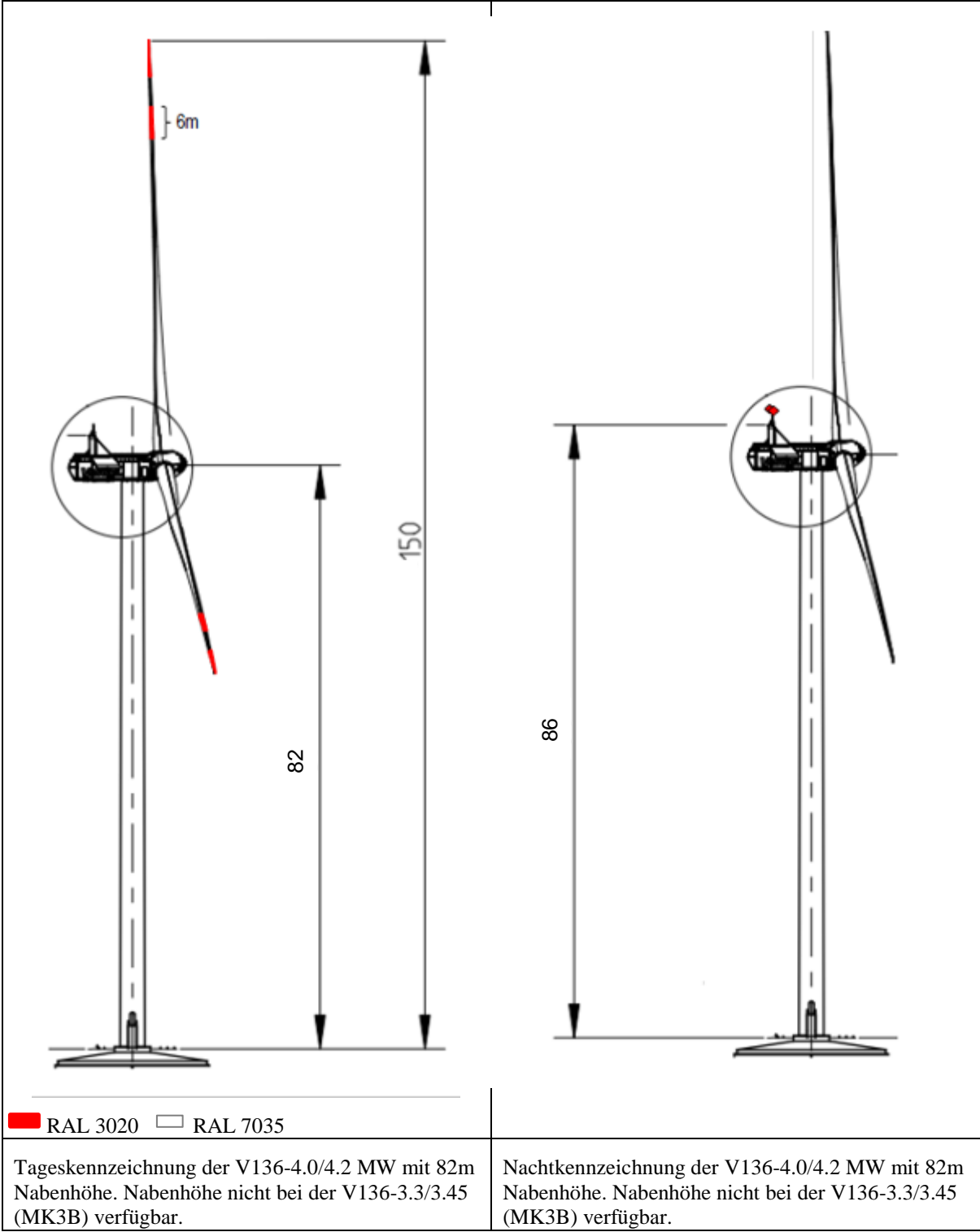
2.3.5. 166m Nabenhöhe (229m Spitzenhöhe)



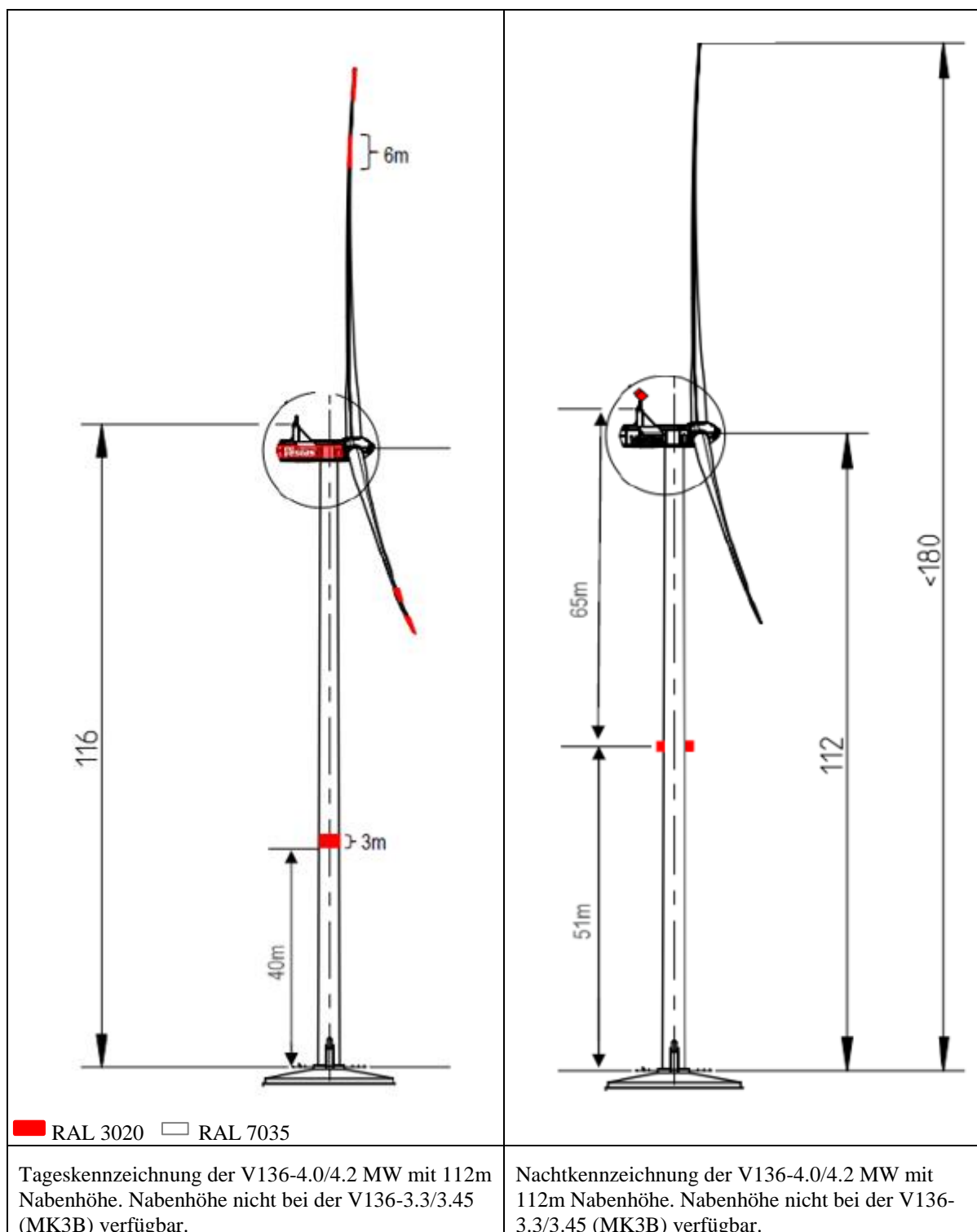
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>18/37 |

2.4. V136-3.45 / 3.6 / 4.0 / 4.2MW

2.4.1. 82m Nabenhöhe (150m Spitzenhöhe)

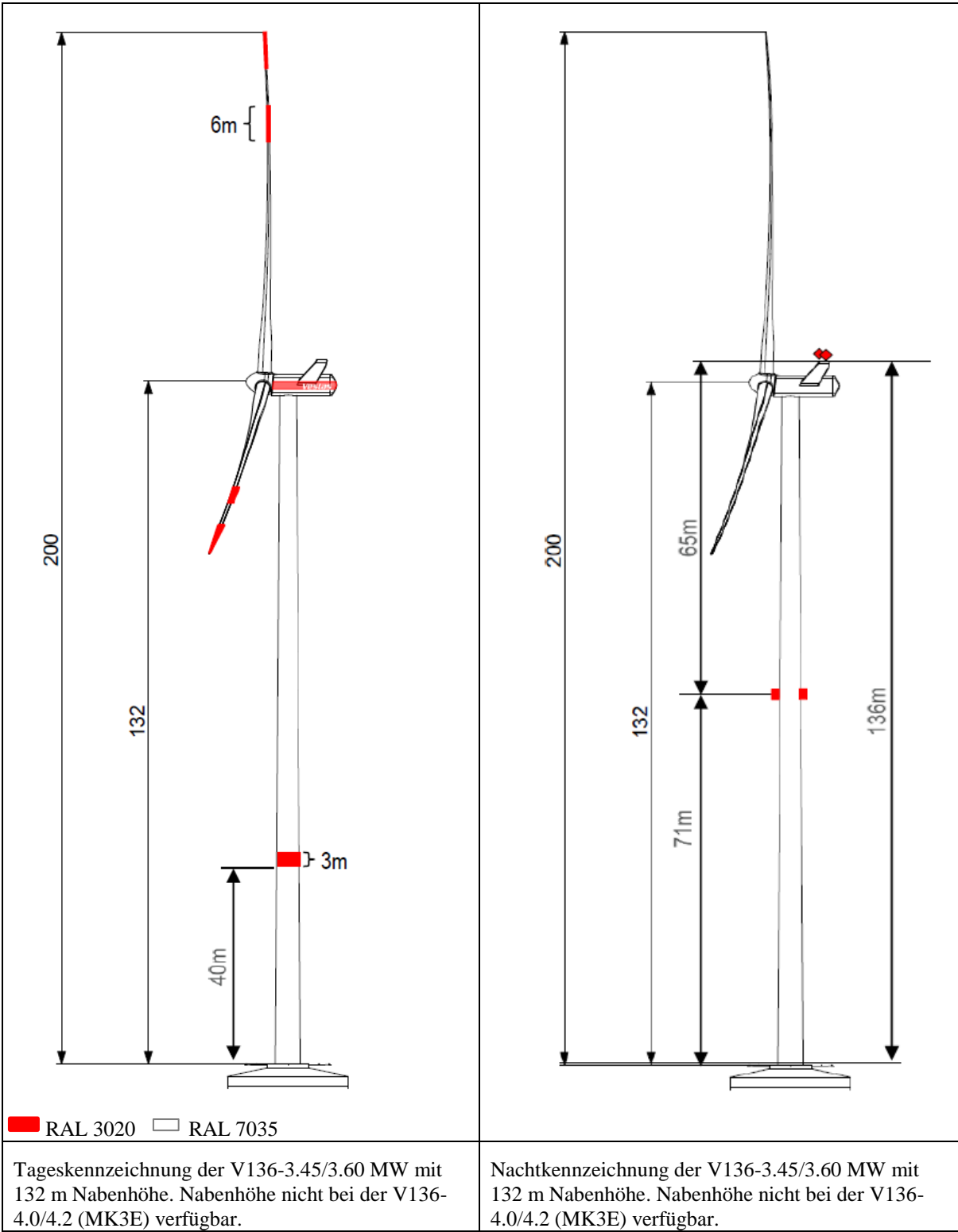


### 2.4.2. 112m Nabenhöhe (180m Spitzenhöhe)



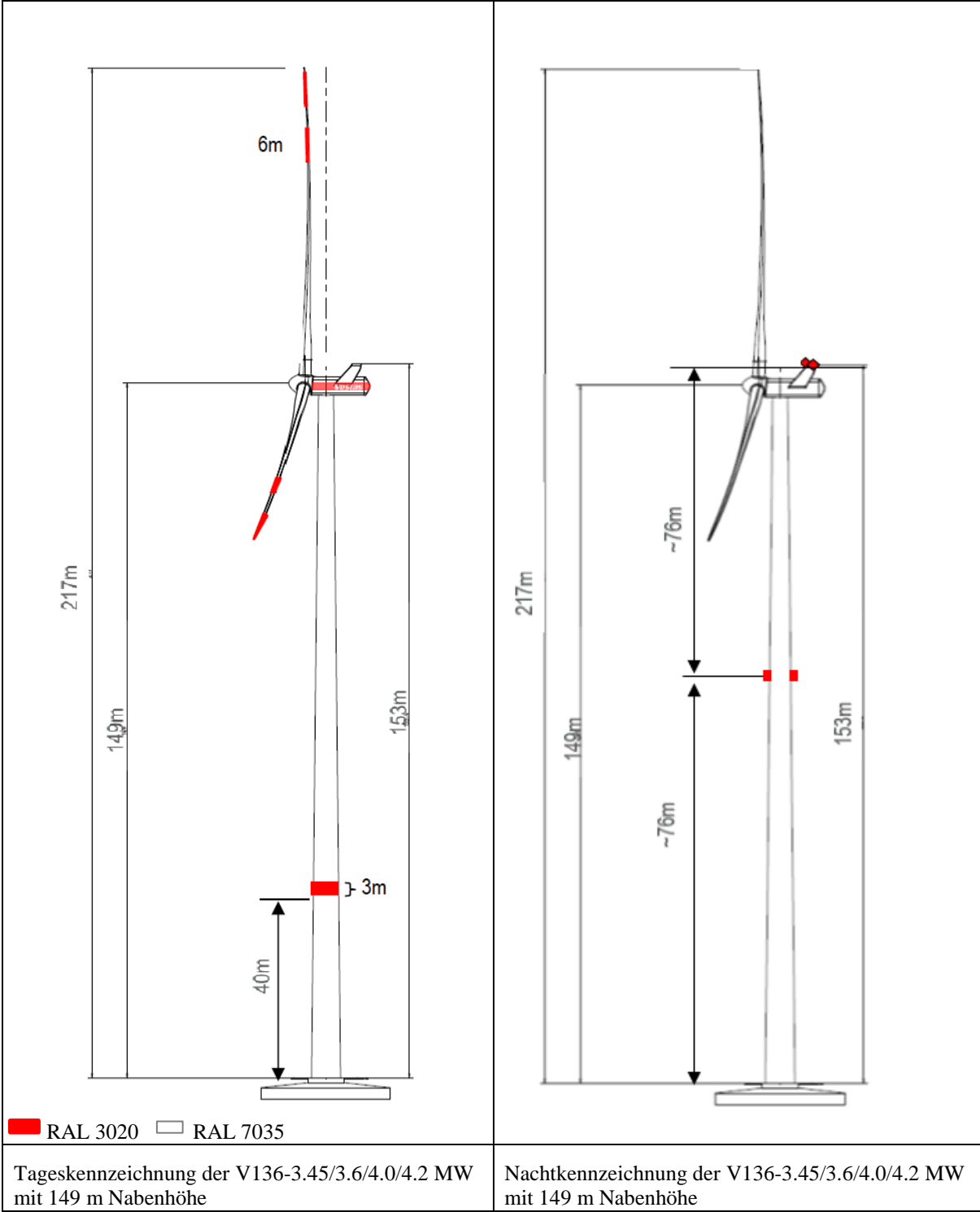
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>20/37 |

2.4.3. 132m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)

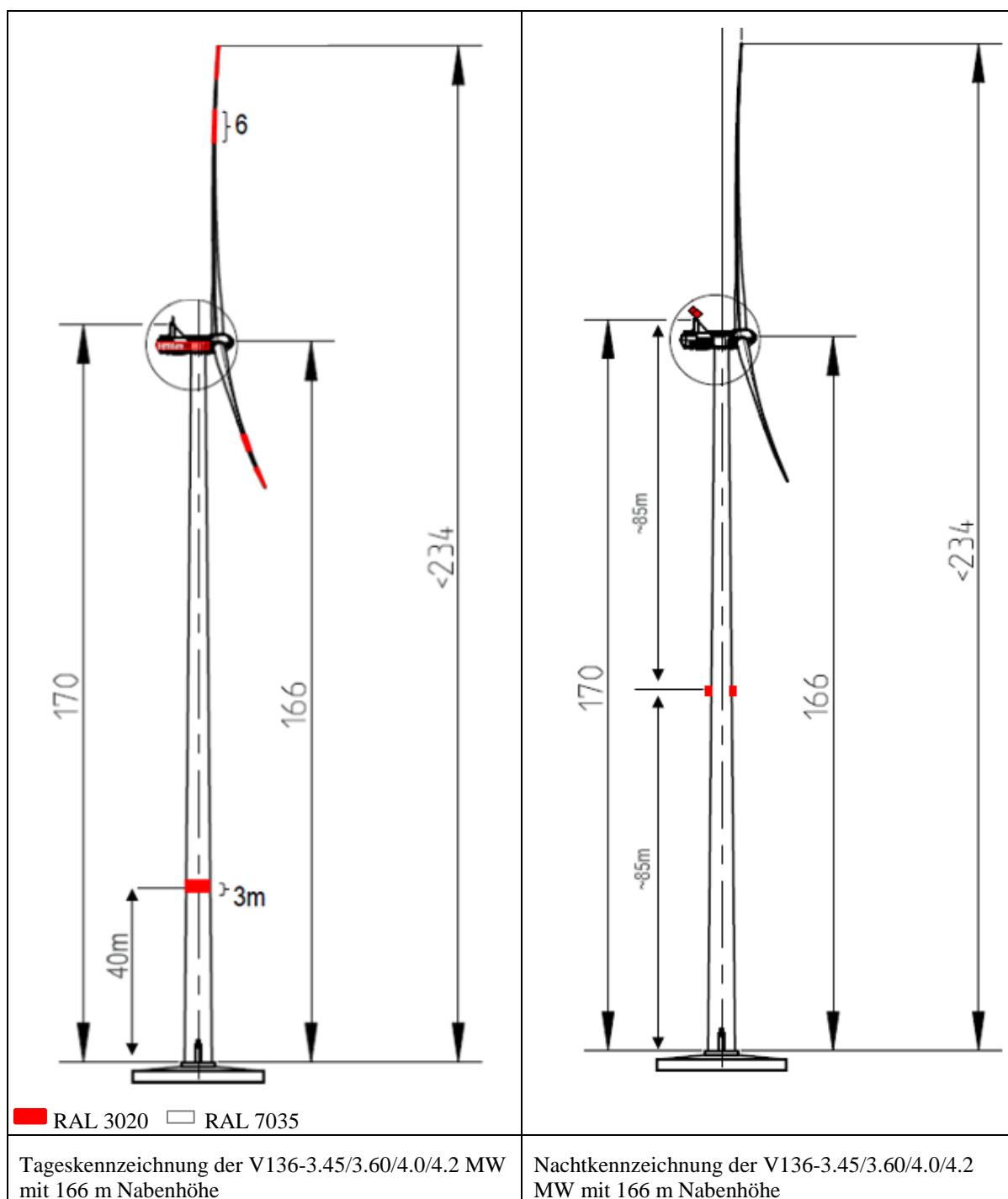


|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC         |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>21/37 |

2.4.4. 149m Nabenhöhe (217m Spitzenhöhe)



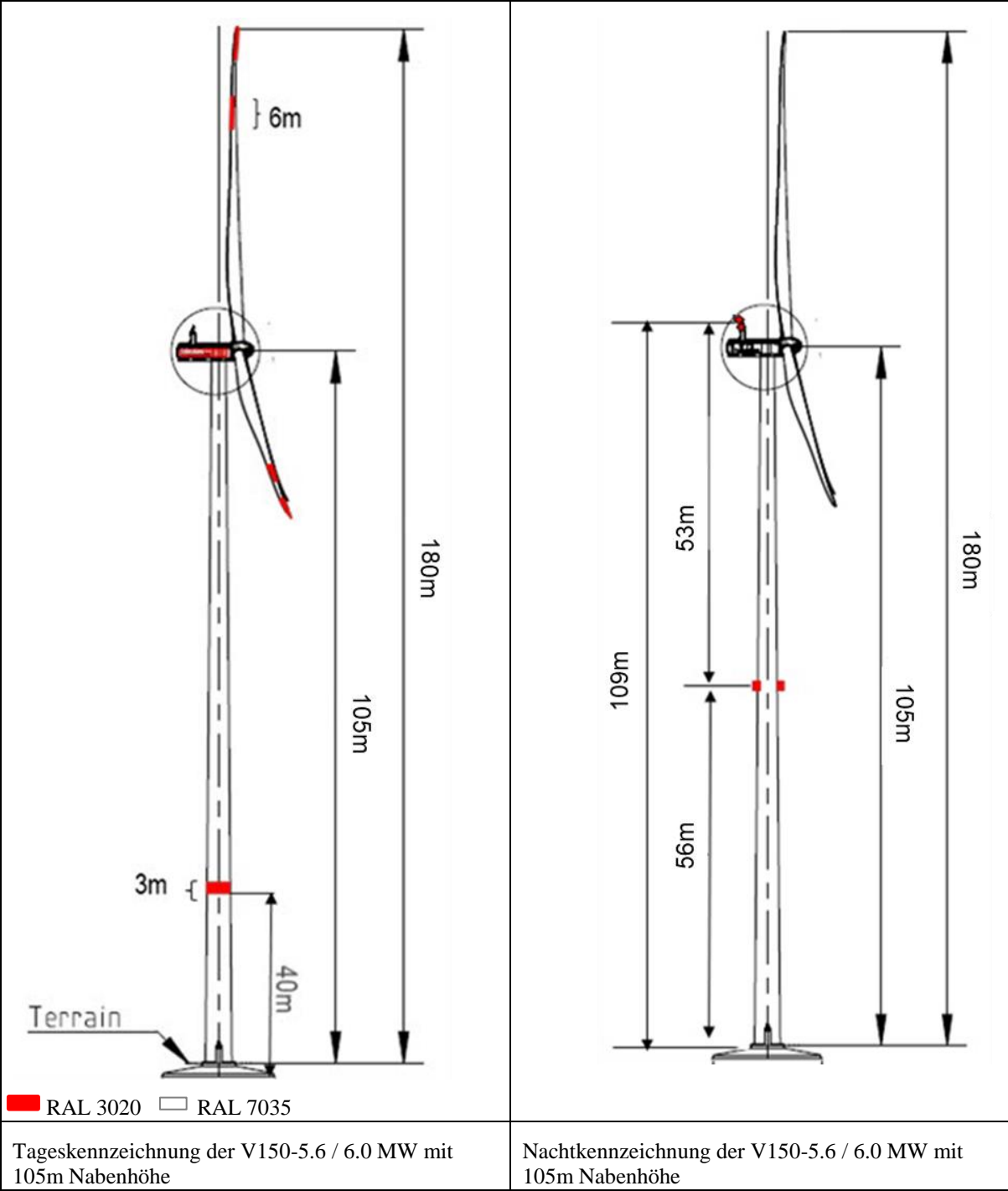
#### 2.4.5. 166m Nabenhöhe (234m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>23/37 |

2.5. V150-4.0 / 4.2MW -5.6 / 6.0MW

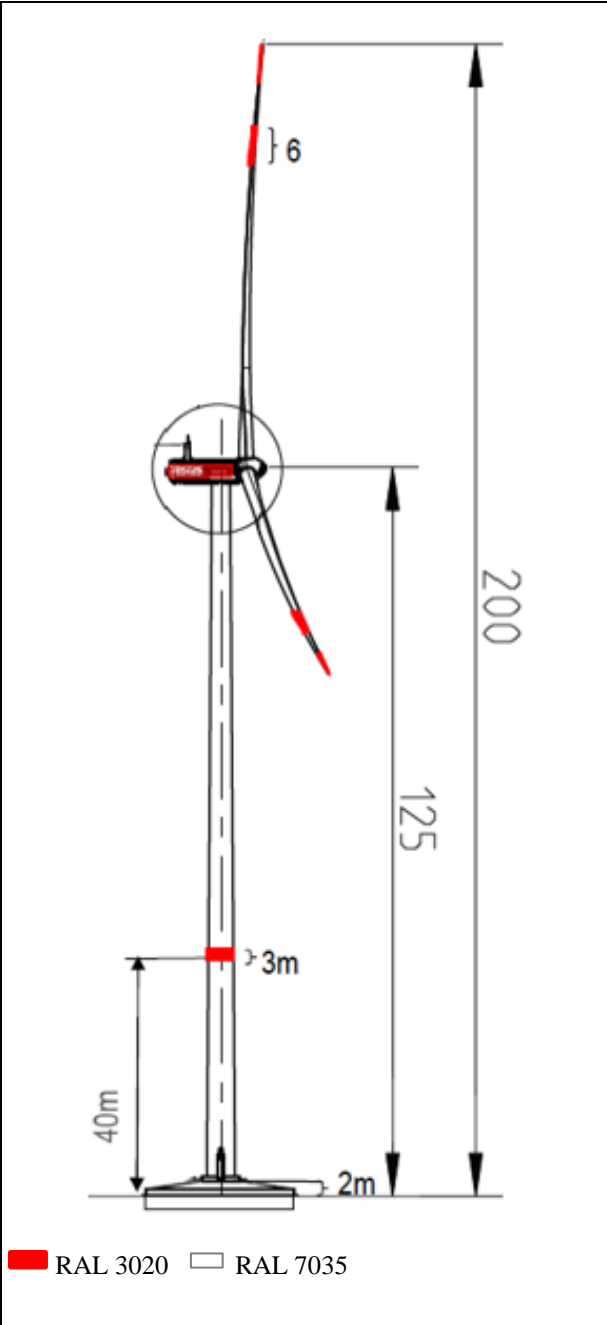
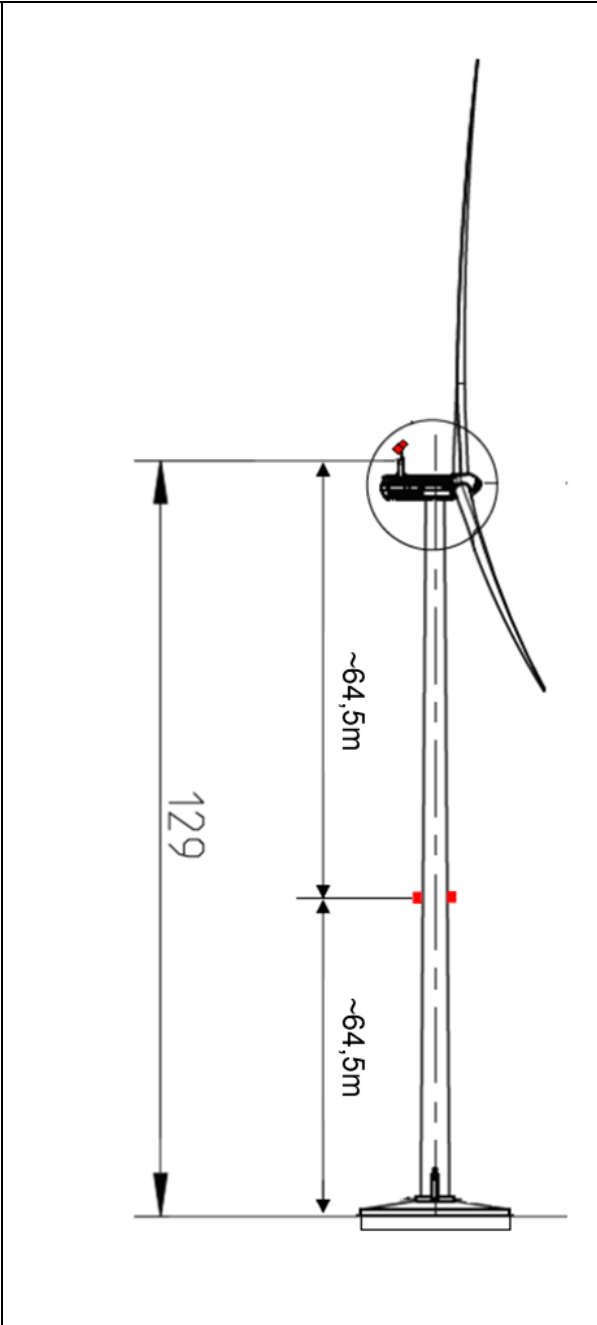
2.5.1. 105m Nabenhöhe (180m Spitzenhöhe)



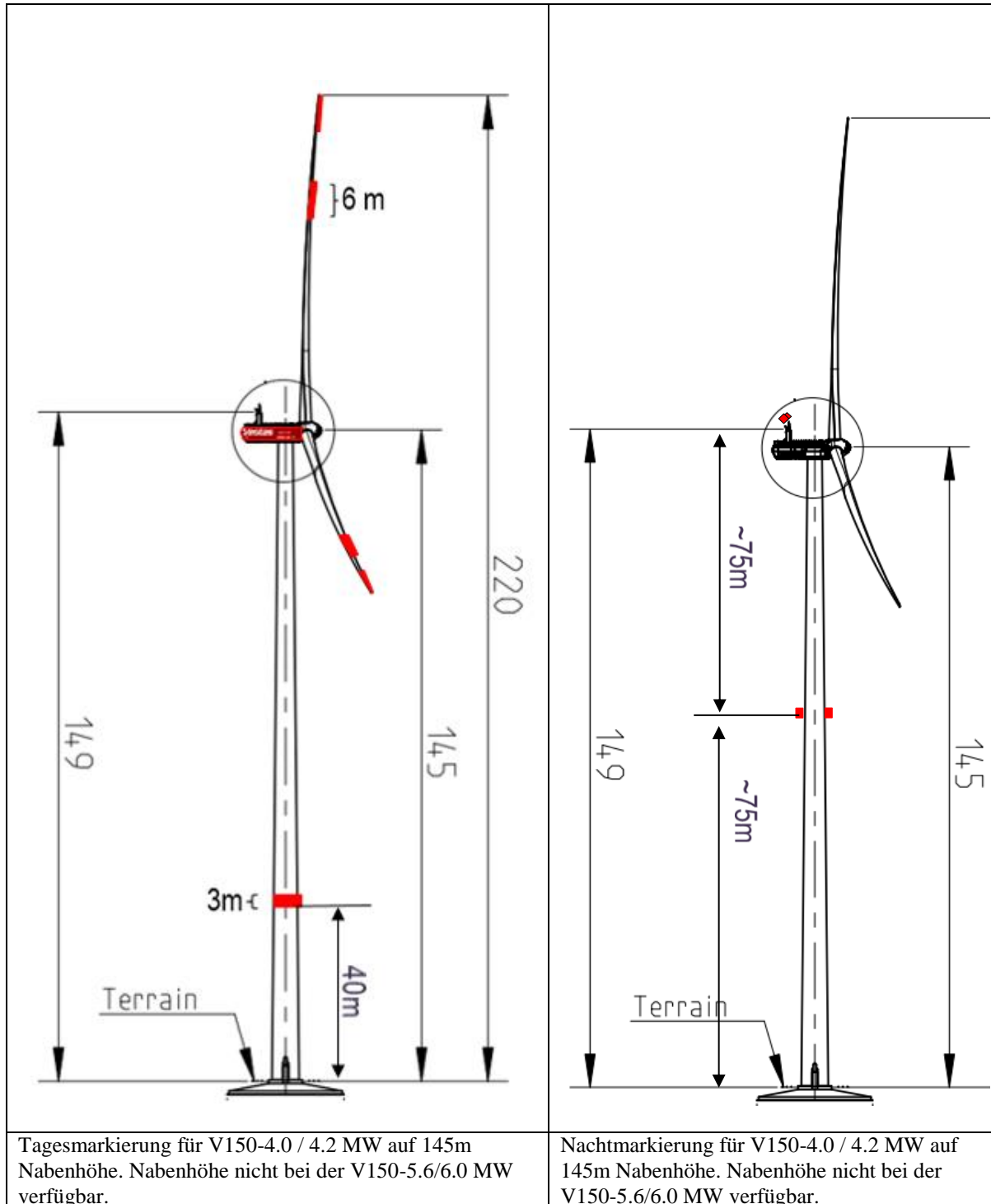


|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>24/37 |

2.5.2. 125m Nabenhöhe\* (200m Spitzenhöhe)

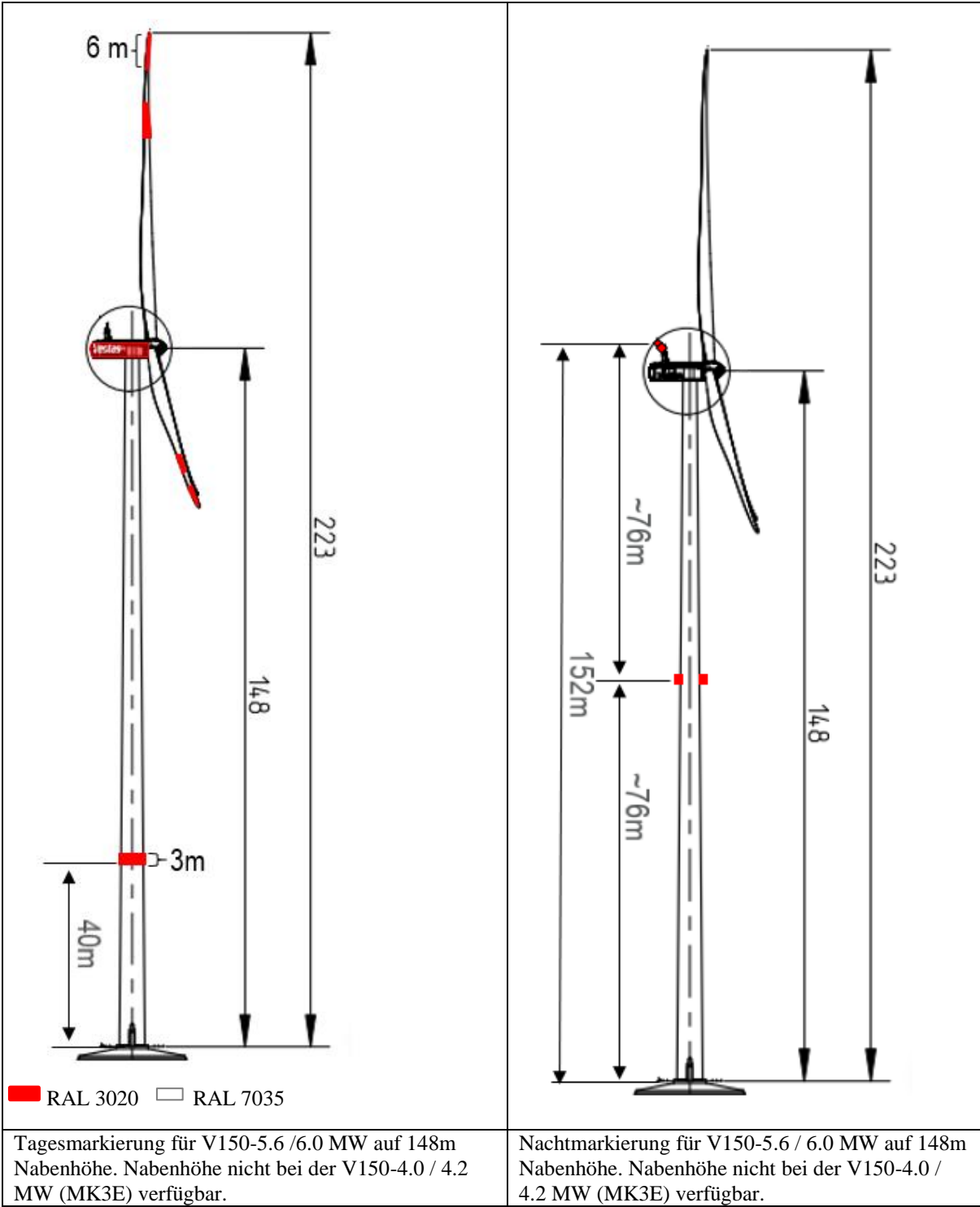
|                                                                                                                                                                                                  |                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>■ RAL 3020 □ RAL 7035</p>                                                                                  |                                                                                                               |
| <p>Tageskennzeichnung der V150-4.0 / 4.2 / 5.6 / 6.0 MW mit 125m Nabenhöhe</p> <p>Bei der 4.0/4.2MW (MK3E) Variante handelt es sich um einen 123m Turm mit einer 2 m hohen Fundamenterhöhung</p> | <p>Nachtkennzeichnung der V150-4.0 / 4.2 / 5.6 / 6.0 MW mit 125m Nabenhöhe</p> <p>Bei der 4.0/4.2MW (MK3E) Variante handelt es sich um einen 123m Turm mit einer 2 m hohen Fundamenterhöhung</p> |

### 2.5.3. 145m Nabenhöhe (220m Spitzenhöhe)



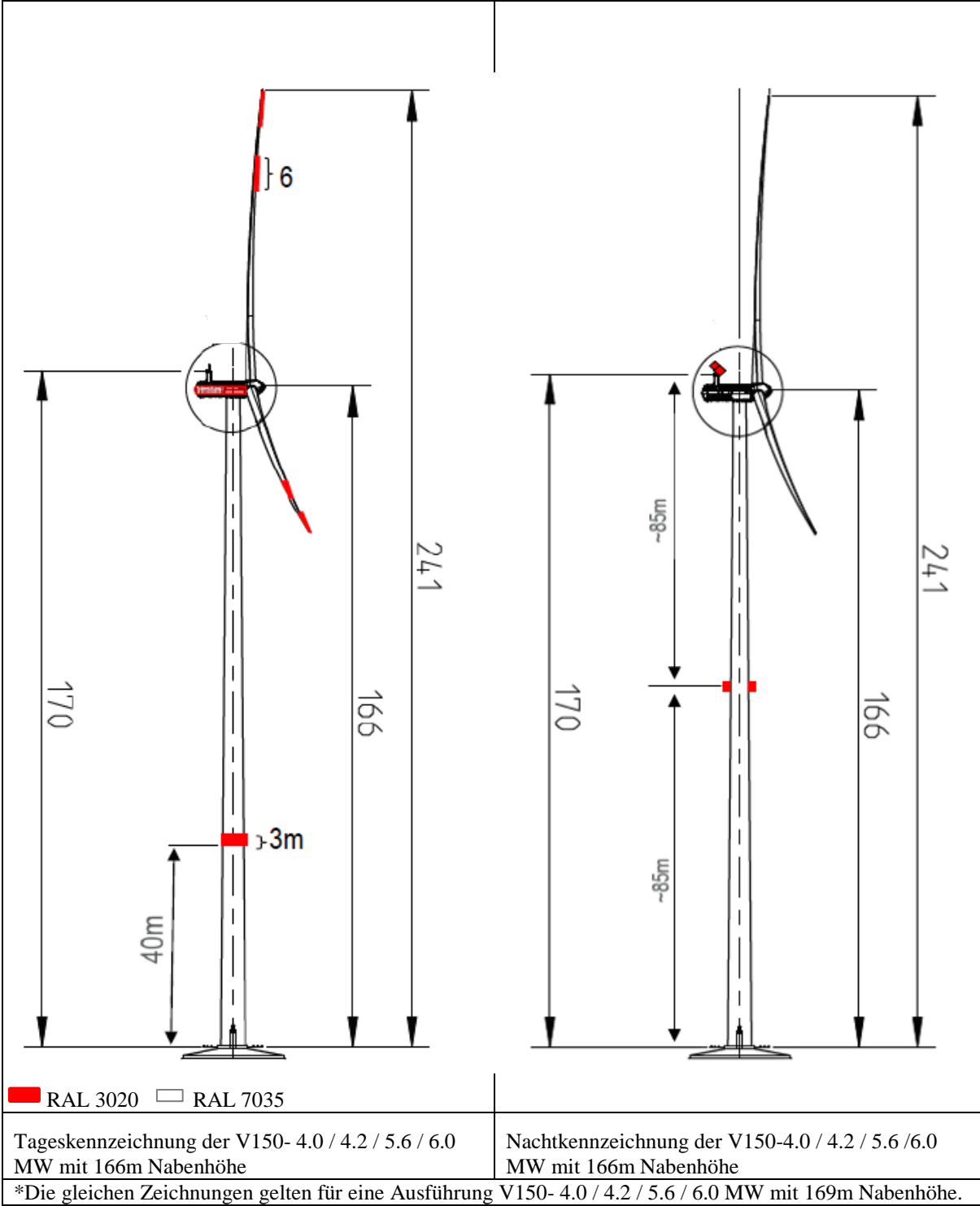
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC         |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>26/37 |

2.5.4. 148m Nabenhöhe (223m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC         |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>27/37 |

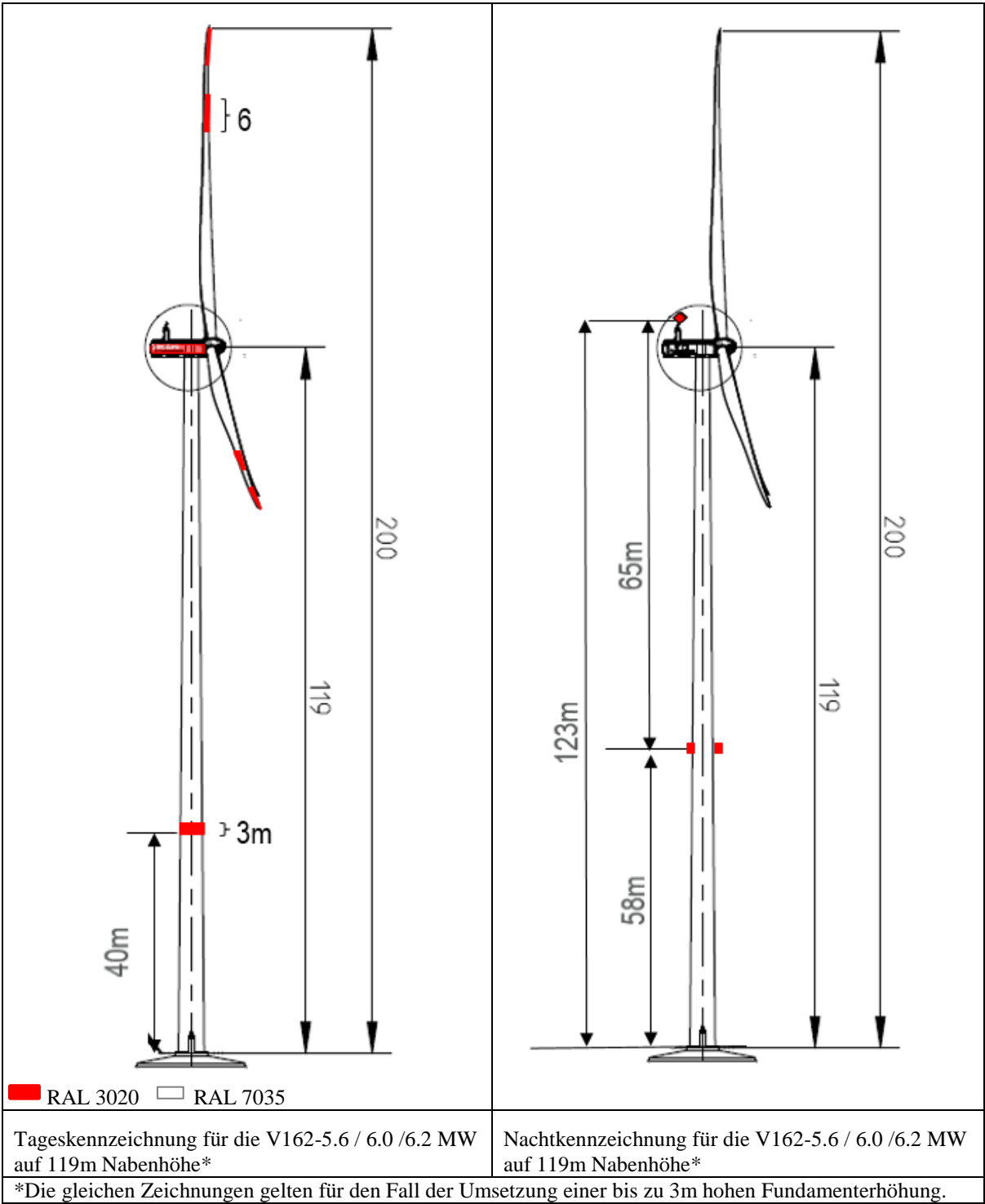
2.5.5. 166/169m Nabenhöhe  
(241/244m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>28/37 |

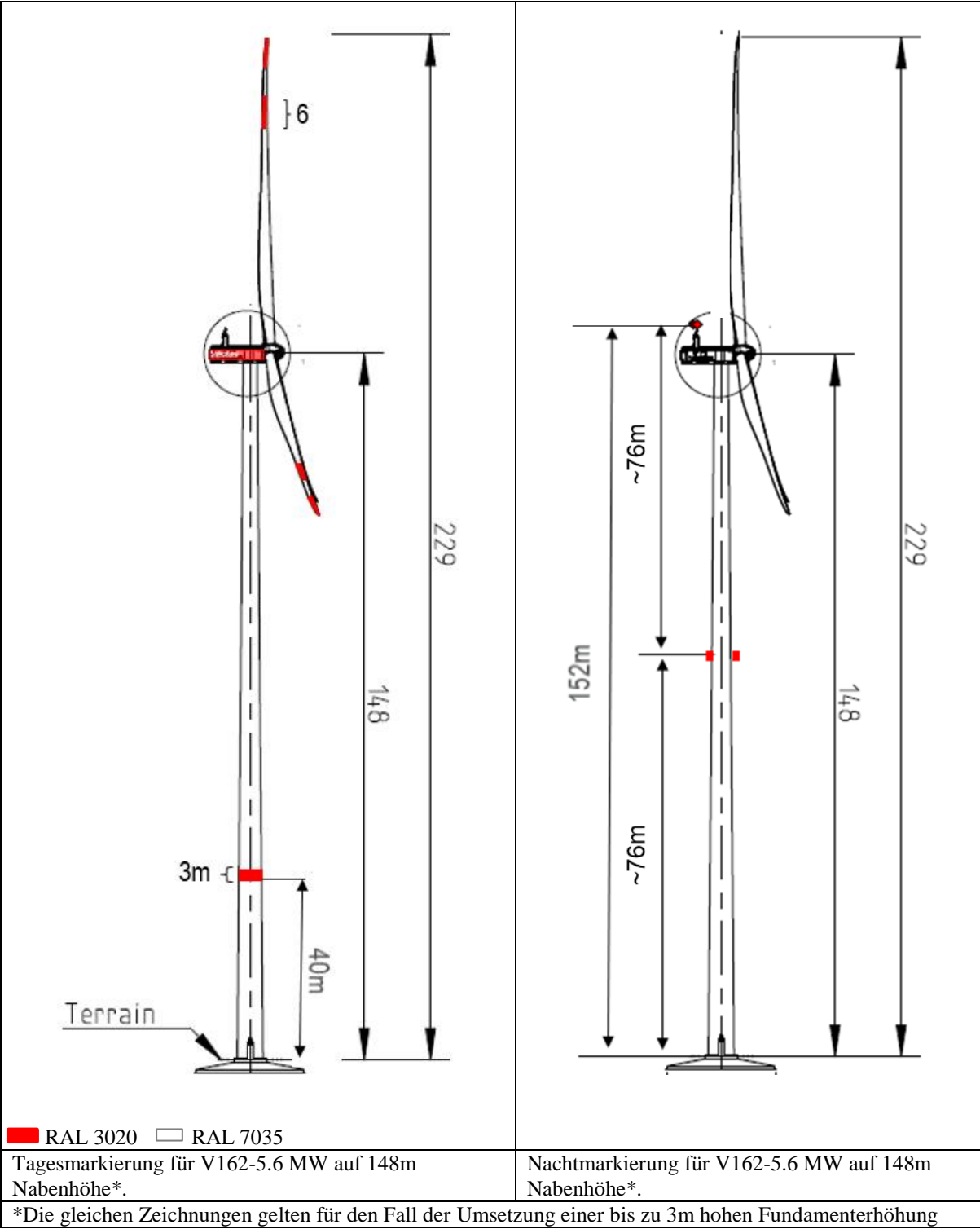
2.6. V162-5.6 / 6.0 / 6.2MW

2.6.1. 119m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)



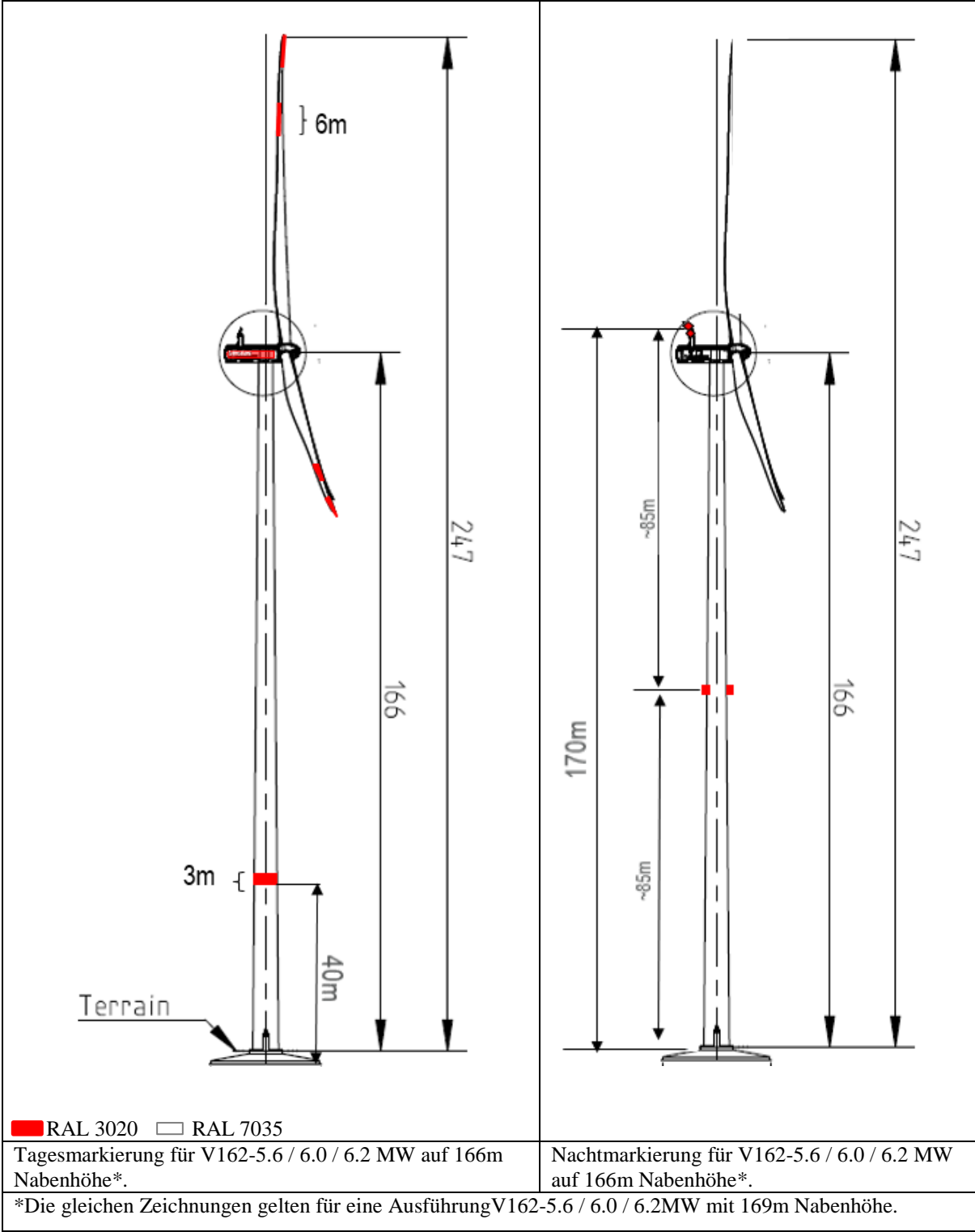
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>29/37 |

2.6.2. 148m Nabenhöhe (229m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>30/37 |

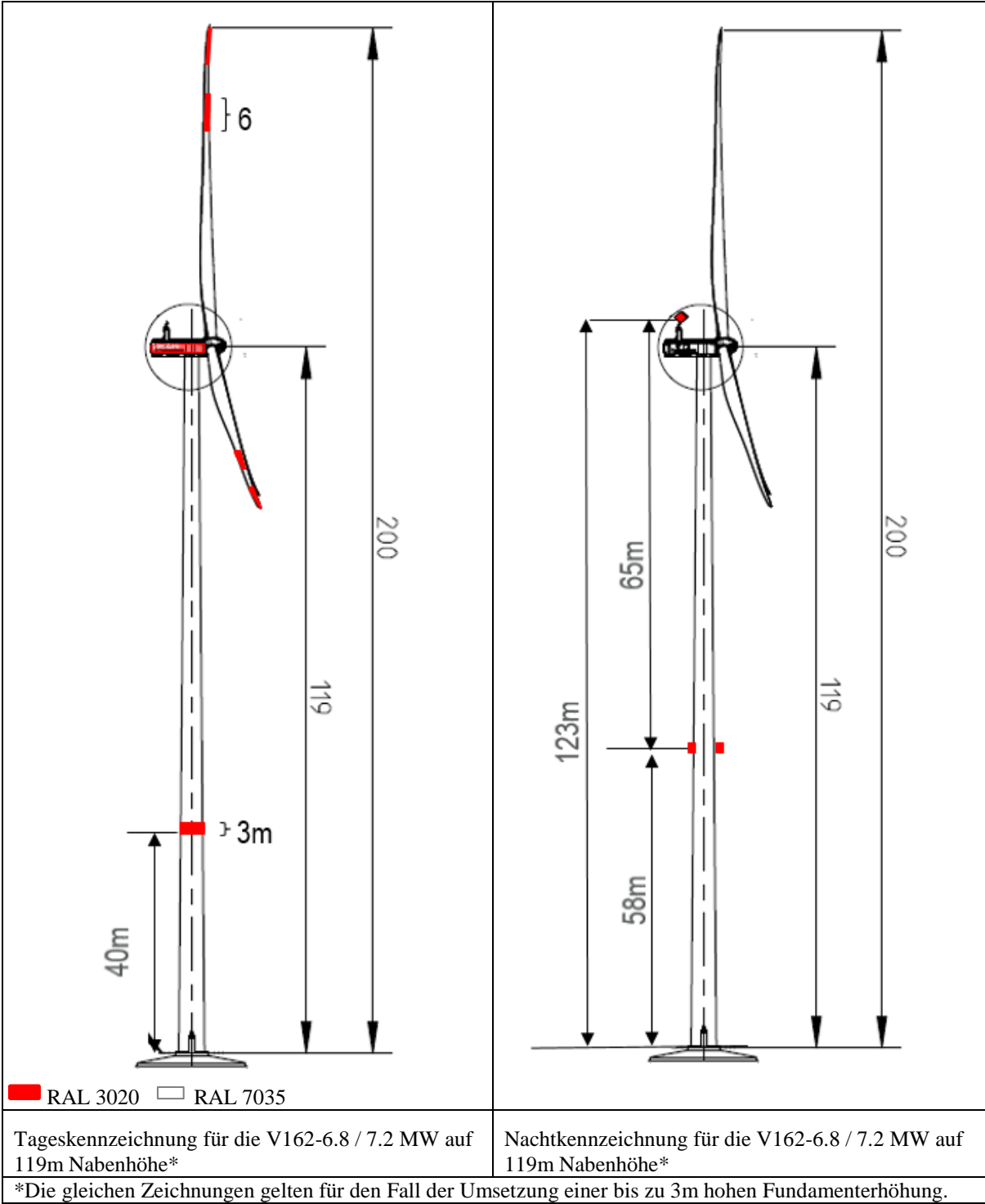
2.6.3. 166m/169m Nabenhöhe (247/250m  
Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>31/37 |

2.7. V162-7.2MW

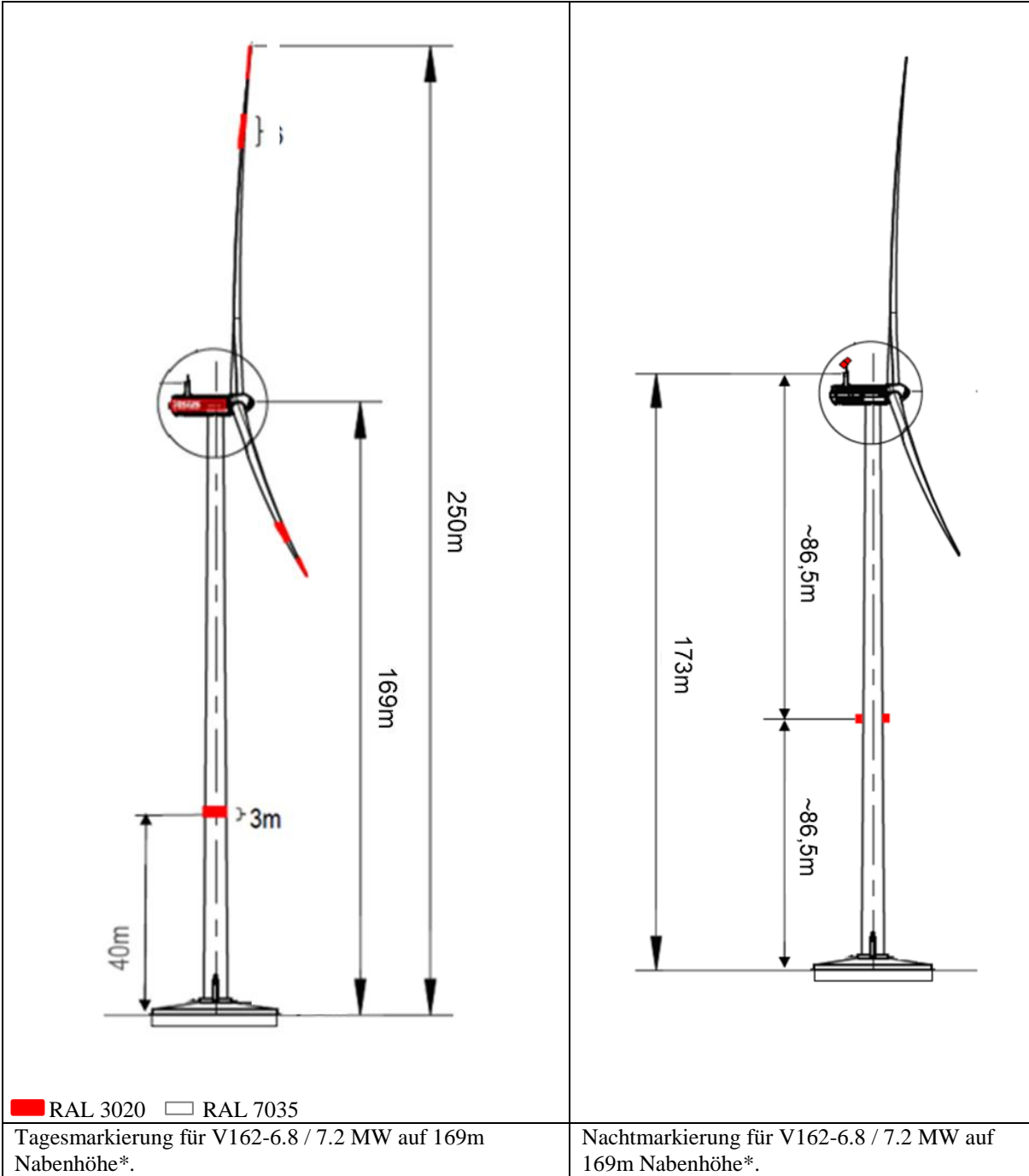
2.7.1. 119m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)





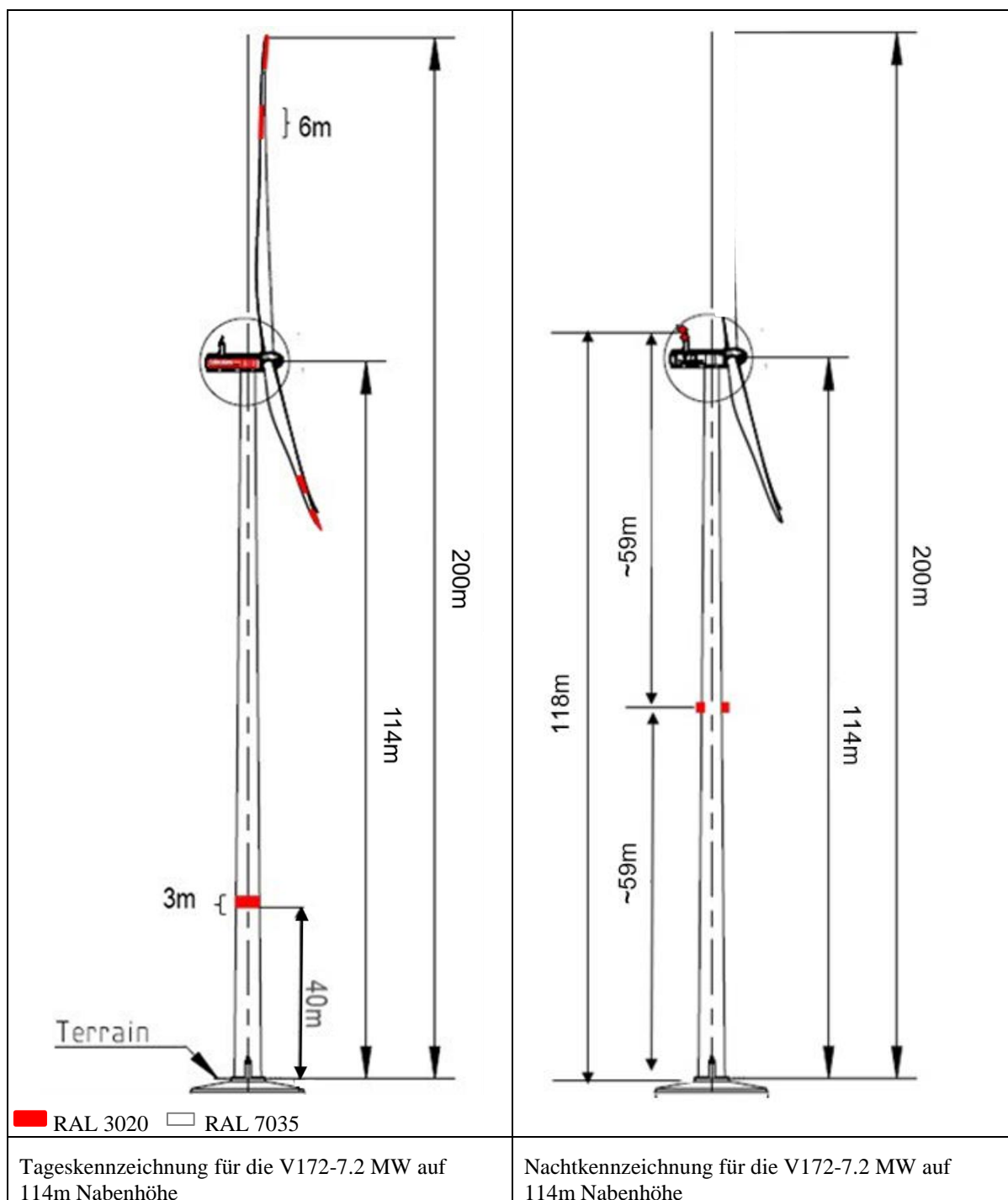
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>32/37 |

2.7.2. 169m Nabenhöhe (250m Spitzenhöhe)



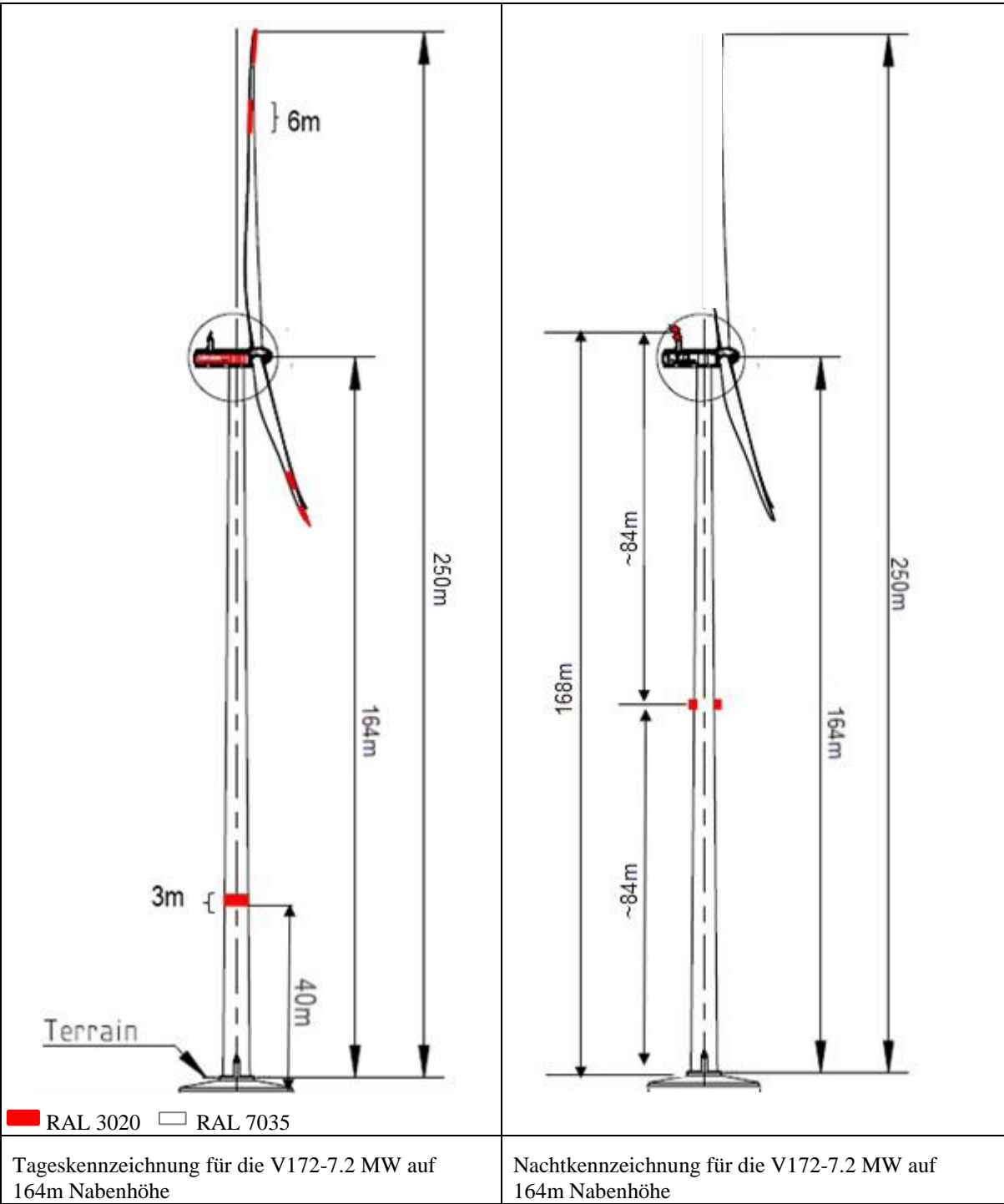
## 2.8. V172-7.2MW

### 2.8.1. 114m Nabenhöhe (200m Spitzenhöhe)



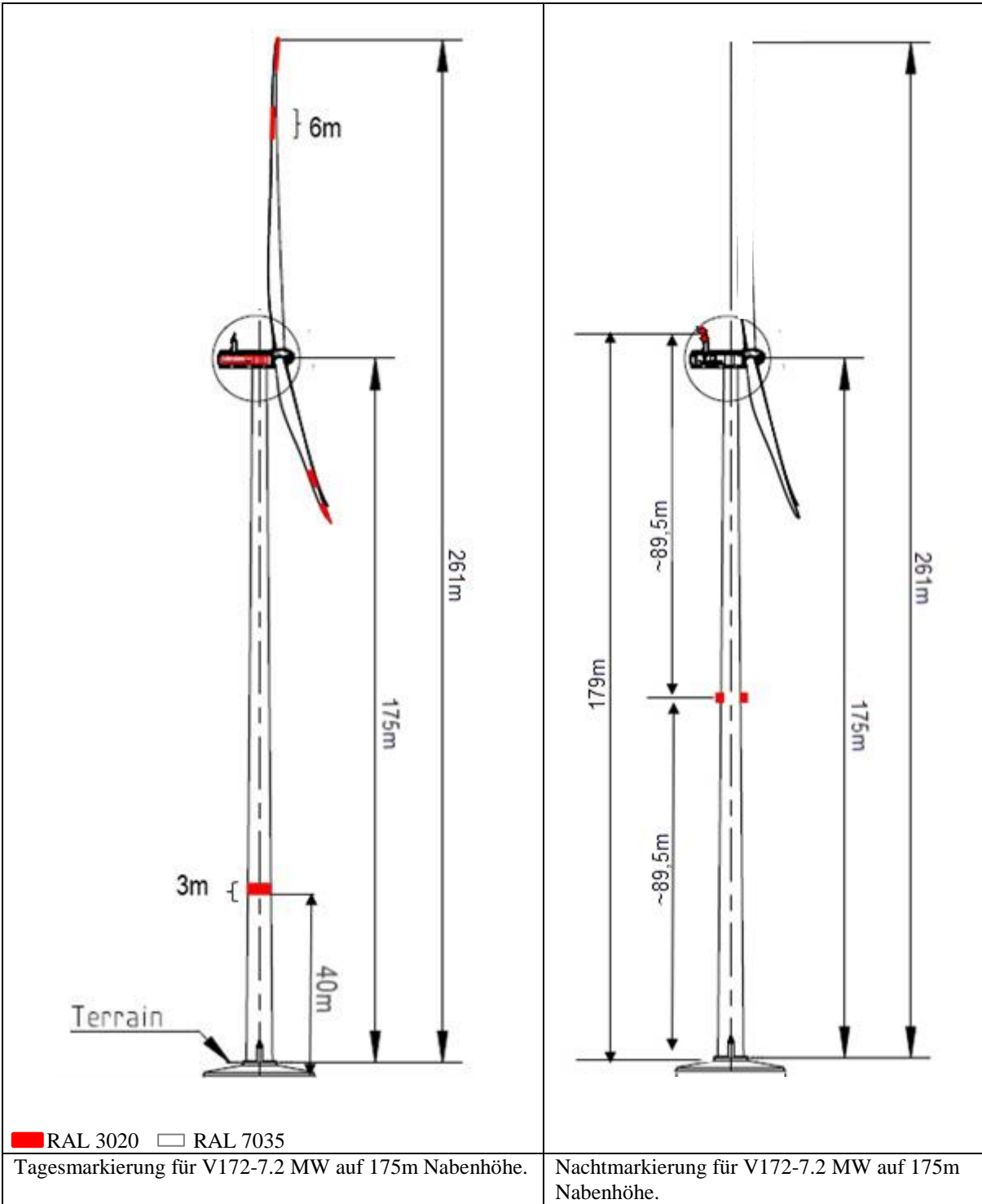
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
|                            |                                                                              | PUBLIC         |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>34/37 |

2.8.2. 164m Nabenhöhe (250m Spitzenhöhe)



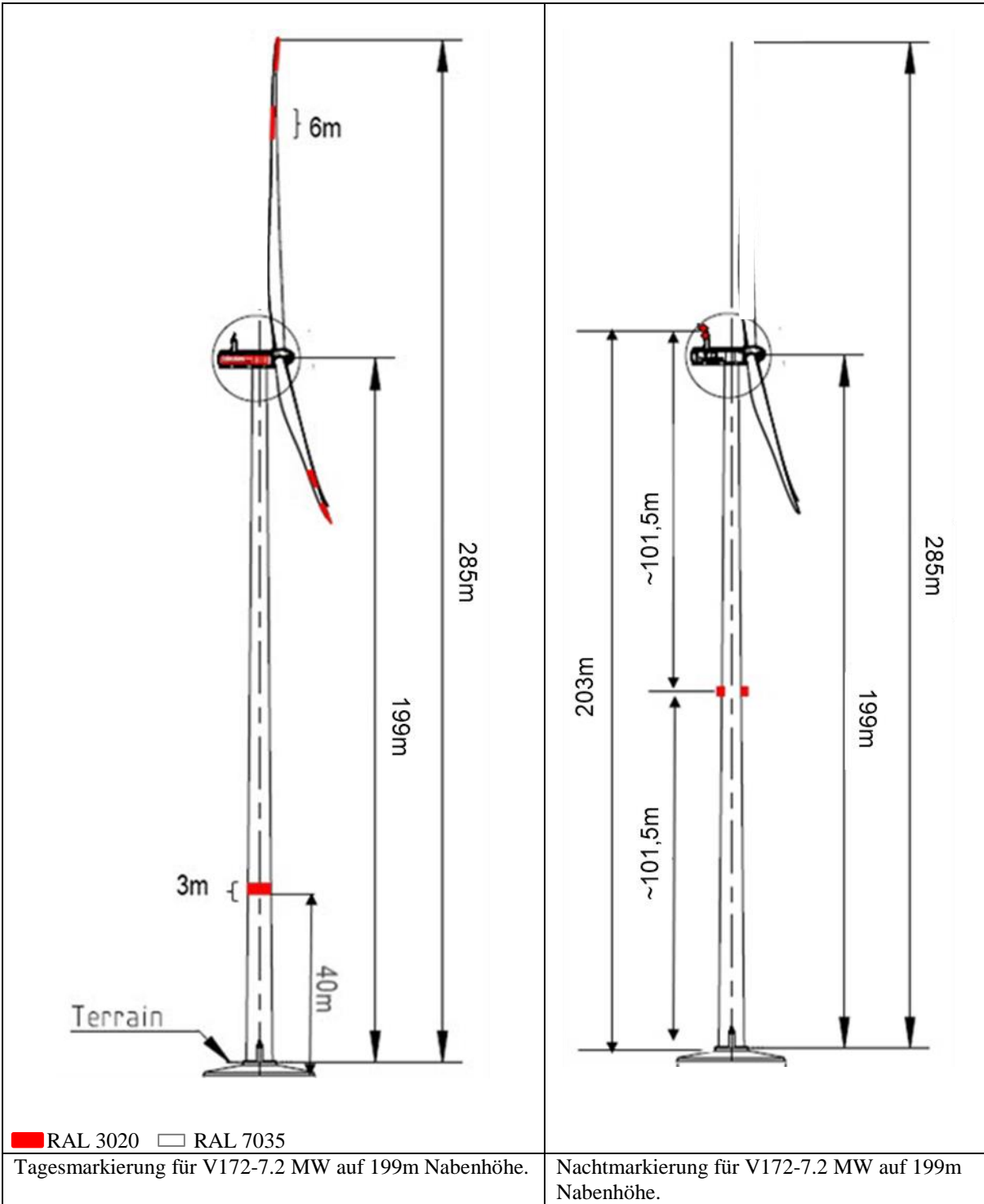
|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>35/37 |

2.8.3. 175m Nabenhöhe (261m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| PUBLIC                     |                                                                              |                |
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>36/37 |

2.8.4. 199m Nabenhöhe (285m Spitzenhöhe)



|                            |                                                                              |                |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| DOKUMENT:<br>0049-8134.V26 | BESCHREIBUNG:<br>Gefahrenfeuer in Deutschland gemäß AVV-Kennzeichnung (2020) | SEITE<br>37/37 |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------|

### 3. Verweise

[1] Allgemeine Verwaltungsvorschrift zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen

[Link Banz AT 30.04.2020 B4](#)

Aufgerufen: Mai 2020

[2] **0092-1230 / 0107-7605** Vestas-Spezifikation für Feuer W, rot und Feuer W, rot ES in Kombination mit einer Infrarotbefeuerung (Maschinenhausbefeuerung)

[3] **0107-8717** Vestas-Spezifikationen für Turmbefeuerung

[4] **0087-9628** Vestas-Spezifikation für Sichtweitenmessgerät

[5] **0107-9741** Vestas-Spezifikation für USV

Thüringer Landesverwaltungsamt  
Referat 540  
Jorge-Semprún-Platz 4  
99423 Weimar

E-Mail: luft540@tlvwa.thueringen.de

**Bitte beachten Sie folgende Hinweise:**

- Antrag vollständig ausgefüllt und mit Originalunterschrift einscannen
- je Anlage ein Formblatt
- Lageplan mit Standort beifügen
- ggf. weitere erforderliche Angaben als Anlage beifügen

**Antrag auf luftverkehrsrechtliche Genehmigung**

**Windkraftanlage**

**1. Antragsteller / Kostenschuldner**

Name /Firma: BOREAS Energie GmbH  
Straße und Haus-Nr.: Hauptstraße 60  
PLZ: 99955  
Ort: Herbsleben  
Telefon: 0360 41 / 320 - 157  
E-Mail: antragswesen@boreas.de

**2. Angaben zur Windkraftanlage**

**Bezeichnung:** ROHN01.1

**Standort**

Ort: Greußen  
Gemarkung: Rohnstedt  
Flur: 5  
Flurstück: 198/181  
Geländehöhe am Standort (m üNN): 265  
Nabenhöhe (m über Grund): 169  
Rotorradius (m): 81  
Gesamthöhe (m üNN): 515

**Koordinaten (WGS 84)**

| Breite |      |    |     | Länge |      |    |      |    |     |       |      |
|--------|------|----|-----|-------|------|----|------|----|-----|-------|------|
| 51     | Grad | 13 | Min | 15,36 | Sek. | 10 | Grad | 51 | Min | 41,61 | Sek. |

Hinweis: Die oben getätigte Angabe der Geländeoberkante setzt sich aus den offiziellen Daten des Landes Thüringen sowie einem Puffer von 3 m zusammen. Dies wird u.a. darin begründet, dass beauftragte Baugrundverbesserungen aus dem vor Baubeginn beizubringenden Baugrundgutachten die Flexibilität in der Höhe erfordern. Ebenso können Niveauangleichungen zwischen den Windkraftanlagen und den Zuwegungen bei der Bauausführung erforderlich werden.

**3. vorhandene Angaben zum Bauvorhaben**

Genehmigung: Az

Datum 26.09.2024



Stempel / Unterschrift

Thüringer Landesverwaltungsamt  
Referat 540  
Jorge-Semprún-Platz 4  
99423 Weimar

E-Mail: luft540@tlvwa.thueringen.de

**Bitte beachten Sie folgende Hinweise:**

- Antrag vollständig ausgefüllt und mit Originalunterschrift einscannen
- je Anlage ein Formblatt
- Lageplan mit Standort beifügen
- ggf. weitere erforderliche Angaben als Anlage beifügen

**Antrag auf luftverkehrsrechtliche Genehmigung**

**Windkraftanlage**

**1. Antragsteller / Kostenschuldner**

Name /Firma: BOREAS Energie GmbH  
Straße und Haus-Nr.: Hauptstraße 60  
PLZ: 99955  
Ort: Herbsleben  
Telefon: 0360 41 / 320 - 157  
E-Mail: antragswesen@boreas.de

**2. Angaben zur Windkraftanlage**

**Bezeichnung:** ROHN02.1

**Standort**

Ort: Greußen  
Gemarkung: Rohnstedt  
Flur: 6  
Flurstück: 361/192; 469/192  
Geländehöhe am Standort (m üNN): 255  
Nabenhöhe (m über Grund): 175  
Rotorradius (m): 86  
Gesamthöhe (m üNN): 516

**Koordinaten (WGS 84)**


| Breite |      |    |     | Länge |      |    |      |    |     |       |      |
|--------|------|----|-----|-------|------|----|------|----|-----|-------|------|
| 51     | Grad | 13 | Min | 19,91 | Sek. | 10 | Grad | 52 | Min | 07,01 | Sek. |

Hinweis: Die oben getätigte Angabe der Geländeoberkante setzt sich aus den offiziellen Daten des Landes Thüringen sowie einem Puffer von 3 m zusammen. Dies wird u.a. darin begründet, dass beauftragte Baugrundverbesserungen aus dem vor Baubeginn beizubringenden Baugrundgutachten die Flexibilität in der Höhe erfordern. Ebenso können Niveauangleichungen zwischen den Windkraftanlagen und den Zuwegungen bei der Bauausführung erforderlich werden.

**3. vorhandene Angaben zum Bauvorhaben**

Genehmigung: Az

Datum 26.09.2024

  
Stempel / Unterschrift



**16.1.8 Abstände / Erschließung (pro Anlage aus 16.1.1 ein Formblatt 16.1.8)**

|                                   |                           |                         |         |          |
|-----------------------------------|---------------------------|-------------------------|---------|----------|
| Anlagebezeichnung aus Fbl. 16.1.1 | WEA ROHN01.1 und ROHN02.1 |                         |         |          |
| Anlagentyp                        | Antragsteller             | ETRS 89/UTM Koordinaten | Ostwert | Nordwert |
|                                   | BOREAS Energie GmbH       |                         |         |          |

**Anlagenstandort**

|          |           |      |           |                                       |            |
|----------|-----------|------|-----------|---------------------------------------|------------|
| Gemeinde | Gemarkung | Flur | Flurstück | Grundstückeigentümer<br>Name, Vorname | Zustimmung |
|          |           |      |           |                                       |            |

**Abstand nach LBauO**

|  |  |  |  |  |                          |
|--|--|--|--|--|--------------------------|
|  |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> |
|--|--|--|--|--|--------------------------|

**Erschließung**

|  |  |  |  |  |                          |
|--|--|--|--|--|--------------------------|
|  |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> |
|--|--|--|--|--|--------------------------|

**Gewässerquerung**

|  |  |  |  |  |                          |
|--|--|--|--|--|--------------------------|
|  |  |  |  |  | <input type="checkbox"/> |
|--|--|--|--|--|--------------------------|

**Rückzubauende Anlage (Repowering)**

|            |  |                         |  |          |  |             |  |      |  |                          |
|------------|--|-------------------------|--|----------|--|-------------|--|------|--|--------------------------|
| Anlagentyp |  | ETRS 89/UTM Koordinaten |  |          |  | Genehmigung |  |      |  | Zustimmung               |
| Betreiber  |  | Ostwert                 |  | Nordwert |  | Datum       |  | AZ.: |  |                          |
| Gemeinde   |  | Gemarkung               |  | Flur     |  | Flurstücke  |  |      |  | <input type="checkbox"/> |

|                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------|
| <b>16.1.9 Daten der beantragten Anlage / Daten der Anlagen im Windpark</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|

| Betriebsinterne<br>Bezeichnung<br>der Anlage   | Bezeichnung<br>des Windparks/<br>Konzentrations-<br>zone | WEA-Hersteller | WEA-Typ    | Serie/<br>Seriennummer | Narbenhöhe<br>(m) | Rotordurch-<br>messer<br>(m) | Gesamthöhe<br>(m) | Leistung<br>(MW) | BNK-Funktionsart |
|------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------------|------------|------------------------|-------------------|------------------------------|-------------------|------------------|------------------|
| 1                                              | 2                                                        | 3              | 4          | 5                      | 6                 | 7                            | 8                 | 9                | 10               |
| WEA ROHN01.<br>1 und<br>ROHN02.1               |                                                          |                |            |                        |                   |                              |                   |                  |                  |
| ROHN01.1<br>Vestas V162-<br>6,0 MW 169 m<br>NH |                                                          | Vestas         | V162-6,0MW |                        | 169               | 162                          | 250               | 6,0              |                  |
| ROHN02.1<br>Vestas V172-<br>7,2 MW 175 m<br>NH |                                                          | Vestas         | V172-7,2MW |                        | 175               | 172                          | 261               | 7,2              |                  |

|                                                                                                  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>16.1.10 Oktav-Schallleistungspegel (SLP) der beantragten Anlage / der Anlagen im Windpark</b> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|

| Betriebsinterne<br>Bezeichnung der<br>Anlage | Betriebs-<br>modus | Rotor-<br>umdrehung<br>(1/min) | 63 Hz<br>(db [A]) | 125 Hz<br>(db [A]) | 250 Hz<br>(db [A]) | 500 Hz<br>(db [A]) | 1000 Hz<br>(db [A]) | 2000 Hz<br>(db [A]) | 4000 Hz<br>(db [A]) | 8000 Hz<br>(db [A]) | Gesamtschall-<br>leistungspegel<br>(db [A]) |
|----------------------------------------------|--------------------|--------------------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------------------|
| 1                                            | 2                  | 3                              | 4                 | 5                  | 6                  | 7                  | 8                   | 9                   | 10                  | 11                  | 12                                          |
| WEA ROHN01.1 und<br>ROHN02.1                 |                    |                                |                   |                    |                    |                    |                     |                     |                     |                     |                                             |
| ROHN01.1 Vestas<br>V162-6,0 MW 169 m<br>NH   | tags               |                                | 87,3              | 94,8               | 99,4               | 101,1              | 100,0               | 95,9                | 89,0                | 79,2                | 106,0                                       |
| ROHN02.1 Vestas<br>V172-7,2 MW 175 m<br>NH   | tags               |                                | 92,3              | 99,8               | 103,0              | 103,2              | 101,5               | 97,0                | 89,4                | 78,7                | 108,6                                       |
| ROHN01.1 Vestas<br>V162-6,0 MW 169 m<br>NH   | nachts             |                                | 87,3              | 94,8               | 99,4               | 101,1              | 100,0               | 95,9                | 89,0                | 79,2                | 106,0                                       |
| ROHN02.1 Vestas<br>V172-7,2 MW 175 m<br>NH   | nachts             |                                | 92,3              | 99,8               | 103,0              | 103,2              | 101,5               | 97,0                | 89,4                | 78,7                | 108,6                                       |