

16.1.4 Standsicherheit**Standsicherheit**

Zum aktuellen Stand liegt eine gutachterliche Stellungnahme zur Standorteignung vor. Im Rahmen dieser gutachterlichen Stellungnahme ist der Einfluss durch den Zubau der geplanten WEA 1 bis 14 zu bewerten. Der Nachweis der Standorteignung dient gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG. Die standortspezifischen Lastvergleiche des WEA-Herstellers ergaben für die WEA 1 bis 14 nach dessen Angaben keine relevanten Überschreitungen, so dass die Standorteignung für eine Gesamtlebensdauer von 25 Jahren lastseitig gewährleistet ist. Detaillierte Informationen können dem Turbulenzgutachten (Gutachterliche Stellungnahme zur Standorteignung von Windenergieanlagen im Windpark Forst-Briesnig 3, Bericht-Nr. 2024-WND-SE-090-R1) von

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg

entnommen werden (siehe Abschnitt 16.1.4.4).

Anlagen:

- 16.1.4.1 Prüfbericht_Standsicherheit Hybridturm.pdf
- 16.1.4.2 Prüfbericht_Standsicherheit Flachgründung.pdf
- 16.1.4.3 Prüfbescheid Turm und Fundamente (04.06.2028).pdf
- 16.1.4.4 Gutachterliche Stellungnahme zur Standorteignung_V1.2.pdf
- 16.1.4.5.1 Übertragbarkeit geotechnische STN WP FB2 auf FB3.pdf
- 16.1.4.5.2 Geotechnische Stellungnahme_FB2.pdf



**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 22.04.2024

Prüfnummer: 3788612-12-d Rev. 1

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm
HACAF00 (Bögl T23)
Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2 MW,
175 m Nabenhöhe
Windzone S, Erdbebenzone 3
Lebensdauer: 25 Jahre

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

Auftraggeber: Max Bögl Wind AG
Max-Bögl-Straße 1
92369 Sengenthal

Gültig bis: 04.06.2028

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC

Dokument:
3788612-12-d Rev.
1_Bögl_V172_T23_HH175m_25
a_neu.docx

Seite 1 von 15

Die auszugsweise Wiedergabe des
Dokumentes und die Verwendung
zu Werbezwecken bedürfen der
schriftlichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen
sich ausschließlich auf die
untersuchten Prüfgegenstände.

Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
USt-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter tuvsud.com/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)
Thomas Kainz
Simon Kellerer

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
Bautechnische Prüfung von
Windenergieanlagen
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland

tuvsud.com/de-is
Telefon: 089 5791-3146





Revision	Datum	Änderungen
0	05.06.2023	Erstfassung
1	22.04.2024	Neue Revision der Dokumente [1] bis [7], [9], [10], [19], [22], [25], [29] und [30] sowie [A1] bis [A6] und [A9]. Neue Dokumente [26] bis [28] sowie /10/ und /11/. Entfernung der Auflagen 6 und 18. Redaktionelle Änderungen.

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen3

1.1. Geprüfte Unterlagen.....3

1.2. Eingesehene Unterlagen.....3

2. Prüfgrundlage5

2.1. Angewendete Richtlinien und Normen5

2.2. Berücksichtigte Richtlinien und Normen6

3. Beschreibung6

3.1. Maße:.....7

3.2. Baustoffe:.....7

3.3. Lastannahmen:8

4. Prüfumfang8

5. Prüfbemerkungen.....8

6. Prüfergebnis.....12

Auflagen12

Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne.....15

2024-09-18 06:40 UTC - alexandra.ehrenberg@epne.de - Alexandra Ehrenberg
Original Instruction: T05 0145-7184 VER 01

T05 0145-7184 Ver 01 - Approved- Exported from DMS: 2024-06-24 by INVOL



1. Unterlagen

1.1. Geprüfte Unterlagen

Folgende Dokumente, erstellt von Max Bögl Wind AG, wurden zur Prüfung vorgelegt.

- [1] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm DE_T23, Bauteil: Spannbetonturm“, Dokument Nr. D00354100, Rev. 04, Datum 2024-03-22
- [2] „Statische Berechnung, Max Bögl Hybridturm T23, Bauteil: Stahlurm“, Dokument Nr. D00350378, Rev. 04, Datum 2024-03-07
- [3] „Statische Berechnung der Bauzustände, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354101, Rev. 02, Datum 2024-04-05
- [4] „Spannanweisung der Spannglieder, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354103, Rev. 03, Datum 2024-04-05
- [5] „Spannanweisung der Ankerstangen im Adapter, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354102, Rev. 03, Datum 2024-04-05
- [6] „Anforderungen an das Fundamentdesign, Max Bögl Hybridturm DE_T23“, Dokument Nr. D00354110, Rev. 04, Datum 2024-04-05
- [7] „Tower Top Flange ULS and FLS Strength Check for CHT Tower V172 6.8MW and 7.2 MW“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0144-4778, Rev. 01, Datum 2024-01-11
- [8] Pläne gemäß Planliste in Anhang 1

1.2. Eingesehene Unterlagen

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich zur Information herangezogen:

Lasten:

- [9] „Combine Tower loads – HACAF00, EV172-6.8/7.2 MW, Mk1C, DIBtS, HH175 m, 50/60 Hz, GS“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Dokument Nr. 0138-4584, Ver. 03, Datum 2023-12-21
- [10] „Vestas Enventus MK1 Gutachtliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas Turbinen“, erstellt von DNV Renewables Certification GmbH, Dokument Nr. L-08867b-A052-2, Rev. 2, Datum 2024-03-15

Betonturm:

- [11] „Spezifikation für den Max Bögl Hybridturm“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-06-23
- [12] „Prüfbericht Spezifikation – Max Bögl Hybridturm“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3149390-1-d, Rev. 2, Datum 2021-11-26
- [13] „Ausführungsbeschreibung zu den Planungsgrundlagen, Ansatz einer reduzierten Turmschiefstellung von 200mm“, Projekt Nr. 21683, Rev. a, Datum 2018-05-03
- [14] Allgemeine Bauartgenehmigung „SUSPA Draht EX für Windenergieanlagen“ erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungsnr. Z-13.3-141, vom 16.04.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026



- [15] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-07/0186“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-13.73-70186, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [16] European Technical Assessment „SUSPA – Wire EX, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, Dokument Nr. ETA-07/0186, vom 16.11.2020
- [17] Allgemeine Bauartgenehmigung „Anwendungsregeln für das Spannverfahren SUSPA-Draht Ex nach ETA-20/0810“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-13.73-200810, vom 25.03.2021, Geltungsdauer bis 25.03.2026
- [18] European Technical Assessment „Wire EX Wind, External post-tensioning kit for prestressing of structures with 30 to 84 prestressing steel wires“, erstellt vom Österreichischen Institut für Bautechnik, Dokument Nr. ETA-20/0810, vom 16.11.2020
- [19] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Hochfeste Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-nr. Z-3.51-2036, vom 26.02.2024, Geltungsdauer bis 15.02.2029
- [20] Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung „Geschweißte Bewehrungselemente aus Betonstahl B500B für erhöhte dynamische Beanspruchung, Nenndurchmesser: 10.0 und 12.0 mm“, erstellt vom Deutschen Institut für Bautechnik, Zulassungs-Nr. Z-1.3-284, vom 29.05.2019, Geltungsdauer bis 01.06.2024
- [21] „Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spannglied-verankerung“, erstellt von Max Bögl Wind AG, Projekt Nr. 21683, Rev. i, Datum 2021-03-02
- [22] „Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0“, erstellt von TÜV NORD CERT GmbH, Dokument Nr. GS-8118409048-006-001-03, Rev. 3, Datum 2023-08-28
- [23] „Gutachterliche Stellungnahme zum Vorspannen von Ankerbolzen großer Nenndurchmesser in Hybridtürmen von Windenergieanlagen“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Peter Schaumann, keine Dokument Nr., Datum 2017-12-15
- [24] Gutachten „Modell für die Ermüdungsbemessung hochfester Betone der Max Bögl Fertigteilwerke GmbH & Co. KG“, erstellt von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Steffen Marx, keine Dokument Nr., Datum 2020-09-29

Stahlurm:

- [25] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266351, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [26] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S420NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266593, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [27] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (FORGED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266594, Ver. 4, Datum 2023-08-04



- [28] Zeichnung „FLANGE,L,3725 mm,3416 mm,450 mm,3478 mm, S355NL EN 10025-3 (WELDED)“, erstellt von Vestas Wind Systems A/S, Zeichnung Nr. 29266595, Ver. 4, Datum 2023-08-04
- [29] „Tower Top Flange - EnVentus Mk1BC Robust Version FE analysis – Fatigue/Extreme Loads Assessment“, erstellt von Vestas, Dokument Nr. 0122-6133, Ver. 04, Datum 2023-09-14
- [30] „Nachweis Turmkopfflansch für die EnVentus Mk1-Plattform“, erstellt von DNV Energy Systems Renewables Certification, Dokument Nr. LTR-04971-20220825-01, Rev. 3, Datum 2023-09-29
- [31] „Klassifizierung eines Kerbfalls auf Basis des Strukturspannungskonzeptes Stahlturmschale mit angeschweißten Butzen“, erstellt von Max Bögl Wind AG, keine Dokument Nr., Rev. c, Datum 2020-03-04
- [32] „Gutachtliche Stellungnahme Bewertung der Konstruktion - Stahlrohrturm Strukturmechanische Bestimmung von Kerbfallgruppen für Anschweißbuchsen“, erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH, Dokument Nr. 3170193-1-d, Rev. 1, 2020-03-20

2. Prüfgrundlage

2.1. Angewendete Richtlinien und Normen

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Richtlinien und Normen:

- /1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen“, herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015
- /2/ DIN EN 1991-1-1:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau; Deutsche Fassung EN 1991-1-1:2002 + AC:2009“ mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-1/NA:2010 + DIN EN 1991-1-1/NA/A1:2015
- /3/ DIN EN 1991-1-4:2010 „Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010“, mit nationalem Anhang DIN EN 1991-1-4/NA:2010
- /4/ DIN EN 1992-1-1:2011 „Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken –Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1992-1-1:2004 + AC:2010“ + DIN EN 1992-1-1/A1:2015, mit nationalem Anhang DIN EN 1992-1-1/NA:2013 + DIN EN 1992-1-1/NA/A1:2015
- /5/ DIN EN 1993-1-1:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau; Deutsche Fassung EN 1993-1-1:2005 + AC:2009“ + DIN EN 1993-1-1/A1:2014, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-1/NA:2015
- /6/ DIN EN 1993-1-6:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalen; Deutsche Fassung EN 1993-1-6:2007 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-6/NA:2010
- /7/ DIN EN 1993-1-8:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-8: Bemessung von Anschlüssen; Deutsche Fassung EN 1993-1-8:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-8/NA:2010



- /8/ DIN EN 1993-1-9:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-9: Ermüdung; Deutsche Fassung EN 1993-1-9:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-9/NA:2010
- /9/ DIN EN 1993-1-10:2010 „Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 1-10: Stahlsortenauswahl im Hinblick auf Bruchzähigkeit und Eigenschaften in Dickenrichtung; Deutsche Fassung EN 1993-1-10:2005 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1993-1-10/NA:2010
- /10/ DIN EN 1998-1:2010 „Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009“, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
- /11/ DIN 4149:2005 „Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten“

2.2. Berücksichtigte Richtlinien und Normen

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

- /12/ DIN EN 1090-2:2018 „Ausführung von Stahltragwerken und Aluminiumtragwerken – Teil 2: Technische Regeln für die Ausführung von Stahltragwerken; Deutsche Fassung EN 1090-2:2018“
- /13/ DIN EN 14399-4:2015 „Hochfeste vorspannbare Garnituren für Schraubverbindungen im Metallbau – Teil 4: System HV – Garnituren aus Sechskantschrauben und -muttern; Deutsche Fassung EN 14399-4:2015“
- /14/ DAST – Richtlinie 021:2013 „Schraubenverbindungen aus feuerverzinkten Garnituren M 39 bis M 72 entsprechend DIN EN 14399-4, DIN EN 14399-6“
- /15/ DIN EN ISO 898-1:2013 „Mechanische Eigenschaften von Verbindungselementen aus Kohlenstoffstahl und legiertem Stahl – Teil 1: Schrauben mit festgelegten Festigkeitsklassen – Regelgewinde und Feingewinde (ISO 898-1:2013); Deutsche Fassung EN ISO 898-1:2013“
- /16/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 439: „Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB/FIP Model Code 1990“, Ausgabe 1994
- /17/ Deutscher Ausschuss für Stahlbeton Heft 600: „Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2)“, Ausgabe 2012

3. Beschreibung

Der Turm HACAF00 (Bögl T23) der Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2 MW besteht aus einem aus Fertigteilen zusammengesetzten, Stahlbetonturm mit Stahlrohraufsatz. Der Betonteil besteht aus 36 Segmenten und einem einteiligen Adapterring, der Stahlrohraufsatz aus 3 Sektionen.

Die konischen und zylindrischen Betonfertigteilelemente haben einen kreisringförmigen Querschnitt und werden aus Drittschalen zusammengesetzt. Die horizontalen Fugen zwischen den Betonfertigteilen werden planmäßig trocken ausgeführt. In den horizontalen Fugen zwischen Segmenten S01 und 27 werden jeweils 6 Dübel zur Übertragung von Schubkräften angeordnet. Die Fuge am Turmfuß wird mit Verguss hergestellt. Die vertikalen Fugen der Teilsegmente werden trocken ohne Verbund ausgeführt. Am oberen Ende der Vertikalfuge befindet sich eine Kontaktfläche zur Übertragung von Druckkräften, oben und unten werden Schraubelemente angeordnet.



Der Betonschaft wird mit externen, im Inneren des Turms liegenden Spanngliedern vorgespannt. Die Spannglieder laufen vom obersten Segment des Betonsturms bis zur Verankerung im Fundament, die als Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatte ausgeföhrt ist.

Die Verbindung zwischen der unteren Stahlsektion und dem obersten Betonelement wird als L-förmige Ringflanschverbindung mit vorgespannten Ankerstäben ausgeföhrt.

Die Sektionen des Stahlrohraufsatzes sind durch innenliegende Ringflansche mittels vorgespannter Schraubenverbindungen untereinander verbunden. Die einzelnen Teilsegmente sind durch Stumpfnahte miteinander verschweißt.

3.1. Maße:

Nabenhöhe:	175 m
Gesamtlänge Turm:	169,73 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmfuß:	9,428 m
Außendurchmesser Turmwandung am Turmkopfflansch:	3,665 m
Weitere Angaben können den Zeichnungen [8] entnommen werden.	

3.2. Baustoffe:

Betonteil:

Betonfertigteile	C100/115, C90/105, C80/95 mit Expositionsclassen XC4, XF1, WF gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [19] Für alle Segmente wird selbstverdichtender Beton gemäß DIN EN 206-9 und abZ [19] eingesetzt.
Vergussmörtel	≥ C70/85 gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/
Betonstahl	B500B gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/ und [20]
Spannsystem	24 Spannglieder System SUSPA Draht EX-84, 84 Spannstahldrähte St 1570/1770 mit 38,5 mm² Nennquerschnitt gemäß [14] und [15] in Verbindung mit [16] bzw. [17] in Verbindung mit [18]
Schrauben in vertikaler Fuge	M24-8.8 gemäß DIN EN ISO 4014
Dübel in horizontaler Fuge	S235 JR+AR gemäß DIN EN 10025 und [11]
Gewindebolzen (Adapter)	M64-10.9 gemäß DIN EN ISO 898-1 /15/
Ankerring (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025
Lastverteilplatte (Adapter)	S355 J2 gemäß DIN EN 10025

Stahlteil:

Turmwanung	S355 J2+N gemäß DIN EN 10025
Ringflansche	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Turmfußflansch	S355 NL gemäß DIN EN 10025
Schraubengarnituren	M36-10.9 gemäß DIN EN 14399-4 /13/ M48-10.9 gemäß DAST-Richtlinie 021 /14/



3.3. Lastannahmen:

Die dimensionierenden Lasten für die Prüfung des Turms der oben genannten Windenergieanlage sind in [9] für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit angegeben. Diese Lasten wurden mit der gutachtlichen Stellungnahme [10] bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre gemäß [10].

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [10] auf Basis der DIN EN 1998-1/NA /10/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /11/ in Deutschland abgedeckt.

Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

Turm Kopfmasse: 332 t

4. Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit des in Abschnitt 3 beschriebenen Hybridturms auf Basis der in Abschnitt 2.1 genannten Prüfgrundlagen.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument 2.1, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.

Weitere Prüfungen wie die Überprüfung der Bauausführung, der Standorteignung, des Fundaments, des Blitzschutz-/Erdungskonzepts und der Turmeinbauten sind nicht Gegenstand dieses Berichtes.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lasten, Randbedingungen, Ausführung und Anlagensteuerung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und eine erneute Prüfung.

Es wird davon ausgegangen, dass Hersteller und Betreiber ihren Verpflichtungen zur Gewährleistung des sicheren Betriebes der Anlage nachkommen und über im Betrieb festgestellte, auslegungsrelevante Auffälligkeiten wie z.B. Schwingungsphänomene berichten und gegebenenfalls veranlassen, dass entsprechende Untersuchungen durchgeführt und neue Berechnungen zur Prüfung vorgelegt werden.

5. Prüfbemerkungen

Die vorgelegten Nachweise wurden durch eigene Vergleichsrechnungen überprüft. Auf Basis der eingereichten Unterlagen und unserer Vergleichsrechnungen können ausreichende Sicherheiten bestätigt werden. Die Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnungen sowie den Vorgaben der in Abschnitt 2.1 genannten Prüfgrundlagen geprüft.

Schnittstellen:

Die Berechnung des Turmkopfflansches mit dem Nachweis der Schweißverbindung in seinem Einflussbereich und seines Radius gemäß den Zeichnungen [25] bis [28] wurde in [7] anhand der Turmkopfflanschstatik [29] durchgeführt. Dokument [29] wurde mit [30] bestätigt.



Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung im Fundament wurden in Dokument [21] durchgeführt und mit [22] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die Randbedingungen der Nachweise in [21] für den vorliegenden Turm eingehalten sind.

Die Nachweise der Einbauteile für die Befestigung der Podeste und Einbauten sind nicht Bestandteil dieser Prüfung.

Eigenfrequenzen:

Die in [1] berechnete erste Eigenfrequenz liegt mit ausreichender Genauigkeit innerhalb im Lastgutachten [10] angegebenen Gültigkeitsbereich (0,174 Hz bis 0,205 Hz). Die dynamische Rotationsfedersteifigkeit aus der Interaktion von Fundament und Baugrund muss mindestens $k_{\varphi, \text{dyn}} = 200 \text{ GNm/rad}$ betragen.

Die Eigenfrequenz kann auch im Bereich der möglichen Erregerfrequenzen der Anlage liegen. Daher ist eine betriebliche Schwingungsüberwachung vorzusehen, die mit dem Betriebs- und Sicherheitssystem der Anlage verbunden ist, siehe Auflage 2.

Imperfektionen:

Die Lasten aus [9] enthalten lediglich Effekte aus Theorie II. Ordnung. Zusätzliche Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung einer statischen Bodendrehfeder von mindestens $k_{\varphi, \text{stat}} = 40 \text{ GNm/rad}$ wurden in [1] berücksichtigt.

Abweichend von 2.1 wurden für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Adapters angesetzt. In Dokument [13] wird das Vorgehen zur Ermittlung der Turmschiefstellung dargestellt.

Aufgrund der verschärften Toleranzgrenzen in Herstellung und Montage gemäß [13] und der rechnerischen Berücksichtigung der einseitigen Sonneneinstrahlung in [1] kann diese Abweichung akzeptiert werden.

Bauzustände, Querschwingungen:

Die Standsicherheit des Turms vor dem Vorspannen der Spannglieder wurde in [3] nachgewiesen. Nachweise wirbelerregter Querschwingungen wurden für verschiedene Errichtungszustände gemäß nachstehender Tabelle in [3] geführt. Die zeitliche Beschränkung gilt für den Fall, dass die angegebenen maximalen Windgeschwindigkeiten überschritten werden. Querschwingungen vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen am Adapter wurden nicht berücksichtigt. Weitere hiervon abweichende Bau- und Montagezustände sowie Transportzustände sind nicht Gegenstand dieser Prüfung, siehe Auflage 5.



Bauzustand / vorübergehender Zustand	Gesamte maximale Dauer oder Windgeschwindigkeit	
Vorgespannter Betonturm ohne Stahlsektionen	1 Jahr	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 14,3 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 1. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 10,8 m/s nicht überschreiten
Vorgespannter Betonturm mit 2. Stahlsektion	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 9,5 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) ohne Gondel	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 7,0 m/s nicht überschreiten
Vollständiger Turm (alle Stahlsektionen) und Gondel ohne Rotor	90 Tage	Die maximale Windgeschwindigkeit darf einen 10 Minuten-Mittelwert von 4,1 m/s nicht überschreiten
Stillstandszeiten der fertiggestellten Anlage	456 Tage über die Lebensdauer	

Kerbfallklassen:

Für die Berechnung des Turmes in [2] wurden die Kerbfallkategorien, sofern nicht anders angegeben gemäß DIN EN 1993-1-9 /8/ Bild 7.1, folgendermaßen angesetzt:

Lage gemäß Zeichnung [8] ([A9])	Kerbfallkategorie / Anforderung
Zusätzlich an der Turmwand befestigte Teile	
Kerbfallklassen gemäß [31] und [32] Die für jedes Turmblech zulässige Butzengröße der Anschweißteile und die zugehörigen Kerbfallklassen sind auf der Turmzeichnung [8] ([A9]) definiert.	
Rundnähte (wenn nicht anderes angegeben oben und unten am genannten Blech)	
Stumpfnäht zum Turmkopfflansch	KFK 90
Alle anderen Rundnähte	KFK 90

Ein Schwellenwert der Ermüdungsfestigkeit wurde nicht angesetzt.



Ermüdung:

Für die Nachweise des Grenzzustandes der Ermüdung wurde das Alter der Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung gemäß [1] folgendermaßen angesetzt:

Position	Beginn der zyklischen Belastung t_0	Beiwert für die Betonfestigkeit bei Erstbelastung $\beta_{cc}(t_0)$
Adapter	90 Tage	1,09
S01	149 Tage	1,12
S02 – S13	82 Tage	1,09
S14 – ZA5-X	34 Tage	1,02

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für hochfeste Betone gemäß [19] angesetzt.

Abweichend von den Angaben in /4/ wird der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $\Delta\sigma_{Rsk}$ für geschweißte Bewehrungselemente gemäß [20] angesetzt.

Stahlsortenauswahl:

Die Stahlsortenauswahl nach DIN EN 1993-1-10 /9/ wurde in [2] für eine Bezugstemperatur $T_{Ed} = -30^\circ\text{C}$ durchgeführt.

Betondeckung:

In Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, NDP zu 4.4.1.3 (3) wurde das Vorhaltemaß der Betondeckung um 5 mm abgemindert.

Teilsicherheitsbeiwert Betonfestigkeit:

Für die Nachweise der Betonfertigteile wurde in Anlehnung an DIN EN 1992-1-1 /4/, Abschnitt A.2.3 ein reduzierter Teilsicherheitsbeiwert von $\gamma_{c, red} = 1,35$ angesetzt.

Ausführungsvarianten:

Bezüglich der Ankerschrauben im Adapterelement sind 2 Varianten möglich:

- a) Mit Decordynbeschichtung gemäß [A7]
- b) Mit Schrumpfschlauch gemäß [A8]

Änderungen Einbauteile:

Die Ergänzung und Änderung von Erdungsfestpunkten und Einbauteilen für Turmeinbauten im Betonteil haben in der Regel keinen Einfluss auf die Standsicherheit des Turmes.

Änderungen in der letzten Revision des Prüfberichtes:

Das Lastdokument [9] wurde aktualisiert und mit [10] bestätigt. Die geänderten Lasten wurden in den Dokumenten [1] bis [7] sowie [A2] (Anpassung der Lage der Stahldübel bis Fuge S26/27) und [A3] (Erhöhung der Bewehrung in den Betonsegmenten) berücksichtigt.

Die Geometrie des Stahlteils des Hybridturms in [A9] wurde leicht angepasst. Die Änderungen wurden in [2] mit aufgenommen.



Für den Turmkopfflansch wurden weitere Zeichnungen [26] bis [28] als alternative Ausführungsvarianten ergänzt. Diese sind mit der statischen Berechnung [29] abgedeckt und mit [30] bestätigt. In [7] wurden diese Änderungen ebenfalls berücksichtigt.

An den Zeichnungen [A1] und [A4] bis [A6] sowie in der Spannanweisung der Spannglieder [4] wurden formelle Änderungen vorgenommen, die keinen Einfluss auf die baustatischen Nachweise haben.

In den neuen Revisionen der Turmstatiken [1] und [3] wurde der Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit $f_{cd,fat}$ für Fertigteilelemente mit einem Versprödungsfaktor von 0,9 gemäß abZ [19] angesetzt. Auflage 18 aus der vorherigen Revision dieses Prüfberichts entfällt. Eine neue Version der abZ/abG [19] wurde aufgenommen.

Die Spannanweisung der Ankerstangen [5] wurde aufgrund der angepassten Berechnungen in der Turmstatik [1] geändert.

Das erforderliche Mindestalter der Betonfertigteile vor Beginn der zyklischen Belastung wurde gemäß den Angaben in Abschnitt 5 angepasst sowie die zugehörige Auflage 20 überarbeitet.

Die Zeichnungen [A1] bis [A6] sowie [A9] wurden ohne Entwurfsstempel überarbeitet. Die Auflage 6 aus Revision 0 dieses Prüfberichts entfällt.

Die Erdbebenzone wurde zu Erdbebenzone 3 geändert.

6. Prüfergebnis

Die Berechnung und die zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Hybridturm entsprechen den in Abschnitt 2.1 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit des Turmtragwerkes sind erfüllt, vorausgesetzt, die nachstehenden Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen Prüfberichte und Gutachten werden beachtet bzw. vollzogen.

Der Turm der Windenergieanlage ist für Standorte entsprechend den Lastannahmen in [9] geeignet.

Die Prüfung der technischen Unterlagen für den Turm ist hiermit abgeschlossen.

Auflagen

Allgemein

1. Sollten Schwingungsphänomene festgestellt werden, die in den Lastannahmen in [9] nicht berücksichtigt wurden, so sind entsprechende Untersuchungen durchzuführen und gegebenenfalls neue Berechnungen zur Prüfung vorzulegen.
2. Die Anlage ist mit einer betrieblichen Schwingungsüberwachung auszurüsten, die in der Lage sein muss, auftretende Schwingungen entsprechend den Annahmen im Lastdokument [9] zu begrenzen.
3. Die in Abschnitt 5 angegebenen Mindestwerte der Steifigkeiten aus dem Zusammenwirken von Fundament und Baugrund dürfen nicht unterschritten werden.
4. Es ist für jede Anlage sicherzustellen, dass der Bereich der zulässigen Eigenfrequenzen gemäß Abschnitt 5 eingehalten wird.



5. Bauzustände und Stillstandszeiten der Anlage sind gemäß den Angaben in Abschnitt 5 zeitlich zu beschränken. Falls die zulässigen Zeiten überschritten werden oder die Gondel zu einem späteren Zeitpunkt vom Turm genommen wird, so sind geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von wirbelerregten Querschwingungen zu treffen. Vor dem Aufbringen der ersten Vorspannstufe der Ankerstangen sind wirbelerregten Querschwingungen durch geeignete Maßnahmen auszuschließen.

Stahlsektionen

6. Der Korrosionsschutz der Turmaußenseite (Turminnenseite) ist für eine Korrosivitätskategorie C4 (C3) nach DIN EN ISO 12944 auszuführen. Bei Aufstellung in Industrienähe mit hoher Feuchte und aggressiver Atmosphäre oder Meeresnähe mit hoher Salzbelastung ist für die Turmaußenseite eine Korrosivitätskategorie C5 erforderlich. Für die Schutzdauer ist die Klasse „hoch“ gemäß DIN EN ISO 12944-5 anzusetzen, dies entspricht einer angestrebten Zeitspanne von mindestens 15 Jahren bis zur ersten planmäßigen Instandsetzungsmaßnahme aus Korrosionsschutzgründen.
7. Sämtliche in Dickenrichtung belasteten Bauteile (z.B. Flansche und Zargen) müssen hinsichtlich der Dopplungsfreiheit nach EN 10160, Qualitätsklasse S1 und E1, oder einem äquivalenten Standard ultraschallgeprüft sein.
8. Der Stahlrohrturm darf nur von Herstellern mit einer Qualifizierung gemäß DIN EN 1090-1 für mindestens Ausführungsklasse EXC3 gefertigt werden.
9. Die Fertigung des Stahlrohrturmes muss den Anforderungen der DIN EN 1090-2 Ausführungsklasse EXC3 entsprechen.
10. Die Anschlusspunkte aller zusätzlich an die Turmwand angeschweißten Teile (z.B. Besteigeeinrichtungen) müssen mindestens den in Abschnitt 5 angegebenen Kerbfallklassen entsprechen.
11. Die Schweißnähte des Turmes müssen den Anforderungen der Kerbfallklassen gemäß Abschnitt 5 entsprechen.
12. Die Prüfung der Schraubverbindung am Turmkopfflansch (Turm zur Maschine) ist in die Prüfung der Maschine einzubeziehen.

Betonteil

13. Infolge der Reduzierung des Vorhaltemaßes der Betondeckung der Fertigteilsegmente ist eine erhöhte Qualitätskontrolle gemäß DIN EN 1992-1-1/NA, 4.4.1.3 (3) bei der Herstellung erforderlich.
14. Aufgrund der Reduktion des Teilsicherheitsbeiwerts des Betons auf $\gamma_{c, red} = 1,35$ sind gemäß DIN EN 1992-1-1 /4/, A.2.3 Maßnahmen zur erhöhten Qualitätssicherung erforderlich. Die Maßnahmen sind vom Hersteller in Abstimmung mit der zuständigen Überwachungsstelle festzulegen und zu dokumentieren.
15. Die Bestimmungen der allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen für die Spannverfahren [14] bis [18] sowie für die hochfesten Betone [19] und die geschweißten Bewehrungselemente [20] in der hier spezifizierten Fassung sind zu beachten.
16. Zum Zeitpunkt der Herstellung des Turmes ist eine gültige Version der zitierten Zulassungen [14] bis [20] vorzulegen und gegebenenfalls die Gleichwertigkeit mit der hier zitierten Version nachzuweisen.



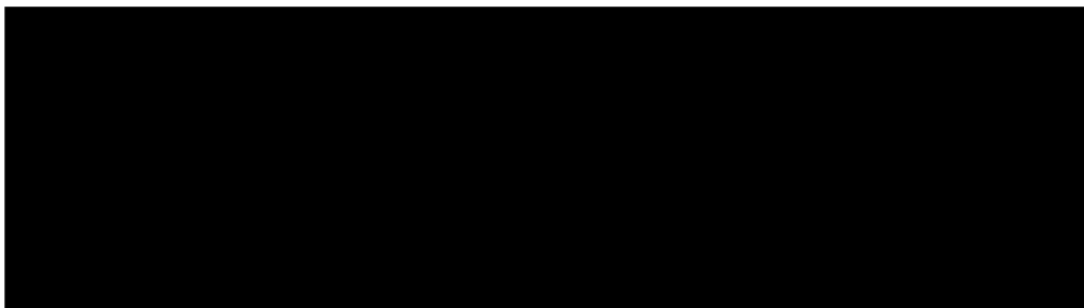
17. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeiten des Vergussmörtels und des Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren. Die Druckfestigkeit des Vergussmörtels und des Betons muss zum Zeitpunkt des Vorspannens der Spannglieder mindestens die Festigkeit aus Kap. 1.2 von [3] betragen.
18. Für das Vorspannen der Spannglieder ist die Spannanweisung [4] heranzuziehen. Über das Spannen der Spannglieder ist ein Spannprotokoll zu führen.
19. Für das Vorspannen der Ankerschrauben ist die Spannanweisung [5] heranzuziehen. Es ist bei beiden Vorspannstufen eine Qualitätskontrolle des Anziehvorgangs nach DIN EN 1090-2 /12/, 12.5.2 durchzuführen, um eine stichprobenartige Überprüfung des erzielten Vorspanniveaus sicherzustellen.
20. Bis zum Beginn der Ermüdungsbeanspruchung müssen die Fertigteilsegmente das Mindestalter gemäß Abschnitt 5 aufweisen. Der dabei rechnerisch angesetzte Werte für die Nachhärtung des Betons gemäß Abschnitt 5 kann alternativ auch messtechnisch nachgewiesen werden.

Prüfintervalle

21. Die planmäßige Vorspannung der Schraubverbindungen ist nach Inbetriebnahme gemäß den Vorgaben der DIBt-Richtlinie 2.1 (Abschnitt 13.1 Anmerkung 1) erneut zu kontrollieren und ggf. nachzuspannen. Wenn die 2. Vorspannstufe der Ankerschrauben des Adapters innerhalb dieses Zeitraums aufgebracht wird, kann die zuvor genannte Prüfung dieser Ankerschrauben hierdurch ersetzt werden.
22. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß der DIBt-Richtlinie 2.1 sind zu beachten.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**





Anhang 1: Verzeichnis geprüfter Pläne

Betonteil (erstellt von Max Bögl)

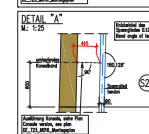
Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A1]	DE-T23-001-XX-X-Uebersicht	b	Übersichtsplan Gesamtturm, NH = 175.0 m, Spannglieds. „SUSPA“	2023-11-27
[A2]	DE-T23-095-XX-X-Schalplan	b	Schalplan Rohteile C-, S- und Z-Ringe	2024-04-19
[A3]	DE-T23-096-XX-X-Bewehrung	e	Bewehrung Rohteile C-, S- und Z-Ringe(3-teilig)	2024-03-22
[A4]	DE-T23-AE1-K1-X-Schalplan	b	Schalplan Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2023-12-15
[A5]	DE-T23-AE1-K1-X-Bewehrung	c	Bewehrung Uebergangsstueck AE1 (SUSPA)	2024-04-18
[A6]	DE-T23-M008-Montageplan	a	Fugendetailplan	2023-12-15
[A7]	XX-XXX-M64-HV-1-Schalplan	c	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Decor-dynbe-schichtung T0177772	2021-01-25
[A8]	XX-XXX-M64-HV-2-Schalplan	b	Gewindestange fuer Uebergangsstueck mit Schrumpfschlauch T0177773	2021-01-25

Stahlteil (erstellt von Max Bögl)

Nr.	Planbezeichnung	Ind.	Titel	Datum
[A9]	DE-T23-022-XX-X-Uebersicht	f	Übersichtsplan Stahlturm	2024-01-23

[illegible]

Anwendungsbereich range of application		DB
Speisensystem Feeding system	SIGPA	Drillprogramm SIGPA-Drill EX
Zulassung Approval	SIGPA	2-13.29-10080 2-13.29-70186 2-13.3-141
Spezifikationsbezeichnung tender description	SIGPA	SIGPA EX-04
Spezialität Feeding steel	SIGPA	SR 1030/1770
Wks. Verpannung Welding	SIGPA	SR 1030/1770



Scale: 1:10

Dimensions (m):

- Top left: 263.75, 238.75, 237.00, 233.75, 230.75, 227.00, 223.75, 220.75, 217.00, 213.75, 210.75, 207.00, 203.75, 200.75, 197.00, 193.75, 190.75, 187.00, 183.75, 180.75, 177.00, 173.75, 170.75, 167.00, 163.75, 160.75, 157.00, 153.75, 150.75, 147.00, 143.75, 140.75, 137.00, 133.75, 130.75, 127.00, 123.75, 120.75, 117.00, 113.75, 110.75, 107.00, 103.75, 100.75, 97.00, 93.75, 90.75, 87.00, 83.75, 80.75, 77.00, 73.75, 70.75, 67.00, 63.75, 60.75, 57.00, 53.75, 50.75, 47.00, 43.75, 40.75, 37.00, 33.75, 30.75, 27.00, 23.75, 20.75, 17.00, 13.75, 10.75, 7.00, 3.75, 0.75
- Top right: 263.75, 243.75, 233.75, 223.75, 213.75, 203.75, 193.75, 183.75, 173.75, 163.75, 153.75, 143.75, 133.75, 123.75, 113.75, 103.75, 93.75, 83.75, 73.75, 63.75, 53.75, 43.75, 33.75, 23.75, 13.75, 3.75, 0.75
- Bottom left: 263.75, 238.75, 237.00, 233.75, 230.75, 227.00, 223.75, 220.75, 217.00, 213.75, 210.75, 207.00, 203.75, 200.75, 197.00, 193.75, 190.75, 187.00, 183.75, 180.75, 177.00, 173.75, 170.75, 167.00, 163.75, 160.75, 157.00, 153.75, 150.75, 147.00, 143.75, 140.75, 137.00, 133.75, 130.75, 127.00, 123.75, 120.75, 117.00, 113.75, 110.75, 107.00, 103.75, 100.75, 97.00, 93.75, 90.75, 87.00, 83.75, 80.75, 77.00, 73.75, 70.75, 67.00, 63.75, 60.75, 57.00, 53.75, 50.75, 47.00, 43.75, 40.75, 37.00, 33.75, 30.75, 27.00, 23.75, 20.75, 17.00, 13.75, 10.75, 7.00, 3.75, 0.75
- Bottom right: 263.75, 243.75, 233.75, 223.75, 213.75, 203.75, 193.75, 183.75, 173.75, 163.75, 153.75, 143.75, 133.75, 123.75, 113.75, 103.75, 93.75, 83.75, 73.75, 63.75, 53.75, 43.75, 33.75, 23.75, 13.75, 3.75, 0.75

SPANNVERFAHREN SUSPA
prestressing system SUSPA

150cm Ø Bohrer = 144.6mm
total Width = 164.6mm

150cm Ø Bohrer = 144.6mm
total Width = 164.6mm

150cm Ø Bohrer = 144.6mm
total Width = 164.6mm

150cm Ø Bohrer = 144.6mm
total Width = 164.6mm

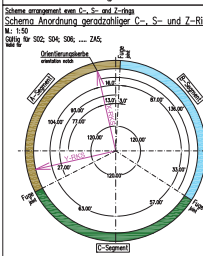
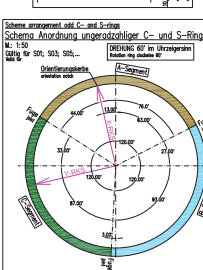
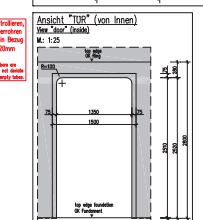
Fig. 6-10
SPANNEN AUEN SÜPA
preinstalling system SOPA

84527.50
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00
84500.00

Achtung! Nicht mehr als 100 mm einbauen!
Nicht mehr als 100 mm einbauen!

Achtung! Nicht mehr als 100 mm einbauen!
Nicht mehr als 100 mm einbauen!

SÜPA - Einbaueinheit
SÜPA - Einbaueinheit

[illegible][illegible]

VESTAS Vindenergi A/S VEGA VESTAS V172 Steel-Galvalume/Hydroform (T23) 172m H44 RoketBallBurchmesser 172m ØBn 2	VESTAS Wind turbine WTG VESTAS V172 steel concrete hybrid tower 172m H44 rotor diameter 172m ØBn 2
--	---

[illegible]



**Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.**

PRÜFAMT FÜR STANDSICHERHEIT FÜR DIE
BAUTECHNISCHE PRÜFUNG VON WINDENERGIEANLAGEN

Prüfbericht für eine Typenprüfung

Datum: 23.04.2024

Bericht Nr.: 3788612-22-d Rev. 1

Objekt: Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung
Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2MW
Turm: Hybridturm T23
Nabenhöhe: 175 m über GOK
Windzone S, Erdbebenzone 3
Lebensdauer: 25 Jahre

Hier: Ø = 25,50 m (rund) mit Auftrieb

Prüfgrundlage: DIBt-Richtlinie 2012

Auftraggeber: Vestas Wind Systems A/S
Hedeager 42
8200 Aarhus N
Dänemark

Gültig bis: 04.06.2028

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC

Dokument:
3788612-22-
d_Rev.1_Vestas_V172_175
HH_T23_FGmA_25,5m.doc
x

Seite 1 von 8

Die auszugsweise Wieder-
gabe des Dokumentes und
die Verwendung zu Werbe-
zwecken bedürfen der schrift-
lichen Genehmigung der
TÜV SÜD Industrie Service
GmbH.

Die Prüfergebnisse
beziehen sich ausschließ-
lich auf die untersuchten
Prüfgegenstände.

Sitz: München
Amtsgericht München HRB 96 869
USt-IdNr. DE129484218
Informationen gemäß § 2 Abs. 1 DL-InfoV
unter tuvsud.com/impressum

Aufsichtsrat:
Reiner Block (Vors.)
Geschäftsführer:
Ferdinand Neuwieser (Sprecher)
Thomas Kainz
Simon Kellerer

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
Bautechnische Prüfung von
Windenergieanlagen
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland

tuvsud.com/de-is
Telefon: 089 5791-3146

TÜV®



Revision	Datum	Änderungen
0	05.06.2023	Erstfassung
1	23.04.2024	Neue Revisionen der Dokumente [1] bis [3] und [6] bis [8]. Neue Dokumente [4], [5] und [10]. Erdbebenzone 3 ergänzt. Auflage 1 aus Revision 0 entfernt. Formale Anpassung des Berichtes.

Notiz: Referenzangaben älterer Revisionen könnten sich geändert haben und könnten bei der aktuellen Revision nicht mehr zutreffen.

Inhaltsverzeichnis

1 Dokumente..... 3

1.1 Geprüfte Dokumente..... 3

1.2 Eingesehene Dokumente 3

2 Prüfgrundlage 4

2.1 Angewendete Richtlinien und Normen 4

2.2 Berücksichtigte Richtlinien und Normen 4

3 Beschreibung 4

3.1 Baustoffe..... 5

3.2 Lastannahmen 5

3.3 Baugrund 5

4 Prüfumfang 5

5 Bemerkungen..... 6

5.1 Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichts..... 6

5.2 Ausführungsvarianten 6

5.3 Schnittstellen..... 6

5.4 Teilsicherheitsbeiwerte:..... 7

5.5 Schiefstellung des Turms 7

6 Prüfergebnis..... 7

Auflagen 7

2024-09-18 06:40 UTC - alexandra.ehrenberg@epne.de - Alexandra Ehrenberg
Original Instruction: T05 0145-7187 VER 01
T05 0145-7187 Ver 01 - Approved- Exported from DMS: 2024-06-24 by INVOL



1 Dokumente

1.1 Geprüfte Dokumente

Folgende Dokumente wurden zur Prüfung vorgelegt:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Statische Berechnung Max Bögl Hybridturm T23, Windenergieanlage: V172, Nabenhöhe: 175 m, Bauteil: Fundament mit Auftrieb D = 25,5 m	Max Bögl Wind AG	D00354104 Rev. 06	2024-04-22
[2]	Schalplan Fundament Ø25,50m	Max Bögl Wind AG	DE_T23_005_XX_X_Schalplan Rev. c	2024-04-19
[3]	Bewehrung Fundament Ø25.50m	Max Bögl Wind AG	DE_T23_006_XX_X_Bewehrung Rev. b	2024-02-23
[4]	Schalplan Fundament Ø25,50m mit Arbeitsfuge	Max Bögl Wind AG	DE_T23_1005_XX_X_Schalplan Rev. b	2024-04-19
[5]	Bewehrung Fundament Ø25.50m mit Arbeitsfuge	Max Bögl Wind AG	DE_T23_1006_XX_X_Bewehrung Rev. a	2024-02-23

1.2 Eingesehene Dokumente

Folgende Dokumente wurden im Rahmen der Prüfung zusätzlich herangezogen:

1.2.1 Lasten und Konstruktionsbasis

[6]	Anforderungen an das Fundamentdesign Max Bögl Hybridturm DE_T23	Max Bögl Wind AG	D00354110 Rev. 04	2024-04-05
-----	---	------------------	-------------------	------------

1.2.2 Turm und weitere Unterlagen

[7]	Uebersichtsplan Gesamtturm, NH 175.0 m, Spannglieds. "SUSPA"	Max Bögl Wind AG	DE_T23_001_XX_X_Uebersicht Rev. b	2023-11-27
[8]	Prüfbericht für eine Typenprüfung – Hybridturm HACAF00 (T23), Lebensdauer: 25 Jahre	TÜV SÜD	3788612-12-d Rev. 1	2024-04-22
[9]	Statische Berechnung für den Max Bögl Hybridturm RT2.0, Bauteil: Spanngliedverankerung	Max Bögl Wind AG	21683 Rev. i	2021-03-02
[10]	Zeichnung „Spanngliedverankerung 3.0 im Fundament 2.0 (mit 2 Ankerstangen)“	Max Bögl Wind AG	M578_a	2021-04-07
[11]	Gutachtliche Stellungnahme Hybridtürme für Windenergieanlagen – Bauteile für Spanngliedverankerung 3.0 –	TÜV Nord	GS-8118409048-006-001-03 Rev. 3	2023-08-28



2 Prüfgrundlage

2.1 Angewendete Richtlinien und Normen

Die Prüfung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Richtlinien und Normen:

Ref.	Nummer	Titel
/1/	DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015
/2/	DIN EN 1991-1-1:2010 + NA:2010 + NA/A1:2015	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke –Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
/3/	DIN EN 1992-1-1:2011 + A1:2015 + NA:2013 + NA/A1:2015	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetonbauwerken – Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
/4/	DIN EN 1997-1:2009 + NA:2010	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Allgemeine Regeln
/5/	DIN EN 1998-1:2010	Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten; Deutsche Fassung EN 1998-1:2004 + AC:2009, mit nationalem Anhang DIN EN 1998-1/NA:2011
/6/	DIN 1054:2021	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1
/7/	DIN 4149:2005	Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten

2.2 Berücksichtigte Richtlinien und Normen

Zur Prüfung wurden zusätzlich folgende Normen und Richtlinien herangezogen:

/8/	DAfStb Heft 439	Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIP Model Code 1990, Ausgabe 1994
/9/	DAfStb Heft 600	Erläuterungen zu DIN EN 1992-1-1 und DIN EN 1992-1-1/NA (Eurocode 2), Ausgabe 2012

3 Beschreibung

Der Hybridturm Typ T23 für die Windenergieanlage vom Typ Vestas V172-6.8/7.2MW mit 175 m Nabenhöhe wird mit Spanngliedern extern vorgespannt und im Fundamentsockel mit einer Ankerstangenkonstruktion mit Ankerplatten verankert.

Die Flachgründung besteht aus einer kreisförmigen Fundamentplatte mit 25,50 m Außendurchmesser mit veränderlicher Höhe sowie einem darauf aufgesetzten Sockel. Zwischen Turmfuß und Sockel ist eine Mörtelausgleichsschicht angeordnet.

Die Fundamentplatte wird mit Erdreich überschüttet, um die statisch erforderliche Auflast zu erreichen.

Die genauen Abmessungen des Fundaments können den Schalplänen [2] und [4] entnommen werden.



3.1 Baustoffe

In Tabelle 1 sind die verwendeten Baustoffe angegeben.

Bauteil	Baustoff	Bezugsnorm / Zulassung
Beton Fundamentplatte	C30/37	DIN EN 1992-1-1
Beton für Sockel	C40/50	DIN EN 1992-1-1
Bewehrung	B500 B	DIN EN 1992-1-1

Tabelle 1: Baustoffe

3.2 Lastannahmen

In der Tabelle 2 sind die berücksichtigten Varianten der Windenergieanlage zusammen mit den zugehörigen Lastannahmen und Prüfberichten angegeben.

Anlagenvariante	Lastdokument	Gutachtliche Stellungnahme / Prüfbericht
V172-6.8/7.2MW	D00354110 Rev. 02 [6]	3788612-12-d Rev. 1 [8]

Tabelle 2: Turbinenvarianten und zugehörige Lastdokumente

Die dimensionierenden Lasten für die Fundamentauslegung entsprechen der obenstehenden Tabelle und wurden mit dem dort genannten Prüfbericht bestätigt und werden als richtig vorausgesetzt. Die angesetzte Entwurfslebensdauer der Windenergieanlage beträgt 25 Jahre.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gemäß Dokument [8] auf Basis der DIN EN 1998-1/NA /5/ für alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen in Deutschland abgedeckt. Hiermit sind auch alle Erdbebenzonen sowie Baugrund- und Untergrundklassen nach DIN 4149 /7/ in Deutschland abgedeckt.

Auf der Oberseite der Fundamentplatte wurde eine Verkehrslast von 10 kN/m² berücksichtigt. Eigengewichte wurden gemäß DIN EN 1991-1-1 /2/ und nach Herstellerangaben berücksichtigt.

3.3 Baugrund

Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament betragen gemäß Anforderungen an das Fundamentdesign [6] $k_{\varphi, \text{dyn}} \geq 200 \text{ GNm/rad}$ und $k_{\varphi, \text{stat}} \geq 40 \text{ GNm/rad}$.

Der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand liegt 2,643 unter Fundamentoberkante.

4 Prüfumfang

Dieser Prüfbericht für eine Typenprüfung umfasst die Prüfung hinsichtlich der Standsicherheit des in Abschnitt 3 beschriebenen Fundaments auf Basis der in Abschnitt 2 genannten Prüfgrundlagen.

Für eine vollständige Typenprüfung sind alle in Dokument /1/, Kapitel 3 im Abschnitt I gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen sowie ein zusammenfassender Prüfbescheid zur Typenprüfung erforderlich. Diese können bis spätestens zu Baubeginn der ersten Anlage nachgereicht werden.



Die Überprüfung der Standorteignung sowie des Blitzschutz- und Erdungskonzepts ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

Abweichungen von den geprüften Unterlagen und Prüfgrundlagen bezüglich Konstruktion, Lastannahmen, Randbedingungen und Ausführung, die Einfluss auf die Standsicherheit haben, sind durch diesen Bericht nicht abgedeckt und erfordern eine Überarbeitung der Berechnung und deren Prüfung.

5 Bemerkungen

Wenn nicht anders angegeben, wurden die eingereichten Nachweise durch Vergleichsrechnung geprüft.

Die Bauteile wurden für die Lasten in den in Tabelle 2 angegebenen Dokumenten nachgewiesen.

Die in den eingereichten Unterlagen angegebenen rechnerischen Restsicherheiten werden nicht bestätigt. Es können jedoch ausreichende Sicherheiten im Hinblick auf die Bewertungsgrundlage in Abschnitt 2.1 bestätigt werden.

Die vorgelegten Zeichnungen wurden auf Übereinstimmung mit den Annahmen der Berechnung geprüft. Die vorgelegten Spezifikationen wurden auf Übereinstimmung mit den relevanten Parametern der Berechnungen überprüft.

Die Anforderungen an die Herstellungsprozesse, die zum Erreichen der im Rahmen der Konstruktion angenommene Qualität erforderlich sind, werden als geeignet angesehen.

5.1 Änderungen in der letzten Revision dieses Prüfberichts

Mit Revision 1 dieses Prüfberichtes wurde ein neues Lastdokument [6] eingeführt und die Arbeitsfuge des Fundaments wurde geändert. Das Fundament wurde in [1] für die neuen Lasten und die neue Arbeitsfuge bemessen. Die Bewehrung in [3] und [5] wurde entsprechend angepasst.

Die Arbeitsfuge in Schalplan [2] wurde entfernt und ein neuer Schalplan [4] mit einer neuen Arbeitsfuge wurde ergänzt.

Die Zeichnungen [2] bis [5] wurden ohne Entwurfsstempel überarbeitet. Die Auflage 1 aus Revision 0 dieses Prüfberichts entfällt.

Neue Revisionen der Turmdokumente [7] und [8] wurden ergänzt. Dokument [10] wurde ergänzt.

Die Erdbebenzone 3 wurde ergänzt.

Der Bericht wurde formal angepasst.

5.2 Ausführungsvarianten

Das Fundament kann wahlweise ohne Arbeitsfugen gemäß [2] und [3] oder abschnittsweise gemäß [4] und [5] hergestellt werden.

5.3 Schnittstellen

Die Nachweise der Lasteinleitung in den Beton unter dem Vergussmörtel des Fundaments sowie über den Ankerplatten im Fundament werden mit diesem Prüfbericht bestätigt.



Die Nachweise der Lasteinleitung in den Vergussmörtel am Turmfuß wurden in der statischen Berechnung des Turms geführt und in [8] bestätigt.

Die Nachweise der oberen und unteren Ankerplatten sowie der Ankerstangen der Spanngliedverankerung wurden in Dokument [9] mit exemplarischen Lasten geführt und mit der gutachtlichen Stellungnahme [11] bestätigt. Mit diesem Prüfbericht wird bestätigt, dass die in [9] getroffenen Annahmen mit den Randbedingungen dieses Fundaments übereinstimmen und die Prüfaussage in [11] für dieses Fundament gültig ist.

5.4 Teilsicherheitsbeiwerte:

In [1] wurde abweichend von den Regelungen in /1/ der Teilsicherheitsbeiwert für günstig wirkendes Eigengewicht für die Fundamentplatte mit 0,95 im Grenzzustand der Tragfähigkeit angesetzt. Die daraus resultierende minimale Wichte des Fundamentkörpers von 23,7 kN/m³ ist durch entsprechende Qualitätssicherung auf der Baustelle sicher nachzuweisen, siehe Auflage 8.

5.5 Schiefstellung des Turms

Die Lasten aus [6] enthalten bereits Effekte aus einer Turmschiefstellung, von Differenzsetzungen des Fundaments von 3 mm/m sowie aus einer zusätzlichen Schiefstellung infolge der Berücksichtigung statischer Bodenkennwerte.

Abweichend von /1/ wurden laut Dokument [8] für die Turmschiefstellung statt 5 mm/m lediglich 200 mm an der Oberkante des Betonturms angesetzt. Dieser Ansatz wurde mit [8] bestätigt.

6 Prüfergebnis

Die Berechnungen und die zugehörigen Konstruktions- und Bewehrungszeichnungen für das Fundament entsprechen den in Abschnitt 2.1 genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Anforderungen an die Standsicherheit des Fundaments sind erfüllt, vorausgesetzt, die nachstehenden Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen Prüfberichte und Gutachten werden beachtet bzw. vollzogen.

Auflagen

Baugrund

1. Die vorhandenen Bodenkennwerte, die Zuordnung des Bodens zu Expositionsklassen nach DIN EN 1992-1-1 und der höchste für den Auftrieb maßgebende Wasserstand sind für den jeweiligen Standort zu ermitteln und im geotechnischen Untersuchungsbericht zu beschreiben.
2. Grundbautechnische Berechnungen sind im Rahmen des geotechnischen Entwurfsbereichs durchzuführen. Die Schnittgrößen an Fundamentunterkante sind in [2] und [4] angegeben.
3. Die Mindestwerte der dynamischen und statischen Drehfedersteifigkeit des Gesamtsystems aus Boden und Fundament gemäß Abschnitt 3.3 müssen für den jeweiligen Standort nachgewiesen werden. Dabei kann das Fundament in guter Näherung als Starrkörper angenommen werden.



4. Die im geotechnischen Entwurfsbericht angenommenen Baugrundverhältnisse sind beim Baugrubenaushub vom Bodengutachter zu überprüfen und zu bestätigen. Vor Aufbringen der Sauberkeitsschicht ist die Tragfähigkeit der Baugrubensohle durch den Bodengutachter zu bestätigen.

Ausführung Fundament

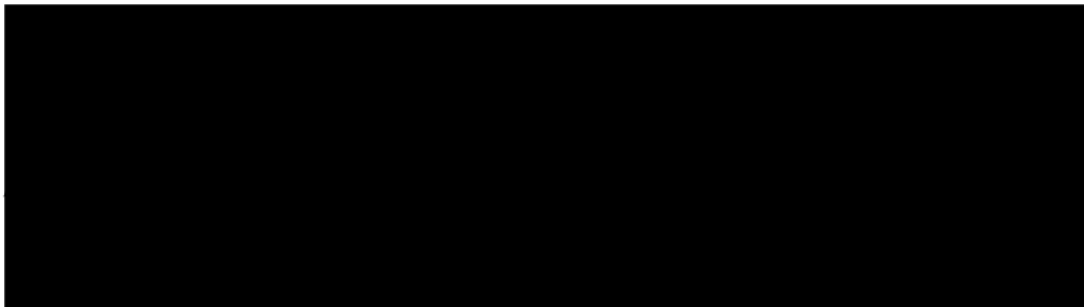
5. Sollte Expositionsklasse XA oder XS gemäß DIN EN 1992-1-1 abweichend von den in Schal- und Bewehrungsplänen gewählten Expositionsklassen am Standort zu berücksichtigen sein, so sind gegebenenfalls zusätzliche Maßnahmen zum Schutz des Betons und der Bewehrung zu ergreifen.
6. Zur Begrenzung der Rissbildung infolge Hydratationswärmeentwicklung sind geeignete betontechnologische Maßnahmen zu ergreifen.
7. Der Zeitpunkt des Erreichens der erforderlichen Festigkeit des Vergussmörtels und Betons für das Vorspannen ist zu bestimmen und durch fachgerecht, unter Berücksichtigung der standortspezifischen Umgebungsbedingungen gelagerte Proben zu überprüfen und zu dokumentieren.
8. Die in der Berechnung angesetzte Mindestwichte des Stahlbetons des Fundaments von 23,7 kN/m³ ist durch entsprechende Qualitätssicherung und im Rahmen der Bauüberwachung zu bestätigen.
9. Das in [2] und [4] spezifizierte Gesamtgewicht der Überschüttung muss zur Gewährleistung der Standsicherheit mindestens erreicht werden. Die Überschüttung muss gleichmäßig über den Umfang verteilt sein. Die Ausführung der Überschüttung muss in Abstimmung mit dem Bodengutachter gewählt werden.

Prüfintervalle

10. Die Anforderungen an die wiederkehrenden Prüfungen gemäß DIBt-Richtlinie /1/ sind zu beachten.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die Zeichnungen und die Berechnungen zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**





Prüfbescheid für eine Typenprüfung

Bescheid Nr.: 4036044-22-d Rev. 1

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC

Dokument:
4036044-22-d_Rev.
1_Vestas_V172-6.8-7.2
MW_HH175 m_TPB_25
a.docx

Seite 1 von 7

Die auszugsweise Wiedergabe des Dokumentes und die Verwendung zu Werbezwecken bedürfen der schriftlichen Genehmigung der TÜV SÜD Industrie Service GmbH.

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.

tuv sud.com/de-is
Telefon: 089 5791-3146





Revision	Datum	Änderungen
0	12.09.2024	Erstfassung
1	08.09.2025	Neue Revision des Lastgutachtens [3] und des Maschinengutachtens [4].

Inhaltsverzeichnis

1 Allgemeine Bestimmungen..... 3

2 Anlagenbeschreibung 3

3 Prüfgrundlage 4

4 Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung..... 4

5 Gutachtliche Stellungnahmen..... 5

6 Zusammenfassung..... 5



1 Allgemeine Bestimmungen

Die Typenprüfung für die in Abschnitt 2 beschriebene Windenergieanlage besteht aus den unter Abschnitt 4 aufgeführten Prüfberichten sowie diesem Typenprüfbescheid. Grundlage der Typenprüfung sind die in Abschnitt 5 gelisteten gutachtlichen Stellungnahmen.

Die Typenprüfung bestätigt die Prüfung der Standsicherheit der gelisteten Türme und Gründungen.

Dieser Prüfbescheid zur Typenprüfung ersetzt nicht die Bestätigung des Auflagenvollzugs. Er ersetzt keine für die Durchführung von Bauvorhaben erforderlichen Genehmigungen.

Bei Abweichungen von diesem Prüfbescheid zur Typenprüfung oder den unter Abschnitt 4 und 5 aufgeführten zugehörigen Prüfberichten und Stellungnahmen sowie den darin geprüften Unterlagen und gelisteten Prüfgrundlagen ist die Standsicherheit im Einzelfall nachzuweisen und zu prüfen.

Es wird davon ausgegangen, dass Hersteller und Betreiber ihren Verpflichtungen zur Gewährleistung des sicheren Betriebes der Anlage nachkommen und über im Betrieb festgestellte, auslegungsrelevante Auffälligkeiten, wie z.B. Schwingungsphänomene, berichten und gegebenenfalls veranlassen, dass entsprechende Untersuchungen durchgeführt und neue Berechnungen zur Prüfung vorgelegt werden.

2 Anlagenbeschreibung

Diese Typenprüfung gilt für die Windenergieanlage Vestas V172-6.8/7.2 MW mit 175 m Nabenhöhe mit den folgenden Charakteristika:

Nabenhöhe	175 m
Nennleistung	6,8 / 7,2 MW
Windzone	S
Erdbebenzone nach DIN 4149	3
Rotorblatttyp	LM 84.3P
Turbulenzkategorie	Siehe Lastgutachten [3]
Entwurfslebensdauer	25 Jahre

Tabelle 1: Anlageneigenschaften

In Tabelle 2 sind die möglichen Turm- und Gründungsvarianten mit den entsprechenden Prüfberichten und den zugehörigen Gutachten gelistet:

Nabenhöhe	175 m
Turmkonstruktion	Hybridturm [1]
Fundament	Flachgründung mit Auftrieb [2]



Nabenhöhe	175 m
Lastgutachten	L-08867b-A052-2 [3]
Maschinengutachten	M-11163-0 [4]

Tabelle 2: Zusammengehörige Prüfberichte und Gutachten

Detaillierte Beschreibungen der Bauteile Turm und Fundament sind in den zitierten Prüfberichten zu finden.

3 Prüfgrundlage

Der Prüfung wurden die folgenden Normen und Richtlinien zugrunde gelegt:

Ref.	Nummer	Titel
/1/	DIBt 2012	Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Version 2015
/2/	DIN EN IEC 61400-1:2019	Windenergieanlagen - Auslegungsanforderungen
/3/	EN IEC 61400-1:2019	Wind Turbines – Design requirements
/4/	Stellungnahme DIBt / IEC 61400-1 Ed. 4	Vom DKE, vom 31.08.2020

Nach den Anerkennungsnotizen im Vorwort von /2/ entspricht die Norm /2/ inhaltlich /3/. Entsprechend kann in den in Abschnitt 5 gelisteten Gutachterlichen Stellungnahmen gleichwertig /2/ oder /3/ als Prüfgrundlage verwendet werden.

In der DIBt-Richtlinie /1/ sind die älteren Versionen von /2/ aus den Jahren 2004 bzw. 2011 für die Ermittlung der Einwirkungen zugelassen. Mit diesem Prüfbescheid und gemäß Stellungnahme des DKE/AK 383.0.1 /4/ wird bestätigt, dass auch bei Anwendung der neuesten Version der DIN EN IEC 61400-1 in ihrer Gesamtheit das geforderte Sicherheitsniveau der DIBt- Richtlinie /1/ eingehalten wird und somit Konformität mit /1/ besteht.

4 Prüfberichte zur bautechnischen Prüfung

Gegenstand der Typenprüfung ist die Prüfung der Standsicherheitsnachweise sowie die Prüfung der zugehörigen Konstruktionszeichnungen für den Turm und die zugehörige Gründung entsprechend Tabelle 2.

Die im Rahmen der Prüfungen eingereichten Unterlagen sind in den folgenden Prüfberichten aufgelistet.

Die geprüften und mit rundem Prüfstempel versehenen Unterlagen entsprechen den Anforderungen der DIBt- Richtlinie /1/ sowie den in den folgenden Prüfberichten genannten Normen und Richtlinien und sind im Wesentlichen vollständig und richtig.

Die Prüfung der Podeste, Besteigeeinrichtungen und Innenausbauten des Turmes ist nicht Bestandteil dieser Typenprüfung.

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[1]	Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Hybridturm HACAFO0 (Bögl T23)	TÜV SÜD	3788612-12-d Rev. 1	2024-04-22



[2] Prüfbericht für eine Typenprüfung Prüfung der Standsicherheit – Flachgründung TÜV SÜD 3788612-22-d Rev. 1 2024-04-23
Hier: Ø = 25,5 m (rund) mit Auftrieb

Der Prüfbericht zum Hybridturm [1] verweist auf Revision 2 des Lastgutachtens [3]. In Revision 3 von [3] wurde ein Lastvergleich ergänzt sowie redaktionelle Anpassungen in den Turm- und Fundamentlastdokumenten ergänzt. Diese Änderungen haben keinen Einfluss auf die Gültigkeit von [1] und [2]. Somit sind die beiden Typenprüfberichte [1] und [2] auch mit der hier gelisteten Revision 3 von [3] gültig.

5 Gutachtliche Stellungnahmen

Die folgenden gutachtlichen Stellungnahmen gemäß /1/ Abs. 3.I und K wurden im Rahmen dieser Typenprüfung vorgelegt:

- Bestätigung der Schnittgrößen für den Nachweis von Turm und Gründung, Rotorblätter und Maschinenbau (Lastgutachten)
- Nachweis der Sicherheitseinrichtungen (Sicherheitsgutachten)
- Nachweis der Rotorblätter
- Nachweis der maschinenbaulichen Komponenten (Maschinengutachten)
- Nachweis der Verkleidung von Maschinenhaus und Nabe
- Nachweis für die elektrotechnischen Komponenten und den Blitzschutz
- Inbetriebnahmeprotokoll (Vordruck)

Als Grundlage für die Lastannahmen gilt die folgende gutachtliche Stellungnahme:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[3]	Gutachtliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas Turbinen	DNV	L-08867b-A052-2 Rev. 3	2025-02-14

Für die weiteren oben genannten Unterlagen gilt die folgende Zusammenstellung der gutachtlichen Stellungnahmen:

Ref.	Titel	erstellt von	Dokument Nr. Rev.	Datum
[4]	Maschinengutachten der Windenergieanlage V172-6.8 / V172-7.2 MW	DNV	M-11163-0 Rev. 3	2025-03-13

Die Zusammenstellung von gutachtlichen Stellungnahmen ist im Sinne der DIBt Richtlinie /1/ Abschnitt 3.I und K vollständig. Die darin vorgegebenen Werte und Eigenschaften wurden in den Nachweisen von Turm und Gründungen berücksichtigt. Die gutachtlichen Stellungnahmen bestätigen die Übereinstimmung mit den in Abschnitt 3 gelisteten Prüfgrundlagen. Die Unterlagen gemäß Abschnitt 3.J und L sind mit dem Maschinengutachten noch nicht final bestätigt.

Die gutachtliche Stellungnahme [4] beinhaltet keine Bestätigung des statischen Tests des Rotorblatts.



6 Zusammenfassung

Die eingereichten gutachtlichen Stellungnahmen und Prüfberichte für den Turm und die zugehörigen Gründungen der Windenergieanlage vom Typ Vestas V172-6.8/7.2 MW entsprechen den Anforderungen der DIBt-Richtlinie /1/.

Die Anforderungen an die Standsicherheit des Turmes und der Gründung sind erfüllt, vorausgesetzt, alle in den Prüfberichten und diesem Prüfbescheid genannten Auflagen sowie alle Auflagen und Bemerkungen der zugehörigen gutachtlichen Stellungnahmen werden beachtet bzw. vollzogen. Eine Übersicht der Auflagen kann Anlage 1 dieses Typenprüfbescheids entnommen werden.

Der Turm und die zugehörige Gründung sind mindestens alle 2 Jahre durch einen Sachverständigen für Windenergieanlagen auf den Erhaltungszustand hin zu überprüfen. Wenn von der Herstellerfirma eine laufende (mindestens jährliche) Überwachung und Wartung der Windenergieanlage durchgeführt wird, kann der Zeitraum der Fremdüberwachung auf 4 Jahre verlängert werden. Über die Überprüfung bzw. Überwachung und Wartung ist mindestens alle 2 Jahre ein Bericht zu erstellen.

Auflagen

1. Bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage muss der Nachweis des statischen Blatttests erbracht und eine entsprechende gutachtliche Stellungnahme vorgelegt werden.
2. Bis zur Inbetriebnahme der ersten Anlage muss eine gutachtliche Stellungnahme mit Bestätigung der Unterlagen gemäß Abschnitt 3.J und L der DIBt-Richtlinie /1/ vorgelegt werden.

Für die Verlängerung der Typenprüfung sind die eingereichten Unterlagen, insbesondere die Zeichnungen und die Berechnungen für den Turm und die zugehörigen Gründungen, zu einer erneuten Überprüfung hinsichtlich geänderter Vorschriften oder Richtlinien vorzulegen.

**TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Prüfamt für Standsicherheit für die
bautechnische Prüfung von Windenergieanlagen**





Anlage 1: Auflagen aus Prüfberichten und Gutachtlichen Stellungnahmen

Prüfbericht / Gutachtliche Stellungnahme	Kapitel	Auflagen Nr.
[1]	6	1 bis 22
[2]	6	1 bis 10
[3]	Alle in der gutachtlichen Stellungnahme [3] genannten Auflagen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.	
[4]	Alle in den in [4] zitierten gutachtlichen Stellungnahmen genannten Auflagen sind zu beachten beziehungsweise zu vollziehen.	

Tabelle 3: Mitgeltende Auflagen

Standorteignung von Windenergieanlagen


- Windpark Forst-Briesnig 3 -



Datum: 26.08.2025

Gegenstand der Prüfung	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensitäten am Standort sowie weiterer Windbedingungen zur Beurteilung der Standorteignung von Windenergieanlagen innerhalb des Windparks Forst-Briesnig 3
Kunde	LEAG Renewables GmbH Leagplatz 1 03050 Cottbus Deutschland
Besondere Hinweise	

Die Ausarbeitung der gutachtlichen Stellungnahme erfolgte durch:

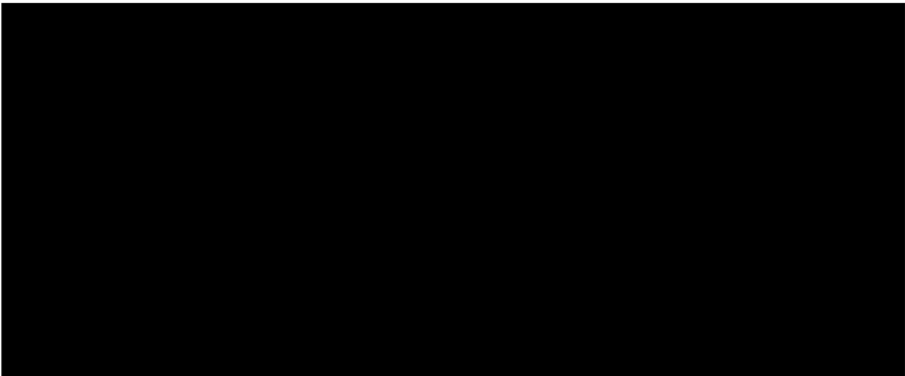
Verfasser	
Geprüft durch	

Herausgeber

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Große Bahnstraße 31•22525 Hamburg
Geschäftsführung: Silvio Konrad, Dr. Hans Koopman
Amtsgericht Hamburg ▪ HRA 100227
USt.-IdNr.: DE 813992777 ▪ Steuer-Nr.: 45/663/02832

Für weitere Auskünfte

Urheberrechtshinweis



Änderungshistorie

Rev.	Datum	Änderung
0	02.09.2024	Erste Ausgabe
1	26.08.2025	Einarbeitung des standortspezifischen Lastvergleiches für die WEA 36

Vom Auftraggeber eingereichte Unterlagen:

- Koordinaten und WEA-Spezifikation (Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Nennleistung) der zu berücksichtigenden WEA /32/
- Informationen zur Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit (A- und k-Parameter der Weibullverteilung) /32/

Hinweis zum verwendeten Koordinatensystem:

In dieser gutachtlichen Stellungnahme wird das Koordinatensystem UTM ETRS89, Zone 33 verwendet.

INHALTSVERZEICHNIS

1	Aufgabenstellung	5
2	Grundlagen	6
2.1	Nachweis durch vereinfachten Vergleich der Windbedingungen	7
2.2	Nachweis durch Vergleich der Lasten	10
3	Randbedingungen	11
3.1	Windparkkonfiguration.....	11
3.2	Windbedingungen der Auslegung.....	13
3.3	Winddaten am Standort.....	15
4	Durchgeführte Untersuchungen	16
4.1	Standortbesichtigung.....	16
4.2	Komplexität des Geländes.....	17
4.3	50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	18
4.4	Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	19
4.5	Umgebungsturbulenzintensität	21
4.6	Effektive Turbulenzintensität	22
4.7	Weitere Windbedingungen	25
4.7.1	Mittlerer Höhenexponent	26
4.7.2	Mittlere Luftdichte	26
4.7.3	Neigung der Anströmung.....	26
4.8	Modell- und Datenunsicherheiten	26
5	Zusammenfassung und Bewertung	27
6	Rechtliche Hinweise	29
7	Formelzeichen und Abkürzungen.....	30
8	Literatur- und Quellenangaben	32
9	Zusammenfassung aller Windbedingungen	35

1 Aufgabenstellung

Am Standort Forst-Briesnig 3 (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von 14 Windenergieanlagen (WEA 1 bis 14). In der Nähe zu den geplanten WEA sind 22 weitere WEA (WEA 15 bis 36) zu berücksichtigen, siehe hierzu Tabelle 1 bzw. Abbildung 1.

Im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme ist der Einfluss durch den Zubau der WEA 1 bis 14 zu bewerten. Alle weiteren WEA am Standort (siehe Tabelle 1) gehen gemäß der vom Auftraggeber vorgegebenen Windparkkonfiguration /32/ als Vorbelastung in die Berechnung ein und sind bei Unterschreitung der in /4/, /5/ festgelegten WEA-Abstände ebenfalls zu bewerten. Es ist daher unerheblich, ob die WEA bereits bestehen oder ob sie sich in der Planungs-, der Genehmigungs- oder in der Bauphase befinden.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist am 12.04.2024 beauftragt worden, die Standorteignung von WEA gemäß Kapitel 16 der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten. Insbesondere ist hierbei der zusätzlich zur Umgebungsturbulenzintensität wirkende Einfluss der Nachlaufsituationen der WEA am Standort untereinander zu untersuchen. Des Weiteren ist bei WEA, für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ vorliegt bzw. anzunehmen ist, ein Vergleich weiterer Windbedingungen am Standort mit den jeweiligen zu Grunde liegenden Auslegungswerten der Typen- bzw. Einzelprüfung durchzuführen. Darüber hinaus ist nach /5/ der Ermittlung der Standortbedingungen eine Standortbesichtigung zu Grunde zu legen.

Nach /5/ wird für eine Prüfung der Standorteignung von WEA das Vorliegen einer gültigen Typen- bzw. Einzelprüfung vorausgesetzt. Die Typen- bzw. Einzelprüfung dient als Standsicherheitsnachweis von Turm und Gründung einer WEA und wird ausgestellt, wenn die in den jeweiligen DIBt-Richtlinien /3/, /4/, /5/ geforderten Dokumente und Berechnungen des Herstellers (insbesondere die Berechnungen der auf Turm und Gründung wirkenden Lasten) durch eine akkreditierte Zertifizierungsstelle geprüft und bestätigt werden. Sollte zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch keine Typen- bzw. Einzelprüfung für einen bestimmten WEA-Typ vorliegen, so gelten die Ergebnisse für diese WEA nur unter Vorbehalt. Dieser Vorbehalt wird, sofern keine Typen- bzw. Einzelprüfung vorliegt, in Kapitel 3.1 bzw. 5 explizit benannt. Er entfällt, wenn die in dieser gutachtlichen Stellungnahme zu Grunde gelegten Auslegungswerte durch die Auslegungswerte der mit der Genehmigung eingereichten Typen- bzw. Einzelprüfung abgedeckt werden. Im Folgenden wird nicht mehr ausdrücklich zwischen einer Typen- oder Einzelprüfung unterschieden, sondern vereinfachend nur von einer Typenprüfung gesprochen.

Die zu untersuchenden Windbedingungsparameter sind in den jeweiligen DIBt-Richtlinien /3/, /4/, /5/ bzw. /7/, /8/ festgelegt und Bestandteil der Typenprüfung einer WEA. Diese gehen als Basis in die zu berechnenden Auslegungslasten ein, wobei hierbei die Entwurfslebensdauer einer WEA nach /3/, /4/, /5/ mit mindestens 20 Jahren anzunehmen ist. Im Rahmen der nachfolgenden Bewertung der Standorteignung wird unterstellt, dass die jeweilige Entwurfslebensdauer aller zu bewertenden WEA noch nicht überschritten ist.

WEA mit einer Gesamthöhe von mehr als 50 m sind genehmigungsbedürftige Anlagen gem. § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) /13/ in Verbindung mit Ziff. 1.6 Spalte 2 des Anhangs zur vierten Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) /14/. Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch Nachbar-WEA erhöhte Turbulenzbelastung einer WEA können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung für eine Turbulenz-Immissionsprognose im Rahmen eines BImSchG-Antrages herangezogen werden. Es wird dabei davon ausgegangen, dass die Reduktion der Lebensdauer von WEA und deren zusätzliche strukturelle Ermüdung infolge von Immissionen zumutbar sind, solange die Standorteignung der WEA hinsichtlich der Auslegungswerte nachzuweisender Windbedingungen oder hinsichtlich der nachzuweisenden Auslegungslasten gewährleistet bleibt.

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme zur Standorteignung ist daher gleichzeitig eine Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG /13/.

2 Grundlagen

WEA sind Umweltbedingungen und elektrischen Einflüssen ausgesetzt, welche die Belastung, die Haltbarkeit und den Betrieb beeinträchtigen können. Die Umweltbedingungen werden weiter in Wind- und andere Umweltbedingungen unterteilt. Für die Integrität der Konstruktion zählen die Windbedingungen zu den primären äußeren Einwirkungen.

Für die Auslegung der WEA im Rahmen einer Typenprüfung nach der jeweils zu Grunde liegenden DIBt-Richtlinie /3/, /4/, /5/ werden Windzonen (WZ) gemäß Windzonenkarte /6/ sowie Turbulenzkategorien gemäß /7/ bzw. /8/ definiert. In Abhängigkeit der gewählten Windzone werden u.a. der Auslegungswert der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit v_m als auch der Auslegungswert des extremen 10-min-Mittelwertes der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren (im Folgenden nur noch 50-Jahreswindgeschwindigkeit v_{50} genannt) definiert.

Durch Definition der Windzone und der Turbulenzkategorie ergeben sich die Windbedingungen der Auslegung und somit auch die Auslegungslasten, die im Rahmen einer Typenprüfung zu Grunde gelegt werden. Die Parameter für die Windgeschwindigkeit und die Turbulenz sind so gewählt, dass sie die meisten Anwendungsfälle erfassen sollen, jedoch bilden sie nicht die genaue Darstellung eines spezifischen Standortes ab. Im Rahmen des Prüfverfahrens können daher durchaus auch Fälle eintreten, in denen die Auslegungslasten der Typenprüfung nicht die standortspezifischen Lasten abdecken und die Typenprüfung folglich nicht mehr anwendbar ist. In diesen Fällen kann ggf. ein neuer Standsicherheitsnachweis für Turm und Gründung im Rahmen einer Einzelprüfung geführt werden.

Im Rahmen einer Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ sind die Auslegungswerte der Turbulenzintensität mindestens für die Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2004 /7/ nachzuweisen. In der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ wird die im Vergleich zu /4/ (bzw. /7/) nahezu identische Turbulenzkategorie A nach DIN EN 61400-1:2011 /8/ nur noch empfohlen. Im Rahmen einer Typenprüfung können daher auch grundsätzlich andere Auslegungswerte der Turbulenzintensität, wie z.B. die niedrigeren Auslegungswerte der Turbulenzkategorien B oder C, zu Grunde gelegt werden. Darüber hinaus können WEA für Fälle mit besonderen Wind- oder externen Bedingungen als S-Klasse definiert werden, in der die Auslegungswerte gesondert vom WEA-Hersteller anzugeben sind.

Die Bewertung der Standorteignung nach /5/ ist für WEA anzuwenden, für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ vorliegt bzw. anzunehmen ist. Ziel dieser Bewertung ist es, die Anwendbarkeit der Typenprüfung auf den konkreten Standort bereits vor der Errichtung einer WEA nachzuweisen. Für diesen Nachweis werden gemäß Kapitel 16.2 der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zwei vereinfachte Vergleiche als Alternative zu dem in der DIN EN 61400-1:2011 /8/ genannten Verfahren beschrieben:

1. Nachweis durch Vergleich der Windbedingungen am Standort mit den jeweiligen Windbedingungen der Typenprüfung (siehe Kapitel 2.1).
2. Nachweis durch Vergleich der standortspezifischen Betriebsfestigkeitslasten und/oder der Extremlasten mit den Auslegungslasten der Typenprüfung (siehe Kapitel 2.2).

Des Weiteren ist nach /5/ der Ermittlung der Standortbedingungen eine Standortbesichtigung zu Grunde zu legen. Beide vereinfachten Vergleiche dürfen gemäß /5/ nur dann angewandt werden, sofern der Standort nach DIN EN 61400-1:2011 /8/ als nicht orografisch komplex anzusehen ist. Ist

der Standort hingegen orografisch komplex, so sind für den Nachweis der Integrität der Konstruktion mindestens die folgenden Windbedingungen für den Standort zu ermitteln /8/:

- 50-Jahreswindgeschwindigkeit v_{50} ,
- Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (Dichtefunktion) im Bereich von 0,2 bis $0,4v_{ref}$ (bzw. v_m bis $2v_m$ nach /10/),
- Turbulenzintensität der Umgebung und der im Nachlauf benachbarter WEA auf Nabenhöhe von 0,2 bis $0,4v_{ref}$ (bzw. v_m bis $2v_m$ nach /10/),
- Höhenexponent α für das exponentielle Windprofil,
- mittlere Dichte der Luft ρ für Windgeschwindigkeiten $\geq v_{Nenn}$,
- Neigung der Anströmung $\varphi_{Inkl.}$,
- extreme Turbulenzintensität.

Für den Nachweis der Integrität der WEA in Bezug auf den Auslegungswert der Turbulenzintensität nach /8/ bzw. /10/ ist in aller Regel ein Windgeschwindigkeitsbereich von 5 bis 20 m/s für alle Windzonen gemäß Windzonenkarte /6/ abdeckend. Sollte sich nach einer der beiden Richtlinien /8/ bzw. /10/ ein größerer Windgeschwindigkeitsbereich ergeben, werden die effektiven Turbulenzintensitäten entsprechend für den erweiterten Bereich betrachtet. Auch der Bereich der Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit (Dichtefunktion) erfolgt abdeckend für beide Richtlinien.

Bei WEA, für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ vorliegt, erfolgt gemäß Kapitel 6.3.3 der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ die Bewertung der Standorteignung allein durch den Nachweis der Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität. Verglichen mit dem Verfahren nach /4/ ist eine Bewertung nach /5/ somit deutlich umfangreicher.

2.1 Nachweis durch vereinfachten Vergleich der Windbedingungen

Ist der Standort nach DIN EN 61400-1:2011 als nicht orografisch komplex anzusehen, so kann die Standorteignung von WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, nach dem Verfahren gemäß Kapitel 16.2.b der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ durch einen vereinfachten Vergleich der folgenden standortspezifischen Windbedingungen mit den Windbedingungen der Auslegung gemäß Typenprüfung erfolgen:

- mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m ,
- effektive Turbulenzintensität I_{eff} auf Nabenhöhe zwischen Windgeschwindigkeiten von 0,2 und $0,4v_{ref}$,
- Windzone des Standortes gemäß Windzonenkarte /6/ oder falls diese nicht durch die Windzone der Auslegung gemäß Typenprüfung abgedeckt wird die 50-Jahreswindgeschwindigkeit v_{50} .

Der Ermittlung dieser Standortbedingungen ist für WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, eine Standortbesichtigung zu Grunde zu legen /5/ (siehe Kapitel 4.1).

Werden die Windbedingungen am Standort durch die Windbedingungen der Typenprüfung abgedeckt, ist die Standorteignung der WEA (auch hinsichtlich des Einflusses der WEA untereinander) nachgewiesen. Sollten hingegen eine oder mehrere Windbedingungen am Standort die Windbedingungen der Typenprüfung nicht abdecken, so kann die Standorteignung der WEA ggf. auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten und/oder auf Basis eines Lastvergleiches der Extremlasten nachgewiesen werden (siehe Kapitel 2.2).

Die Bewertung der Standorteignung bei WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ zu betrachten und zu bewerten sind oder für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 1995 /3/ vorliegt, kann weiterhin gemäß Kapitel 6.3.3 der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ durchgeführt werden. Für diese WEA ist demnach standortspezifisch zu untersuchen, ob durch lokale Turbulenzerhöhungen infolge der Einflüsse benachbarter WEA die Auslegungswerte der Turbulenzintensität überschritten werden, also ob die Standsicherheit hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität gewährleistet ist. Je nach Bewertungsstatus der WEA wird hierbei eine aufgrund der Komplexität des Geländes erhöhte Umgebungsturbulenz berücksichtigt oder nicht (siehe Kapitel 4.2).

Benachbarte WEA üben untereinander nur auf die Turbulenzintensität und nicht auf die übrigen Windbedingungen einen lasterhöhenden Einfluss aus. Von daher liegt es nahe, dass für WEA, die als Vorbelastung in die Berechnung eingehen und nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, analog zur DIBt-Richtlinie 2004 /4/ nur die lokalen Turbulenzerhöhungen infolge der Einflüsse benachbarter WEA zu bewerten sind. Genau genommen deckt die Turbulenzintensität die im vereinfachten Verfahren der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ genannten Betriebsfestigkeitslasten jedoch nicht vollständig ab. Gesetzt den Fall, dass sich durch den Zubau die Turbulenzbelastung an WEA, die nach /5/ zu betrachten und zu bewerten sind und als Vorbelastung in die Berechnung eingehen, erhöht, ist demnach auch die Bestimmung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit v_m erforderlich. In Hinsicht auf Extremlasten wird für WEA, die als Vorbelastung in die Berechnung eingehen und nach /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, ein abdeckender Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit v_{50} bzw. ein abdeckender Lastvergleich der Extremlasten vorausgesetzt.

Während die Windgeschwindigkeit am Standort durch benachbarte WEA nicht erhöht wird, nimmt die Belastung infolge lokaler Turbulenzerhöhungen, die auf die einzelne WEA im Windpark einwirkt, zu. Dieser Einfluss ist dann nach /4/ bzw. /5/ zu berücksichtigen, wenn der auf den Rotordurchmesser D bezogene dimensionslose Abstand s_i der jeweils größeren WEA zur benachbarten WEA für typische küstennahe Standorte ($v_{50} \geq 45$ m/s) kleiner gleich fünf und für typische Binnenstandorte ($v_{50} \leq 40$ m/s) kleiner gleich acht beträgt. In der Betrachtung der Turbulenzbelastung werden dabei konservativ immer die Ergebnisse im Einflussbereich bis $8D$, bezogen auf den jeweils größeren Rotordurchmesser der benachbarten WEA, ausgewiesen.

In /15/ ist das Verfahren nach Frandsen (2007) beschrieben, um den Einfluss mehrerer, unterschiedlich weit entfernter WEA unter Berücksichtigung der Häufigkeit der Nachlaufsituationen zu bewerten. Das dort verwendete Modell wird sowohl im nationalen als auch im internationalen Regelwerk empfohlen /4/, /5/ bzw. /8/, /9/. Die Bewertung in /15/ erfolgt mit Hilfe einer effektiven Turbulenzintensität I_{eff} und stellt für jede Windgeschwindigkeit die mittlere Turbulenzintensität dar, die über die gesamte Lebensdauer der WEA die gleiche Materialermüdung verursacht, wie die am Standort auftretenden variierenden Turbulenzintensitäten. Sie bewertet die Belastung durch die Umgebungsturbulenzintensität und die zusätzlich durch Nachlaufturbulenzen induzierte Belastung. Die effektive Turbulenzintensität I_{eff} ist eine materialspezifische Ersatzgröße und somit abhängig vom zu Grunde gelegten materialspezifischen Exponenten der Wöhlerlinie m .

Bei der Bestimmung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} ist nach /4/, /5/ bzw. /8/ für die Umgebungsturbulenz eine entsprechende Unsicherheit zu berücksichtigen (siehe Kapitel 4.5).

Gegenüber der in /15/ dargestellten Form des Berechnungsverfahrens wird das dort beschriebene Verfahren nach Frandsen (2007) zur Ermittlung der Turbulenzerhöhungen in der Nachlaufströmung benachbarter WEA mit zwei Modifikationen verwendet, welche im Folgenden erläutert werden.

In seiner allgemeinen Definition enthält das in /8/ bzw. /15/ beschriebene Verfahren zur Ermittlung der Turbulenzintensität im Nachlauf der WEA einen Schätzwert für den anlagenspezifischen Parameter c_T

(Schubbeiwert der WEA). Für die Ermittlung der maximalen Turbulenz im Nachlauf einer WEA auf Nabenhöhe (totale Turbulenzintensität I_T) nach dem Modell von Frandsen (2007), werden abweichend hierzu die anlagenspezifischen Schubbeiwerte der jeweiligen WEA berücksichtigt. Neben einer besseren Abbildung der realen Verhältnisse wird damit auch eine Unterschätzung der im Nachlauf produzierten Turbulenz in bestimmten Fällen vermieden, da nach Untersuchungen insbesondere für Multi-Megawatt-WEA der Schätzwert für den Schubbeiwert c_T im Bereich des Erreichens der Nennwindgeschwindigkeit v_{Nenn} in der Regel nicht abdeckend ist. Die berechneten oder gemessenen Schubbeiwerte c_T werden seitens des WEA-Herstellers zur Verfügung gestellt und werden als richtig vorausgesetzt. Eine Änderung der Schubbeiwerte erfordert eine Neubewertung der Turbulenzbelastung. Liegen für insbesondere ältere WEA keine Schubbeiwerte c_T vor, so wird der in /8/ als allgemeingültig definierte windgeschwindigkeitsabhängige Wert von $c_T = 7 \text{ m/s} / v$ verwendet. In /2/ sind eine Reihe von weiteren Modellen zur Ermittlung der totalen Turbulenzintensität beschrieben. Diese decken jedoch im Gegensatz zum Modell von Frandsen (2007) die in /2/ durchgeführten Messungen nur teilweise ab und werden daher nicht verwendet. Des Weiteren wird in /4/, /5/ bzw. /8/ bisher nur das Verfahren nach Frandsen empfohlen.

Die zweite Modifikation betrifft die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation, die nach /8/ bzw. /15/ mit 6% angenommen werden kann. Dieser konstanten Häufigkeit liegt die Annahme eines voll ausgebildeten mit erhöhten Turbulenzintensitäten behafteten Nachlaufs (far wake) zu Grunde, der sich typischerweise drei bis fünf Rotordurchmesser hinter der WEA einstellt. Um auch für geringe WEA-Abstände konservative Werte zu erhalten, wird die Häufigkeit der jeweiligen Nachlaufsituation davon abweichend auf Basis der realen geometrischen Verhältnisse im Windpark und unter Berücksichtigung der Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit berechnet.

Unter Beachtung eines sich ausdehnenden Nachlaufs wird auch die Verminderung der geometrischen Nachlaufwahrscheinlichkeit aufgrund resultierender Höhenunterschiede zwischen benachbarten WEA berücksichtigt. Die Ermittlung der Höhenunterschiede in vertikaler Richtung erfolgt nach einem konservativen Ansatz unter gleichzeitiger Einbeziehung der WEA-Nabenhöhen sowie der vorhandenen Höhendaten (z.B. /17/, /18/). Die Ausdehnung des Nachlaufs basiert auf einem in /15/ beschriebenen Nachlaufmodell von Frandsen, bei dem sich der Nachlauf in Abhängigkeit des WEA-spezifischen Schubbeiwertes c_T und somit auch windgeschwindigkeitsabhängig erweitert. Insbesondere bei niedrigen Windgeschwindigkeiten weist der Nachlauf im unmittelbaren Nahbereich bereits eine deutlich größere Ausdehnung als der Rotor selbst auf. Ebenso werden bei verschiedenen Nabenhöhen benachbarter WEA die resultierenden Unterschiede der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe in Abhängigkeit von der Windscherung (bzw. dem Windprofil) berücksichtigt.

Nach /8/ ist eine Reduktion der mittleren Windgeschwindigkeit innerhalb des Windparks und somit auch die hieraus resultierenden lokalen Turbulenzerhöhungen nur bei WEA-Abständen von weniger als 10D in den Berechnungen zu berücksichtigen. Bei einer größeren Entfernung als 10D muss somit nicht mehr von einem turbulenzerhöhenden Einfluss ausgegangen werden. Für jede WEA wird ein turbulenzerhöhender Einfluss daher nur von benachbarten WEA mit einer geringeren Entfernung als 10D berücksichtigt.

Erfahrungsgemäß liefern die zur Anwendung kommenden Modelle zur Berechnung der Turbulenzintensität bei WEA-Abständen unterhalb von 2,3D nur begrenzt belastbare Ergebnisse an den erhöhten Turbulenz der Nachlaufströmung ausgesetzten benachbarten WEA. Grund hierfür ist unter anderem, dass nur die jeweiligen Schubbeiwerte und nicht die exakte Geometrie des Rotorblattes in die Berechnungen einfließen und somit insgesamt rein theoretische Modellannahmen getroffen werden müssen. Bei Einhaltung entsprechender Kriterien wie z.B. der Energieanteil des Nachlaufsektors und die Komplexität des WEA-Standortes können bei Unterschreitungen von 2,3D im Einzelfall dennoch belastbare Aussagen zur Standorteignung getroffen werden. Sollte aus Sicht der nachlaufverur-

sachenden WEA ein WEA-Abstand von ca. 2,0D unterschritten werden, so stellen sich erfahrungsgemäß die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität als signifikant unplausibel dar und werden nicht mehr ausgewiesen.

2.2 Nachweis durch Vergleich der Lasten

Werden eine oder mehrere standortspezifische Windbedingungen nicht durch die Windbedingungen der Typenprüfung abgedeckt, so ist es gemäß Kapitel 16.2.c der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ ggf. möglich, die Standorteignung der WEA auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten und/oder auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches der Extremlasten nachzuweisen. Dieser ist verglichen zum Nachweis durch einen vereinfachten Vergleich der Windbedingungen (siehe Kapitel 2.1) im Allgemeinen sehr aufwändig. Für den Fall, dass die standortspezifischen Lasten unterhalb oder auf dem Niveau der Auslegungslasten liegen, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde gelegt wurden, ist die Standsicherheit, also auch die Standorteignung der WEA, lastseitig gewährleistet. Sollten die standortspezifischen Lasten oberhalb der Auslegungslasten der Typenprüfung liegen, kann die Standorteignung der betroffenen WEA nicht nachgewiesen werden.

Neben den windgeschwindigkeitsabhängig ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} gehen gemäß Kapitel 16.2.a der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ weitere Windbedingungen (u.a. auch die standortspezifische, mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m) als Eingangsgrößen in den Lastvergleich der Betriebsfestigkeitslasten ein. Sind die übrigen Windbedingungen am Standort niedriger als die Windbedingungen der Auslegung, so ist ein Nachweis der Standorteignung trotz Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensitäten oft möglich. Gemäß Kapitel 16.2.c.i der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ müssen im Falle eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten für WEA, die nach /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, die effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} mindestens von v_{in} bis $0,4v_{\text{ref}}$ vorliegen. Für Windgeschwindigkeiten, bei denen die effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} in dieser gutachtlichen Stellungnahme nicht abgedeckt sind, müssen diese für die Bestimmung der Betriebsfestigkeitslasten als konstant mit dem Wert für die größte ermittelte Windgeschwindigkeit angenommen werden.

Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, können die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} bei zu geringen WEA-Abständen erfahrungsgemäß nur begrenzt belastbar sein. Wird dies durch eine Einzelfallprüfung bestätigt, sollten die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten am Standort nicht im Rahmen eines standortspezifischen Lastvergleiches verwendet werden.

Ist für WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten sind, ein Lastvergleich auf Basis der Betriebsfestigkeitslasten durchzuführen, sind hierfür die in Kapitel 16.2.a der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ aufgeführten Windbedingungen zu ermitteln. Für einen Lastvergleich auf Basis der Extremlasten sind hingegen extreme Windbedingungen zu ermitteln. Ist der Standort für WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu Grunde gelegt wird, nach DIN EN 61400-1:2011 /8/ als orografisch komplex anzusehen, so ist der Nachweis der Standorteignung für WEA durch den Nachweis der Integrität der Konstruktion nach /8/ durchzuführen. Als ein weiterer zu den in Kapitel 16.2.a der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ genannten Windbedingungen muss hierfür die Neigung der Anströmung $\varphi_{\text{inkl.}}$ sowie die extreme Turbulenzintensität ermittelt werden.

Bei WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ zu Grunde gelegt wird, darf der Lastvergleich der Betriebsfestigkeitslasten, unabhängig von der Komplexität des Geländes, nach /7/ durchgeführt werden.

3 Randbedingungen



3.1 Windparkkonfiguration

In Tabelle 1 bzw. Abbildung 1 sind die vom Auftraggeber übermittelten Daten zur Windparkkonfiguration dargestellt /32/.

Die Bezeichnung der einzelnen WEA in dieser gutachtlichen Stellungnahme bezieht sich auf die laufende Nummer, die aus Tabelle 1 ersichtlich ist. Die Angabe aller Koordinaten in dieser gutachtlichen Stellungnahme erfolgt im Koordinatensystem UTM ETRS89, Zone 33.

Für die WEA des Typs Vestas V172, 7,20 MW mit 175,0 m NH (WEA 1 bis 14) liegt derzeit noch keine gültige Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ vor. Deren Auslegungswerte (siehe Kapitel 3.2) gelten daher nur unter Vorbehalt. Eine Verringerung der heranzuziehenden Auslegungswerte erfordert eine Neubewertung der Standorteignung.

Im Rahmen der nachfolgenden Bewertung werden keine Betriebsbeschränkungen von WEA berücksichtigt.

Lfd. WEA- Nr.		WEA- Bezeich- nung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
			Rechts- wert	Hoch- wert				
	1	WEA 1	471800	5740433	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	2	WEA 2	471395	5740762	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	3	WEA 3	471133	5741160	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	4	WEA 4	470480	5741220	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	5	WEA 5	469753	5741109	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	6	WEA 6	469176	5740728	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	7	WEA 7	468487	5740669	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	8	WEA 8	468410	5740184	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	9	WEA 9	468824	5739736	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	10	WEA 10	468840	5739165	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	11	WEA 11	469828	5737710	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	12	WEA 12	470175	5737300	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	13	WEA 13	470835	5737720	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	14	WEA 14	469097	5740298	Vestas V172	7,20	172,0	175,0
	15	FBII_01	470039	5740787	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
	16	FBII_02	469691	5740372	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
	17	FBII_03	470444	5740537	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
	18	FBII_04	469348	5739749	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
	19	FBII_05	469990	5740055	Vestas V162	6,20	162,0	169,0


















Lfd. WEA- Nr.	WEA- Bezeich- nung	Koordinaten [m]		WEA-Typ	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]
		Rechts- wert	Hoch- wert				
 20	FBII_06	470678	5740233	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 21	FBII_07	470014	5739665	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 22	FBII_08	470611	5739814	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 23	FBII_09	469436	5739269	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 24	FBII_10	470074	5739291	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 25	FBII_11	470586	5739215	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 26	FBII_12	469526	5738806	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 27	FBII_13	470191	5738916	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 28	FBII_14	469638	5738348	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 29	FBII_15	470343	5738541	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 30	FBII_16	470018	5738182	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 31	FBII_17	470492	5738193	Vestas V162	6,20	162,0	169,0
 32	exWEA01	471070	5740021	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0
 33	exWEA02	471130	5739617	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0
 34	exWEA03	471090	5739257	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0
 35	exWEA04	471003	5738888	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0
 36	exWEA05	470951	5738287	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0

Tabelle 1: Windparkkonfiguration



Abbildung 1: Lage des Windparks, Symbole und Beschriftungen aus /22/, Luftbild aus /23/.

Der geringste auf den jeweils größeren Rotordurchmesser bezogene dimensionslose Abstand s_i zwischen zwei WEA, von denen mindestens eine WEA vom Auftraggeber neu geplant ist, liegt bei 2,50D_{Vestas V172}. Dies betrifft die WEA 5 und 15 mit einem Abstand von ca. 430 m.

Es werden alle WEA mit einem auf den jeweils größeren Rotordurchmesser D bezogenen dimensionslosen Abstand s_i von kleiner 8D zu den neu geplanten WEA in die nachfolgenden Betrachtungen einbezogen (siehe Kapitel 2.1). In die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität gehen alle WEA aus Tabelle 1 ein. Der Abstand der WEA 25 zu den neu geplanten WEA 1 bis 14 ist größer acht Rotordurchmesser. Demzufolge erfolgt für diese WEA keine Bewertung der Standorteignung.

3.2 Windbedingungen der Auslegung

Gemäß des in Kapitel 16.2.b der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ beschriebenen vereinfachten Vergleichs der Windbedingungen am Standort auf jeweiliger Nabenhöhe sind für geplante WEA neben der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} auch die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m sowie die Windzone des Standortes gemäß Windzonenkarte /6/ bzw. die 50-Jahreswindgeschwindigkeit v_{50} mit den jeweiligen Auslegungswerten der Typenprüfung zu vergleichen (siehe Kapitel 2.1). Die Ermittlung und Bewertung dieser Windbedingungen am Standort erfolgen in den nachfolgenden Kapiteln.

In Tabelle 2 sind für die WEA, deren Standorteignung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu beurteilen ist, die für den vereinfachten Vergleich notwendigen Windbedingungen der Auslegung auf Basis von Dokumenten des jeweiligen WEA-Herstellers dargestellt. Die in Kapitel 8 zitierten Quellenangaben der verwendeten Windbedingungen der Auslegung können ggf. von den Dokumenten, die im späteren Genehmigungsverfahren bei der zuständigen Genehmigungsstelle eingereicht werden, abweichen. Werden die in Tabelle 2 zu Grunde gelegten Auslegungswerte jedoch weiterhin durch die Auslegungswerte der mit der Genehmigung eingereichten Typenprüfung abgedeckt, behalten die in die-

Die Entwurfslebensdauer der geplanten WEA 1 bis 14 des Typs Vestas V172, 7,20 MW mit 175,0 m NH beträgt 25 Jahre.

Lfd. WEA-Nr.		Windzone (WZ) und Geländekategorie (GK) der Typenprüfung	Turbulenzkategorie nach DIN EN 61400-1:2011	V _m [m/s]	V _{ref} [m/s]	Ref.
	1	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	2	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	3	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	4	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	5	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	6	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	7	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	8	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	9	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	10	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	11	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	12	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	13	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	14	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,20	38,00	/39/, /40/
	15	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	16	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	17	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	18	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	19	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	20	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	21	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
	22	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/














Lfd. WEA-Nr.	Windzone (WZ) und Geländekategorie (GK) der Typenprüfung	Turbulenzkategorie nach DIN EN 61400-1:2011	V _m [m/s]	V _{ref} [m/s]	Ref.
 23	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 24	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 26	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 27	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 28	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 29	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 30	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 31	WZ S	gem. WEA-Hersteller	7,50	37,60	/36/, /37/, /38/
 32	IEC IIIA /8/, WZ 3, GK II /6/	A	7,54	41,90	/41/, /42/
 33	IEC IIIA /8/, WZ 3, GK II /6/	A	7,54	41,90	/41/, /42/
 34	IEC IIIA /8/, WZ 3, GK II /6/	A	7,54	41,90	/41/, /42/
 35	IEC IIIA /8/, WZ 3, GK II /6/	A	7,54	41,90	/41/, /42/
 36	IEC IIIA /8/, WZ 3, GK II /6/	A	7,54	41,90	/41/, /42/

Tabelle 2: Auslegungswerte für die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu beurteilenden WEA

3.3 Winddaten am Standort

Die relativen Häufigkeiten der Windrichtung und die Weibullverteilung wurden vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt /32/ und werden als richtig und repräsentativ für die freie Anströmung am Standort Forst-Briesnig 3 vorausgesetzt.

In /32/ sind die Winddaten am Standort der WEA 24 für zwei Höhen (139,0 m und 167,0 m) angegeben und werden in den Berechnungen dementsprechend verwendet. Die Winddaten sind in Tabelle 3 bzw. Abbildung 2 beispielhaft für eine Höhe von 167,0 m ü. Grund dargestellt.

Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v_m ist nicht in /32/ angegeben und wurde daher auf Basis des in /16/ beschriebenen Verfahrens unter Nutzung der sektoriellen Winddaten am Standort bestimmt.

Die Umrechnung der Winddaten /32/ auf andere Höhen erfolgt für die Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} durch Bestimmung des mittleren Höhenexponenten für das exponentielle Windprofil (α) auf Basis der am Standort ermittelten Rauigkeitsklassifizierung (siehe Kapitel 4.5).

Richtungssektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung	
		A [m/s]	k [-]
N	0,042	5,96	1,927
NNO	0,045	5,62	1,906
ONO	0,055	6,58	2,208
O	0,077	7,48	2,528
OSO	0,068	7,17	2,400
SSO	0,055	6,67	2,295
S	0,075	8,54	2,284
SSW	0,089	8,92	2,515
WSW	0,162	9,78	2,713
W	0,169	8,99	2,387
WNW	0,108	7,29	2,227
NNW	0,056	6,14	2,056
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	7,97	2,199
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit v _m [m/s]		7,06	

Tabelle 3: Winddaten am Standort Forst-Briesnig 3 (Bezugshöhe 167,0 m ü. Grund) /32/

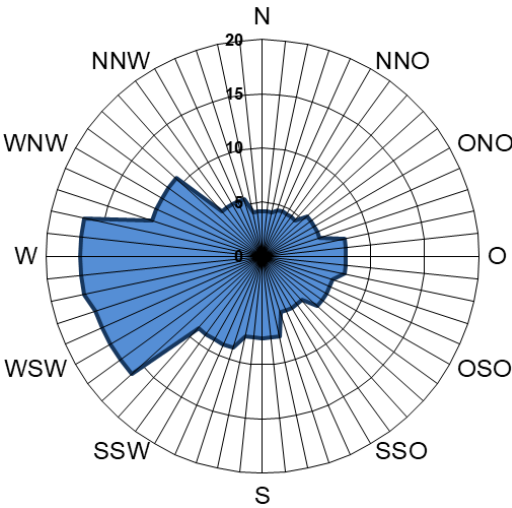


Abbildung 2: Relative Häufigkeit der Windrichtung am Standort Forst-Briesnig 3 in Prozent (Bezugshöhe 167,0 m ü. Grund) /32/

4 Durchgeführte Untersuchungen

4.1 Standortbesichtigung

Gemäß der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ ist der Ermittlung der Standortbedingungen eine Standortbesichtigung zu Grunde zu legen. Die Gegebenheiten vor Ort müssen entsprechend aufgenommen und anhand von Fotos der Standortumgebung (360° Rundumansicht) dokumentiert werden.

Während der Standortbesichtigung sollen einzelne, ausgeprägte Hindernisse in der nahen Umgebung der zu bewertenden WEA, die sich in Form erhöhter Turbulenzen auf benachbarte WEA auswirken können und durch eine übliche Rauigkeitsklassifizierung (siehe Kapitel 4.5) i.d.R. nicht erfasst werden können, aufgenommen werden. Des Weiteren muss zur Ermittlung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{50} die Geländekategorie (GK) nach DIN EN 1991-1-4/NA /6/ bestimmt werden. Zu den ausgeprägten Hindernissen, die bei der Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität gesondert zu bewerten sind, zählen insbesondere

- große Einzelstrukturen (z.B. Gebäude, Türme, o.ä.),
- ausgeprägte Waldkanten,
- steile bzw. grobe Geländekanten (z.B. Abhänge, Tagebau, o.ä.).

Die Standortbesichtigung wurde von dem Mitarbeiter der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG Herrn T. Weiß am 12.08.2024 durchgeführt und die Gegebenheiten vor Ort entsprechend aufgenommen und dokumentiert /33/. Hierbei wurden in der unmittelbaren Umgebung des Standortes keine ausgeprägten Hindernisse mit relevanter Größe bzw. Entfernung festgestellt.

Das Gelände am Standort lässt sich nach DIN EN 1991-1-4 bzw. DIN EN 1991-1-4/NA /6/ in GK II einordnen.

4.2 Komplexität des Geländes

In der nachfolgenden Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität erfolgt die Bewertung der Komplexität des Geländes für alle zu bewertenden WEA nach IEC 61400-1, Ed. 4 /10/.

In orografisch strukturiertem Gelände können große Höhendifferenzen und Geländesteigungen zu erhöhten Umgebungsturbulenzen führen. Die Kriterien zur Bewertung der Komplexität des Geländes durch Definition von insgesamt 37 an das Gelände angenäherten Ebenen sind in der IEC 61400-1, Ed. 4 /10/ erläutert. In Abhängigkeit der Neigung der angenäherten Ebenen und der vertikalen Abweichung zwischen den angenäherten Ebenen und der tatsächlichen Geländeorografie sowie des jeweiligen Anteils der Windenergie aus diesem Sektor, ergeben sich Indizes für die Gelände-neigung und für die vertikale Geländeabweichung. Überschreitet mindestens einer der Indizes die in Tabelle 4 aufgeführten Grenzwerte, so gilt das Gelände als komplex und es muss für den Nachweis der Integrität der Konstruktion mit Bezug auf die Winddaten für diesen Sektor eine Erhöhung der longitudinalen Komponente der Umgebungsturbulenzintensität durch Multiplikation mit einem Turbulenzstrukturparameter C_{CT} erfasst werden /10/. Je nachdem, welches Limit hierbei überschritten wird, ergibt sich eine Komplexitätskategorie von L, M oder H, der ein entsprechender Turbulenzstrukturparameter von $C_{CT} = 1,05$ (L), $1,10$ (M) oder $1,15$ (H) zuzuordnen ist.

Radius der Kreisfläche um die WEA	Sektor-amplitude der an das Gelände angenäher-ten Ebene	Grenzwert (unteres Limit)					
		Index für Geländeneigung			Index für vertikale Geländeabweichung		
		L	M	H	L	M	H
5 • z _{hub}	360°	10°	15°	20°	2 %	4 %	6 %
5 • z _{hub}	30°						
10 • z _{hub}							
20 • z _{hub}							

Tabelle 4: Bewertungskriterien der Komplexität des Geländes /10/

Zur Bewertung nach den in Tabelle 4 genannten Kriterien werden auf Basis von Höhendaten /17/ an die Orografie angenäherte geneigte Ebenen nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate definiert.

Die Bewertung der Komplexität des Geländes erfolgt für alle zu bewertenden WEA, für die eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ vorliegt bzw. anzunehmen ist. Darüber hinaus wird die Komplexität des Geländes für geplante WEA bewertet, denen eine Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/ zu Grunde liegt und für bestehende WEA mit einer Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2004 /4/, bei denen im damaligen Genehmigungsverfahren eine Bewertung der Komplexität des Geländes erfolgt ist. Kann anhand der vom Auftraggeber eingereichten Unterlagen die damalige Bewertungsgrundlage von bestehenden WEA nicht oder nur unvollständig festgestellt werden, wird für diese WEA konservativ ebenso eine Bewertung der Komplexität des Geländes vorgenommen.

In der nachfolgenden Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität erfolgt für die WEA 1 bis 24 und 26 bis 36 eine Bewertung der Komplexität des Geländes nach /10/.

Am Standort Forst-Briesnig 3 werden an den WEA 1 bis 24 und 26 bis 36 keine der in der Tabelle 4 genannten Komplexitätskriterien überschritten, so dass kein erhöhter Turbulenzstrukturparameter C_{CT} zur Erhöhung der Umgebungsturbulenzintensität berücksichtigt wird. Des Weiteren darf der Nachweis der Standorteignung für WEA, die im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ betrachtet und bewertet werden, nach dem in /5/ beschriebenen vereinfachten Vergleich durchgeführt werden.

4.3 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe

Gemäß Kapitel 16.2.b.iii der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ ist der Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{50} zunächst durch einen Vergleich der Windzone des Standortes gemäß Windzonenkarte /6/ mit der Windzone der Auslegung gemäß Typenprüfung möglich. Wird die Windzone des Standortes nicht abgedeckt, so ist die direkte Bestimmung von v_{50} erforderlich. Wie in Kapitel 2.1 beschrieben, erfolgt ein Vergleich von v_{50} nur für geplante WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ betrachtet und bewertet werden und nicht für WEA, die als Vorbelastung in die Berechnung eingehen.

Der Standort Forst-Briesnig 3 (Brandenburg) liegt nach /21/ in der Windzone 2 gemäß Windzonenkarte /6/. Die Geländekategorie lässt sich gemäß Kapitel 4.1 in GK II einordnen.

Bei WEA, deren Windzone der Auslegung gemäß Typenprüfung (siehe Tabelle 2) nicht die Windzone des Standortes gemäß Windzonenkarte /6/ abdecken bzw. deren Windzone der Auslegung gesondert als S-Klasse angegeben ist, wird die standortspezifische 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe auf Basis von Reanalyse-Daten ermittelt.

Die Ermittlung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe am Standort wurde mit dem WindPRO Site Compliance Modul durchgeführt /24/. Auf Basis der hierfür zu Grunde gelegten EMD-ConWx Daten /25/ werden aus den langjährigen Zeitreihen die jährlichen Maxima der Windgeschwindigkeiten gefiltert und über die Verteilungsfunktion nach Gumbel auf eine Wiederkehrperiode von 50 Jahren durch Extrapolation angepasst /26/, /27/. Als geografische Daten werden dabei digitale Landnutzungsdaten /1/ sowie ein digitales Höhenmodell /17/, /28/, /29/ zu Grunde gelegt. Die EMD-ConWx Daten /25/ liegen für ein Mittelungsintervall von 60 min vor. Gegenüber dem üblichen Mittelungsintervall von 600 s (10 min) ist gemäß WindPro /24/ mit einer Unterschätzung der 50-Jahreswindgeschwindigkeit von 5 bis 10% zu rechnen. Aus diesem Grund wird die bestimmte 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{50} nochmals mit einem Aufschlag von 10% erhöht.

In der nachfolgenden Tabelle 5 ist für nachzuweisende WEA die ermittelte 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe dargestellt.















Lfd. WEA-Nr.	WEA-Typ	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]	v ₅₀ [m/s]
 1	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,8
 2	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,9
 3	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	32,1
 4	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	32,1
 5	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	32,0
 6	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,8
 7	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,7
 8	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,6
 9	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,4
 10	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,3
 11	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,2
 12	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,4
 13	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,6
 14	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	31,6




Tabelle 5: 50-Jahreswindgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe für nachzuweisende WEA am Standort Forst-Briesnig 3

4.4 Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe

Für den in /5/ aufgeführten vereinfachten Vergleich der Windbedingungen am Standort mit den jeweiligen Auslegungswerten zur Beurteilung der Standorteignung, ist gemäß Kapitel 16.2.b.i die Bestimmung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m notwendig. Die Bestimmung von v_m erfolgt für WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ betrachtet und bewertet werden.

Die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m wird auf Basis der Winddaten /32/ entnommen bzw. bei geringfügigen Höhendifferenzen umgerechnet (siehe Kapitel 3.3).

In der nachfolgenden Tabelle 6 sind für WEA, die nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ betrachtet und bewertet werden, die mittleren Jahreswindgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe v_m und die dazugehörigen mittleren Formparameter der Weibullverteilung k dargestellt. Bei Umrechnung des mittleren Formparameters der Weibullverteilung k auf andere Höhen wird angenommen, dass sich dieser mit der Höhe nicht verändert. Die Umrechnung der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit v_m für die geplanten WEA 1 bis 14 erfolgt unter Verwendung eines konservativ hohen mittleren Höhenexponenten von $\alpha = 0,35$.

Lfd. WEA-Nr.	WEA-Typ	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]	v _m [m/s]	k [-]
 1	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
 2	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
 3	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199

Lfd. WEA-Nr.		WEA-Typ	P _{Nenn} [MW]	D [m]	NH [m]	v _m [m/s]	k [-]
	4	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	5	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	6	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	7	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	8	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	9	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	10	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	11	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	12	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	13	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	14	Vestas V172	7,20	172,0	175,0	7,18	2,199
	15	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	16	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	17	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	18	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	19	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	20	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	21	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	22	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	23	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	24	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	26	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	27	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	28	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	29	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	30	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	31	Vestas V162	6,20	162,0	169,0	7,08	2,199
	32	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0	6,64	2,165
	33	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0	6,64	2,165
	34	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0	6,64	2,165
	35	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0	6,64	2,165
	36	Senvion 3.2M122 NES	3,20	122,0	139,0	6,64	2,165

Tabelle 6: mittlere Jahreswindgeschwindigkeiten auf Nabenhöhe v_m und zugehörige mittlere Formparameter der Weibullverteilung k für nachzuweisende WEA am Standort Forst-Briesnig 3 /32/

Gemäß Kapitel 16.2.b.i der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ muss die mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m der WEA um mindestens 5% kleiner als gemäß dem Auslegungswert der zu Grunde gelegten Typenprüfung sein. Für mittlere Formparameter der Weibullverteilung $k \geq 2$ ist hingegen auch eine größere mittlere Jahreswindgeschwindigkeit erlaubt, wenn diese noch unterhalb dem Auslegungswert der zu Grunde gelegten Typenprüfung liegt.

4.5 Umgebungsturbulenzintensität

Die Turbulenzintensität definiert allgemein das Verhältnis der Standardabweichung σ der zeitlichen Windgeschwindigkeitsverteilung zu ihrem Mittelwert bezogen auf ein Intervall von 600 s (10 min). 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 die charakteristische Turbulenzintensität I_{char} /4/ bzw. die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} /5/ zu Grunde zu legen. Die charakteristische Turbulenzintensität ergibt sich dabei aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität. Da die mittlere Umgebungsturbulenzintensität im Folgenden rechnerisch ermittelt wird, wird die charakteristische Turbulenzintensität gemäß /11/ durch Multiplikation der mittleren Umgebungsturbulenzintensität mit dem Faktor 1,2 gebildet. Die in /5/ definierte repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} (90%-Quantil) ergibt sich aus der Addition der mittleren Umgebungsturbulenzintensität und der 1,28fachen Standardabweichung. Dies entspricht der Multiplikation der rechnerisch ermittelten mittleren Umgebungsturbulenzintensität mit dem Faktor 1,256.

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/, wobei Geländeabschnitte bis 25 km Entfernung um jeden WEA-Standort einbezogen werden. Ggf. kann die Typisierung auf Basis der amtlichen topografischen Karten /17/ erfolgen bzw. angepasst werden. Den einzelnen Geländeabschnitten werden anschließend Rauigkeitsklassen gemäß den Empfehlungen des für die Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten Europäischen Windatlanten /16/ zugeordnet. Der Einfluss der verschiedenen Geländeabschnitte wird abhängig vom Abstand zum jeweiligen WEA-Standort in zwölf Richtungssektoren à 30° bewertet, wodurch sich gewichtete mittlere Werte für die Rauigkeiten in den jeweiligen Sektoren ergeben.

Auf Grundlage dieser Rauigkeitsklassifizierung werden die charakteristischen bzw. repräsentativen Turbulenzintensitäten auf Basis der Empfehlungen aus /20/ für jeden einzelnen WEA-Standort bestimmt. Die charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensitäten sind im Gegensatz zu den Rauigkeiten nicht nur richtungsabhängig, sondern auch abhängig von der Windgeschwindigkeit und Höhe über Grund und werden entsprechend programmintern für die verschiedenen Richtungen, Windgeschwindigkeiten und Nabenhöhen ermittelt. Der Windgeschwindigkeitsverlauf orientiert sich dabei am Normalen Turbulenzmodell (NTM) /8/. In der nachfolgenden Tabelle 7 sind beispielhaft die Werte der charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensität für eine Nabenhöhe und Windgeschwindigkeit aufgeführt. Diese Werte berücksichtigen noch keinen ggf. anzusetzenden Turbulenzstrukturparameter C_{CT} für orografisch komplex anzusehende Standorte zur Erhöhung der Umgebungsturbulenz (siehe Kapitel 4.2).

Richtungssektoren	Charakteristische Turbulenzintensität [%]	Repräsentative Turbulenzintensität [%]
N	11,9	12,5
NNO	11,5	12,0
ONO	11,8	12,4
O	11,6	12,1
OSO	11,2	11,7
SSO	11,5	12,0
S	11,5	12,0
SSW	11,4	11,9
WSW	11,4	11,9
W	11,3	11,8
WNW	11,2	11,7
NNW	11,7	12,2

Tabelle 7: Beispielhafte Werte der charakteristischen und repräsentativen Turbulenzintensität am Standort Forst-Briesnig 3 für die Koordinaten 469874 / 5739871, Bezugswerte: $v = 15 \text{ m/s}$, $z = 175,0 \text{ m}$

4.6 Effektive Turbulenzintensität

Das verwendete Berechnungsverfahren für die effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe ist in Kapitel 2.1 beschrieben. Für den materialspezifischen Exponenten der Wöhlerlinie m wird die Strukturkomponente der WEA mit dem höchsten Exponenten zu Grunde gelegt. Daraus ergibt sich vereinfacht für allgemein gebräuchliche WEA ein Wert von $m = 10$ /19/ für glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK) mit einem Fasergehalt von mindestens 30 Vol.-% und höchstens 55 Vol.-% /12/. Für kohlenstofffaserverstärkte Kunststoffe (CFK) mit einem Fasergehalt von mindestens 50 Vol.-% und höchstens 60 Vol.-% und einer Epoxidharzmatrix wird ein Wert von $m = 14$ vorgeschlagen /12/. Bei hiervon abweichenden Fasergehalten oder Matrixharzen müssen ggf. herstellerspezifische materialspezifische Exponenten der Wöhlerlinie verwendet werden. Ebenso können WEA-Hersteller nachweisen, dass auch unter Verwendung geringerer materialspezifischer Exponenten der Wöhlerlinie der Vergleich der Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensitäten mit den Auslegungswerten für einen strukturellen Ermüdungsnachweis zulässig ist. In den Ergebnistabellen für die effektiven Turbulenzintensitäten sind WEA, für die ggf. ein von $m = 10$ abweichender materialspezifischer Exponent zu Grunde gelegt wird, entsprechend markiert ($m = x$).

Entsprechend der Definition der Turbulenzintensität steigt ihr Wert mit abnehmender Windgeschwindigkeit an. Diesem physikalischen Umstand tragen die DIBt-Richtlinien 2004 /4/ und 2012 /5/ Rechnung, indem sie die Auslegungswerte für die Turbulenzintensität windgeschwindigkeitsabhängig definieren.



















Für die WEA 1 bis 24 und 26 bis 36, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu Grunde gelegt wird bzw. unter Vorbehalt unterstellt werden kann, sind die windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität in Tabelle 8 maßgeblich für eine Bewertung der Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität. Als Teil der Auslegung bezieht sich die DIBt-Richtlinie 2012 /5/ bzw. /8/ auf die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} .




















Der Vergleich der Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensität für WEA, die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinien 2012 /5/ oder 2004 /4/ besitzen, erfolgt mit den jeweils zu Grunde gelegten

Auslegungswerten. Sollten Auslegungswerte von der Turbulenzkategorie A nach /8/ bzw. /7/ abweichen, werden die WEA in Tabelle 8 farblich markiert.

Im Falle von Überschreitungen der Auslegungswerte der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde zu legen sind, sind diese in Tabelle 8 jeweils fett und kursiv gedruckt.

In die Betrachtung der effektiven Turbulenzintensität werden nur WEA mit einem auf den jeweils größeren Rotordurchmesser D bezogenen dimensionslosen Abstand s_i von kleiner acht Rotordurchmesser zu den neu geplanten WEA einbezogen (siehe Kapitel 3.1).

DIBt-Richtlinie		DIBt 2012							
Windgeschwindigkeit [m/s]		4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 3 /8/ (Kurve A)		29,9	24,8	22,0	20,1	18,9	18,0	17,3	16,7
Auslegungswert [%] Vestas V162, 6,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Auslegungswert [%] Vestas V172, 7,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Lfd. WEA-Nr.		Ergebnisse [%] auf NH der WEA							
<u>vor</u> dem Zubau der WEA 1 bis 14									
	15	25,0	22,9	21,7	19,2	16,6	14,9	13,8	12,7
	16	25,7	23,2	21,5	18,5	15,7	13,8	12,7	12,0
	17	27,0	24,8	23,3	20,3	17,3	15,3	14,1	13,0
	18	24,9	22,4	21,0	18,5	16,0	14,3	13,3	12,4
	19	27,6	25,3	24,0	21,2	18,4	16,4	15,0	13,7
	20	27,7	25,3	24,0	21,1	18,3	16,3	15,0	13,7
	21	28,0	25,6	24,2	21,4	18,5	16,5	15,2	13,9
	22	26,7	24,0	22,5	19,9	17,4	15,7	14,5	13,4
	23	25,8	23,2	21,7	19,0	16,3	14,5	13,4	12,5
	24	28,2	25,6	24,1	21,0	18,0	16,0	14,7	13,5
	26	25,9	23,2	21,6	18,8	16,1	14,3	13,2	12,4
	27	27,9	25,2	23,5	20,4	17,4	15,5	14,3	13,2
	28	26,3	23,9	22,3	19,2	16,0	13,8	12,4	11,7
	29	28,1	25,7	24,2	21,3	18,3	16,3	15,0	13,7
	30	27,3	25,0	23,6	20,5	17,4	15,3	13,9	12,8
	31	27,4	25,0	23,7	20,9	18,1	16,2	14,9	13,7
	32	27,1	24,9	23,8	21,3	18,6	16,8	15,5	14,0
	33	26,4	24,0	22,5	20,1	17,7	16,1	14,9	13,8

DIBt-Richtlinie		DIBt 2012							
Windgeschwindigkeit [m/s]		4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 3 / 8/ (Kurve A)		29,9	24,8	22,0	20,1	18,9	18,0	17,3	16,7
Auslegungswert [%] Vestas V162, 6,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Auslegungswert [%] Vestas V172, 7,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Lfd. WEA-Nr.		Ergebnisse [%] auf NH der WEA							
	34	26,8	24,4	23,1	20,7	18,2	16,4	15,3	14,0
	35	25,9	23,2	21,6	19,1	16,8	15,3	14,3	13,2
	36	26,1	24,0	23,1	20,8	18,3	16,5	15,3	13,7
<u>nach</u> dem Zubau der WEA 1 bis 14									
	1	24,3	21,9	20,4	18,1	15,7	14,0	13,0	12,2
	2	25,8	23,2	21,5	18,8	16,1	14,3	13,2	12,4
	3	24,9	22,6	21,2	18,9	16,5	14,9	13,8	13,0
	4	24,9	22,6	21,4	19,8	17,4	15,6	14,4	13,4
	5	25,8	23,4	22,0	20,0	17,1	15,2	14,0	13,0
	6	26,2	24,2	23,0	20,8	18,2	16,3	15,0	13,9
	7	24,7	22,6	21,4	19,2	16,8	15,0	13,8	12,9
	8	24,9	22,1	20,2	17,5	14,9	13,1	12,1	11,5
	9	25,8	23,2	21,6	19,4	16,5	14,5	13,2	12,4
	10	24,4	21,4	19,7	17,6	14,9	13,0	12,0	11,5
	11	24,9	22,1	20,2	17,3	14,7	13,0	12,1	11,6
	12	23,8	21,0	19,2	16,8	14,4	12,9	12,0	11,6
	13	23,8	21,1	19,6	17,8	15,7	14,3	13,3	12,6
	14	26,7	24,0	22,4	20,0	17,2	15,3	14,0	13,1
	15	27,4	24,9	23,4	20,6	17,7	15,7	14,4	13,3
	16	27,1	24,5	22,9	20,2	17,6	15,7	14,5	13,5
	17	27,5	25,0	23,5	20,4	17,4	15,5	14,2	13,2
	18	26,9	24,5	23,2	20,7	18,2	16,3	15,0	14,0
	19	27,8	25,4	24,1	21,3	18,5	16,5	15,2	13,9
	20	27,9	25,4	24,0	21,2	18,3	16,3	15,0	13,8
	21	28,1	25,6	24,3	21,5	18,6	16,6	15,3	14,0
	22	26,8	24,1	22,6	20,0	17,4	15,7	14,5	13,5














DIBt-Richtlinie		DIBt 2012							
Windgeschwindigkeit [m/s]		4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20
Auslegungswert [%] IEC, Ed. 3 /8/ (Kurve A)		29,9	24,8	22,0	20,1	18,9	18,0	17,3	16,7
Auslegungswert [%] Vestas V162, 6,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Auslegungswert [%] Vestas V172, 7,20MW		30,6	26,0	23,0	19,2	15,8	14,2	13,3	12,7
Lfd. WEA-Nr.		Ergebnisse [%] auf NH der WEA							
	23	26,7	24,2	22,7	20,1	17,5	15,7	14,5	13,4
	24	28,2	25,7	24,1	21,1	18,1	16,1	14,8	13,6
	26	26,2	23,4	21,8	19,0	16,3	14,5	13,4	12,5
	27	27,9	25,3	23,6	20,5	17,5	15,6	14,3	13,3
	28	26,7	24,1	22,5	19,4	16,2	14,1	12,7	12,0
	29	28,1	25,7	24,3	21,3	18,4	16,4	15,0	13,8
	30	27,9	25,6	24,2	21,3	18,3	16,2	14,7	13,5
	31	27,8	25,4	24,0	21,2	18,4	16,4	15,2	14,0
	32	27,3	25,0	23,9	21,3	18,6	16,8	15,5	14,0
	33	26,5	24,0	22,5	20,2	17,7	16,1	14,9	13,8
	34	26,8	24,4	23,1	20,7	18,2	16,4	15,3	14,0
	35	26,0	23,2	21,6	19,2	16,9	15,4	14,4	13,3
	36	26,7	24,6	23,6	21,2	18,7	16,9	15,6	14,1

Tabelle 8: Ergebnisse für die effektiven Turbulenzintensitäten auf Nabenhöhe (DIBt 2012 /5/)

4.7 Weitere Windbedingungen

Ist der Standort gemäß den in Kapitel 4.2 durchgeführten Untersuchungen als orografisch komplex anzusehen, so muss der Nachweis der Standorteignung für WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu Grunde gelegt wird, durch den Nachweis der Integrität der Konstruktion nach /8/ durchgeführt werden. Hierfür sind die in Kapitel 2 dargestellten Windbedingungen für den Standort zu ermitteln. Die Bestimmung weiterer Windbedingungen kann ebenso erforderlich sein, wenn eine oder mehrere standortspezifische Windbedingungen des vereinfachten Vergleiches nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ nicht durch die Windbedingungen der Typenprüfung abgedeckt werden und die Standorteignung der WEA daher auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches durchgeführt werden soll. Für diesen Vergleich der standortspezifischen Lasten zu den Lastannahmen der Typenprüfung müssen zusätzlich der mittlere Höhenexponent α sowie die mittlere Dichte der Luft ρ am Standort bestimmt werden. Bei komplexem Gelände ist für WEA, für die eine Typenprüfung auf Basis der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu Grunde gelegt wird, darüber hinaus die Neigung der Anströmung (Inklinationswinkel) $\varphi_{\text{Inkl.}}$ sowie die extreme Turbulenzintensität zu ermitteln. Da die Neigung der Anströmung $\varphi_{\text{Inkl.}}$ in Lastvergleichen üblicherweise als weiterer Parameter mit einbezogen wird, wird diese auch für die Fälle ermittelt, in denen der Standort nicht als orografisch komplex anzusehen ist.

Die Ermittlung weiterer standortspezifischer Windbedingungen erfolgt für WEA, deren Standorteignung ggf. gesondert mittels standortspezifischer Lastvergleiche der Betriebsfestigkeitslasten nachgewiesen werden kann, um auf sektorielle Betriebsbeschränkungen verzichten zu können. Diese Daten sind in Kapitel 9 ausgewiesen.

4.7.1 Mittlerer Höhenexponent

Es werden die auf die jeweiligen Nabenhöhen bezogenen mittleren Höhenexponenten α für alle nachzuweisenden WEA am Standort ermittelt und in Kapitel 9 ausgewiesen. Sofern die Auslegungswerte nicht gesondert vom WEA-Hersteller angegeben sind (S-Klasse), ist der mittlere Höhenexponent α im Auslegungsfall gemäß /8/ mit 0,2 anzunehmen. Die Ermittlung der standortspezifischen mittleren Höhenexponenten α zur Beschreibung der Windscherung erfolgt auf Basis der am Standort ermittelten Rauigkeitsklassifizierung (siehe Kapitel 4.5).

4.7.2 Mittlere Luftdichte

Es wird die mittlere Luftdichte ρ auf Nabenhöhe für alle nachzuweisenden WEA am Standort ermittelt und in Kapitel 9 ausgewiesen. Sofern die Auslegungswerte nicht gesondert vom WEA-Hersteller angegeben sind (S-Klasse), ist ihr Wert im Rahmen der Auslegung mit $\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$ anzunehmen /8/. Die mittlere Luftdichte ρ am Standort soll sich auf Windgeschwindigkeiten oberhalb der Nennwindgeschwindigkeit ($v \geq v_{\text{Nenn}}$) beziehen /8/. Für deren Ermittlung werden langjährige Messzeitreihen der Temperatur und Luftdichte der DWD-Messstationen verwendet und mit Hilfe des in der Software WAsP implementierten Air Density Calculator /30/ auf den zu beurteilenden Standort übertragen. Die in Kapitel 9 ausgewiesenen, mittleren Luftdichten ergeben sich entsprechend der Höhe des Standortes ü. NN zzgl. Nabenhöhe, berechnet auf Basis der meteorologischen DWD-Messstation Lindenberg (Entfernung ca. 55,0 km, 104,0 m Höhe ü. NN., mit einer Temperatur von 8,9°C im Jahresmittel (1951 – 2014)) /31/.

4.7.3 Neigung der Anströmung

Es werden die Neigungen der Anströmung (Inklinationswinkel) $\varphi_{\text{Inkl.}}$, bezogen auf eine horizontale Ebene, für nachzuweisende WEA auf Basis angenäherter Ebenen des Geländes ermittelt und in Kapitel 9 ausgewiesen. Sofern die Auslegungswerte nicht gesondert vom WEA-Hersteller angegeben sind (S-Klasse), ist gemäß /8/ der Einfluss einer Schräganströmung von bis zu 8° anzunehmen. Abweichend zum Verfahren nach der DIN EN 61400-1:2011 /8/, wird für deren Ermittlung nicht die omnidirektionale angenäherte Ebene mit einem Radius von 5•NH zu Grunde gelegt (diese umfasst alle Sektoren zusammen, d.h. 360°), sondern diese sektoriell in zwölf 30°-Abschnitte unterteilt. In der anschließenden Summation zur Ermittlung der repräsentativen Neigung der Anströmung $\varphi_{\text{Inkl.}}$ erfolgt die Gewichtung der jeweiligen Neigungen unter Verwendung der sektoriellen Energieflussdichten. Diese werden auf Basis des in /16/ beschriebenen Verfahrens unter Nutzung der sektoriellen Winddaten am Standort /32/ bestimmt. Der Einfluss thermischer Effekte auf die Neigung der Anströmung (z.B. thermische Aufwinde) wird nicht berücksichtigt.

4.8 Modell- und Datenunsicherheiten

Generell bilden Berechnungsmodelle die Realität nur annähernd ab. Die unter den genannten Randbedingungen ermittelten Ergebnisse können daher nur als Hilfsmittel zur Entscheidungsfindung verwendet werden. Insbesondere sind die Unsicherheiten der Berechnungen bei eng gewählten WEA-Abständen höher einzuschätzen (siehe Kapitel 2.1).

Im Rahmen der durchgeführten Berechnungen wurden teils vereinfachte Annahmen und Randbedingungen getroffen. Sämtliche Vereinfachungen sind dabei stets konservativ gewählt worden.

5 Zusammenfassung und Bewertung

Am Standort Forst-Briesnig 3 (Brandenburg) plant der Auftraggeber die Errichtung von 14 WEA (WEA 1 bis 14). In der Nähe zu den geplanten WEA sind 22 weitere WEA (WEA 15 bis 36) zu berücksichtigen.

Im Rahmen dieser gutachtlichen Stellungnahme ist der Einfluss durch den Zubau der geplanten WEA 1 bis 14 zu bewerten. Alle weiteren WEA am Standort gehen gemäß der vom Auftraggeber vorgegebenen Windparkkonfiguration /32/ als Vorbelastung in die Berechnung ein und sind bei Unterschreitung der in /4/, /5/ festgelegten WEA-Abstände ebenfalls zu bewerten. Es ist daher unerheblich, ob die WEA bereits bestehen oder ob sie sich in der Planungs-, der Genehmigungs- oder in der Bauphase befinden.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist am 12.04.2024 beauftragt worden, die Standorteignung von WEA gemäß Kapitel 16 der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ zu betrachten und zu bewerten. Die Standorteignung ist hierbei ohne weiteren Sicherheitszuschlag nachgewiesen, wenn die nachzuweisenden Windbedingungen am Standort die jeweiligen Auslegungswerte der Typenprüfung nicht überschreiten. Alternativ kann die Standorteignung der WEA auf Basis eines standortspezifischen Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten und/oder der Extremlasten nachgewiesen werden (siehe Kapitel 2.2).

Der Nachweis der Standorteignung dient gleichzeitig als Turbulenz-Immissionsprognose im Sinne des BImSchG /13/. Das bedeutet, dass die Immissionen auf WEA zumutbar sind, solange die Standorteignung der WEA hinsichtlich der Auslegungswerte nachzuweisender Windbedingungen oder hinsichtlich der nachzuweisenden Auslegungslasten, nachgewiesen ist.

Im Nachfolgenden werden für die zu bewertenden WEA die Auslegungswerte mit den standortspezifischen Windbedingungen verglichen. Bei WEA, für die noch keine gültige Typenprüfung vorliegt, gelten die Auslegungswerte als vorläufig und die Aussagen zur Standorteignung unter Vorbehalt (siehe Kapitel 3.1).

Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{50}

Für die geplanten WEA 1 bis 14 zeigt sich jeweils im Vergleich mit der 50-Jahreswindgeschwindigkeit am Standort v_{50} auf Nabenhöhe, dass diese durch den Auslegungswert der entsprechenden Typenprüfung abgedeckt wird (siehe Kapitel 4.3).

Vergleich der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m

Für die WEA 1 bis 24 und 26 bis 36, für die jeweils ein mittlerer Formparameter der Weibullverteilung $k \geq 2$ vorliegt, zeigt sich im Vergleich mit der jeweiligen standortspezifischen mittleren Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_m , dass diese durch den Auslegungswert der jeweils zu Grunde gelegten Typenprüfung abgedeckt wird (siehe Kapitel 4.4).

Vergleich der effektiven Turbulenzintensität auf Nabenhöhe I_{eff}

Im Vergleich der windgeschwindigkeitsabhängigen Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} am Standort mit den Auslegungswerten der Turbulenzintensität, die bei der jeweiligen Typenprüfung der WEA zu Grunde zu legen sind, zeigen sich an den WEA 2 bis 7, 9, 13 bis 24, 26 bis 34 und 36 Überschreitungen (siehe Tabelle 8).

An den WEA 15, 17 bis 24, 26 bis 34 und 36 ergeben sich bereits aus der ursprünglichen Windparkkonfiguration Überschreitungen hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität (siehe Tabelle 8). An den WEA 22, 24, 27, 29 und 32 bis 34 steigen die Werte der effektiven Turbulenzintensi-

tät durch den Zubau der WEA 1 bis 14 nicht bzw. der Anstieg der Werte wird im Rahmen der Genauigkeit des Verfahrens als vernachlässigbar bewertet.

Durch den Zubau der WEA 1 bis 14 werden an den WEA 15, 17 bis 21, 23, 26, 28, 30, 31 und 36 darüber hinaus zusätzliche Überschreitungen hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität verursacht.

Standortspezifische Lastvergleiche

Für die WEA 2 bis 7, 9, 13 bis 21, 23, 26, 28, 30 und 31 wurden mit den entsprechenden effektiven Turbulenzintensitäten und den standortspezifischen Windbedingungen als Eingangsparameter durch den WEA-Hersteller standortspezifische Lastvergleiche der Betriebsfestigkeitslasten durchgeführt und in /34/ dokumentiert. Die standortspezifischen Lastvergleiche des WEA-Herstellers ergaben für die WEA 2 bis 7, 9, 13 bis 21, 23, 26, 28, 30 und 31 nach dessen Angaben keine relevanten Überschreitungen, so dass die Standorteignung für eine Gesamtlebensdauer von 25 Jahren lastseitig gewährleistet ist. Die vorliegenden standortspezifischen Lastvergleiche wurden auf Plausibilität hinsichtlich der oben genannten Eingangsparameter geprüft. Die Berechnungen des WEA-Herstellers sowie die zum Vergleich herangezogenen Auslegungslasten in /34/ wurden keiner Prüfung unterzogen und werden als richtig vorausgesetzt. Die standortspezifischen Lastvergleiche in /34/ wurden der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG im Rahmen einer Geheimhaltungsvereinbarung vorgelegt.

Mit den effektiven Turbulenzintensitäten und den standortspezifischen Windparametern an der WEA 36 wurde durch die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ein detaillierter, standortspezifischer Lastvergleich für diese WEA durchgeführt und in /35/ dokumentiert. Der standortspezifische Lastvergleich ergab keine Überschreitungen der Auslegungslasten, so dass die Standorteignung der WEA 36 für eine Gesamtlebensdauer von 20 Jahren lastseitig gewährleistet ist.

Zusammenfassung

Abschließend kann festgestellt werden, dass die Standorteignung der am Standort Forst-Briesnig 3 betrachteten WEA 1, 8, 10 bis 12 und 35 nachgewiesen ist. Des Weiteren ist die Standorteignung der WEA 2 bis 7, 9, 13 bis 21, 23, 26, 28, 30 und 31 unter Berücksichtigung der Lastvergleiche der Betriebsfestigkeitslasten /34/ nach Aussagen des Herstellers lastseitig nachgewiesen. Die Standorteignung der WEA 36 ist unter Berücksichtigung des Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten /35/ lastseitig nachgewiesen.

Durch den Zubau der WEA 1 bis 14 treten an den WEA 22, 24, 27, 29 und 32 bis 34 keine signifikanten Erhöhungen der effektiven Turbulenzintensitäten auf, so dass deren Standorteignung unter der Bedingung einer im Genehmigungsverfahren nachgewiesenen Standorteignung für diese WEA weiterhin nachgewiesen ist.

Die Aussagen zur Standorteignung für die WEA 1 bis 14 gelten bis zum Vorliegen einer gültigen Typenprüfung nach der DIBt-Richtlinie 2012 /5/ und dem Nachweis, dass die herangezogenen Auslegungswerte (siehe Kapitel 3.2) durch die Auslegungswerte der mit der Genehmigung eingereichten Typenprüfung abgedeckt sind, unter Vorbehalt. Ebenso ist sicherzustellen, dass die in den Lastvergleichen der Betriebsfestigkeitslasten /34/ für diese WEA zu Grunde gelegten Auslegungslasten durch die Unterlagen der Typenprüfung abgedeckt sind. Dies ist durch den WEA-Hersteller zu bestätigen. Eine Verringerung der heranzuziehenden Auslegungswerte erfordert eine Neubewertung der Standorteignung.

6 Rechtliche Hinweise

Die vorliegende gutachtliche Stellungnahme ist nur in ihrer Gesamtheit gültig. Die darin getroffenen Aussagen beziehen sich ausschließlich auf die vorliegenden überlieferten Dokumente.

Die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit der vom Auftraggeber bzw. Dritter übermittelten Informationen und Angaben und für durch unrichtige Angaben bedingte falsche Aussagen.

Die von der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG erbrachten Leistungen (z.B. Gutachten-, Prüf- und Beratungsleistungen) dürfen nur im Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks verwendet werden. Vorbehaltlich abweichender Vereinbarungen im Einzelfall, räumt die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG dem Auftraggeber an seinen urheberrechtsfähigen Leistungen jeweils ein einfaches, nicht übertragbares sowie zeitlich und räumlich auf den Vertragszweck beschränktes Nutzungsrecht ein. Weitere Rechte werden ausdrücklich nicht eingeräumt, insbesondere ist der Auftraggeber nicht berechtigt, die Leistungen des Auftragnehmers zu bearbeiten, zu verändern oder nur auszugsweise zu nutzen.

Eine Veröffentlichung der Leistungen über den Rahmen des vertraglich vereinbarten Zwecks hinaus, auch auszugsweise, bedarf der vorherigen schriftlichen Zustimmung von der TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG. Eine Bezugnahme auf die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG ist nur bei Verwendung der Leistung in Gänze und unverändert zulässig.

Bei einem Verstoß gegen die vorstehenden Bedingungen ist die TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG jederzeit berechtigt, dem Auftraggeber die weitere Nutzung der Leistungen zu untersagen.

7 Formelzeichen und Abkürzungen

WEA	Windenergieanlage(n)	
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung	
DWD	Deutscher Wetterdienst	
NH	Nabenhöhe	
WZ	Windzone	
GK	Geländekategorie	
NTM	Normales Turbulenzmodell	
ETM	Extremes Turbulenzmodell	
P_{Nenn}	Nennleistung der jeweiligen WEA	[MW]
D	Rotordurchmesser	[m]
s_i	der auf den Rotordurchmesser der jeweils größeren WEA bezogene dimensionslose Abstand von der Turmachse der betrachteten WEA zur Turmachse der benachbarten WEA	[-]
c_T	Schubbeiwert	[-]
C_{CT}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe	[-]
I_{char}	Charakteristische Turbulenzintensität bei 15 m/s	[-]
I_{rep}	Repräsentative Turbulenzintensität bei 15 m/s	[-]
I_T	Maximale Turbulenzintensität im Nachlauf einer WEA auf Nabenhöhe (totale Turbulenzintensität)	[-]
A	Skalierungsparameter der Weibullverteilung	[m/s]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
m	Exponent der Wöhlerlinie	[-]
v	Windgeschwindigkeit (allgemein)	[m/s]
v_m	Mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{50}	Extremer 10-min-Mittelwert der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe mit einem Wiederkehrzeitraum von 50 Jahren am Standort	[m/s]
v_{ref}	Auslegungswert für v_{50} auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{in}	Einschaltwindgeschwindigkeit	[m/s]
v_{Nenn}	Nennwindgeschwindigkeit	[m/s]
z	Höhe über Grund (allgemein)	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der jeweiligen WEA	[m]

α	Höhenexponent für das exponentielle Windprofil	[-]
$\varphi_{\text{Inkl.}}$	Inklinationswinkel der Schräganströmung	[°]
ρ	Mittlere Dichte der Luft	[kg/m³]
σ	Standardabweichung der mittleren Windgeschwindigkeit	[m/s]
	Altgrad (Vollkreis \triangleq 360)	[°]

8 Literatur- und Quellenangaben

- /1/ European Environmental Agency, CORINE Land Cover 2012 raster data (100m) – Version 18 (12/2016); <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/clc-2012-raster>; Kopenhagen; 2016
- /2/ Dekker, J.W.M.; Pierik, J.T.G. (Eds.); European Wind Turbine Standards II, ECN Solar & Wind Energy; Petten, Niederlande; 1998
- /3/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windkraftanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; DIBt, Berlin; 2. Aufl. 1995
- /4/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; DIBt, Berlin; 2004
- /5/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt): Richtlinie für Windenergieanlagen - Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 (Korrigierte Fassung März 2015); DIBt, Berlin; 2012
- /6/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4 und nationaler Anhang DIN EN 1991-1-4/NA; Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten; Deutsche Fassung EN 1991-1-4:2005 + A1:2010 + AC:2010; Berlin; Dezember 2010
- /7/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127 Teil 1), Windenergieanlagen - Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004; Berlin; August 2004
- /8/ Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1 (VDE 0127-1), Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2010); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010; Berlin; August 2011
- /9/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind turbines - Part 1: Design requirements; Third Edition; August 2005 + Amendment 1: Oktober 2010
- /10/ International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1; Wind energy generation systems – Part 1: Design requirements; Edition 4.0; Februar 2019
- /11/ Germanischer Lloyd WindEnergie GmbH; Guideline for the Certification of Wind Turbines; Hamburg; Edition 2003 with Supplement 2004
- /12/ Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH; Guideline for the Certification of Wind Turbines; Hamburg; Edition 2010
- /13/ Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), geändert durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943)
- /14/ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV) vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756)
- /15/ Risø National Laboratory; Frandsen, St. T.; Turbulence and turbulence-generated structural loading in wind turbine clusters; Wind Energy Department; Risø-R-1188(EN); Roskilde, Dänemark; Januar 2007
- /16/ Risø National Laboratory; European Wind Atlas; Roskilde, Dänemark; 1989
- /17/ TOP50, Amtliche topografische Karten 1:50.000, Amtliches digitales Geländemodell (Auflösung 50m); Landesvermessungsämter der Bundesländer; Deutschland; 2003/2004
- /18/ Jarvis A., H.I. Reuter, A. Nelson, E. Guevara, Hole-filled seamless SRTM data V4.1, International Centre for Tropical Agriculture (CIAT); 08.2008

- /19/ Kunte, A; Turbulenz-Immissionsprognosen vereinheitlicht; WIND-KRAFT Journal; Verlag Natürliche Energien, Ausgabe 4/2009, S.28 bis 30; Seevetal
- /20/ VDI 3783 Blatt 12; Umweltmeteorologie - Physikalische Modellierung von Strömungs- und Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen Grenzschicht; Verein Deutscher Ingenieure; 1999
- /21/ Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt); Zuordnung der Windzonen nach Verwaltungsgrenzen; Windzonen_nach_Verwaltungsgrenzen.xls in der Fassung vom 02.06.2022
- /22/ EMD International A/S; WindPRO Version 4.0 (<http://www.emd.dk>); 2023; Dänemark
- /23/ Google Inc.; Google Earth Pro; (www.google.de/earth), Version 7.3.3, 2020, USA, 2020
- /24/ EMD International A/S, WindPRO Version 3.6 (<http://www.emd.dk>), Dänemark, 2022
- /25/ EMD International A/S, EMD ConWx Mesoscale Data; WindPRO Version 3.6 (<http://www.emd.dk>); Dänemark; 2022
- /26/ Gumbel, E.; Statistics of Extremes; New York, Columbia University Press; 1958
- /27/ Abild, J., Andersen, E. Y., Rosbjerg, D.; The Climate of Extreme Winds at the Great Belt, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, vol. 41-4, p. 521-532; Dänemark; 1992
- /28/ DGM 5 und 20, Ein von EMD angepasstes 5 m bzw. 20 m Höhen-modell basierend auf dem 1 m Raster des Landesvermessungsamtes, <https://geobasis-bb.de/lgb/de/geodaten/open-data/>
- /29/ Copernicus DEM GLO-30: 1-arc-second data (ca. 30 m), European Space Agency (ESA) (<https://spacedata.copernicus.eu/web/cscda/dataset-details?articleId=394198>)
- /30/ Risø National Laboratory, WASP 12 (<http://www.wasp.dk>), Dänemark, 2017
- /31/ Deutscher Wetterdienst, S. Traup, B. Kruse: Wind und Windenergiepotenziale in Deutschland - Winddaten für Windenergienutzer, Version 6, Deutschland 2011
- /32/ EP New Energies GmbH und LEAG Renewables GmbH; E-Mails mit beigefügten Koordinaten und Angaben zur WEA-Spezifikation (Nabenhöhe, Rotordurchmesser und Nennleistung) der zu berücksichtigenden WEA, Auszug zur Häufigkeitsverteilung der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit; 23.12.2023, 20.06.2024 und 15.07.2024
- /33/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Dokumentation zur Besichtigung am Standort Forst-Briesnig 3; Hamburg; 12.08.2024
- /34/ Vestas Wind Systems A/S; Vestas Site Specific Load Calculation, Forst Briesnig III – Germany; Document No.: WS-Loads-C4C: 304190, Rev. 0; 23.08.2023
- /35/ TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG; Gutachtliche Stellungnahme, Lastvergleich zur Bewertung der Standorteignung einer Windenergieanlage - Windpark Forst-Briesnig 3 -; Rev. 0; Referenz-Nr.: 2025-ERS-299; Hamburg; 28.07.2025
- /36/ DNV GL Energy; Gutachterliche Stellungnahme für Lastannahmen zur Turmberechnung der Vestas V162-5.4/5.6/6.0/6.2 MW mit 169 m Nabenhöhe (Hybrid-Turm, Entwurfslebensdauer 25 Jahre) für Windzone S; Berichts-Nr. L-05629-A052-4 Rev.4; Hamburg; 10.12.2021 zzgl. Korrekturschreiben der DNV Energy Systems (Fehler in Lastgutachten zu V162-5.4/5.6/6.0/6.2MW mit 169m Nabenhöhe (Turm HA2A900) – reference: LTR-05629-20221110) hinsichtlich des korrekten Wertes des Weibull Faktors $k = 2,22$; 07.12.2022
- /37/ DNV Energy Systems; Maschinengutachten der Windenergieanlage V162-5.4 MW / V162-5.6 MW / V162-6.0 MW / V162-6.2 MW der Firma Vestas Wind Systems A/S mit Stahltürmen für 119 m, 148 m und 166 m Nabenhöhe sowie Hybrid-Betontürmen für 166 m und 169 m Nabenhöhe für DIBt 2012 Windzone S beinhaltend gutachterliche Stellungnahmen zu den Nachweisen der Rotorblätter, der maschinenbaulichen Komponenten einschl. der Verkleidung von Maschinenhaus und der Nabe, ...; Berichtsnummer: M-05919-0; Rev. 6; Hellerup, Dänemark; 01.07.2022

- /38/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz EnVentus™ V162-6.2 MW 50/60 Hz 25 Jahre; Documentennr.: 0105-6831 V00; Aarhus N; 29.04.2021
- /39/ Vestas Wind Systems A/S; Leistungsspezifikation EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz; Documentennr.: 0127-1584 V02; Aarhus N; 10.11.2022
- /40/ Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz 25 Jahre; Documentnr.: 0125-0417 V01; Aarhus N; 19.05.2022
- /41/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG; Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage Sen-
vion 3.2M122 NES, RB RE59.8, NH 136 m - 139 m (Bögl), 50/60 Hz, DIBt 2012 WZ 3, GK II -
Lastannahmen -; TÜV NORD Bericht Nr.: 8112 998 275 – 1 D III Rev.0; Hamburg; 18.02.2016
- /42/ TÜV NORD SysTec GmbH & Co. KG; Gutachtliche Stellungnahme, Windenergieanlage Sen-
vion 3.2M122 NES, RB RE59.8, NH 136 m - 139 m (Stahlrohrturm), DIBt WZ 3, GK II - Last-
annahmen -; TÜV NORD Bericht Nr.: 8112 998 275 – 1 D IV Rev.0; Hamburg; 19.04.2016

9 Zusammenfassung aller Windbedingungen

WEA 2 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	33,2	28,3	25,8	24,3	23,2	22,3	21,5	20,1	18,8
m = 8	32,9	27,9	25,3	23,8	22,6	21,7	20,9	19,6	18,3
m = 4	32,3	27,3	24,5	22,9	21,7	20,8	20,0	19,0	17,8
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,3	16,1	15,1	14,3	13,7	13,2	12,8	12,4	12,0
m = 8	17,0	15,9	15,0	14,3	13,7	13,2	12,8	12,4	12,0
m = 4	16,7	15,7	14,9	14,2	13,7	13,3	12,8	12,4	12,1
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,9	13,5	0,1		
NNO	0,045	-	-	-	11,5	12,0	0,0		
ONO	0,055	-	-	-	12,4	13,0	0,0		
O	0,077	-	-	-	13,0	13,6	0,1		
OSO	0,068	-	-	-	11,4	11,9	0,1		
SSO	0,055	-	-	-	11,0	11,5	0,1		
S	0,075	-	-	-	11,2	11,7	0,1		
SSW	0,089	-	-	-	11,1	11,6	0,0		
WSW	0,162	-	-	-	11,2	11,7	0,0		
W	0,169	-	-	-	11,2	11,7	0,5		
WNW	0,108	-	-	-	11,0	11,5	1,5		
NNW	0,056	-	-	-	12,0	12,6	0,7		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,3	11,8	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,9				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 9: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 2

WEA 3 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	32,1	27,3	24,9	23,6	22,6	21,9	21,2	20,0	18,9
m = 8	31,9	27,1	24,6	23,2	22,2	21,4	20,7	19,7	18,6
m = 4	31,6	26,7	24,0	22,4	21,4	20,7	20,1	19,2	18,3
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,6	16,5	15,6	14,9	14,3	13,8	13,4	13,0	12,6
m = 8	17,4	16,4	15,5	14,8	14,2	13,8	13,4	12,9	12,6
m = 4	17,2	16,3	15,5	14,8	14,2	13,8	13,4	13,0	12,6
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	13,3	13,9	0,6		
NNO	0,045	-	-	-	10,9	11,4	0,2		
ONO	0,055	-	-	-	12,3	12,9	0,2		
O	0,077	-	-	-	12,8	13,4	0,2		
OSO	0,068	-	-	-	11,8	12,4	0,2		
SSO	0,055	-	-	-	10,8	11,3	0,3		
S	0,075	-	-	-	11,1	11,6	0,3		
SSW	0,089	-	-	-	11,3	11,8	0,2		
WSW	0,162	-	-	-	11,3	11,8	1,1		
W	0,169	-	-	-	11,2	11,7	2,6		
WNW	0,108	-	-	-	11,1	11,6	2,6		
NNW	0,056	-	-	-	12,1	12,7	2,3		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,3	11,8	1,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					32,1				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 10: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 3

WEA 4 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	32,0	27,3	24,9	23,5	22,6	21,9	21,4	20,7	19,8
m = 8	31,8	27,1	24,7	23,2	22,3	21,7	21,2	20,5	19,6
m = 4	31,5	26,8	24,2	22,8	21,9	21,4	20,9	20,3	19,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,6	17,4	16,4	15,6	15,0	14,4	13,9	13,4	13,0
m = 8	18,4	17,3	16,4	15,6	15,0	14,4	13,9	13,4	13,0
m = 4	18,4	17,4	16,4	15,7	15,1	14,5	14,0	13,5	13,0
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,6	13,2	0,0		
NNO	0,045	-	-	-	11,7	12,2	0,4		
ONO	0,055	-	-	-	12,1	12,7	2,0		
O	0,077	-	-	-	12,5	13,1	2,6		
OSO	0,068	-	-	-	11,2	11,7	2,7		
SSO	0,055	-	-	-	11,0	11,5	2,7		
S	0,075	-	-	-	11,4	11,9	2,5		
SSW	0,089	-	-	-	11,4	11,9	1,4		
WSW	0,162	-	-	-	11,3	11,8	0,4		
W	0,169	-	-	-	11,3	11,8	0,3		
WNW	0,108	-	-	-	11,1	11,6	0,5		
NNW	0,056	-	-	-	12,0	12,6	0,3		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,4	11,9	1,0		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					32,1				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,216				

Tabelle 11: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 4

WEA 5 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	32,5	28,2	25,8	24,3	23,4	22,7	22,0	21,2	20,0
m = 8	32,4	27,9	25,4	23,9	23,0	22,2	21,6	20,7	19,5
m = 4	32,1	27,5	24,9	23,3	22,3	21,6	20,9	20,1	19,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,5	17,1	16,1	15,2	14,5	14,0	13,5	13,0	12,6
m = 8	18,2	16,9	15,9	15,1	14,5	13,9	13,5	13,0	12,6
m = 4	17,8	16,7	15,8	15,0	14,4	13,9	13,5	13,0	12,6
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,3	12,9	0,2		
NNO	0,045	-	-	-	11,8	12,4	0,0		
ONO	0,055	-	-	-	11,8	12,4	0,3		
O	0,077	-	-	-	12,1	12,7	0,3		
OSO	0,068	-	-	-	11,1	11,6	0,8		
SSO	0,055	-	-	-	11,2	11,7	1,5		
S	0,075	-	-	-	11,5	12,0	1,3		
SSW	0,089	-	-	-	11,4	11,9	0,7		
WSW	0,162	-	-	-	11,4	11,9	1,0		
W	0,169	-	-	-	11,5	12,0	1,0		
WNW	0,108	-	-	-	11,1	11,6	1,0		
NNW	0,056	-	-	-	12,0	12,6	0,6		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,4	12,0	0,9		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					32,0				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,216				

Tabelle 12: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 5

WEA 6 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	33,1	28,5	26,2	25,0	24,2	23,6	23,0	21,9	20,8
m = 8	32,9	28,3	25,9	24,6	23,7	23,1	22,5	21,5	20,4
m = 4	32,6	27,9	25,4	24,0	23,0	22,3	21,8	20,8	19,7
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,4	18,2	17,2	16,3	15,6	15,0	14,5	13,9	13,5
m = 8	19,1	17,9	16,9	16,1	15,4	14,9	14,3	13,8	13,4
m = 4	18,5	17,5	16,5	15,8	15,2	14,6	14,2	13,7	13,3
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,1	12,7	0,2		
NNO	0,045	-	-	-	11,8	12,4	0,8		
ONO	0,055	-	-	-	11,6	12,1	1,1		
O	0,077	-	-	-	11,8	12,4	0,9		
OSO	0,068	-	-	-	11,1	11,6	0,3		
SSO	0,055	-	-	-	11,4	11,9	0,9		
S	0,075	-	-	-	11,4	11,9	1,1		
SSW	0,089	-	-	-	11,4	11,9	1,2		
WSW	0,162	-	-	-	11,4	11,9	1,2		
W	0,169	-	-	-	11,6	12,1	1,0		
WNW	0,108	-	-	-	11,1	11,6	0,4		
NNW	0,056	-	-	-	11,9	12,5	0,3		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,5	12,0	0,9		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,8				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,218				

Tabelle 13: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 6

WEA 7 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	31,7	27,0	24,7	23,5	22,6	22,0	21,4	20,3	19,2
m = 8	31,4	26,7	24,3	22,9	22,0	21,3	20,7	19,6	18,5
m = 4	31,0	26,0	23,3	21,7	20,6	19,8	19,0	17,9	17,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,9	16,8	15,8	15,0	14,3	13,8	13,3	12,9	12,5
m = 8	17,3	16,2	15,3	14,6	14,0	13,5	13,1	12,7	12,4
m = 4	15,9	15,1	14,3	13,8	13,3	12,9	12,6	12,3	12,1
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,1	12,7	0,7		
NNO	0,045	-	-	-	11,8	12,4	0,8		
ONO	0,055	-	-	-	11,5	12,0	1,3		
O	0,077	-	-	-	11,6	12,1	1,2		
OSO	0,068	-	-	-	11,2	11,7	0,2		
SSO	0,055	-	-	-	11,3	11,8	0,1		
S	0,075	-	-	-	11,4	11,9	0,1		
SSW	0,089	-	-	-	11,5	12,0	0,1		
WSW	0,162	-	-	-	11,5	12,0	0,2		
W	0,169	-	-	-	11,7	12,2	0,1		
WNW	0,108	-	-	-	11,2	11,7	0,1		
NNW	0,056	-	-	-	11,9	12,5	0,1		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,5	12,1	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,7				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 14: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 7

WEA 9 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	33,2	28,4	25,8	24,2	23,2	22,4	21,6	20,7	19,4
m = 8	33,1	28,2	25,5	23,9	22,8	21,9	21,1	20,1	18,9
m = 4	32,9	27,9	25,1	23,2	21,9	20,9	19,9	18,8	17,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,9	16,5	15,4	14,5	13,8	13,2	12,8	12,4	12,1
m = 8	17,4	16,1	15,0	14,2	13,5	13,0	12,6	12,2	12,0
m = 4	16,2	15,0	14,1	13,5	12,9	12,5	12,2	12,0	11,7
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	11,9	12,5	0,1		
NNO	0,045	-	-	-	11,6	12,1	0,4		
ONO	0,055	-	-	-	11,6	12,1	0,1		
O	0,077	-	-	-	11,5	12,0	0,1		
OSO	0,068	-	-	-	11,2	11,7	0,2		
SSO	0,055	-	-	-	11,4	11,9	0,2		
S	0,075	-	-	-	11,5	12,0	0,2		
SSW	0,089	-	-	-	11,6	12,1	0,0		
WSW	0,162	-	-	-	11,5	12,0	0,0		
W	0,169	-	-	-	11,3	11,8	0,0		
WNW	0,108	-	-	-	11,4	11,9	0,1		
NNW	0,056	-	-	-	11,7	12,2	0,0		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,5	12,0	0,1		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,4				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 15: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 9

WEA 13 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	31,4	26,6	23,8	22,2	21,1	20,3	19,6	18,8	17,8
m = 8	31,3	26,5	23,6	21,9	20,8	20,0	19,3	18,5	17,6
m = 4	31,2	26,2	23,3	21,5	20,3	19,4	18,7	17,9	17,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	16,7	15,7	14,9	14,3	13,8	13,3	13,0	12,6	12,3
m = 8	16,5	15,6	14,8	14,2	13,7	13,3	12,9	12,6	12,3
m = 4	16,1	15,3	14,6	14,0	13,6	13,2	12,9	12,5	12,3
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs-sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	11,5	12,0	0,4		
NNO	0,045	-	-	-	11,4	11,9	0,2		
ONO	0,055	-	-	-	12,0	12,6	0,2		
O	0,077	-	-	-	11,6	12,1	0,2		
OSO	0,068	-	-	-	11,6	12,1	0,2		
SSO	0,055	-	-	-	11,6	12,1	0,0		
S	0,075	-	-	-	12,9	13,5	0,0		
SSW	0,089	-	-	-	11,3	11,8	0,3		
WSW	0,162	-	-	-	11,3	11,8	0,5		
W	0,169	-	-	-	11,4	11,9	0,9		
WNW	0,108	-	-	-	11,0	11,5	1,0		
NNW	0,056	-	-	-	11,4	11,9	0,6		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,5	12,0	0,5		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,6				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 16: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 13

WEA 14 (Vestas V172, 7,20 MW, 175,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,1	29,3	26,7	25,1	24,0	23,2	22,4	21,2	20,0
m = 8	34,0	29,1	26,5	24,8	23,7	22,8	22,0	20,9	19,7
m = 4	33,8	28,9	26,2	24,5	23,3	22,4	21,6	20,5	19,2
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,5	17,2	16,2	15,3	14,6	14,0	13,6	13,1	12,7
m = 8	18,3	17,0	16,0	15,2	14,5	14,0	13,5	13,0	12,7
m = 4	17,8	16,7	15,7	14,9	14,3	13,8	13,3	12,9	12,6
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	-	-	-	12,0	12,6	1,3		
NNO	0,045	-	-	-	11,6	12,1	1,7		
ONO	0,055	-	-	-	11,7	12,2	1,9		
O	0,077	-	-	-	11,6	12,1	0,3		
OSO	0,068	-	-	-	11,2	11,7	0,0		
SSO	0,055	-	-	-	11,4	11,9	0,1		
S	0,075	-	-	-	11,4	11,9	0,0		
SSW	0,089	-	-	-	11,5	12,0	0,1		
WSW	0,162	-	-	-	11,5	12,0	0,1		
W	0,169	-	-	-	11,4	11,9	0,0		
WNW	0,108	-	-	-	11,2	11,7	0,0		
NNW	0,056	-	-	-	11,8	12,4	0,7		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,10	2,199	0,28	11,5	12,0	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,18				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					31,6				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 17: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 14

WEA 15 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,6	29,9	27,4	26,0	24,9	24,1	23,4	22,0	20,6
m = 8	34,4	29,6	27,1	25,6	24,6	23,8	23,0	21,7	20,2
m = 4	34,2	29,4	26,8	25,2	24,1	23,3	22,6	21,3	20,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,0	17,7	16,6	15,7	15,0	14,4	13,9	13,3	12,9
m = 8	18,7	17,5	16,5	15,7	15,0	14,4	13,9	13,3	12,9
m = 4	18,5	17,4	16,5	15,7	15,0	14,4	13,9	13,4	13,0
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,3	12,9	0,0		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,8	12,4	0,3		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	12,0	12,6	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	12,1	12,7	2,0		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,2	11,7	2,6		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,2	11,7	2,7		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	2,6		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	2,3		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,4	11,9	0,9		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,7		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,1	11,6	0,5		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	12,0	12,6	0,2		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	1,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 18: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 15

WEA 16 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,4	29,6	27,1	25,6	24,5	23,7	22,9	21,6	20,2
m = 8	34,4	29,6	27,0	25,4	24,3	23,5	22,7	21,4	20,0
m = 4	34,7	29,8	27,1	25,5	24,4	23,5	22,7	21,4	20,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,7	17,6	16,5	15,7	15,1	14,5	14,0	13,5	13,1
m = 8	18,6	17,5	16,5	15,7	15,0	14,5	14,0	13,5	13,1
m = 4	18,6	17,5	16,5	15,7	15,1	14,5	14,0	13,6	13,2
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,1	12,7	1,7		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,7	12,2	1,8		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,9	12,5	0,6		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,8	12,4	0,8		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,9		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,5	12,0	0,8		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,7		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,7		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,5	12,0	0,7		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,4		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,2	11,7	0,6		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,9	12,5	1,1		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,7		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 19: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 16

WEA 17 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,5	29,9	27,5	26,0	25,0	24,2	23,5	22,1	20,4
m = 8	34,4	29,8	27,2	25,7	24,7	23,9	23,1	21,7	20,1
m = 4	34,5	29,7	27,1	25,6	24,5	23,6	22,8	21,5	20,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,7	17,4	16,4	15,5	14,8	14,2	13,7	13,2	12,8
m = 8	18,5	17,3	16,3	15,5	14,8	14,3	13,7	13,2	12,8
m = 4	18,5	17,4	16,4	15,6	14,9	14,4	13,8	13,3	12,9
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,4	13,0	2,7		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,6	12,1	1,5		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	12,1	12,7	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	12,1	12,7	0,3		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,2	11,7	0,2		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,2	11,7	0,2		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,1		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,1		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,4	11,9	0,1		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	1,4		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,1	11,6	2,4		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,9	12,5	2,6		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,7		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 20: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 17

WEA 18 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,3	29,4	26,9	25,5	24,5	23,8	23,2	22,0	20,7
m = 8	34,3	29,4	26,8	25,3	24,3	23,6	22,9	21,7	20,5
m = 4	34,5	29,5	26,8	25,2	24,1	23,3	22,5	21,2	20,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,3	18,2	17,2	16,3	15,6	15,0	14,5	14,0	13,5
m = 8	19,1	18,0	17,0	16,2	15,5	14,9	14,4	13,9	13,5
m = 4	18,6	17,5	16,6	15,8	15,2	14,7	14,2	13,7	13,4
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,0	12,6	1,1		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,6	12,1	0,5		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,8	12,4	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,7	12,2	0,1		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,1		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,6	12,1	0,2		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,1		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,6	12,1	0,2		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,5	12,0	0,1		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,4	11,9	0,1		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,4	11,9	0,1		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,8	12,4	0,1		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,1		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 21: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 18

WEA 19 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,9	30,3	27,8	26,3	25,4	24,7	24,1	22,9	21,3
m = 8	34,9	30,2	27,6	26,1	25,1	24,3	23,7	22,4	20,9
m = 4	35,1	30,3	27,6	26,0	24,9	24,1	23,4	22,1	20,6
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,7	18,5	17,4	16,5	15,8	15,2	14,6	13,9	13,4
m = 8	19,4	18,2	17,2	16,3	15,6	15,0	14,4	13,8	13,4
m = 4	19,1	18,0	17,0	16,2	15,5	14,9	14,3	13,8	13,3
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs-sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,1	12,7	1,9		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,6	12,1	0,8		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,9	12,5	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,8	12,4	0,1		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,0		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,4	11,9	0,1		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,2		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,3		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,5	12,0	0,2		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,4	11,9	0,1		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,2	11,7	1,1		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,8	12,4	2,0		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 22: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 19

WEA 20 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,9	30,4	27,9	26,4	25,4	24,7	24,0	22,8	21,2
m = 8	34,8	30,1	27,6	26,1	25,0	24,3	23,6	22,4	20,8
m = 4	34,8	30,1	27,4	25,9	24,8	24,0	23,3	22,1	20,7
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,6	18,3	17,2	16,3	15,6	15,0	14,4	13,8	13,3
m = 8	19,3	18,1	17,1	16,2	15,5	14,9	14,3	13,7	13,2
m = 4	19,2	18,0	17,0	16,2	15,5	14,9	14,3	13,7	13,3
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,6	13,2	1,3		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,4	11,9	0,1		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	12,0	12,6	0,0		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,9	12,5	0,0		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,1		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,2	11,7	0,2		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,2		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,2		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,5	12,0	0,2		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,4	11,9	0,3		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,2	11,7	1,1		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,8	12,4	1,9		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 23: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 20

WEA 21 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	35,2	30,6	28,1	26,6	25,6	24,9	24,3	23,1	21,5
m = 8	35,2	30,4	27,8	26,2	25,2	24,5	23,8	22,6	21,0
m = 4	35,3	30,5	27,7	26,1	25,0	24,1	23,4	22,1	20,6
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,8	18,6	17,5	16,6	15,9	15,3	14,6	14,0	13,5
m = 8	19,4	18,3	17,2	16,4	15,7	15,1	14,5	13,9	13,4
m = 4	19,1	18,0	17,0	16,2	15,5	15,0	14,4	13,8	13,4
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	12,0	12,6	0,2		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,6	12,1	0,2		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,8	12,4	0,2		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,8	12,4	0,1		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,0		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,5	12,0	0,1		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,1		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,2		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,5	12,0	0,2		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,3	11,8	0,2		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,3	11,8	0,0		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,7	12,2	0,3		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 24: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 21

WEA 23 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,1	29,3	26,7	25,2	24,2	23,4	22,7	21,5	20,1
m = 8	34,1	29,2	26,6	25,0	23,9	23,1	22,4	21,2	19,8
m = 4	34,2	29,3	26,5	24,8	23,6	22,7	21,8	20,5	19,1
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	18,7	17,5	16,5	15,7	15,0	14,5	14,0	13,4	13,0
m = 8	18,4	17,3	16,3	15,5	14,9	14,3	13,8	13,4	13,0
m = 4	17,8	16,7	15,8	15,1	14,5	14,0	13,6	13,2	12,8
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	11,9	12,5	0,2		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,6	12,1	0,2		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,7	12,2	0,2		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,7	12,2	0,2		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,3	11,8	0,4		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,6	12,1	0,2		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,6	12,1	0,4		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,6	12,1	0,4		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,6	12,1	0,0		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,3	11,8	0,2		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,4	11,9	0,2		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,7	12,2	0,2		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,5	12,0	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 25: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 23

WEA 26 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	33,7	28,9	26,2	24,6	23,4	22,6	21,8	20,5	19,0
m = 8	33,6	28,7	25,9	24,2	23,0	22,1	21,2	19,9	18,4
m = 4	33,5	28,5	25,6	23,7	22,3	21,1	20,1	18,7	17,2
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,5	16,3	15,3	14,5	13,9	13,4	12,9	12,5	12,1
m = 8	16,9	15,8	14,9	14,1	13,6	13,1	12,7	12,3	12,0
m = 4	15,9	14,9	14,1	13,5	13,0	12,7	12,4	12,1	11,9
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	11,8	12,4	0,4		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,5	12,0	0,4		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,6	12,1	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,7	12,2	0,0		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,5	12,0	0,0		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,7	12,2	0,1		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,7	12,2	0,0		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,6	12,1	0,1		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,7	12,2	0,2		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,3		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,2	11,7	0,4		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,6	12,1	0,3		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,6	12,1	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 26: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 26

WEA 28 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	33,7	29,2	26,7	25,2	24,1	23,3	22,5	21,1	19,4
m = 8	33,5	28,8	26,2	24,6	23,5	22,6	21,7	20,3	18,6
m = 4	33,2	28,3	25,4	23,6	22,2	21,0	20,0	18,5	17,0
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	17,6	16,2	15,0	14,1	13,3	12,7	12,3	12,0	11,7
m = 8	16,9	15,6	14,5	13,7	13,0	12,6	12,2	11,9	11,7
m = 4	15,6	14,5	13,7	13,1	12,6	12,3	12,0	11,8	11,6
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	11,7	12,2	0,1		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,5	12,0	0,0		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,6	12,1	0,1		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,5	12,0	0,1		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,5	12,0	0,4		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,8	12,4	0,5		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,7	12,2	0,5		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,6	12,1	0,4		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,8	12,4	0,2		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,2		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,1	11,6	0,1		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,6	12,1	0,1		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,6	12,2	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 27: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 28

WEA 30 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,7	30,2	27,9	26,5	25,6	24,9	24,2	22,9	21,3
m = 8	34,6	30,0	27,6	26,1	25,2	24,4	23,7	22,4	20,8
m = 4	34,5	29,7	27,0	25,4	24,3	23,4	22,5	21,2	19,6
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,6	18,3	17,1	16,2	15,4	14,7	14,1	13,5	13,0
m = 8	19,2	17,9	16,8	15,9	15,1	14,5	13,9	13,3	12,9
m = 4	18,1	17,0	16,0	15,2	14,5	14,0	13,5	13,0	12,7
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{Inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	11,8	12,4	0,0		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,4	11,9	0,0		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	11,9	12,5	0,2		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,3	11,8	0,0		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,6	12,1	0,2		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,9	12,5	0,1		
S	0,075	8,54	2,284	-	11,5	12,0	0,4		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,7	12,2	0,5		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,7	12,2	0,3		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,0		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,1	11,6	0,0		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,5	12,0	0,2		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,6	12,1	0,2		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,220				

Tabelle 28: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 30

WEA 31 (Vestas V162, 6,20 MW, 169,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	37,0	34,0	30,6	28,1	26,0	24,3	23,0	21,6	19,2
m = 10	34,8	30,3	27,8	26,4	25,4	24,6	24,0	22,7	21,2
m = 8	34,6	30,0	27,5	26,0	25,0	24,2	23,5	22,3	20,8
m = 4	34,4	29,7	27,0	25,4	24,3	23,5	22,8	21,6	20,2
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	16,8	15,8	14,7	14,2	13,6	13,3	12,9	12,7	12,4
m = 10	19,6	18,4	17,3	16,4	15,7	15,2	14,6	14,0	13,5
m = 8	19,3	18,1	17,1	16,3	15,6	15,1	14,5	13,9	13,5
m = 4	18,9	17,8	16,9	16,1	15,5	14,9	14,4	13,9	13,4
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,96	1,927	-	11,9	12,5	0,2		
NNO	0,045	5,62	1,906	-	11,2	11,7	0,5		
ONO	0,055	6,58	2,208	-	12,2	12,8	0,5		
O	0,077	7,48	2,528	-	11,2	11,7	0,6		
OSO	0,068	7,17	2,400	-	11,7	12,2	0,7		
SSO	0,055	6,67	2,295	-	11,6	12,1	0,7		
S	0,075	8,54	2,284	-	12,0	12,6	0,5		
SSW	0,089	8,92	2,515	-	11,5	12,0	0,1		
WSW	0,162	9,78	2,713	-	11,6	12,1	0,4		
W	0,169	8,99	2,387	-	11,5	12,0	0,2		
WNW	0,108	7,29	2,227	-	11,1	11,6	0,2		
NNW	0,056	6,14	2,056	-	11,5	12,0	0,1		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	8,00	2,199	0,28	11,6	12,1	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					7,08				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,219				

Tabelle 29: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 31

WEA 36 (Senvion 3.2M122 NES, 3,20 MW, 139,0 m NH) / DIBt-Richtlinie 2012									
Effektive Turbulenzintensitäten [%] auf NH der WEA									
Windgeschwindigkeit [m/s]	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	11,0
Auslegungswert [%]	41,9	34,4	29,9	26,9	24,8	23,2	22,0	21,0	20,1
m = 10	33,8	29,1	26,7	25,4	24,6	24,1	23,6	22,6	21,2
m = 8	33,7	28,9	26,4	25,0	24,2	23,7	23,2	22,2	20,9
m = 4	33,5	28,5	25,9	24,4	23,6	23,0	22,6	21,6	20,5
Windgeschwindigkeit [m/s]	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	≥20,0
Auslegungswert [%]	19,5	18,9	18,4	18,0	17,6	17,3	17,0	16,7	16,5
m = 10	19,8	18,7	17,7	16,9	16,2	15,6	14,6	14,1	13,6
m = 8	19,6	18,5	17,6	16,8	16,1	15,5	14,6	14,1	13,6
m = 4	19,3	18,3	17,5	16,7	16,1	15,5	14,6	14,1	13,6
Sektorielle Windbedingungen (Standort ist nicht komplex: C _{CT} = 1,0)									
Richtungs- sektoren	Relative Häufigkeit [-] (1 ± 100%)	Weibullverteilung		α [-]	I _{char} [%]	I _{rep} [%]	Φ _{inkl.} [°]		
		A [m/s]	k [-]						
N	0,042	5,54	1,910	-	12,1	12,7	0,3		
NNO	0,045	5,31	1,924	-	11,8	12,4	0,5		
ONO	0,056	6,16	2,154	-	13,1	13,7	0,6		
O	0,078	6,95	2,490	-	11,8	12,4	0,4		
OSO	0,067	6,53	2,323	-	12,0	12,6	0,4		
SSO	0,055	6,24	2,265	-	12,0	12,6	0,6		
S	0,077	8,20	2,301	-	13,1	13,7	0,7		
SSW	0,090	8,44	2,476	-	11,7	12,2	0,3		
WSW	0,165	9,31	2,697	-	12,0	12,6	0,3		
W	0,167	8,44	2,359	-	11,8	12,4	0,2		
WNW	0,103	6,72	2,175	-	11,5	12,0	0,0		
NNW	0,055	5,83	2,069	-	11,9	12,5	0,2		
Gesamt (alle Sektoren)	1,000	7,50	2,165	0,28	12,0	12,6	0,3		
mittlere Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v _m [m/s]					6,64				
50-Jahreswindgeschwindigkeit auf NH v ₅₀ [m/s]					-				
mittlere Dichte der Luft ρ auf NH für v ≥ v _{Nenn} [kg/m³]					1,223				

Tabelle 30: Zusammenfassung der benötigten Windbedingungen für die WEA 36

Windenergieprojekt „Forst Briesnig III“

Prüfung der Übertragbarkeit der „Geotechnischen Stellungnahme zur Machbarkeit, Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde, Windpark Forst-Briesnig II“ vom 12.05.2021

1 Veranlassung

Für den Windpark (WP) Forst-Briesnig III sollen 14 Windenergieanlagen auf wiedernutzbar gemachten Flächen des Tagebaues Jänschwalde errichtet und betrieben werden. Mit dem Projekt werden der vorhandene WP Forst-Briesnig I sowie der genehmigte und in der Realisierung befindliche WP Forst-Briesnig II erweitert.

Im laufenden Genehmigungsverfahren werden Aussagen aus geotechnischer Sicht zur grundsätzlichen Machbarkeit benötigt [U1]. Gegenwärtig liegen für den WP Forst Briesnig III noch keine standortkonkreten bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen und Baugrunduntersuchungen vor. Für den benachbarten, genehmigten WP Forst Briesnig II sind bereits geotechnische Stellungnahmen zur Machbarkeit und standortkonkrete bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchungen vorhanden (siehe u. a. [U2], [U3], [U4], [U5]).

Die Fachgruppe Bodenmechanik bei LE-B ist mit [U1] beauftragt zu prüfen, ob die Aussagen der für den WP Forst-Briesnig II vorliegenden Stellungnahme, [U3], grundsätzlich auf den geplanten WP Forst Briesnig III übertragen werden kann. Basis ist dabei die geotechnische Zuarbeit [U6] zur bergbaulichen Stellungnahme.

2 Arbeitsunterlagen

- [U1] Windpark Forst-Briesnig III, Errichtung und Betrieb von 14 Windenergieanlagen (WEA), Anfrage zur Übertragbarkeit der Geotechnischen Stellungnahme zur Machbarkeit, Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde, Windpark Forst-Briesnig II“ vom 12.05.2021, EP New Energies, E-Mail vom 31.07.2024
- [U2] Bodenmechanische Stellungnahme, Sicherung von Kippenflächen, Einschätzung von Wechselwirkungen zwischen bergbaulichen Planungen gemäß Betriebsplänen der LE-B und Planungen zur Errichtung von Windenergieanlagen (WEA), Allgemeine geotechnische Randbedingungen und Abhängigkeiten, Lausitz Energie Bergbau AG, Abteilung Geotechnik, Fachgruppe Bodenmechanik, Cottbus, 23.03.2021
- [U3] Geotechnische Stellungnahme zur Machbarkeit, Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde, Windpark Forst-Briesnig II, Lausitz Energie Bergbau AG, Abteilung Geotechnik, Fachgruppe Bodenmechanik, Cottbus, 12.05.2021
- [U4] Windpark Forst-Briesnig II, Baugrundgutachten und Standsicherheitseinschätzung WEA-Standorte und Kranstellflächen, Bericht GA 21/052, GMB GmbH, Senftenberg, Revision 01, 06.10.2023
- [U5] Tagebau Jänschwalde, Baugrundvergütung mittels Rütteldruckverdichtung (RDV) für den Windpark Forst-Briesnig II, Ausführungsplanung, Lausitz Energie Bergbau AG, Abteilung Geotechnik, Fachgruppe Bodenmechanik/Spezialtiefbau, Cottbus, 23.11.2023

Mitteilung

[U6] Tagebau Jänschwalde, Az: BS/JW/134/0093, Geotechnische Zuarbeit zur bergbaulichen Stellungnahme zum Vorhaben Windpark Forst-Briesnig III, Lausitz Energie Bergbau AG, Abteilung Geotechnik, Fachgruppe Bodenmechanik, Cottbus, 26.03.2024

3 Feststellungen und Empfehlungen

Die WEA im WP Forst Briesnig III sind auf Kippenflächen in unmittelbarer Umgebung der WP Forst Briesnig I und II geplant. Aus geotechnischer Sicht wird eingeschätzt, dass die in der

„Stellungnahme zur Machbarkeit, Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde, Windpark Forst-Briesnig II“ vom 12.05.2021 [U3]

formulierten geotechnischen Grundsätze und Schlussfolgerungen auf das Projekt „Windpark Forst-Briesnig III“ übertragbar sind.

Aufbauend auf dem gegenwärtigen Kenntnisstand zu den montangeologischen, -hydrologischen und bergtechnologischen Randbedingungen und unter Einbeziehung der Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben (u. a. WP Forst Briesnig I) ist die prinzipielle Machbarkeit der Errichtung der WEA am geplanten WP Forst Briesnig III gegeben. Aus geotechnischer Sicht liegen für das Errichten und Betreiben der geplanten WEA innerhalb des Projekts „Forst Briesnig III“ keine unüberwindbaren Hindernisse vor.

Aufgrund der schwierigen Baugrundverhältnisse (beim Grundwasserwiederanstieg und nachbergbaulich ist z. B. die Tagebaukippe aus verflüssigungsempfindlichen Lockergesteinsgemischen zusammengesetzt) sind Maßnahmen zur Baugrundverbesserung geboten. Die Konzeptplanungen sehen zur Baugrundvergütung auf nicht tragfähigen Baugrund übliche und bei ähnlichen Bauvorhaben erfolgreich umgesetzte Verfahren der Tiefenverdichtung und nachfolgend eine oberflächennahe Baugrundvergütung vor. Zusätzlich sind ggf. anlagenspezifische kombinierte Tiefgründungen als Pfahl-/Plattengründungen erforderlich. Mit den genannten Maßnahmen ist es nach den bisherigen Erfahrungen möglich, die langfristige Standsicherheit zu gewährleisten.

Weitere tieferegehende Untersuchungen und Baugrundgutachten bis hin zur Erarbeitung ortskonkreter bodenmechanischer Standsicherheitsnachweise müssen in den weiteren Planungs- und Realisierungsschritten erfolgen.

Mit freundlichen Grüßen
und Glückauf



Lausitz Energie Bergbau AG
Planung / Asset Management
Abteilung Geotechnik/Bodenmechanik
Leagplatz 1
03050 Cottbus

Geotechnische Stellungnahme

zur Machbarkeit

Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde

Windpark Forst-Briesnig II

Angefordert durch: Lausitz Energie Kraftwerke AG
Umweltschutz Genehmigungen
Z-MGK-AG

Gültigkeitsbereich: Kippenflächen LE-B

Gültigkeitsdauer: Grundwasserwiederanstieg und nachbergbaulich

Cottbus, 12.05.2021

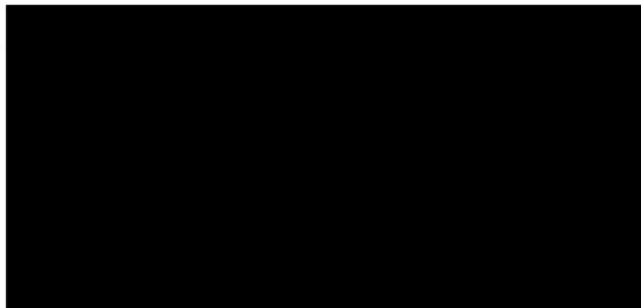
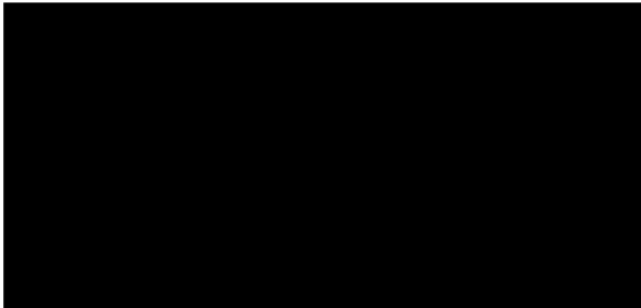
21 Seiten	- Anlagen	7 Abbildungen	3 Tabellen
-----------	-----------	---------------	------------

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Unterschriftenblatt

Titel: Geotechnische Stellungnahme
zur Machbarkeit
Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf
Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II

Datum: 12.05.2021



Verteiler:

LE-K, Umweltschutz Genehmigungen, Z-MGK-AG, (Exemplar 1 & 2)
EP New Energies GmbH, (digital)
LE-B, Geotechnik, B-ZG, (digital)
LE-B, Referat Brandenburg, B-ZPW, (digital)
LE-B, Abt. Geotechnik, Bodenmechanik, B-ZGB, Exemplar 3

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Inhaltsverzeichnis

	Seite
A	
Abbildungsverzeichnis	4
B	
Tabellenverzeichnis	5
1	
Veranlassung	6
2	
Arbeitsunterlagen	8
3	
Geotechnische Grundsätze und Randbedingungen	10
3.1	10
Grundsätzliche Aussagen	
3.2	12
Randbedingungen am geplanten Windparks Forst-Briesnig II	
3.3	13
Erforderliche Standsicherheitsuntersuchungen	
4	
Konzeptplanungen zur geotechnischen Sicherung und	
Einschätzungen der Machbarkeit	13
5	
Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen bei	
Verdichtungsarbeiten und daraus abgeleitete Mindestabstände	15
5.1	15
Grundlagen und Anhaltswerte aus der DIN 4150, Teil 3	
5.2	16
Ergebnisse von Schwinggeschwindigkeitsmessungen bei	
Verdichtungsmaßnahmen auf Kippen	
5.3	19
Richtwerte für Mindestabstände bei Verdichtungsarbeiten	
6	
Zusammenfassung	21

A Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Struktureller Aufbau, Randbedingungen und geotechnische Teilmodelle einer Standsicherheitsuntersuchung	10
Abbildung 2: Zeitliche Einordnung und Entwicklung der Güte von bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen	11
Abbildung 3: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Rütteldruckverdichtung (RDV) sowohl in erdfeuchten (überwiegender Anteil der zu verdichtenden Kippe) also auch in wassergesättigten Kippen realisiert wurden, Kippenflächen der LE-B, Grundlage: Messberichte in [U8]	17
Abbildung 4: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Fallgewichtsverdichtung (FGV) auf RDV-Bereichen durchgeführt wurden, Fallhöhe 25 m, Fallmasse 30 t, Kippenflächen der LE-B, Messberichte in [U8].....	18
Abbildung 5: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Impulsverdichtung (IPV) auf RDV-Bereichen durchgeführt wurden, Fallhöhe 1,2 m, Fallmasse 9 t, Kippenflächen der LE-B, Messberichte in [U8].....	18
Abbildung 7: Schematische Darstellung von Mindestabständen, Grundlage: [U14]	20

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
 Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
 Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

B Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke, nach DIN 4150, Teil 3, [U14]	15
Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke, nach DIN 4150, Teil 3, [U14]	15
Tabelle 3: Richtwerte von Mindestabstände bei Verdichtungsmaßnahmen (RDV, FGV und IPV) zu Wohnbebauung und gewerblich genutzten Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierten Bauten sowie zu Rohrleitungen aus Mauerwerk und Kunststoff unter Bezug auf Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 3, (Dauererschütterungen)	19

1 Veranlassung

Im Bereich des Windeignungsgebietes W19 auf den Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde stehen bereits fünf Windenergieanlagen (WEA), welche 2018 als Windpark (WP) „Forst-Briesnig I“ errichtet wurden. Durch die EP New Energies (EPNE) erfolgt derzeit u. a. die Projektierung von weiteren 17 WEA innerhalb des Windeignungsgebietes W19. Diese Anlagen sind dem Projekt WP „Forst-Briesnig II“ zugeordnet.

Das Windeignungsgebiet W19 ist auf ausgekohlten und wiederverkippten Flächen des Tagebaues Jänschwalde angeordnet. Tagebaukippen sind auf Grund ihrer Genese als anspruchsvoller Baugrund zu bewerten. I. d. R. sind die geotechnischen Untersuchungen und Nachweise unter Berücksichtigung der Einordnung des Bauvorhabens (BV) in die geotechnische Kategorie 3 nach DIN 4020 zu planen und durchzuführen. Der Kippenuntergrund der 5 Bestandsanlagen wurde gemäß den geotechnischen und bautechnischen Anforderungen mit Tiefenverdichtung als Rütteldruckverdichtung und anschließend mit einer oberflächennahen Verdichtung mit Fallgewicht (FGV) vergütet. Geotechnische Grundlage dieser Baugrundverbesserungsmaßnahmen waren die Ergebnisse von standortkonkreten bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen. In diesen wurden, fortgeschrieben und angepasst an den jeweiligen Erkenntnisstand bei der Erkundung des Baugrunds und bei der technischen Planung der WEA, die geotechnischen Erfordernisse für den Aufbau und Betrieb der WEA begründet, [U4] bis [U7].

Die Planungen zum WP „Forst-Briesnig II“ sehen bezüglich der Baugrundbeurteilung und Ableitung erforderlicher geotechnischer Sicherungsmaßnahmen grundsätzlich eine ähnliche Verfahrensweise vor. In Vorbereitung auf die Erstellung der bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchung laufen derzeit die ortskonkreten Erkundungsmaßnahmen des Baugrundes „Tagebaukippe“ mit bodenphysikalischen Feld- und Laborversuchen. Die bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchung mit den Empfehlungen und Vorgaben zur erforderlichen Baugrundvergütung wird voraussichtlich im 3. Quartal 2021 vorliegen.

Die Genehmigungsverfahrensstelle benötigt im aktuellen BImSchG-Verfahren für die Errichtung der WEA am geplanten WP „Forst Briesnig II“ auf Kippenflächen zeitlich vorlaufend zur bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchung eine „*grundsätzliche Standsicherheitseinschätzung ... , mit welcher der Nachweis¹ erbracht wird, dass die Errichtung der Windkraftanlagen aus geotechnischer Sicht möglich ist.*“, [U1].

Diese Stellungnahme bildet den derzeitigen Planungsstand ab und zeigt die grundsätzliche Machbarkeit des Bauvorhabens. Im Zuge der weiteren Planungs- und Bearbeitungsschritte werden „Bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchungen“ im Sinne der Richtlinie Geotechnik des LBGR erarbeitet. Für die Planungs- und Realisierungsphase ist das im nächsten Schritt eine „Bodenmechanische Standsicherheitseinschätzung“ in der u. a. Zielvorgaben für die Verdichtung der Tagebaukippe und die Baugrundvergütung formuliert werden. Nach Abschluss der erforderlichen Verdichtungs- und Baugrundvergütungsmaßnahmen erfolgt eine Bewertung als „Bodenmechanischer Standsicherheitsnachweis“.

¹ Anmerkung des Verfassers dazu: Ein bodenmechanischer Standsicherheitsnachweis kann in Tagebaukippen aufgrund der dafür erforderlichen Kenntnisse erst nach Abschluss der notwendigen Verdichtungs- und Baugrundverbesserungsarbeiten und der Nacherkundung im vergüteten Baugrund erfolgen, da erst dann alle erforderlichen Bodenkennzahlen in dem dann vergüteten Baugrund bestimmt sind. Bis zu diesem Zeitpunkt sind die Zahlenwerte für die maßgeblichen Bodenschichten mit begründeten Annahmen als Zielwerte zu bezeichnen. Zu diesem Zeitpunkt weisen die bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen den Rang einer Standsicherheitseinschätzung auf.

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Neben den geotechnischen Nachweisen sind gemäß [U1] bauordnungsrechtliche Nachweise zu erbringen:

„Der bauordnungsrechtliche Nachweis, dass die Anlagen standsicher errichtet werden können und die Anforderungen an die Standsicherheit eingehalten werden, ist in Brandenburg in § 66 Abs. 3 BbgBO geregelt. Bei Sonderbauten wie Windkraftanlagen muss hierfür vor Baubeginn ein Prüfbericht eines Prüfsachverständigen für Baustatik zur Prüfung der Standsicherheit vorgelegt werden. Grundlage dieses Standsicherheitsnachweises sind bei Windkraftanlagen regelmäßig die Typenprüfung, das Baugrundgutachten und bei Errichtung von mehreren Anlagen das Standorteignungsgutachten (auch Turbulenzgutachten). Bei der Errichtung von Windkraftanlagen auf Kippenflächen kann jedoch das im Rahmen der serienmäßigen Typenprüfung zu Grunde gelegte Fundament nicht angewendet werden. Vielmehr ist auf Grundlage des Baugrundgutachtens zunächst ein anlagenbezogenes Fundament inkl. Statik neu zu entwickeln. Im Anschluss muss für diese eine eigene projektspezifische Typenprüfung durch eine Prüf- stelle erfolgen.“

Die Abteilung Geotechnik bei LE-B wurde für die vorliegende Planungs- und Genehmigungsphase beauftragt, in einer ersten Bearbeitungs- und „Gütestufe“ bezüglich der bodenmechanischen Bewertungen eine „Geotechnische Stellungnahme“ zu formulieren, mit der:

- unter Bezugnahme auf die bestehenden Anlagen am WP „Forst-Briesnig I“ und den bei der dortigen Baugrundvergütung gesammelten Erfahrungen, im Analogieschluss die grundsätzliche Machbarkeit der für eine WEA spezifischen Baugrundvergütung auf einer Tagebaukippe sowie die anschließende Errichtung von WEA aufgezeigt wird und
- auf die zu erwartenden Erschütterungen in Bezug auf die Schutzobjekte in Form baulicher Anlagen (Gärrestbehälter, Bestandsanlagen, Wohnbebauung nahliegender Ortschaften) eingegangen wird.

In der vorliegenden „Geotechnischen Stellungnahme“ erfolgen keine Standsicherheitsberechnungen; sie stellt somit kein eigenständiges Gutachten im Sinne einer „Bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchung“ nach den im Bergrecht gültigen gesetzlichen und fachlichen Grundlagen dar. Die Machbarkeit wird unter Zugrundelegung von Analogieschlüssen beurteilt.

Y:\Continental\CG\CG-M\CG-MP\CG-MPG3\RestraumPlanungen WP\03-Bearbeitung\2021-05-12-STN Herstellung Standsicherheit WP.docx

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
 Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
 Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

2 Arbeitsunterlagen

- [U1] Tagebau Jänschwalde, Aufgabenstellung, Geotechnische Stellungnahme zur Herstellung der Standsicherheit, E-Mail, Lausitz Energie Kraftwerke AG, Umweltschutz / Genehmigungen, E-Mail, 06.05.2021 und 12.05.2021
- [U2] Tagebau Jänschwalde, Planungen WP Forst-Briesnig II, Layout, Stand 21.04.2021, EP New Energie, Berlin
- [U3] Tagebau Jänschwalde, Standsicherheitseinschätzung für die Endgestaltung und Sicherung von Kippenoberflächen, Vattenfall Europe Mining AG, HA Bergbauplanung / Infrastruktur, Abteilung Geotechnik, Cottbus, 17.03.2008
- [U4] Tagebau Jänschwalde, Geotechnical Report, Hauptbericht, 5 Windenergieanlagen (WEA) Forst-Briesnig, IWB, Ingenieurgesellschaft mbH, Hamburg, 01.03.2012
- [U5] Tagebau Jänschwalde, Fortschreibung zu [U4], GICON, Freiberg, 21.11.2017
- [U6] Tagebau Jänschwalde, 5 Windenergieanlagen bei Forst-Briesnig, Standsicherheitseinschätzung zur Gründung der WEA unter Berücksichtigung der gegenseitigen Beeinflussung angrenzender Maßnahmen, GICON, Freiberg, 23.11.2012
- [U7] Tagebau Jänschwalde, 1. Nachtrag zu [U5], Aktualisierung unter Berücksichtigung der Fortführung der As-Schüttung und der Ergebnisse zur RDV im Anfangsbereich vom zukünftigen Düringsgraben, GICON, Freiberg, 24.05.2017
- [U8] Bodenmechanische Stellungnahme, Sicherung von Kippenflächen, Einschätzung von Wechselwirkungen zwischen bergbaulichen Planungen gemäß Betriebsplänen der LE-B und Planungen zur Errichtung von Windenergieanlagen (WEA), Allgemeine geotechnische Randbedingungen und Abhängigkeiten, Lausitz Energie Bergbau AG, Abteilung Geotechnik, Fachgruppe Bodenmechanik, Cottbus, 23.03.2021
- [U9] Ersteinschätzung zu den Gründungsaufwendungen für Windenergieanlagen auf Kippenflächen, GICON, Dresden, Freiberg, 30.09.2020
- [U10] Richtlinie des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, geotechnische Sicherheit (GeSi), LBGR, Cottbus, 01.07.2014
- [U11] Tagebaukippen als Baugrund, Zwischenbericht, TU BAF FB Geotechnik und Bergbau, Freiberg, 04.06.1993
- [U12] Beurteilung der Setzungsfließgefahr und Schutz von Kippen gegen Setzungsfließen, TU Bergakademie Freiberg, Universität Karlsruhe, LMBV mbH, Dezember 1998
- [U13] Flächenhafter Nachweis der Verdichtung stabilisierter Kippen und Kippenböschungen, Hrsg. LMBV mbH, Juni 2002
- [U14] Handlungsgrundlage zur Beurteilung der Gefährdung von flachwelligen Kippenbereichen durch Setzungsfließen und Geländeeinbrüche im bergrechtlichen Verantwortungsbereich der VEM AG, TU Bergakademie Freiberg, Professur für Erdbau und Spezialtiefbau, Freiberg, 2. Fassung vom 04.12.2019
- [U15] DIN 1054, Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Dezember 2010, Normenausschuss Bauwesen (NABau)
- [U16] Bauwesen, Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 2: Erkundung und Untersuchung, Beuth Verlag GmbH, 1. Auflage, 2011

Y:\Continental\CG\CG-M\CG-MP\CG-MPG\CG-MPG3\Daten\Uw_Restraum\Planungen WP\03-Bearbeitung\2021-05-12-STN Herstellung Standsicherheit WP.docx

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

[U17] DIN 4150-3, Erschütterungen im Bauwesen, Teil 3: Einwirkungen auf bauliche
Anlagen, Februar 1999 (Hinw.: akt. 12/2016 – keine Änderungen der Anhaltswerte)

Y:\Continental\CG\CG-M\CG-MP\CG-MPG\CG-MPG3_Daten\Uw_Restraum\Planungen WP\03-Bearbeitung\2021-05-12-STN Herstellung Standsicherheit WP.docx

3 Geotechnische Grundsätze und Randbedingungen

3.1 Grundsätzliche Aussagen

Im Sinne eines besseren Verständnisses zu den üblichen Abläufen und Erfordernissen bei der Bewertung von BV auf Tagebaukippen werden grundsätzliche Herangehensweisen im Folgenden kurz dargestellt.

Tagebaukippen werden neben der gemäß den Betriebsplänen vorgesehenen Folgenutzung seit vielen Jahren als Baugrund für Ingenieurbauwerke (Straßen, Gleistrassen, WEA) genutzt. Sie sind als anspruchsvoller Baugrund zu bewerten. Insbesondere Tagebaukippen im Lausitzer Braunkohlenrevier bestehen meist aus verflüssigungsempfindlichen Lockergesteinsgemischen. Bei Wassersättigung und dem Einwirken eines Initials ist in den locker geschütteten Kippen mit Bodenverflüssigung zu rechnen. Der Baugrund verliert dann vollständig oder einen großen Teil seiner Scherfestigkeit und darin gegründete Bauwerke sind dann nicht standsicher. Die geotechnischen Untersuchungen und Nachweise bei BV auf einer Tagebaukippe erfolgen unter Berücksichtigung der Einordnung des BV in die geotechnische Kategorie 3 nach DIN 4020². Dabei wird bei LE-B die schon während des Tagebaubetriebs im Lausitzer Braunkohlenrevier umgesetzte Methodik der Standsicherheitsuntersuchungen grundsätzlich beibehalten. Diese Grundsätze sind in der „Richtlinie des Landesamtes für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg, geotechnische Sicherheit (GeSi), LBGR, Cottbus, 01.07.2014“, [U10], formuliert. In Anlehnung an diese Grundsätze lassen sich die Randbedingungen und die Struktur einer bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchung gemäß Abbildung 1 darstellen.

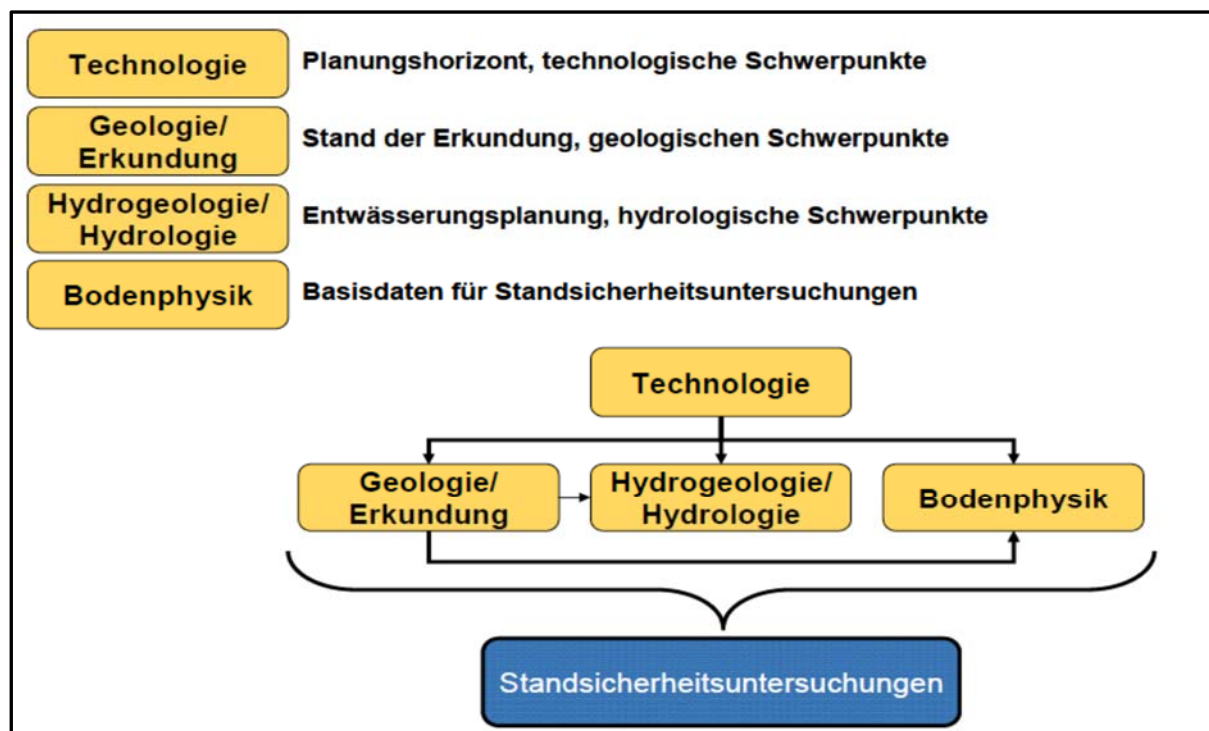


Abbildung 1: Struktureller Aufbau, Randbedingungen und geotechnische Teilmodelle einer Standsicherheitsuntersuchung

² Braunkohlentagebaue gehören nicht zum Anwendungsbereich dieser Norm (Hinw.: Bezug DIN 1054), da hier durch andere geologische und geotechnische Erkundungen, Voruntersuchungen und Überwachungen andere Sicherheitsbedingungen vorliegen.

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
 Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Mit der zeitlich strukturierten Fortschreibung der Planungsaufgaben erfolgen die zur Erhöhung des Tiefgangs bzw. des Durchdringungsgrades der jeweiligen Planungsetappe notwendigen Erkundungs- und Untersuchungsmaßnahmen. Diese können im Einzelnen fortgeschriebene bautechnische Planungen (z. B. WEA-Typ, Fundamentausbildung), den Grad der montangeologischen Erkundung und / oder der montanhydrologischen Modellierung sowie die Qualifizierung der bodenphysikalischen Grundlagen und der bodenmechanischen Modellierung umfassen. Mit der Festlegung des zeitlichen Planungshorizontes ergibt sich somit in Verbindung mit dem montangeologischen, -hydrologischen und bodenphysikalischen Erkundungsstand ein proportionaler Zusammenhang zum Grad der Bearbeitungstiefe der Standsicherheitsuntersuchungen. Das bedeutet, dass mit zunehmender Präzisierung der Eingangsdaten sowie mit steigendem Detaillierungsgrad der Zielvorgaben in Verbindung mit einem erhöhten Erkundungsaufwand sich auch die Qualität der Aussagen in den Standsicherheitsuntersuchungen schrittweise erhöht. Die Zusammenhänge sind schematisch in der Abbildung 2 dargestellt.

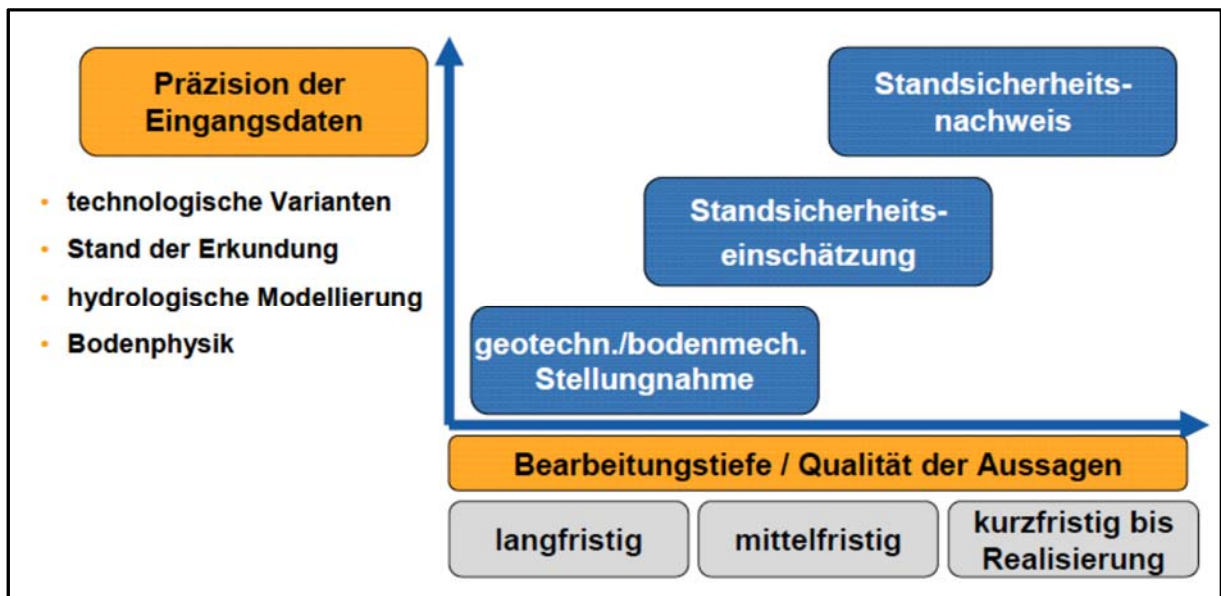


Abbildung 2: Zeitliche Einordnung und Entwicklung der Güte von bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen

Die bodenmechanischen Standsicherheitsuntersuchungen für den geplanten WP Forst-Briesnig folgen diesen Grundsätzen.

Die vorliegende Stellungnahme zeigt die grundsätzliche Machbarkeit des BV. Dabei wird auf vielfältige Erfahrungen (u. a. Planungen, Bau und Betrieb des nahegelegenen WP „Forst-Briesnig I“) zurückgegriffen. Die grundsätzlichen montangeologischen, -hydrologischen und bergtechnischen Randbedingungen sind aus dem laufenden Tagebaubetrieb und dem Monitoring bei LE-B bekannt. Weiterhin liegen Konzepte der WEA-Anlagenplanungen vor. Im Analogieschluss wird mit dem allgemeinen Verweis auf zu erbringende Baugrundvergütungsmaßnahmen die Machbarkeit aufgezeigt.

Aktuell erfolgen im Hinblick auf die Bearbeitung der nächsten „Gütestufe“, nämlich der „Stand-sicherheitseinschätzung“, bodenphysikalische Feld- und Laborversuche. Mit den Ergebnissen dieser standortkonkreten Erkundung und einer fortgeschriebenen Anlagenplanung wird die Standsicherheitseinschätzung erarbeitet. Im Ergebnis werden standortkonkrete Vorgaben zur erforderlichen Baugrundvergütung einschließlich eines Monitorings zu Bewertung der Baugrundvergütung formuliert. Dies schließt Vorgaben zu verdichteten Kubaturen (Breite und

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Tiefe, Art der Baugrundvergütung) in der Kippe als sogenannte „versteckte“ Dämme und nachzuweisende bodenphysikalische Kennzahlen (z. B. Scherfestigkeit, Dichten, Steifigkeit) ein. Mit dem Monitoring, z. B. der Dokumentation und Auswertung der Prozessdaten bei der Verdichtung, werden einerseits die vorgegebenen zu verdichtenden Kubaturen und andererseits die Zielwerte der Bodenkenngößen geprüft.

Nach Abschluss der Baugrundvergütungsmaßnahmen und der Verdichtungsprüfungen mit geophysikalischen Feld- und Laborversuchen wird standortkonkret der vergütete Baugrund bewertet und für die vorgesehene Anlage der geotechnische Standsicherheitsnachweis erstellt. Ergebnis des Standsicherheitsnachweises kann z. B. das Erfordernis einer kombinierten Pfahl-Platten-Gründung sein.

3.2 Randbedingungen am geplanten Windparks Forst-Briesnig II

Die Standorte der 17 Windenergieanlagen (WEA) des geplanten WP „Forst-Briesnig II“ sind auf der Innenkippe des Tagesbaues Jänschwalde angeordnet. Die aktuellen Geländehöhen betragen im Bereich der WEA zwischen (+67 ... +74) m NHN. Das Gelände wird landwirtschaftlich genutzt.

Die Standorte der geplanten WEA liegen im östlichen Bereich des sogenannten Sektors Malxe der Innenkippe. Die Baugrundverhältnisse sind durch Kippenmischböden der Verkipfung durch die Abraumförderbrücke (AFB) und eines Absetzers (As) geprägt. Der Kippenmischboden der AFB-Kippe setzt sich hier aus ca. 60 % pleistozänen Sanden und ca. 40 % tertiären Böden, mit ca. (10 ... 20) % und lokal >60 % Feinkornanteil, zusammen. Der kulturfremde Boden der As-Kippe besteht aus schluffigen und tonigen Sanden, Geschiebemergel sowie Geschiebesanden.

Das Kippenauflager liegt im Höhenniveau von (-2...+6) m NHN. Dementsprechend beträgt die Gesamtkippenmächtigkeit bezogen auf die aktuellen Geländehöhen $h_{GK} = (63...71)$ m. Die AFB-Kippe wurde im Zeitraum 1994 bis 2005 hergestellt und hat eine Mächtigkeit von $h_{K,AFB} = (44...66)$ m. Im Zeitraum 2006 bis 2020 erfolgte die Absetzerverkipfung auf der geplanten AFB-Kippe. In der Rückwärtsschüttung wurde kulturfremder Boden verkippt. Bezogen auf die geplante Geländeoberfläche der AFB-Kippe beträgt die Mächtigkeit der As-Kippe $h_{K,As} = (1...20)$ m.

Die aktuell vorliegenden Ergebnisse der montanhydrologischen Berechnung (Frühjahr 2020) weisen im Bereich des Bauvorhabens eine von Südost nach Nordwest gerichtete Grundwasserströmung auf. Der aktuelle Grundwasserstand liegt zwischen ca. +47 m NHN im Südosten (WEA 17) und +(21...22) m NHN im Nordwesten (WEA 1 und WEA 2). Der Grundwasserwiederanstieg pro Jahr beträgt z.Zt. etwa $\Delta h_w = (1...2)$ m.

Nachbergbaulich wird sich im Bereich des geplanten Windparks prognostisch ein maximaler Grundwasserstand von +(65...66) m NHN einstellen. Bei diesem Grundwasserstand ist ein maximaler Sicherheitszuschlag von +1 m berücksichtigt.

Der Kippenmischboden ist überwiegend inhomogen zusammengesetzt, locker bis sehr locker gelagert und neigt bei einer Wassersättigung zur Bodenverflüssigung, wenn Initiale (z.B. Befahren und Erschütterungen beim Betrieb der WEA) einwirken. Hinsichtlich der Bauvorhaben wird der gegenwärtig vorhandene Baugrund als nicht ausreichend tragfähig eingestuft. Eigensetzungen der AFB-Kippe sind auf Grund der Liegezeit (>15 Jahre) abgeschlossen. Ungleichmäßige bauwerksunverträgliche Lastsetzungen und Setzungen/Sackungen infolge Infiltration von Niederschlagswasser und Grundwasserwiederanstieg sind jedoch zu erwarten. Der oberflächennah anstehende kulturfremde Boden mit einem hohen Feinkornanteil ist stark wasserempfindlich und neigt bei einem Wasserzutritt zur Aufweichung und Tragfähigkeitsverlust.

Y:\Continental\CG\CG-MICG-MPG3\RestraumPlanungen WP\03-Bearbeitung\2021-05-12-STN Herstellung Standsicherheit WP.docx

Mit der aktuellen standortkonkreten Baugrunderkundung (mit dem derzeitigen Zwischenstand 07.05.2021) werden die allgemein beschriebenen Kippenverhältnisse im Wesentlichen bestätigt. Die Erkundung der oberflächennahen As-Kippen mit Kleinrammbohrungen (KRB) und Drucksondierungen (DS) bis in eine Tiefe von maximal $z = 15$ m unter Gelände zeigen den erwarteten bindigen und gemischtkörnig bindigen Kippenmischboden (überwiegend Geschiebemergel/-sand) mit hohen Feinkornanteilen (z.T. $>30\%$) an. Der AFB-Kippenmischboden ist bis zur Endteufe der Erkundung (maximal $z = 70$ m unter Gelände) überwiegend locker gelagert. Lokal sind geringmächtige Schichten mit höheren Feinkornanteilen ($>30\%$) eingeschaltet.

3.3 Erforderliche und geplante Standsicherheitsuntersuchungen

Es ist davon auszugehen, dass standortkonkret locker gelagerte, nichtbindige und wassergesättigte Kornstrukturen (Kippen) anstehen, die bei genügend schnellen und starken mechanischen Störungen (Initialen) zur spontanen Entfestigung neigen (Bodenverflüssigung). Im Speziellen wurden diese Erkenntnisse in Bezug auf locker gelagerte Tagebaukippen in mehrjährigen universitären Forschungstätigkeiten untersucht und in entsprechender Fachliteratur publiziert (siehe u. a. „Grünes“ und „Weißes“ Heft, HGL, [U11] bis [U14]). Auf Basis der dortigen Empfehlungen sind aus jetziger Sicht folgende bodenmechanische Standsicherheitsuntersuchungen und -berechnungen zur Beurteilung der Auswirkungen einer Verflüssigung im Hinblick auf die geplante Nutzung erforderlich:

- 1) Standsicherheitsuntersuchungen zum Nachweis der Sicherheit gegen Setzungsfließen
- 2) Standsicherheitsuntersuchungen zum Nachweis der Sicherheit gegen Ausgleichsdeformationen durch Geländehöhenunterschiede (Nachweis gegen Geländebrüche mit Hebungen)
- 3) Gebrauchstauglichkeitsnachweis (Nachweis der Sicherheit gegen Geländeeinbrüche ohne Hebungen)
- 4) Standsicherheitsuntersuchungen zum Nachweis gegen Verflüssigungsgrundbruch bei äußerer Belastung
- 5) Abschätzung der Setzungen und Sackungen auf ihre Bauwerksverträglichkeit

Für diese erforderlichen Untersuchungen liegen langjährig an Tagebaukippen erprobte und auf breiter fachlicher Basis akzeptierte Modelle und Herangehensweisen vor. Mit den Ergebnissen der Standsicherheitsuntersuchungen werden erforderliche Sicherungselemente in der Tagebaukippe dimensioniert und Vorgaben zu deren Herstellung formuliert. Alle Untersuchungen und Berechnungen werden durch einen beim LBGR gelisteten Sachverständigen für Böschungen geprüft.

4 Konzeptplanungen zur geotechnischen Sicherung und Einschätzungen der Machbarkeit

Für die Sicherung des Geländes und des Untergrundes hinsichtlich der Verflüssigungsgefahr und die Vorwegnahme von lastunabhängigen Setzungen/Sackungen infolge Grundwasseranstieg und Infiltration von Niederschlagswasser ist eine Tiefenverdichtung des Kippenbodens mit Rütteldruckverdichtung (RDV) im Pilgerschrittverfahren geplant. Dieses Verfahren wurde bei vergleichbaren Baumaßnahmen und bei vergleichbaren Kippenverhältnissen erfolgreich angewendet (u. a. am nahegelegenen WP Forst-Briesnig I). Die Machbarkeit ist gegeben.

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Der mit Rütteln verdichtete Kippenuntergrund umfasst in jedem Fall den Lasteinflussbereich der WEA. I. d. R. ist zum Ausschluss einer Bodenverflüssigung und zur Vorwegnahme von Setzungen und Sackungen eine im Bezug zum Lasteinflussbereich tiefere Verdichtung bis in die unteren Niveaus der Tagebaukippe (im Extremfall bis zum Kippenaufleger) erforderlich. Die konkrete Rütteltiefe wird in Abhängigkeit von den standortkonkreten Randbedingungen und Erkundungsergebnissen sowie dem Anlagentyp mit Standsicherheitsberechnungen bestimmt und in der zu bearbeitenden Standsicherheitseinschätzung festgelegt. Gegenwärtige Konzeptplanungen sehen zur Baugrundvergütung einen Verdichtungskörper mit einem Durchmesser von ca. 40 m vor. Der Überstand zwischen Fundamentaßenkante der WEA und der Außenkante des Verdichtungskörpers wird so bemessen, dass Nachbrüche nach möglichen Bodenverflüssigungen oder Sackungen in angrenzenden unverdichteten Kippenbereichen das Fundament der WEA nicht erreichen. Die Verdichtungstiefe wurde im nahegelegenen WP „Forst-Briesnig I“ mit T = 55 m umgesetzt. Damit wurde mit Ausnahme der ehemaligen AFB-Vorkippe der gesamte Kippenkörper verdichtet. Die Vorkippe bestand entweder aus nicht verflüssigungsempfindlichen Böden oder war bereits ausreichend dicht gelagert. Inwieweit dies auch für die Standorte der geplanten WEA des WP „Forst-Briesnig II“ zutrifft, werden die Ergebnisse der Baugrunderkundung zeigen. Ggf. werden die Verdichtungstiefen angepasst und es wird, sofern notwendig, der gesamte Kippenkörper bis zum Kippenaufleger (betriebliches Liegende) verdichtet.

Im Lasteinflussbereich und zur Erhöhung der Tragfähigkeit des i. d. R. nur oberflächennah anstehenden bindigen und gemischtkörnig bindigen Kippenmischbodens ist in Abhängigkeit der Auswertung der standortkonkreten Baugrunderkundung eine Rüttelstopfverdichtung und / oder eine Fallgewichtsverdichtung erforderlich. Diese Verfahren kamen ebenfalls bereits erfolgreich bei vergleichbaren Baumaßnahmen und vergleichbaren Kippenverhältnissen zur Anwendung. Die Machbarkeit ist gegeben. Ziel dieser oberflächennahen Maßnahmen zur Baugrundvergütung sind:

- technisch bedingt schlechter mit Rütteln verdichtbare oberflächennahe Bereiche zu vergüten und die Gefahr einer Bodenverflüssigung auszuschließen und
- eine Erhöhung der Steifigkeit im Baugrund.

Zusammengefasst wird eingeschätzt, dass eine Gründung der WEA in der Tagebaukippe nur in Verbindung mit einer tiefreichenden Bodenverbesserung mit RDV in Kombination mit einer oberflächennahen Baugrundvergütung (Rüttelstopfen / Fallgewichtsverdichtung) notwendig und technisch möglich ist. Es liegen langjährige Erfahrungen zur technischen Realisierbarkeit der erforderlichen Verdichtungstiefen vor. Weiterhin liegen aus bereits realisierten Verdichtungsbereichen hinreichend gute Belege vor, die die Erreichbarkeit der zum Ausschluss von Bodenverflüssigung erforderlichen Bodenkennzahlen belegen.

In Abhängigkeit von den Ergebnissen der Verdichtungsprüfungen dieser Tiefenverdichtung und Baugrundvergütungen kann es bei den gewählten Anlagentypen mit den damit verbundenen hohen Lasten und Anforderungen an die statischen und dynamischen Steifigkeiten, ergänzend zu den Maßnahmen zum Ausschluss der Bodenverflüssigung und den Maßnahmen zur Vorwegnahme von lastunabhängigen Setzungen und Sackungen, notwendig werden, Tiefgründungen oder kombinierte Tiefgründungen auszuführen. Erste Konzepte liegen mit [U9] vor. Diese Ansätze sind grundsätzlich plausibel; die Randbedingungen müssen standortkonkret nach den realisierten Tiefenverdichtungsarbeiten und Baugrundverbesserungsmaßnahmen an den dann gültigen Anlagentypen geprüft und die Vorgaben entsprechend angepasst werden.

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
 Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
 Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

5 Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen bei Verdichtungsarbeiten und daraus abgeleitete Mindestabstände

5.1 Grundlagen und Anhaltswerte aus der DIN 4150, Teil 3

Grundlage der Bewertung und Ableitung erforderlicher Mindestabstände bildet die DIN 4150, Teil 3, [U14].

Tabelle 1: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von kurzzeitigen Erschütterungen auf Bauwerke, nach DIN 4150, Teil 3, [U14]

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s			
		Fundament Frequenzen			Oberste Deckenebene, horizontal
		1 Hz bis 10 Hz	10 Hz bis 50 Hz	50 Hz bis 100 Hz*)	alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	20	20 bis 40	40 bis 50	40
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5	5 bis 15	15 bis 20	15
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	3	3 bis 8	8 bis 10	8
*) Bei Frequenzen >100 Hz dürfen mindestens die Anhaltswerte für 100 Hz angesetzt werden					

Bei Dauererschütterungen gelten für Bauwerke die in der Tabelle 2 angegebenen Anhaltswerte.

Tabelle 2: Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i zur Beurteilung der Wirkung von Dauererschütterungen auf Bauwerke, nach DIN 4150, Teil 3, [U14]

Zeile	Gebäudeart	Anhaltswerte für die Schwinggeschwindigkeit v_i in mm/s
		Oberste Deckenebene, horizontal, alle Frequenzen
1	Gewerblich genutzte Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierte Bauten	10
2	Wohngebäude und in ihrer Konstruktion und/oder Nutzung gleichartige Bauten	5
3	Bauten, die wegen ihrer besonderen Erschütterungsempfindlichkeit nicht denen nach Zeile 1 und 2 entsprechen und besonders erhaltenswert (z.B. unter Denkmalschutz stehend) sind.	2,5

Für erdverlegten Rohrleitungen existieren ebenfalls entsprechende Richtwerte.

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

In der DIN 4150, Teil 3, ist zur Anwendung der Richtwerte formuliert (Anm. Tabellenbezug auf DIN 4150, Teil 3): „Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 eingehalten, so treten Schäden im Sinne einer Verminderung des Gebrauchswertes, deren Ursachen auf Erschütterungen zurückzuführen wären, nach den bisherigen Erfahrungen nicht auf. Werden trotzdem Schäden beobachtet, ist davon auszugehen, dass andere Ursachen für diese Schäden maßgebend sind. Werden die Anhaltswerte nach Tabelle 1 überschritten, so folgt daraus nicht, dass Schäden auftreten. Bei deutlichen Überschreitungen sind weitergehende Untersuchungen erforderlich.“

Gegenwärtig liegen bei der Fachgruppe Bodenmechanik von LE-B keine konkreten Angaben zu zulässigen Schwinggeschwindigkeiten an WEA einschließlich der Gründungen vor. Sofern vom Betreiber der WEA keine gesonderten Grenzwerte für zulässigen Schwinggeschwindigkeiten vorgegeben werden, müssen dafür die in der DIN 4150, Teil 3, angegebenen Anhaltswerte zulässiger Schwinggeschwindigkeiten herangezogen werden.

Windenergieanlagen sind Industriebauten. Für diese können Anhaltswerte für v_i der Zeile 1 der Tabelle 1 (kurzzeitige Erschütterungen) bzw. Tabelle 2 (Dauererschütterungen) genutzt werden. Erfahrungsgemäß liegen die Vorzugsfrequenzen bei der Kippenverdichtung meist bis 10 Hz, sie müssen jedoch im Einzelfall durch Messungen belegt werden.

Diese Herangehensweise ist dem Betreiber / Errichter der Anlagen mitzuteilen und von ihm schriftlich zu bestätigen. Davon abweichende Grenzwerte müssen vom Eigentümer / Betreiber / Errichter der Anlagen vorgegeben und bei der Planung und Ausführung dann berücksichtigt werden.

Wohnbebauung ist in die Zeile 2 der o. g. Tabellen einzuordnen. Der minimale Anhaltswert für die zulässige Schwinggeschwindigkeit beträgt $v_{i,zul} = 5 \text{ mm/s}$.

In jedem Fall wird empfohlen, vor Aufnahme von Verdichtungsarbeiten und nach Abschluss der Verdichtungsarbeiten an den nahegelegenen zu schützenden Objekten eine Bauzustandsanalyse mit Einbeziehung der Eigentümer durchzuführen und bereits vorhandene Baumängel, -schäden etc. zu dokumentieren.

5.2 Ergebnisse von Schwingungsgeschwindigkeitsmessungen bei Verdichtungsmaßnahmen auf Kippen

Im Zuge der seit vielen Jahren auf den Kippenflächen der LE-B (bis 2016 VE-M) realisierten Sicherungs- und Gestaltungsarbeiten mit Tiefen- und anschließender oberflächennaher Verdichtung (Rütteldruckverdichtung (RDV), Fallgewichtsverdichtung (FGV) und bereichsweise Impulsverdichtung (IPV)) erfolgte baubegleitend ein Monitoring u. a. zur Überwachung von Schwinggeschwindigkeiten. Für eine Ableitung von Mindestabständen zwischen zu schützenden Objekten und Erschütterungseinwirkungen bei o.g. Verdichtungsmaßnahmen wurden Ergebnisberichte von Schwinggeschwindigkeitsmessungen aus dem Zeitraum 2010 bis 2020 ausgewertet. Die Messungen und die Ergebnisberichte wurden durch fachkompetente Ingenieurbüros durchgeführt bzw. erstellt. Die Messungen erfolgten auf Kippenflächen der Tagebaue Jänschwalde, Nochten und Cottbus-Nord. Die Messergebnisse sind u. a. in [U8] dokumentiert und ausgewertet.

In den folgenden Diagrammen sind Ergebnisse von Schwingungsgeschwindigkeitsmessungen, die bei verschiedenen Verdichtungsmaßnahmen auf Kippenflächen der LE-B durchgeführt wurden, zusammengestellt. Dargestellt sind Messergebnisse während der Rütteldruckverdichtung (RDV), der Fallgewichtsverdichtung (FGV) und der Impulsverdichtung (IPV).

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
 Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Die Tiefenverdichtung mit RDV erfolgte in Kippen, die überwiegend aus grobkörnigen bis gemischtkörnigen Lockergesteinsgemischen zusammengesetzt sind. Die Verdichtung erfolgte in erdfeuchten und wassergesättigten Kippenböden, wobei der Anteil der erdfeuchten Schicht überwog.

Die oberflächennahe Verdichtung mit FGV und IPV erfolgte bei den hier dargestellten Ergebnissen auf mit Rütteln verdichteten Kippenflächen und ausschließlich in erdfeuchten Böden.

In den Diagrammen sind aus den Messwerten abgeleitete Trendlinien und zur Ableitung von Mindestabständen ausgewählte Anhaltswerte für die zulässige Schwinggeschwindigkeit gemäß DIN 4150, Teil 3, eingetragen. Weiterhin sind Höchstwerte der Schwinggeschwindigkeiten ausgewählt worden, die bei geringen Entfernungen zwischen Erschütterungsquelle und Messpunkt (Geophon) gemessen wurden. Diese Messwerte sind mit gesonderten Trendlinien versehen (Maximalwerte). Daraus resultieren im Vergleich zu den Trendlinien, die aus allen Messwerten bestimmt wurden, größere Abstände zwischen Erschütterungsquelle und möglichen zu schützenden Objekten.

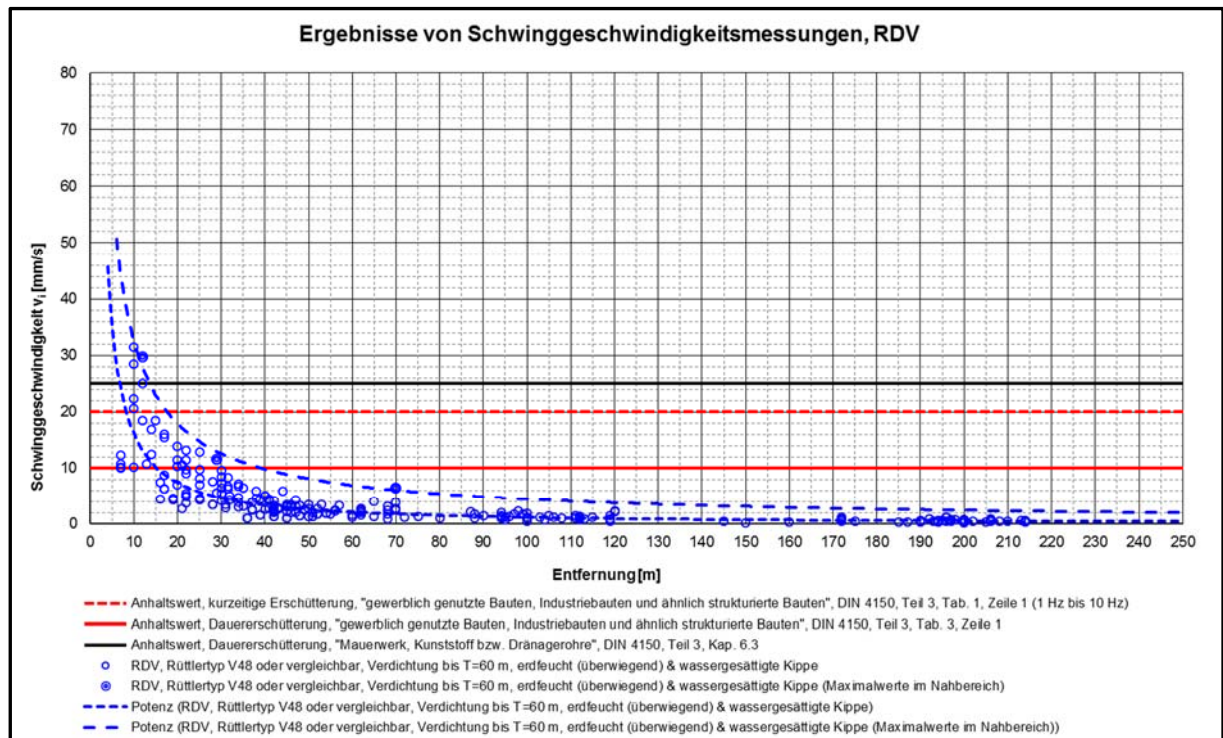


Abbildung 3: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Rütteldruckverdichtung (RDV) sowohl in erdfeuchten (überwiegender Anteil der zu verdichtenden Kippe) also auch in wassergesättigten Kippen realisiert wurden, Kippenflächen der LE-B, Grundlage: Messberichte in [U8]

Y:\Continental\CG\CG-MCG-MPG\CG-MPG3_Daten\Uw_Restraum\Planungen WP03-Bearbeitung\2021-05-12-STN Herstellung Standsicherheit WP.docx

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von
Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

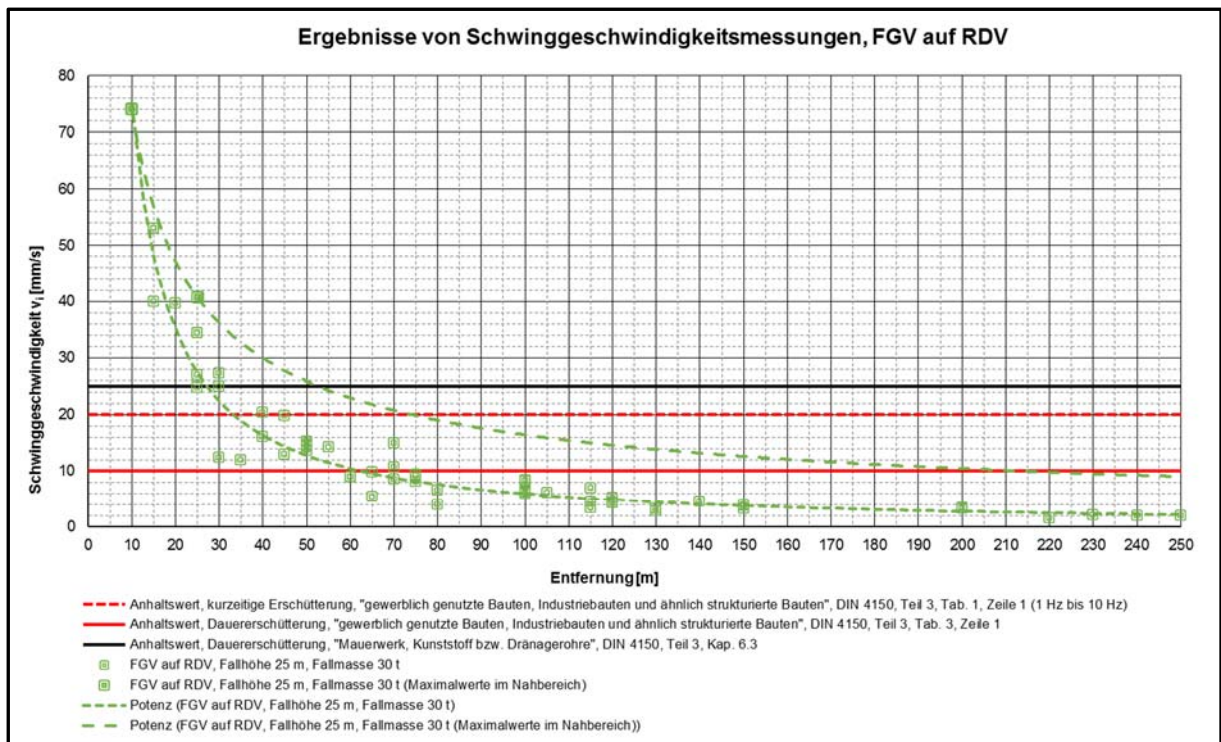


Abbildung 4: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Fallgewichtsverdichtung (FGV) auf RDV-Bereichen durchgeführt wurden, Fallhöhe 25 m, Fallmasse 30 t, Kippenflächen der LE-B, Messberichte in [U8]

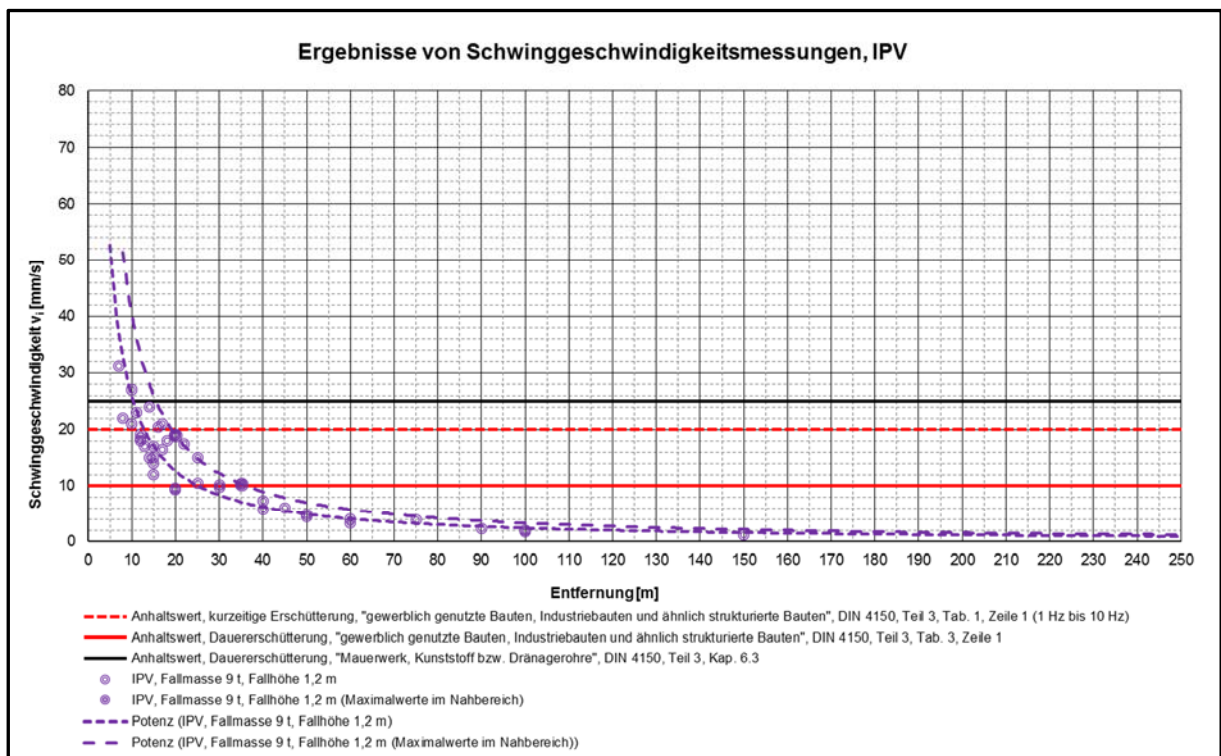


Abbildung 5: Auswertung von Schwinggeschwindigkeitsmessungen, die während der Impulsverdichtung (IPV) auf RDV-Bereichen durchgeführt wurden, Fallhöhe 1,2 m, Fallmasse 9 t, Kippenflächen der LE-B, Messberichte in [U8]

5.3 Richtwerte für Mindestabstände bei Verdichtungsarbeiten

In der Tabelle 3 sind die aus den Diagrammen abgeleiteten Richtwerte von Mindestabständen (aufgerundet) von Erschütterungsquellen zu „Wohngebäuden und in ihrer Konstruktion und/o-der Nutzung gleichartige Bauten“, „gewerblich genutzten Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierten Bauten“ sowie für Rohrleitungen aus „Mauerwerk, Kunststoff einschl. Drainage-rohre“ für verschiedene für Dauererschütterungen empfohlene Anhaltswerte der DIN 4150, Teil 3, eingetragen.

Tabelle 3: Richtwerte von Mindestabständen bei Verdichtungsmaßnahmen (RDV, FGV und IPV) zu Wohnbebauung und gewerblich genutzten Bauten, Industriebauten und ähnlich strukturierten Bauten sowie zu Rohrleitungen aus Mauerwerk und Kunststoff unter Bezug auf Anhaltswerte nach DIN 4150, Teil 3, (Dauererschütterungen)

Beschreibung DIN 4150, Teil 3	RDV	FGV Fallhöhe 25 m Fallmasse 30 t	IPV Fallhöhe 1,2 m Fallmasse 9 t
	Abstand zur Erschütterungsquelle [m]		
Dauererschütterung, Wohngebäude u. ä., Tab. 3, Zeile 2	30 85 ¹⁾	120 500 ¹⁾	45 65 ¹⁾
Dauererschütterung, Industriebauten u.ä., Tab. 3, Zeile 1	15 40 ¹⁾	65 220 ¹⁾	30 40 ¹⁾
Dauererschütterung Rohrleitung aus Mauer- werk, Kunststoff ein- schl. Dränagerohre	10 15 ¹⁾	30 55 ¹⁾	15 20 ¹⁾

¹⁾ ...abgeleitet aus Maximalwerten bei geringen Abständen zwischen Erschütterungsquelle und Messpunkt (Geophon)

Folgende Abstände sind zwischen den WEA-Standorten des gegenwärtigen Layouts des geplanten WP Forst-Briesnig II zu zu schützenden Objekten gegeben (Mindestabstände unter Berücksichtigung der nach der Konzeptplanung vorgesehenen Verdichtungssumringe, bezogen auf die Außenkanten):

- Bestand WEA 1, WP Forst-Briesnig I: 365 m (geplante WEA17)
- Bestand WEA 5, WP Forst-Briesnig I: 340 m (geplante WEA6)
- Bestand Gärrestbehälter: 450 m (geplante WEA6)
- Ortslage Briesnig: 1400 m (geplante WEA11+17)
- Fledermausquartier: 1200 m (geplante WEA6)

Die in der Tabelle 3 angegebenen Mindestabstände werden damit deutlich überschritten und schädigende Einflüsse aus den Verdichtungsarbeiten sind damit mit hoher Sicherheit ausgeschlossen. Bisherige Ergebnisse von Schwinggeschwindigkeitsmessungen bei den Verdichtungsmaßnahmen nahe des Gärrestbehälters mit minimalen Abständen von ca. 65 m zeigten die Einhaltung zulässiger Schwinggeschwindigkeiten. In jedem Fall wird zur Beweissicherung ein Monitoring zur Überwachung und Dokumentation der Schwinggeschwindigkeiten empfohlen. Das Monitoring zur Überwachung der Schwinggeschwindigkeit sollte zu Beginn der Maßnahme aufgenommen werden, um o. g. Richtwerte standort- und maßnahmekonkret zu prüfen und ggf. anzupassen. Gegebenenfalls werden Maßnahmen abgeleitet, die die Anhaltswerte sicherstellen (z. B. Veränderung der Technologie, Herstellung von Schlitzen zur Dämpfung).

Geotechnische Stellungnahme, zur Machbarkeit Herstellung der Standsicherheit von Windenergieanlagen (WEA) auf Kippenflächen des Tagebaues Jänschwalde
Windpark Forst-Briesnig II, 12.05.2021

Neben der direkten Beeinflussung von Bauwerken bzw. Rohrleitungen durch die Schwingungen können durch die Wirkung von Erschütterungen bodenmechanische Prozesse auftreten, die zu Verformungen des Baugrundes führen. In unverdichteten Tagebaukippen mit üblicherweise überwiegend vorhandener locker bis schwach mitteldichter Lagerung können Erschütterungen zu Bodenverflüssigungen, Sackungen und Setzungen führen. Üblicherweise werden Kippenböden daher im Gründungsbereich einschließlich eines zu definierenden Umrings um den Gründungskörper herum (Lasteinwirkungs- und Nachbruchbereiche um den Gründungsbereich herum) tiefenverdichtet und anschließend oberflächennah verdichtet.

Zwischen Erschütterungsquelle und nächstgelegener Gründung sollte der Abstand so gewählt werden, dass zwischen dem tiefsten Punkt der eingebrachten Erschütterung und dem nächstgelegenen Gründungsbereich ein Winkel von 30° bis 45° (bei Grundwasser) zur Vertikalen eingehalten ist. Entsprechende Empfehlungen enthält ebenfalls die DIN 4150, Teil 3, Anhang 2 (sinngemäß für das Einrammen von Spundwänden). Sinngemäß können diese Empfehlungen für die Festlegung von Mindestabständen, z. B. bei der Planung von RDV im Nahbereich von geplanten oder vorhandenen WEA herangezogen werden.

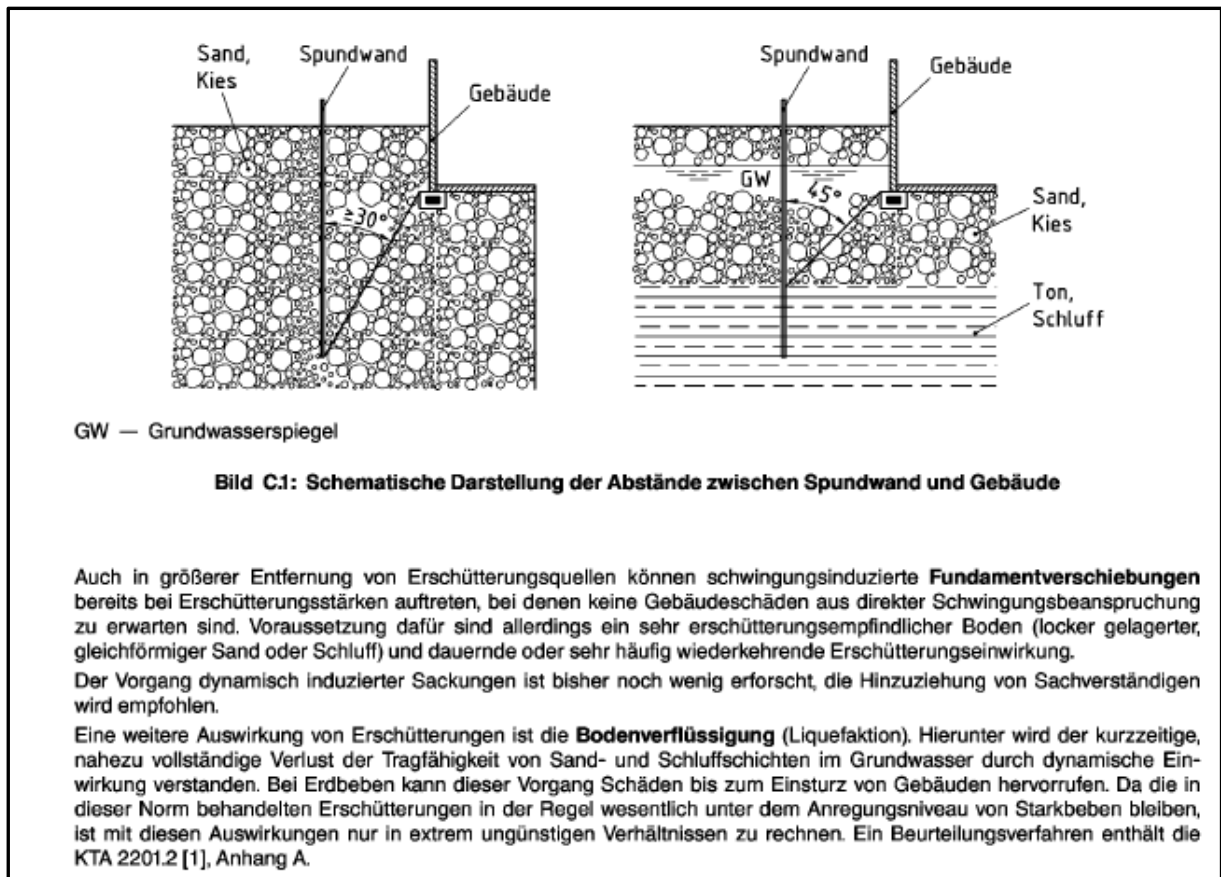


Abbildung 6: Schematische Darstellung von Mindestabständen, Grundlage: [U14]

Y:\Continental\CG\CG-MCG-MPG\CG-MPG3-Daten\Uw_Restraum\Planungen WP03-Bearbeitung\2021-05-12-STN_Herstellung Standsicherheit WP.docx

6 Zusammenfassung

Die Fachgruppe Bodenmechanik bei LE-B wurde von der Abteilung Umweltschutz / Genehmigungen bei LE-K, Z-MGK-AG, beauftragt, auf Basis der vorhandenen Unterlagen und Erfahrungen eine geotechnische Stellungnahme zur Machbarkeit der Errichtung von Windenergieanlagen auf der Innenkippe des Tagebau Jänschwalde zu formulieren.

Die Aufgabenstellung umfasste folgende Schwerpunkte:

- unter Bezugnahme auf die bestehenden Anlagen am WP „Forst-Briesnig I“ und die bei der dortigen Baugrundvergütung gesammelten Erfahrungen im Analogieschluss die grundsätzliche Machbarkeit der für eine WEA spezifischen Baugrundvergütung auf einer Tagebaukippe sowie die anschließende Errichtung von WEA aufgezeigt wird und
- auf die zu erwartenden Erschütterungen in Bezug auf die Schutzobjekte in Form baulicher Anlagen (Gärrestbehälter, WEA-Bestandsanlagen, Wohnbebauung nahliegender Ortschaften) eingegangen wird.

Die vorliegende „Geotechnische Stellungnahme“ stellt kein eigenständiges Gutachten im Sinne einer Standsicherheitsuntersuchung nach den im Bergrecht gültigen gesetzlichen und fachlichen Grundlagen dar. Weitere tiefergehende Untersuchungen bis hin zur Erarbeitung ortskonkreter Standsicherheitsnachweise erfolgen in den weiteren Planungs- und Realisierungsschritten.

Zur Einordnung wurden die üblichen Abläufe der geotechnischen Fachplanung speziell im Braunkohlenbergbau des Lausitzer Reviers und bei Bauvorhaben auf Tagebaukippen erläutert. Inhaltlich bilden nicht die konkreten Nachweise den Schwerpunkt dieser Unterlage, sondern die Darstellung der angewendeten Methodik sowie die Beschreibung möglicher Szenarien, die in weiterführenden Unterlagen behandelt werden.

Aufbauend auf dem gegenwärtigen Kenntnisstand zu den montangeologischen, -hydrologischen und bergtechnologischen Randbedingungen und unter Einbeziehung der Erfahrungen bei vergleichbaren Bauvorhaben (Bestandsanlagen am nahegelegenen Windpark Forst-Briesnig I) wurde die prinzipielle Machbarkeit der Errichtung der WEA am geplanten WP Forst-Briesnig II aufgezeigt. Aufgrund der schwierigen Baugrundverhältnisse (beim Grundwasserwiederanstieg und nachbergbaulich ist die Tagebaukippe aus verflüssigungsempfindlichen Lockergesteinsgemischen zusammengesetzt) sind Maßnahmen zur Baugrundverbesserung geboten. Die Konzeptplanungen sehen übliche und bei ähnlichen Bauvorhaben erfolgreich umgesetzte Verfahren der Tiefenverdichtung und nachfolgend einer oberflächennahen Baugrundvergütung vor. Zusätzlich sind anlagenspezifische kombinierte Tiefgründungen als Pfahl-/Plattengründungen vorgesehen. Die geplanten Maßnahmen stellen nach bisherigen Erfahrungen die langfristige Standsicherheit sicher.

Gegenwärtig erfolgen Baugrunduntersuchungen. Mit den dabei gewonnenen standortkonkreten Erkenntnissen werden objektspezifische Sicherungsvorgaben zur Baugrundvergütung abgeleitet. Die Ergebnisse werden in einer Standsicherheitseinschätzung zusammengefasst. Nach der Baugrundvergütung erfolgen eine Verdichtungskontrolle und der Standsicherheitsnachweis wird geführt.

Weiterhin wurden auftragsgemäß Ergebnisse von Schwinggeschwindigkeitsmessungen bei Verdichtungsmaßnahmen auf Kippen ausgewertet und Richtwerte für Mindestabstände zu zu schützenden Objekten angegeben.