



Gutachten zur Standorteignung von Windenergieanlagen
nach DIBt 2012 für den Windpark Zwei Gipfel V
Deutschland

Bericht-Nr.: I17-SE-2024-787 Rev.03



Gutachten zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 für den
Windpark Zwei Gipfel V

Bericht-Nr.: I17-SE-2024-787 Rev.03

Auftraggeber: AEZ Planungs GmbH & Co. KG
Straße des Friedens 34c
D-06682 Teuchern

Auftragnehmer: I17-Wind GmbH & Co. KG
Robert-Koch-Straße 29
D-25813 Husum
Tel.: 04841 – 87596 – 0
E-Mail: mail@i17-wind.de
Internet: www.i17-wind.de

Datum: 23. Februar 2026

Haftungsausschluss und Urheberrecht

Das vorliegende Gutachten wurde unabhängig, unparteiisch und nach bestem Wissen und Gewissen nach derzeitigem Stand der Technik erstellt. Für vom Auftraggeber und vom Anlagenhersteller bereitgestellte Daten, die nicht von der I17-Wind GmbH & Co. KG erhoben oder ermittelt wurden, kann keine Gewähr für deren Korrektheit übernommen werden. Diese werden als richtig vorausgesetzt.

Urheber des vorliegenden Gutachtens zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 ist die I17-Wind GmbH & Co. KG. Der Auftraggeber erhält nach § 31 Urheberrechtsgesetz das einfache Nutzungsrecht, welches nur durch Zustimmung des Urhebers übertragen werden kann. Eine Bereitstellung zum uneingeschränkten Download in elektronischen Medien ist ohne gesonderte Zustimmung des Urhebers nicht gestattet.

Akkreditierung

Die I17-Wind GmbH & Co. KG ist nach DIN EN ISO/IEC 17025:2018 durch die Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Bereiche „Erstellen von Schallimmissionsprognosen für Windenergieanlagen; Erstellen von Schattenwurfimmissionsprognosen für Windenergieanlagen; Prüfung der Standorteignung von Windenergieanlagen mittels Berechnung (Turbulenzgutachten)“ akkreditiert. Die Registriernummer der Urkunde lautet D-PL-21268-01-00. Diese kann angefragt, oder in der Datenbank der akkreditierten Stellen der DAkkS eingesehen werden.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG ist Mitglied im Sachverständigenbeirat des Bundesverbandes WindEnergie (BWE) e.V.

Anmerkung zu Typenprüfung und Anlagenparametern der WEA

Wenn zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung die Typenprüfung oder Einzelprüfung für die geplanten WEA noch nicht vorlag, wurde der Vergleich auf Basis vom Hersteller übermittelter Auslegungswerte der geplanten WEA durchgeführt. Es besteht die Möglichkeit, dass die im Genehmigungsverfahren eingereichten Dokumente bezüglich der Auslegungswerte der betrachteten WEA nicht mit den im vorliegenden Gutachten zitierten Dokumenten übereinstimmen. Die zitierten Dokumente entsprechen dem aktuellen Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Bei abweichenden Dokumenten behält das vorliegende Gutachten dennoch seine Gültigkeit, wenn die im Gutachten berücksichtigten Auslegungswerte durch die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eingereichten Auslegungswerte abgedeckt sind. Im Folgenden ist der Begriff Einzelprüfung stets durch den Begriff Typenprüfung mit abgedeckt, auch wenn dies nicht explizit erwähnt wird.

Änderungen der berücksichtigten Anlagenparameter wie c_t -Kurve und Schnelllaufzahl λ sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung und Bewertung. Bei einer Änderung der Anlagenparameter gegenüber dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung verliert das vorliegende Gutachten seine Gültigkeit.

Revisionsnummer	Datum	Änderung	Verfasser
0 – Entwurf	10.12.2024	Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Habeck
0	30.12.2024	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Habeck
1 – Entwurf	29.07.2025	Änderung der Windparkkonfiguration und des Projektnamens - Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Habeck
1	27.08.2025	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Habeck
2	22.01.2026	Einarbeitung der Lastrechnung	Brügge
3 – Entwurf	23.02.2026	Änderung der WEA W5 und der Vorbelastung – Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Brügge
3	26.02.2026	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Brügge

Verfasser:

M. Sc. Kimberley Brügge, Sachverständige
Husum, 23.02.2026



Gepüft:

M. Sc. Yannik Holste, Sachverständiger
Husum, 26.02.2026



Freigegeben:

M. Sc. Kimberley Brügge, Sachverständige
Husum, 26.02.2026



Dieses Dokument wurde digital signiert und die Integrität des Dokuments wurde überprüft. Das zugehörige Zertifikat kann von der I17-Wind GmbH & Co. KG auf Anfrage gerne zur Verfügung gestellt werden.

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkung.....	8
1.1	Allgemeines	8
1.2	Geführte Nachweise.....	8
1.2.1	Vergleich der Windbedingungen an topografisch nicht komplexen Standorten.....	9
1.2.2	Vergleich der Windbedingungen an topografisch komplexen Standorten.....	9
1.2.3	Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten	10
1.3	Hinweise zu den zu Grunde gelegten Richtlinien	11
1.4	Qualität der zu Grunde gelegten Daten und Modelle.....	13
2	Aufgabenstellung und Standort	14
2.1	Umfang des Gutachtens	14
2.2	Standortbeschreibung.....	14
2.3	Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA	14
3	Vergleich der Windbedingungen.....	21
3.1	Grundlagen	21
3.2	Vergleich v_{ave} und v_{m50}	22
3.2.1	Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave}	22
3.2.2	Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50}	23
3.3	Vergleich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}	24
3.3.1	Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität	24
3.3.2	Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität	26
3.3.3	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}	28
3.4	Schräganströmung δ	42
3.5	Höhenexponent α	43
3.6	Luftdichte ρ	44
3.7	Extreme Turbulenzintensität I_{ext}	45
4	Zusammenfassung.....	47
4.1	Neu geplante WEA	47
4.1.1	Zusammenfassung.....	48
4.2	Bestehende WEA.....	49
4.2.1	Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich mit den Auslegungswerten	49
4.2.2	Zusammenfassung.....	49
5	Standortbesichtigung	51
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	52
	Literaturverzeichnis.....	54
	Anhang / Übermittelte Windverhältnisse am Standort	57

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Übersicht); Kartenmaterial: [19.1, 19.2].	18
Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail Nord); Kartenmaterial: [19.1, 19.2]	19
Abbildung 2.3: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail Süd); Kartenmaterial: [19.1, 19.2]	20

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration	15
Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA	17
Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [22.1]	21
Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe der geplanten WEA.	22
Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50} auf Nabenhöhe der geplanten WEA	23
Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität	25
Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien und C_{CT} nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6]	27
Tabelle 3.6: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort	28
Tabelle 3.7: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (vor Zubau)	31
Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 1)	32
Tabelle 3.9: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 2)	33
Tabelle 3.10: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 3)	34
Tabelle 3.11: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 4)	35
Tabelle 3.12: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W48	36
Tabelle 3.13: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W1	36
Tabelle 3.14: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W2	36
Tabelle 3.15: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W3	36
Tabelle 3.16: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W4	36
Tabelle 3.17: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W5	37
Tabelle 3.18: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W6	37
Tabelle 3.19: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W7	37
Tabelle 3.20: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W8	37
Tabelle 3.21: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W9	37
Tabelle 3.22: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W11	37
Tabelle 3.23: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W12	37
Tabelle 3.24: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W13	38
Tabelle 3.25: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W14	38
Tabelle 3.26: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W16	38
Tabelle 3.27: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W17	38

Tabelle 3.28: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W18	38
Tabelle 3.29: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W19	38
Tabelle 3.30: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W20	38
Tabelle 3.31: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W26	39
Tabelle 3.32: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W30	39
Tabelle 3.33: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W31	39
Tabelle 3.34: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W34	39
Tabelle 3.35: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W35	39
Tabelle 3.36: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W36	39
Tabelle 3.37: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W38	39
Tabelle 3.38: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W40	40
Tabelle 3.39: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W43	40
Tabelle 3.40: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W61	40
Tabelle 3.41: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W62	40
Tabelle 3.42: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W65	40
Tabelle 3.43: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W68	40
Tabelle 3.44: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W71	40
Tabelle 3.45: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W76	41
Tabelle 3.46: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W77	41
Tabelle 3.47 Standortmittelwert der Schräganströmung δ_{NH} der neu geplanten WEA.....	42
Tabelle 3.48 Standortmittelwert des Höhenexponenten α_{NH} der neu geplanten WEA.....	43
Tabelle 3.49: Standortmittelwert der Luftdichte ρ_{NH} der neu geplanten WEA.....	44
Tabelle 3.50: Ermittelte extreme Turbulenzintensitäten $I_{ext, NH}$	46
Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA.....	48
Tabelle 4.2: Zusammenfassung der Ergebnisse Bestands-WEA.....	49
Tabelle A.1: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [22.1]	57
Tabelle A.2: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [22.1]	57

1 Vorbemerkung

1.1 Allgemeines

Das Deutsche Institut für Bautechnik DIBt hat Anfang des Jahres 2013 die Fassung Oktober 2012 der „Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung“ veröffentlicht und im März 2015 eine korrigierte Fassung herausgegeben [1.1], auf deren Grundlage das vorliegende Gutachten erstellt wurde.

Aufgrund fehlender Kriterien für einen Immissionsgrenzwert für die durch benachbarte Windenergieanlagen verursachten erhöhten Turbulenzbelastungen an einer WEA, können ersatzweise die Kriterien der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensität für eine Turbulenzimmissionsprognose im Rahmen eines Antrages nach dem Bundes-Immissionsschutz-Gesetz (BImSchG) herangezogen werden. Eine Reduktion der Lebenszeit und der zusätzliche Verschleiß der WEA sind zumutbar, solange die Standorteignung hinsichtlich der Auslegungswerte der Turbulenzintensität oder hinsichtlich der Auslegungslasten gewährleistet bleibt. Somit stellt das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA zusätzlich eine Turbulenzimmissionsprognose im Sinne des BImSchG dar und kann als Bestandteil der Antragsstellung nach dem BImSchG verwendet werden.

1.2 Geführte Nachweise

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] fordert in Kapitel 16 ein alternatives, vereinfachtes Verfahren zum Nachweis der Standorteignung von WEA, das jedoch nur angewendet werden darf, wenn die Standorte der geplanten WEA nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] als nicht topografisch komplexe Standorte zu bezeichnen sind. Im Dezember 2019 wurde die Norm DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] veröffentlicht, welche die Norm DIN EN 61400-1:2011-08 [7] ersetzt. Entsprechend der Richtlinie DIBt 2012 [1.1] ist die jeweils angewendete Ausgabe der Norm DIN EN (IEC) 61400-1, entsprechend [6] oder [7], in Ihrer Gesamtheit anzuwenden, weshalb auch die Ermittlung der topografischen Komplexität im vorliegenden Gutachten nach [6] erfolgt. Sind vereinzelte Standorte neu geplanter WEA als topografisch komplex zu bezeichnen, wird der vereinfachte Nachweis der Standorteignung nach [1.1] um die Kriterien nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6], Abschnitt 11.9, erweitert. Die Vergleiche der Auslegungswerte für die zu untersuchenden Größen mit den im Rahmen dieses Gutachtens ermittelten Werten sind nach der DIBt Richtlinie Fassung Oktober 2012 nur für neu geplante Anlagen zu führen [1.1]. Für bestehende Anlagen, die nach der DIBt 1993 [3] oder DIBt 2004 [2] typengeprüft wurden, darf im Falle einer Parkänderung / -erweiterung der Nachweis der Standorteignung auch weiterhin nach dem Verfahren der DIBt 2004 erbracht werden [1.1].

Die Richtlinie DIBt 2012 [1.1] lässt folgende Möglichkeiten, bzw. mögliche auftretende Konfigurationen, in Bezug auf die Typenprüfung und die dieser zu Grunde gelegten Richtlinie, unberücksichtigt:

- i. Der geplanten Anlage liegt eine Typenprüfung nach der Richtlinie DIBt 2004 [2] zu Grunde.
- ii. Einer oder mehrerer zu berücksichtigender Bestandsanlagen liegt eine Typenprüfung nach der DIBt 2012 [1.1] Richtlinie zu Grunde.

Für diese zwei beschriebenen Fälle, die nicht durch die DIBt 2012 [1.1] abgedeckt sind, werden folgende Verfahrensweisen gemäß [1.2] als Quasistandard angewandt:

- i. Liegt einer neu geplanten Anlage eine Typenprüfung gemäß DIBt 2004 [2] zu Grunde, wird der Nachweis der Standorteignung basierend auf dem vereinfachten Verfahren nach DIBt 2012 [1.1], beschrieben in Abschnitt 1.2.1, geführt. Dieser Nachweis entspricht den Mindestanforderungen der zum Nachweis der Standorteignung der Typenprüfung nach DIBt 2004 [2] zu Grunde gelegten Richtlinie DIN EN 61400-1:2004 [8], bzw. IEC 61400-1 ed.2 [4].
- ii. Da davon auszugehen ist, dass für bereits genehmigte, bzw. bestehende Anlagen mit einer Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] die Standorteignung in deren Genehmigungsverfahren

nachgewiesen wurde, werden nur durch hinzukommende Anlagen beeinflusste Parameter geprüft und mit den Auslegungswerten verglichen. Dies entspricht lediglich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} , welche durch einen Zubau erhöht werden kann.

Nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 [9] ist bei zylindrischen Bauwerken die Untersuchung von Interferenzeffekten oder wirbelerregten Schwingungen zu führen, wenn deren Abstand untereinander den in [9] definierten Mindestabstand unterschreitet. Diese Untersuchung ist nicht Bestandteil der Richtlinie DIBt 2012 [1.1] und wird daher im vorliegenden Gutachten nicht durchgeführt, sondern hat durch einen dritten unabhängigen Gutachter oder Prüfstatiker zu erfolgen.

1.2.1 Vergleich der Windbedingungen an topografisch nicht komplexen Standorten

Der nach der DIBt Richtlinie Fassung 2012 [1.1] vereinfachte Nachweis zur Standorteignung verlangt folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA:

- i. Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit.
 - (1) Die mittlere Windgeschwindigkeit am Standort ist um mindestens 5 % kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung, oder
 - (2) die mittlere Windgeschwindigkeit ist kleiner als gemäß Typen-/Einzelprüfung und für den Formparameter k der Weibull-Funktion gilt: $k \geq 2$.
- ii. Vergleich der effektiven Turbulenzintensität nach DIN EN 61400-1:2011-08 [7] zwischen $0.2 v_{m50}(h)$ und $0.4 v_{m50}(h)$ mit der Auslegungsturbulenz nach NTM.
- iii. Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit.
 - (1) Die Windzone gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die Windzone des betrachteten Standortes entsprechend der Windzonenkarte ab (die detaillierten Regelungen gemäß DIN EN 1991-1-4, Absatz 4.3.3 einschließlich NA [9] für nicht ebene Geländelagen sind ggf. zu beachten), oder
 - (2) die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50}(h)$ gemäß Typen-/Einzelprüfung deckt die 50-Jahreswindgeschwindigkeit am Standort ab (z.B. Nachweis durch eine Extremwindabschätzung).

1.2.2 Vergleich der Windbedingungen an topografisch komplexen Standorten

Handelt es sich nach Abschnitt 11.2 der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] um einen als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort der Kategorie L, M oder H und liegt der zu untersuchenden WEA eine Typenprüfung nach DIBt 2012 [1.1] zu Grunde, wird der vereinfachte Nachweis zur Standorteignung nach Abschnitt 1.2.1 um folgende Nachweise der Windbedingungen auf Nabenhöhe der geplanten WEA, basierend auf DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] erweitert.

- i. Der windenergiegewichtete Mittelwert aller Richtungen der Schräganströmung δ darf den vorgegebenen Wert von $\pm 8^\circ$, bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert, nicht überschreiten bzw. unterschreiten.
- ii. Der über alle Richtungen und Windgeschwindigkeiten energiegewichtete Standortmittelwert des Höhenexponenten α darf den Wert von $0.05 \leq \alpha \leq 0.25$, bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreiten bzw. unterschreiten.
- iii. Der Standortmittelwert der Luftdichte ρ darf bei allen Windgeschwindigkeiten größer gleich der Nennwindgeschwindigkeit v_r den Wert 1.225 kg/m^3 oder den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreiten. Alternativ kann eine Luftdichte über dem Wert von 1.225 kg/m^3 oder dem in der Typenprüfung angegebenen Wert durch Einhaltung der folgenden Ungleichung nachgewiesen werden:

$$\rho_{\text{Auslegung}} * v_{\text{ave,Auslegung}}^2 \geq \rho_{\text{Standort}} * v_{\text{ave,Standort}}^2$$

- iv. Es ist der Nachweis zu erbringen, dass die Auslegungswerte des ETM auch unter Berücksichtigung der Nachlaufsituation mit der höchsten Nachlaufturbulenz im Zentrum des Nachlaufs, nicht überschritten werden.

1.2.3 Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten

Kann der vereinfachte Nachweis der Windbedingungen nach DIBt 2012 [1.1] aus Abschnitt 1.2.1 nicht geführt werden, da die zu prüfenden Parameter mittlere Windgeschwindigkeit v_{ave} oder effektive Turbulenzintensität I_{eff} nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung durch einen Lastvergleich (Vergleich der standortspezifischen Lasten mit den Lastannahmen der Typenprüfung) der Betriebsfestigkeitslasten nachgewiesen werden. In diesem Fall ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten (DLC 1.2) zu führen. Wird der Auslegungswert v_{m50} nicht eingehalten, kann die Standorteignung auf Basis eines Lastvergleiches der Extremlasten nachgewiesen werden. In diesem Fall ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Extremlasten (DLC 1.1, DLC 1.3, DLC 6.1, und DLC 6.2) zu führen.

Kann der Nachweis der Windbedingungen an einem als topografisch komplex zu bezeichnenden Standort nach Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 nicht geführt werden, da einer oder mehrere der zu prüfenden Werte nicht eingehalten werden, kann die Standorteignung entsprechend DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] auf Basis eines Lastvergleiches unter Berücksichtigung der standortspezifischen Windbedingungen aus Abschnitt 1.2.1 und Abschnitt 1.2.2 durchgeführt werden. Demnach ist der Nachweis der Standorteignung der jeweiligen WEA auf Basis eines Lastvergleiches der Betriebsfestigkeitslasten (DLC 1.2) und/oder der Extremlasten (DLC 1.1, DLC 1.3, DLC 6.1, und DLC 6.2) zu führen.

In beiden Fällen werden die der Typenprüfung zu Grunde gelegten Auslegungslasten mit den standortspezifischen Lasten, die auf Basis der standortspezifischen Windbedingungen aus dem vorliegenden Gutachten ermittelt werden, verglichen. Wenn sich zeigt, dass die standortspezifischen Lasten die Auslegungslasten nicht überschreiten oder diese einhalten, ist eine Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nachgewiesen. Werden die Auslegungslasten nicht eingehalten, muss die Anlage gegebenenfalls mit einer sektoriellen Betriebseinschränkung betrieben werden, um die Lasten soweit zu reduzieren, dass sie innerhalb der Auslegungslasten liegen, oder die Standorteignung kann nicht durch einen Vergleich der Lasten nachgewiesen werden.

Die Berechnung der standortspezifischen Lasten erfolgt in der Regel durch den Hersteller der betrachteten WEA. Der zugehörige Bericht zur durchgeführten Lastberechnung wird der I17-Wind GmbH & Co. KG im Rahmen einer Geheimhaltungsvereinbarung vorgelegt. Zudem ist es möglich die Betriebsfestigkeits- und Extremlasten einer WEA basierend auf einem generischen Anlagenmodell zu ermitteln und mit den Auslegungslasten, welche mittels des identischen generischen Anlagenmodells ermittelt werden, zu vergleichen. Diese Berechnungen erfolgen in der Regel nicht durch den Anlagenhersteller, sondern durch einen dritten unabhängigen Gutachter. Die Berichte werden von der I17-Wind GmbH & Co. KG dahingehend überprüft, dass die Eingangsdaten korrekt übernommen und angesetzt wurden. Das Ergebnis einer Lastberechnung wird als richtig vorausgesetzt. Eine Haftung für die Richtigkeit einer Lastrechnung, sowohl eines Anlagenherstellers als auch eines dritten, unabhängigen Gutachters, wird nicht übernommen.

1.3 Hinweise zu den zu Grunde gelegten Richtlinien

Folgende, von der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] und der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] abweichende, jedoch konservativ abdeckende, Verfahren wurden für das vorliegende Gutachten zur Standorteignung von WEA gewählt:

- I. Entsprechend der DIBt 2012 [1.1] ist es für eine Prüfung der Standorteignung Voraussetzung, dass für die WEA eine Typenprüfung bzw. eine Einzelprüfung vorliegt. Ist dies nicht der Fall, wird der Vergleich auf Basis von vorläufigen Auslegungswerten, für die die Typenprüfung voraussichtlich angestrebt wird, durchgeführt. Somit behält das vorliegende Gutachten im Falle einer Typenprüfung bzw. Einzelprüfung, welche die zu Grunde gelegten Auslegungsparameter abdeckt, seine Gültigkeit.
- II. Es wird davon ausgegangen, dass jede im Gutachten betrachtete WEA die Ihrer Typenprüfung zu Grunde gelegte Auslegungslebensdauer τ_{TP} noch nicht überschritten hat.
- III. Der Vergleich des Standortwertes der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{ave} mit dem Auslegungswert kann nur nach [1.1] erfolgen, wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter k der Weibullverteilung von $k = 2.0$ ausweisen. Wenn die Auslegungswerte der zu betrachtenden WEA einen Formparameter $k \neq 2.0$ ausweisen, kann der in [1.1] geforderte Vergleich nicht mehr erfolgen. In diesem Fall wird das Verfahren nach [6] gewählt, welches einen Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion pdf_{NH} der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion pdf_{TP} der Typenprüfung in einem Bereich von $v_{ave} - 2v_{ave}$ fordert. Zusätzlich wird der Bereich von $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$ nach [7] herangezogen und stets der konservativ abdeckende Bereich dem Vergleich zu Grunde gelegt. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$ erfüllt sein. Die Berechnung der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen pdf_{NH} und pdf_{TP} erfolgt entsprechend [6] auf Basis der Standortmittelwerte A_{NH} und k_{NH} bzw. der Auslegungswerte A_{TP} und k_{TP} der zu untersuchenden WEA.

Kann der Vergleich des Standortwertes der mittleren Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe v_{ave} mit dem Auslegungswert nach DIBt Richtlinie Fassung 2012 [1.1] nicht erbracht werden, wird sich zur Definition von sektoriellen Betriebsbeschränkungen vorbehalten den Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten pdf_{NH} nach [6] durchzuführen, da dieses Verfahren das in [1.1] geforderte Verfahren konservativ mit abdeckt.

- IV. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2, hat der Vergleich der standortspezifischen effektiven Turbulenzintensität und der Auslegungsturbulenz nach NTM in dem Bereich zwischen $0.2v_{m50}(h)$ und $0.4v_{m50}(h)$ zu erfolgen [1.1]. Liegt einer zu betrachtenden WEA keine Auslegungsturbulenz nach NTM vor, erfolgt der Vergleich mit der in der Typenprüfung aufgeführten Auslegungsturbulenz. Entsprechend [6] hat der Vergleich in dem Bereich zwischen v_{ave} und $2v_{ave}$ zu erfolgen. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten nach Abschnitt 1.2.3, sind der Lastberechnung nach [1.1] mindestens die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten von v_{in} bis $0.4v_{m50}(h)$ bzw. von v_{in} bis v_{out} entsprechend DLC 1.2 nach [6] zu Grunde zu legen. Im vorliegenden Gutachten werden die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten mindestens im Windgeschwindigkeitsbereich von 5 m/s bis 25 m/s (bzw. v_{out} wenn $v_{out} < 25$ m/s) ausgewiesen, was die oben beschriebenen Anforderungen für den Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Windbedingungen nach [1.1], [6] und auch [7] abdeckt. Erfolgt der Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich der Lasten, werden dem Anlagenhersteller grundsätzlich die standortspezifischen effektiven Turbulenzintensitäten in dem Bereich von v_{in} bis v_{out} zur Verfügung gestellt. Liegt einer zu prüfenden WEA eine Typenprüfung nach [2] zu Grunde,

erfolgt der Vergleich mit der Turbulenzkurve für Turbulenzkategorie A nach [1.1], da dieser Verlauf den nach [2] anzusetzenden mit abdeckt.

- V. Bezüglich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} werden grundsätzlich alle Anlagen im Umkreis des 10fachen Rotordurchmessers D der geplanten Anlage(n) in die Betrachtung einbezogen und nachgewiesen. Dieses Kriterium deckt alle Kriterien nach [1.1], [6] und [7] ab.
- VI. Der standortspezifische Mittelwert der Luftdichte ρ wird abdeckend für alle Windgeschwindigkeiten angegeben.
- VII. Hinsichtlich der Auslegungswindbedingungen des ETM werden die Werte der höchsten Turbulenz im Zentrum des Nachlaufs ausgewiesen. Da eine Überschreitung der Auslegungswindbedingungen bezüglich des ETM in der Regel mit einer Überschreitung der effektiven Turbulenzintensität einhergeht, kann davon ausgegangen werden, dass eine Überschreitung der extremen Turbulenzintensität nur in solchen Fällen eintritt, in denen die Standorteignung durch eine Lastrechnung des Herstellers nachgewiesen werden muss, was dann auf Basis der ausgewiesenen Werte für die Extremturbulenz erfolgt. Aus diesem Grund wird der Vergleich der Auslegungswindbedingungen des ETM mit den Standortbedingungen nicht geführt.
- VIII. Auf Grund der verwendeten Berechnungsprogramme und deren Zahlenausgabeformat, werden die im vorliegenden Gutachten ausgewiesenen Ergebnisse in der Regel mit dem Dezimaltrennzeichen „Punkt“ versehen.
- IX. Auf Grund der unterschiedlichen Begrifflichkeiten und Bezeichnungen identischer Größen in den zu Grunde gelegten Richtlinien und Normen, werden im vorliegenden Gutachten teilweise Begriffe und Bezeichnungen gewählt bzw. eingeführt, die, soweit möglich, eine Ähnlichkeit zu den jeweiligen Begriffen und Bezeichnungen in den Richtlinien und Normen aufweisen, um sie diesen zuordnen zu können. Die korrekte Umsetzung der in den Richtlinien und Normen geforderten Vergleiche bleibt davon unberührt.

1.4 Qualität der zu Grunde gelegten Daten und Modelle

Alle im Rahmen des vorliegenden Gutachtens ermittelten Ergebnisse und Zwischenergebnisse basieren einerseits auf Angaben, die vom Auftraggeber übermittelt wurden und andererseits auf Berechnungsergebnissen, die durch die I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelt wurden. Zu den Unsicherheiten der den Eingangsdaten vom Auftraggeber zu Grunde gelegten Berechnungsmodellen kann seitens der I17-Wind GmbH & Co. KG keine Aussage getroffen werden. Diese Eingangsdaten werden im Weiteren als richtig und repräsentativ für den betrachteten Standort vorausgesetzt.

Die in den Berechnungen herangezogenen Anlagenparameter, Schubbeiwert c_t und Schnelllaufzahl λ , werden in der Regel vom Anlagenhersteller bereitgestellt. Diese Werte werden als richtig vorausgesetzt. Die berücksichtigten Werte entsprechen dem Stand zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung. Änderungen sind dem Anlagenhersteller vorbehalten und bedürfen einer neuen Berechnung und Bewertung. Bei Anlagen, für die keine Informationen vorliegen, werden konservativ abdeckende, generische Anlagenparameter angesetzt, wobei keine Haftung für die Richtigkeit der ermittelten Werte übernommen wird.

Die im vorliegenden Gutachten angegebenen Nabhöhen der geplanten WEA entsprechen stets der aktuell vorliegenden Dokumentation. In der Entwicklungsphase einer WEA sind geringfügige Änderungen der Nabhöhe ohne eine Änderung der zu Grunde gelegten Auslegungswindbedingungen möglich, sodass die im vorliegenden Gutachten betrachtete Nabhöhe von der in den Antragsunterlagen ausgewiesenen Nabhöhe geringfügig abweichen kann. Das Gleiche gilt für die in den Genehmigungen dokumentierten Nabhöhen bestehender WEA, die ebenfalls geringfügig von aktuellen Werten abweichen können. Bei einer Abweichung der Nabhöhe von maximal ± 1 m behält das vorliegende Gutachten seine vollumfängliche Gültigkeit, wenn die im Gutachten berücksichtigten Auslegungswindbedingungen, durch die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eingereichten Auslegungswindbedingungen, abgedeckt sind.

Den von der I17-Wind GmbH & Co. KG ermittelten Ergebnissen liegen unterschiedliche, vereinfachte physikalische Modelle zu Grunde, die nur annähernd die Realität abbilden, jedoch als konservativ zu bewerten sind. Des Weiteren werden bei den Berechnungen teilweise vereinfachende Annahmen getroffen, die jedoch allesamt ebenfalls als konservativ zu bewerten sind.

2 Aufgabenstellung und Standort

2.1 Umfang des Gutachtens

Da im geplanten Windpark kein Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften neu geplanten Anlage nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] als topografisch komplexer Standort zu bezeichnen ist, findet für alle WEA das vereinfachte Verfahren nach Abschnitt 1.2.1 Anwendung.

2.2 Standortbeschreibung

Der Auftraggeber plant die Errichtung von insgesamt 20 WEA des Typs Enercon, davon neun E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW auf 166.6 m Nabenhöhe, drei E-138 EP3 E3 / 4.260 kW auf 160.0 m Nabenhöhe und acht E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 174.5 m Nabenhöhe am Standort Zwei Gipfel in Sachsen-Anhalt.

Die I17-Wind GmbH & Co. KG wurde damit beauftragt, ein Gutachten zur Standorteignung von WEA nach der DIBt 2012 Richtlinie [1.1] unter Berücksichtigung der in Tabelle 2.1 aufgeführten [21] und in Abbildung 2.1 bis Abbildung 2.3 dargestellten WEA zu erstellen. Tabelle 2.1 führt neben den Spezifikationen der WEA am Standort auch die der Typenprüfung zu Grunde gelegten, bzw. bei fehlender Information unterstellten, Richtlinien auf. Des Weiteren wird aufgeführt, welcher Wöhlerlinienkoeffizient m und welcher Betriebsmodus für die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} herangezogen wurde. Die Ergebnisse in 3.3.3 berücksichtigen den jeweiligen Wöhlerlinienkoeffizienten aus Tabelle 2.1. Wenn über den Betriebsmodus keine Informationen in den Eingangsdaten vorliegen, wird stets mit dem Betriebsmodus gerechnet, der die konservativsten Ergebnisse liefert, was dem offenen, nicht leistungsreduzierten Betriebsmodus entspricht.

Die Spalte „Innerhalb 10 D“ weist aus, welche WEA sich innerhalb eines Umkreises von 10 D um die geplanten WEA befinden. Für diese WEA hat nach [6] und [7] eine Bewertung der topografischen Komplexität und der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} zu erfolgen.

Im vorliegenden Gutachten beziehen sich alle Bezeichnungen auf die interne, laufende W-Nummer. Wird eine Größe mit dem Index $_{\text{TP}}$ bezeichnet, handelt es sich um den Auslegungswert der zu betrachtenden WEA. Eine Bezeichnung mit dem Index $_{\text{NH}}$ weist auf den standortspezifischen Wert der betrachteten Anlage hin.

Im vorgegebenen Windparklayout ergibt sich der geringste relative Abstand s einer neu geplanten WEA zu einer anderen WEA von 2.07, bezogen auf den größeren Rotordurchmesser D . Dies betrifft die WEA W6 und W34.

2.3 Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA

Die Auslegungswindbedingungen werden entweder der Typenprüfung entnommen oder vom Hersteller übermittelt. Da der Vergleich der Auslegungswindbedingungen, abgesehen von I_{eff} , mit den standortspezifischen Bedingungen nur für neu geplante WEA zu führen ist, werden in Tabelle 2.2 nur die Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA aufgeführt.

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografische Komplexität		UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH ¹ [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P _N [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	Auslegungsl Lebensdauer τ _{TP} [a]	m _{max, TP} [-]	Zu Grunde gelegte WV
				Komplex	Kategorie	X [m]	Y [m]												
W1	WEA N01	Neu	Ja	Nein	-	706284	5669775	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W2	WEA N02	Neu	Ja	Nein	-	706485	5669343	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 1/1
W3	WEA N03	Neu	Ja	Nein	-	706472	5668766	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W4	WEA N04	Neu	Ja	Nein	-	707007	5669019	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W5	WEA N05	Neu	Ja	Nein	-	707414	5669163	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W6	WEA N06	Neu	Ja	Nein	-	706783	5667684	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W7	WEA N07	Neu	Ja	Nein	-	706588	5667345	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W8	WEA N08	Neu	Ja	Nein	-	706582	5666952	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W9	WEA N09	Neu	Ja	Nein	-	706591	5666530	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W10	WEA N10	Neu	Ja	Nein	-	705960	5667828	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 1/1
W11	WEA N11	Neu	Ja	Nein	-	708605	5671518	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W12	WEA N12	Neu	Ja	Nein	-	707845	5671172	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W13	WEA N13	Neu	Ja	Nein	-	707292	5670929	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W14	WEA N14	Neu	Ja	Nein	-	708214	5670773	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W15	WEA N15	Neu	Ja	Nein	-	708860	5669631	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 1/1
W16	WEA N16	Neu	Ja	Nein	-	709558	5668918	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W17	WEA N17	Neu	Ja	Nein	-	707954	5668858	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W18	WEA N18	Neu	Ja	Nein	-	707918	5669223	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W19	WEA N19	Neu	Ja	Nein	-	708502	5670150	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W20	WEA N20	Neu	Ja	Nein	-	707441	5668283	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W21	WEA 01	Bestand	Ja	Nein	-	706586	5670842	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 1/1
W22	WEA 04	Bestand	Ja	Nein	-	707365	5670127	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W23	WEA 05	Bestand	Ja	Nein	-	707776	5670039	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W24	WEA 06	Bestand	Ja	Nein	-	707237	5669719	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W25	WEA 13N	Bestand	Ja	Nein	-	706907	5669833	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W26	WEA 14N	Bestand	Ja	Nein	-	707180	5669410	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W27	WEA 15	Bestand	Ja	Nein	-	705934	5666570	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W28	WEA 16	Bestand	Ja	Nein	-	708869	5670409	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W29	WEA 19	Bestand	Ja	Nein	-	708668	5669153	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W30	WEA 20	Bestand	Ja	Nein	-	707999	5668437	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W31	WEA 22	Bestand	Ja	Nein	-	708261	5671189	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	149.0	115.7	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W32	WEA 27N	Bestand	Ja	Nein	-	708818	5668835	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W33	WEA 29N	Bestand	Ja	Nein	-	707700	5668594	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W34	WEA 35N	Bestand	Ja	Nein	-	706526	5667894	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	BM 0 s	0.0	4000	2012	A	25	10	WV 1/1
W35	WEA 36N	Bestand	Ja	Nein	-	706286	5668055	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	115.7	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W36	WEA 41N	Bestand	Ja	Nein	-	706770	5669301	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	BM 0 s	0.0	3500	2012	A	25	10	WV 1/1
W37	WEA 42N	Bestand	Ja	Nein	-	707617	5669597	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W38	WEA 47N	Bestand	Ja	Nein	-	709282	5669152	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	115.7	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 3/1
W39	WEA 51N	Bestand	Ja	Nein	-	707756	5670568	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	BM 0 s	0.0	4000	2012	A	25	10	WV 3/1
W40	WEA 52N	Bestand	Ja	Nein	-	708045	5670367	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W41	WEA 53N	Bestand	Ja	Nein	-	707283	5670474	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	BM 0 s	0.0	3500	2012	A	25	10	WV 1/1

¹ Siehe Kapitel 1.4 Absatz 3

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografische Komplexität		UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH ¹ [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH [m]	P _N [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	Auslegungs-lebensdauer τ _{TP} [a]	m _{max, TP} [-]	Zu Grunde gelegte WV
				Komplex	Kategorie	X [m]	Y [m]												
W42	WEA 55N	Bestand	Ja	Nein	-	706550	5670018	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	126.7	BM 0 s	0.0	4000	2012	A	25	10	WV 1/1
W43	WEA 56N	Bestand	Ja	Nein	-	706621	5669630	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM0s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 1/1
W44	WEA 58N	Bestand	Ja	Nein	-	706898	5670498	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	131.0	138.3	BM 0 s	0.0	3500	2012	A	25	10	WV 3/1
W45	WEA 59N	Bestand	Ja	Nein	-	706949	5670162	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	138.3	BM 0 s	0.0	3500	2012	A	25	10	WV 1/1
W46	WEA 64N	Bestand	Ja	Nein	-	706735	5671448	Enercon	E-103 EP2 / 2.350 kW	138.4	103.0	BM 0s	0.0	2350	2012	A	25	14	WV 3/1
W47	WEA 66N	Bestand	Ja	Nein	-	707254	5671302	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	A	20	10	WV 3/1
W48	WEA Gröbitz 1	Bestand	Ja	Nein	-	705959	5669441	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	71.0	BM II 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 2/1
W49	WEA Gröbitz 2	Bestand	Ja	Nein	-	705821	5669122	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	71.0	BM II 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 2/1
W50	WEA O/S20	Bestand	Nein	-	-	703735	5664170	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W51	WEA O/S21	Bestand	Nein	-	-	703685	5664528	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W52	WEA O/S22	Bestand	Nein	-	-	703171	5664659	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W53	WEA O/S23	Bestand	Nein	-	-	703033	5665000	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W54	WEA O/S24	Bestand	Nein	-	-	703487	5665142	Enercon	E-82 / 2.000 kW	138.3	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W61	WEA WPD 1	Bestand	Ja	Nein	-	705968	5668154	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W62	WEA WPD 2	Bestand	Ja	Nein	-	706244	5667688	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	98.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W63	WEA Z.1	Bestand	Ja	Nein	-	706006	5668513	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W64	WEA Z.14	Bestand	Ja	Nein	-	706946	5671572	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W65	WEA Z.15	Bestand	Ja	Nein	-	708583	5669792	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W66	WEA Z.2	Bestand	Ja	Nein	-	706067	5668904	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W67	WEA Z.26	Bestand	Ja	Nein	-	706608	5670530	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W68	WEA Z.3	Bestand	Ja	Nein	-	706112	5669247	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	113.5	71.0	BM II 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 3/1
W69	WEA Z.31	Bestand	Ja	Nein	-	706094	5667277	Enercon	E-115 / 3.000 kW	149.0	115.7	BM 0 s	0.0	3000	2004	A	20	10	WV 1/1
W70	WEA Z.32	Bestand	Ja	Nein	-	706194	5666872	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	115.7	BM 0 s	0.0	3000	2004	A	20	10	WV 3/1
W71	WEA Z.36	Bestand	Ja	Nein	-	709069	5669333	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	115.7	BM 0 s	0.0	3000	2004	A	20	10	WV 3/1
W72	WEA Z.48	Bestand	Ja	Nein	-	705701	5669398	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	78.3	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W73	WEA Z.6	Bestand	Ja	Nein	-	708186	5669753	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W74	WEA Z.8	Bestand	Ja	Nein	-	708322	5669182	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W75	WEA Z.9	Bestand	Ja	Nein	-	708409	5668828	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W76	WEA 12	Bestand	Ja	Nein	-	706651	5668380	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W77	WEA 13	Bestand	Ja	Nein	-	707037	5668380	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W78	WEA 5	Bestand	Ja	Nein	-	706430	5666082	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.3	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 3/1
W79	SO1	Bestand	Nein	-	-	703961	5665456	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W80	SO2	Bestand	Nein	-	-	704185	5665162	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W81	SO3	Bestand	Nein	-	-	704571	5664824	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W82	SO4	Bestand	Nein	-	-	704995	5664766	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W83	SO5	Bestand	Nein	-	-	705209	5665180	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W84	SO6	Bestand	Nein	-	-	704185	5664284	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W85	SO10	Bestand	Nein	-	-	704604	5665264	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W86	SO11	Bestand	Nein	-	-	703820	5664921	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W87	SO12	Bestand	Nein	-	-	704176	5664715	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1
W88	SO13	Bestand	Nein	-	-	704564	5664456	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 1/1

Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	Prüfgrundlage	WZ	GK	$v_{ave,TP}$ [m/s]	k_{TP} [-]	$v_{m50,TP}$ [m/s]	TK	δ_{TP} [°]	α_{TP} [-]	ρ_{TP} [kg/m³]	Auslegungslebensdauer τ_{TP} [a]	Quelle
W1, W5-W8, W13, W16, W18, W20	DIBt 2012	S	S	8.50	2.00	37.50	B	8.0	0.20	1.225	25	[24.1, 24.2, 24.3]
W2, W10, W15	DIBt 2012	2	II	7.71	2.00	38.96	A	8.0	0.20	1.225	25	[24.4, 24.5]
W3, W4, W9, W11, W12, W14, W17, W19	DIBt 2012	S	S	7.31	2.00	40.63	A	8.0	0.40	1.225	25	[24.6, 24.7]

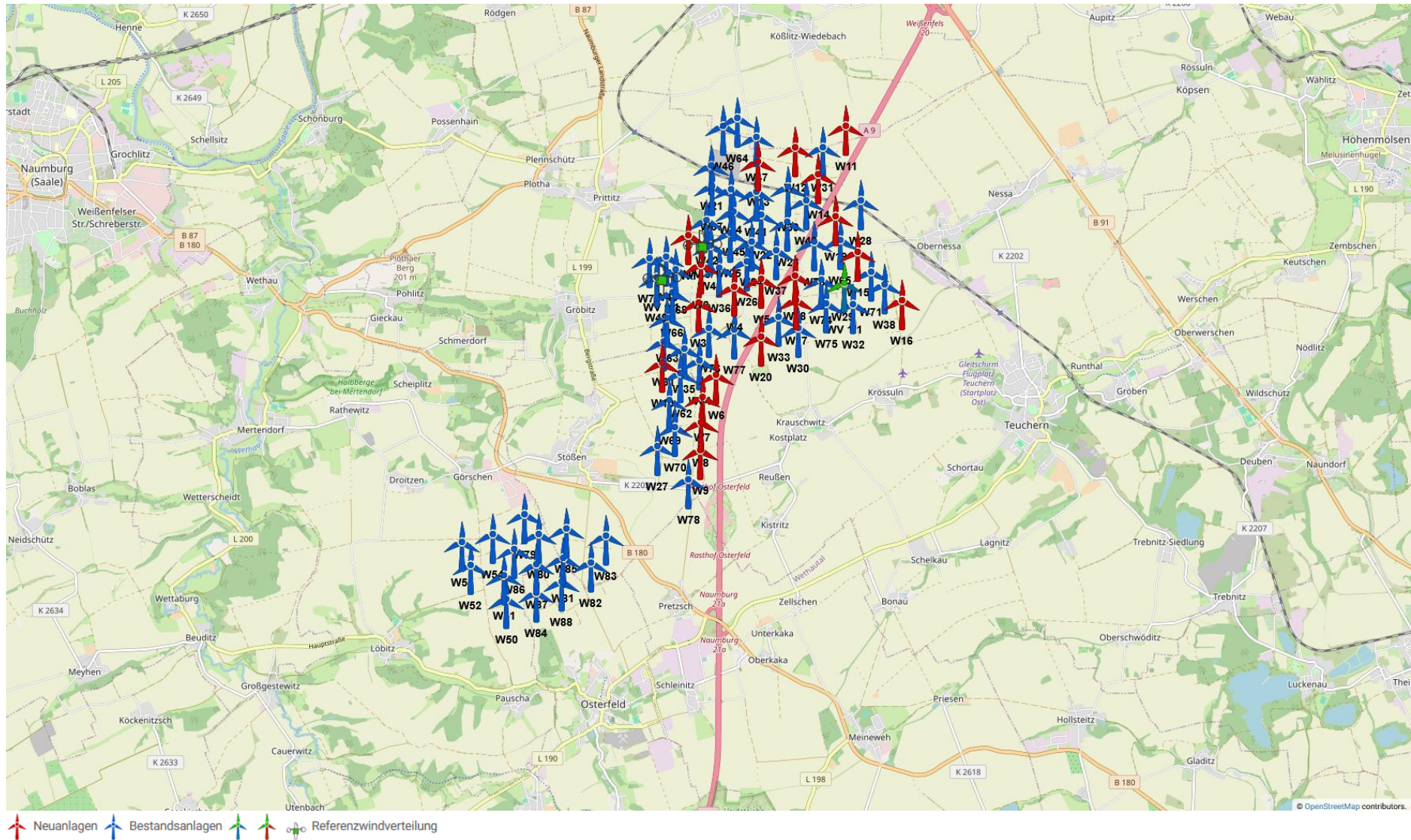


Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Übersicht); Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

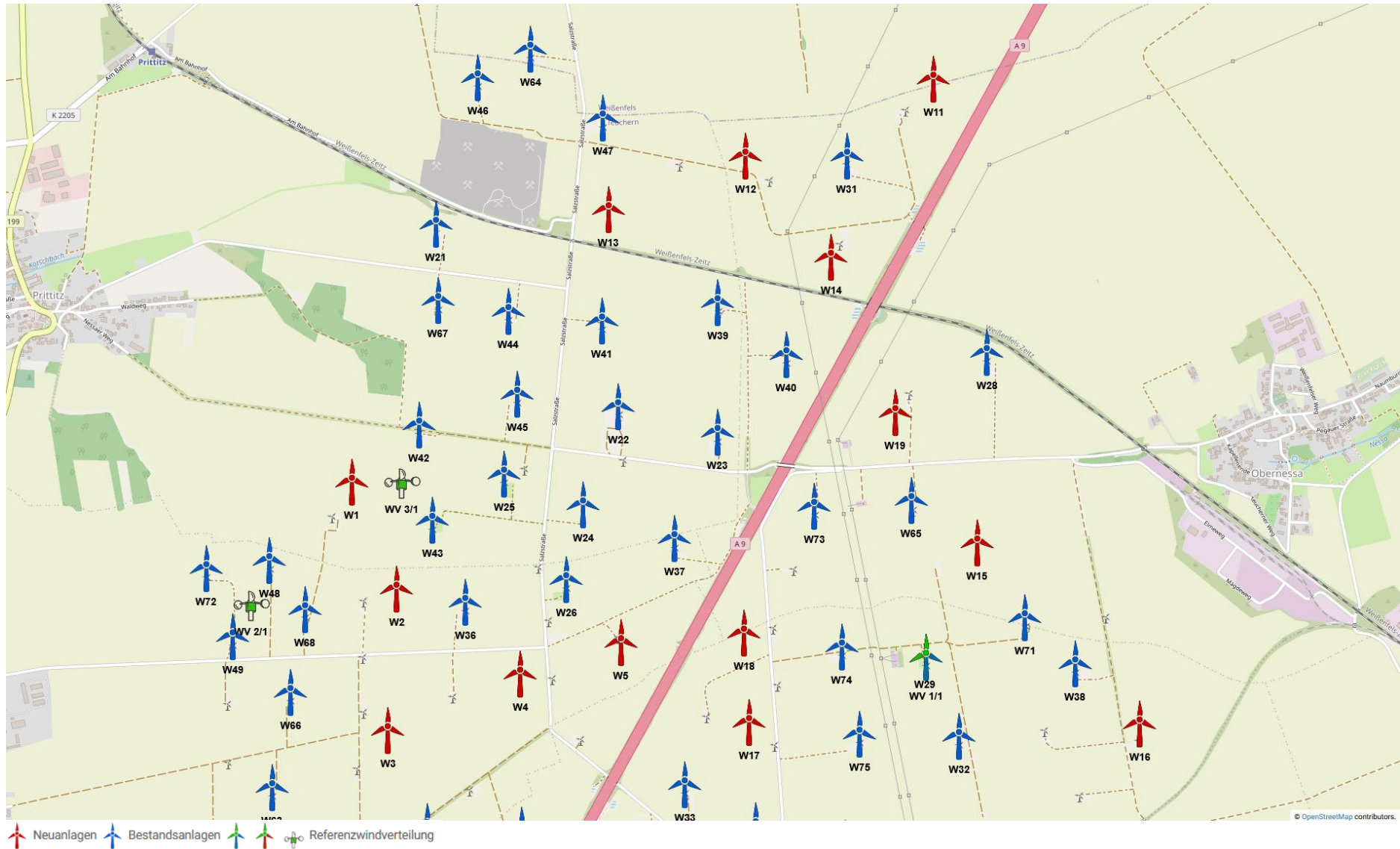


Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail Nord); Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

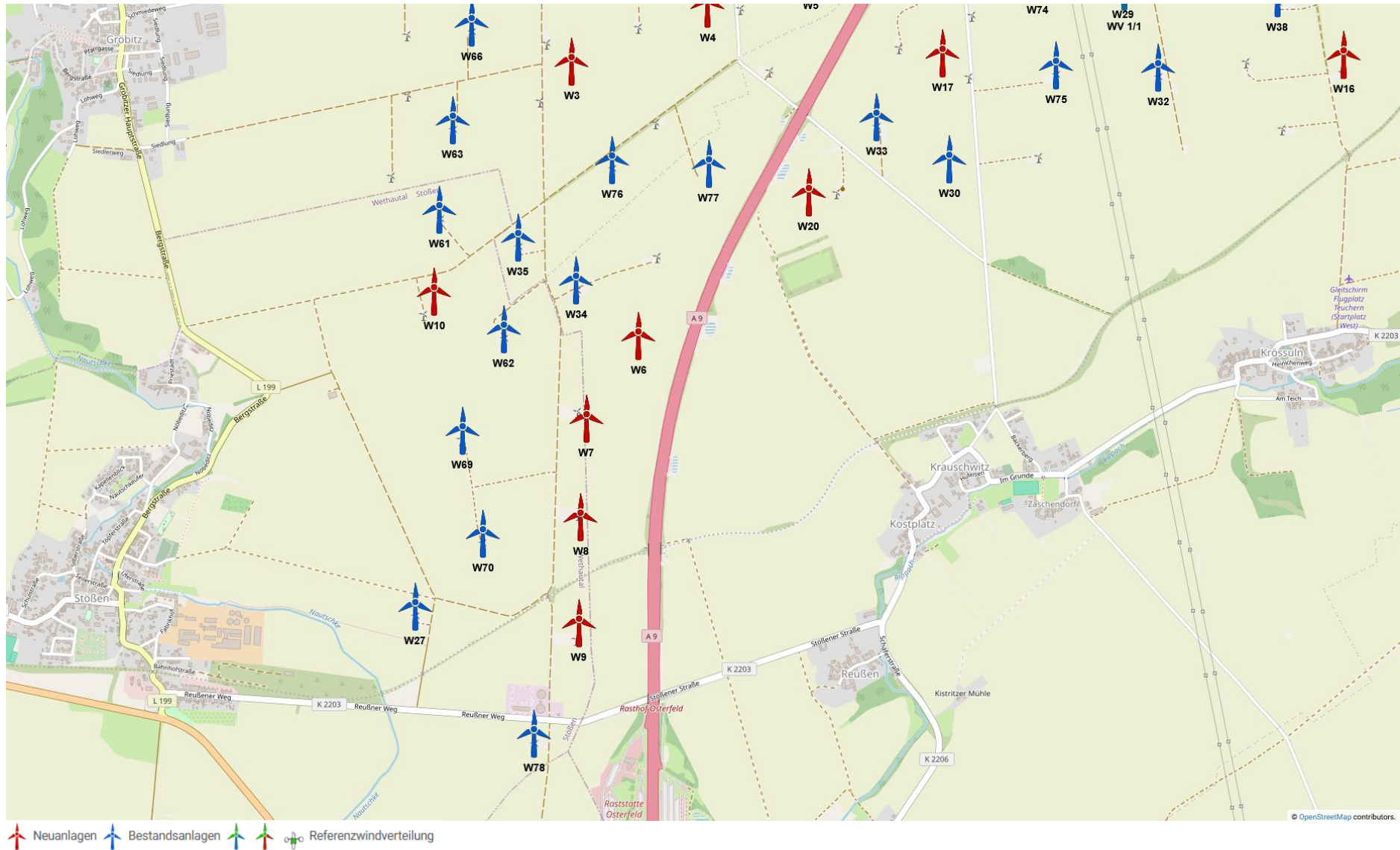


Abbildung 2.3: Zu untersuchende Windparkkonfiguration (Detail Süd); Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

3 Vergleich der Windbedingungen

3.1 Grundlagen

Vom Auftraggeber wurden standortbezogene Windverhältnisse, unterteilt in mindestens 12 Sektoren, übermittelt [22.1]. Diese werden als richtig und für den Standort repräsentativ vorausgesetzt.

Um die Windverhältnisse auf Nabenhöhe an jedem Anlagenstandort zu ermitteln, werden die Daten der Windverhältnisse [22.1] auf alle notwendigen Höhen umgerechnet, sofern diese nicht vorliegen. Die Umrechnung erfolgt auf Basis eines logarithmischen Windprofils und des am Standort der Windverteilung ermittelten Höhenexponenten α . Bei der vertikalen Umrechnung wird der Formparameter k als invariant mit der Höhe angenommen und lediglich der Skalenparameter A umgerechnet. Eine horizontale Umrechnung vom Standort der Winddaten zu den jeweiligen WEA Standorten erfolgt nicht. Liegen in [22.1] mehrere Windverteilungen vor, werden diese den jeweiligen WEA zugeordnet. Tabelle 3.1 führt eine der in [22.1] übermittelten Windbedingungen am Standort auf. Wenn mehrere Windverteilungen zu Grunde gelegt wurden, werden diese im Anhang ausgewiesen.

Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [22.1]

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	v _{ave} [m/s]
X [m]	Y [m]	h _{wv} [m]				
708668	5669153	170.0				
Sektor Windrichtung [°]						
N 0			6.01	2.28	5.62	---
NNO 30			5.64	2.36	5.04	---
ONO 60			6.05	2.40	6.33	---
O 90			6.91	2.26	6.96	---
OSO 120			6.16	2.26	4.32	---
SSO 150			5.61	2.33	3.30	---
S 180			7.72	1.96	4.86	---
SSW 210			10.55	2.31	10.81	---
WSW 240			11.01	2.62	18.66	---
W 270			10.04	2.59	18.47	---
WNW 300			7.56	2.35	9.23	---
NNW 330			6.36	2.31	6.41	---
Gesamt			8.49	2.06	100.01	7.52

3.2 Vergleich v_{ave} und v_{m50}

3.2.1 Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave}

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter k mit $k = 2.0$ zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe jeder geplanten WEA so zu führen, dass gilt:

- i. $v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 0.95$
oder
- ii. $v_{ave, NH} / v_{ave, TP} \leq 1.00$ und $k_{NH} \geq 2.00$

Liegt der Typenprüfung einer entsprechend Abschnitt 1.2.1 zu untersuchenden WEA ein Formparameter k mit $k \neq 2.0$ zu Grunde, ist der Vergleich der Windverhältnisse in Bezug auf die mittlere Windgeschwindigkeit v_{ave} jeder geplanten WEA wie folgt zu führen:

- i. Vergleich der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der standortspezifischen Windgeschwindigkeiten pdf_{NH} mit der Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Typenprüfung pdf_{TP} in einem Bereich von $v_{ave} - 2v_{ave}$ nach [6] bzw. $0.2v_{ref} - 0.4v_{ref}$ nach [7]. In dem zu untersuchenden Bereich muss die Bedingung $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$ erfüllt sein.

Das Ergebnis der Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} und der Formparameter k der Weibullverteilung auf Nabenhöhe jeder neu geplanten WEA sind in Tabelle 3.2 dargestellt und werden mit den Auslegungswindbedingungen der jeweiligen WEA verglichen.

Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	$v_{ave, NH}$ [m/s]	$v_{ave, TP}$ [m/s]	k_{NH} [-]	k_{TP} [-]	Wenn $k_{TP} = 2$: $v_{ave, NH} / v_{ave, TP}$ [-]	Wenn $k_{TP} \neq 2$: $pdf_{NH} \leq pdf_{TP}$	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1, W5 - W8, W13, W16, W18 & W20	7.48	8.50	2.06	2.00	0.88	-	Ja	Nein
W2, W10 & W15	7.44	7.71	2.06	2.00	0.96	-	Ja	Nein
W3, W4, W9, W11, W12, W14, W17 & W19	7.53	7.31	2.06	2.00	1.03	-	Nein	Ja

3.2.2 Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50}

Der Vergleich der 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, NH}$ auf Nabenhöhe der geplanten WEA mit dem Auslegungswert kann auf zwei Wegen erfolgen. Wenn die WEA in einer Windzone errichtet werden soll, die niedriger oder gleich der Windzone ist, die der Typenprüfung zu Grunde liegt, reicht der Nachweis, dass die Windzone gemäß Typenprüfung die Windzone des betrachteten Standortes abdeckt [1.1]. Ist dies nicht der Fall, muss nachgewiesen werden, dass die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, TP}$ gemäß Typenprüfung die 50-Jahreswindgeschwindigkeit auf Nabenhöhe der geplanten WEA am Standort abdeckt [1.1, 4, 5]. Hierzu muss die 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{m50, NH}$ mittels einer geeigneten Methode (z.B. der Gumbel-Methode [10]) am Standort ermittelt werden.

Den nachzuweisenden Standorten wird nach DIBt 2012 [1.1], bzw. nach DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12 [9] die in Tabelle 3.3 aufgeführte Windzone entsprechend [11] und die Geländekategorie, basierend auf den durch den Standortbesuch gewonnenen Erkenntnissen und den verwendeten Satellitendaten [13.1], zu Grunde gelegt. Da, nach [1.1], in Übergangsgebieten der Geländekategorien stets die Gleichungen der niedrigeren Kategorie anzusetzen sind, wird der Vergleich in solchen Fällen auf Basis der Gleichungen für die niedrigere Geländekategorie durchgeführt.

In der folgenden Tabelle 3.3 werden die Auslegungswindbedingungen hinsichtlich v_{m50} mit den standortspezifischen Windbedingungen verglichen. Wenn die geplanten WEA in einer Windzone errichtet werden sollen, die durch die Auslegungswindbedingungen abgedeckt ist, ist die Standorteignung hinsichtlich v_{m50} nachgewiesen. Ist der Standort nicht durch die Auslegungswindbedingungen $v_{m50, TP}$ der geplanten WEA abgedeckt, erfolgt der Nachweis über eine standortspezifische Extremwindabschätzung [22.2]. Die Ergebnisse der standortspezifischen Extremwindabschätzung werden als richtig und repräsentativ für den Standort vorausgesetzt. Kann der Nachweis durch keine der beiden Verfahrensweisen erbracht werden, kann der Nachweis ggf. durch einen Lastvergleich der Extremlasten nach Abschnitt 1.2.3 erbracht werden.

Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit v_{m50} auf Nabenhöhe der geplanten WEA

Interne W-Nr.	WZ _{TP}	GK _{TP}	$v_{m50, TP}$ [m/s]	WZ _{NH}	GK _{NH}	$v_{m50, NH}$ [1.1] [m/s]	$v_{m50, NH}$ [22.2] [m/s]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1, W5-W8, W13, W16, W18 & W20	S	S	37.50	2	II	39.21	33.61	Ja	Nein
W2, W10 & W15	2	II	38.96	2	II	38.96	-	Ja	Nein
W3, W4, W9, W11, W12, W14, W17 & W19	S	S	40.63	2	II	39.50	-	Ja	Nein

3.3 Vergleich der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}

3.3.1 Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

Für die Turbulenzintensität auf Nabenhöhe einer nach der DIBt 2012 [1.1] typengeprüften WEA gibt es windgeschwindigkeitsabhängige Auslegungswerte in fünf Kategorien, welche in der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] aufgeführt sind und der Typenprüfung zu Grunde gelegt werden müssen. Bei den Turbulenzkategorien wird zwischen den vorgegebenen Kategorien A+, A, B, C und der durch den WEA-Hersteller definierbaren Kategorie S unterschieden.

Für WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, muss die windgeschwindigkeitsabhängige Turbulenzkategorie A, welche in der DIN EN 61400-1:2004 [8] definiert ist, als Auslegungswindbedingung hinsichtlich der Turbulenzintensität zu Grunde gelegt sein.

Für WEA die nach der DIBt 1993 [3] typengeprüft sind, wird nicht die in [3] definierte mittlere Turbulenzintensität von 0.20, sondern ebenfalls die in der DIN EN 61400-1:2004 [8] definierte windgeschwindigkeitsabhängige Turbulenzkategorie A, als Auslegungswindbedingung hinsichtlich der Turbulenzintensität zu Grunde gelegt.

In Tabelle 3.4 sind die unterschiedlichen Turbulenzkategorien und deren Verläufe dargestellt.

Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität

v_{hub} [m/s]	DIBt 2004 [2]	DIBt 2012 [1.1] DIN EN IEC 61400-1:2019 [6]				S [-]
	NTM A [8] [-]	NTM A+ [6] [-]	NTM A [5, 6, 7] [-]	NTM B [5, 6, 7] [-]	NTM C [5, 6, 7] [-]	
2	0.570	0.639	0.568	0.497	0.426	durch den WEA- Hersteller definiert
3	0.420	0.471	0.419	0.366	0.314	
4	0.345	0.387	0.344	0.301	0.258	
5	0.300	0.337	0.299	0.262	0.224	
6	0.270	0.303	0.269	0.236	0.202	
7	0.249	0.279	0.248	0.217	0.186	
8	0.233	0.261	0.232	0.203	0.174	
9	0.220	0.247	0.220	0.192	0.165	
10	0.210	0.236	0.210	0.183	0.157	
11	0.202	0.227	0.201	0.176	0.151	
12	0.195	0.219	0.195	0.170	0.146	
13	0.189	0.213	0.189	0.165	0.142	
14	0.184	0.207	0.184	0.161	0.138	
15	0.180	0.202	0.180	0.157	0.135	
16	0.176	0.198	0.176	0.154	0.132	
17	0.173	0.194	0.173	0.151	0.130	
18	0.170	0.191	0.170	0.149	0.127	
19	0.167	0.188	0.167	0.146	0.125	
20	0.165	0.185	0.165	0.144	0.124	
21	0.163	0.183	0.163	0.142	0.122	
22	0.161	0.181	0.161	0.141	0.121	
23	0.159	0.179	0.159	0.139	0.119	
24	0.158	0.177	0.157	0.138	0.118	
25	0.156	0.175	0.156	0.136	0.117	
26	0.155	0.174	0.154	0.135	0.116	
27	0.153	0.172	0.153	0.134	0.115	
28	0.152	0.171	0.152	0.133	0.114	
29	0.151	0.170	0.151	0.132	0.113	
30	0.150	0.169	0.150	0.131	0.112	

Der Vergleich des standortspezifischen Turbulenzverlaufes mit den windgeschwindigkeitsabhängigen Auslegungswerten erfolgt bei WEA die nach der DIBt 2004 [2] typengeprüft sind, auf Basis der Werte für die Turbulenzkategorie A nach [1.1, 5, 6, 7], da diese die Werte nach [8] mit abdecken.

3.3.2 Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität

3.3.2.1 Datengrundlage

Im Wesentlichen hängt die Umgebungsturbulenz I_{amb} von den Windverhältnissen, der Orographie und der Geländerauigkeit ab. Die Windverhältnisse aus [22.1] enthalten keinerlei Informationen zur Umgebungsturbulenzintensität vor Ort, somit wurde diese auf Basis der vorliegenden Informationen zur Bodenbedeckung [13.1] und der Topografie [13.2] am Standort auf Nabenhöhe ermittelt.

3.3.2.2 Vorgehensweise

Die Umgebungsturbulenzintensität I_{amb} beschreibt im Allgemeinen die Schwankung der Windgeschwindigkeit in einem Zeitintervall von 600 s um ihren Mittelwert. Sie ist als der Quotient aus der Standardabweichung σ der Windgeschwindigkeit und der zugehörigen mittleren Windgeschwindigkeit v_{ave} in einem 600 s Intervall zu bilden [6, 7, 8]. Liegen Daten einer Windmessung am Standort vor, kann I_{amb} direkt, bzw. I_{char} durch Addition der 1fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ [4, 8] und I_{rep} durch Addition der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ [6, 7] zu I_{amb} ermittelt werden. Durch Ermittlung der Windscherung, kann die auf Messhöhe ermittelte charakteristische, bzw. repräsentative Turbulenzintensität auf Nabenhöhe extrapoliert werden. Liegt keine Messung vor, muss die Umgebungsturbulenzintensität rechnerisch ermittelt werden.

Zur Berechnung von I_{amb} werden an jedem zu untersuchenden WEA Standort die flächenmäßigen Informationen zur Bodenbedeckung aus dem CORINE Datensatz [13.1] mit 20 km Radius um den Standort zu Grunde gelegt. Die in [13.1] enthaltenen Flächen verschiedener Bodenbedeckung werden nach den Empfehlungen des Europäischen Wind Atlas [12] in Flächen mit einer Rauigkeitslänge z_0 konvertiert. Alle innerhalb eines Sektors liegenden Rauigkeitselemente werden abschließend nach Abstand und Größe gewichtet und in einen, für diesen Sektor, repräsentativen Rauigkeitswert umgerechnet. Aus den sektoriell vorliegenden Rauigkeitslängen wird mittels eines von der Rauigkeitslänge z_0 abhängigen Profils die Umgebungsturbulenzintensität auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA berechnet.

Da in der Richtlinie des Deutschen Instituts für Bautechnik DIBt 2012 [1.1] für die Ermittlung der Standorteignung bezüglich der effektiven Turbulenzintensitäten Turbulenzwerte für verschiedene Windgeschwindigkeiten gefordert sind, wird den ermittelten Werten für die Umgebungsturbulenzintensität das NTM nach [6, 7] zu Grunde gelegt. Der ermittelten Turbulenzkurve wird in Anlehnung an das vom Risø DTU National Laboratory entwickelte Verfahren im Windfarm Assessment Tool eine windgeschwindigkeitsabhängige Standardabweichung σ_σ unterstellt, die ebenfalls dem NTM Verlauf folgt [15]. Die Werte für die Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ sind so gewählt, dass die Summe aus der Referenzsturbulenzintensität nach NTM und dem 1fachen σ_σ die Referenzkurve nach [6, 7] ergibt.

Die repräsentative Turbulenzintensität I_{rep} wird nach dem beschriebenen Verfahren für jede zu betrachtende, nach DIBt 2012 [1.1] typen-/einzelgeprüfte, WEA auf Nabenhöhe ermittelt und den weiteren Berechnungen zu Grunde gelegt. Für Anlagen, deren Typen-/Einzelprüfung auf der Richtlinie DIBt 2004 [2] oder DIBt 1993 [3] basiert, findet die charakteristische Turbulenzintensität I_{char} Anwendung.

3.3.2.3 Untersuchung der topografischen Komplexität der Anlagenstandorte

Das verwendete Höhenmodell aus dem SRTM Datensatz [13.2] liegt in einer Auflösung von ca. 30 m vor und wird für die Ermittlung der topografischen Komplexität der Standorte herangezogen.

Die Standorte aller zu betrachtenden Anlagen werden basierend auf den Vorgaben der geltenden Norm DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] auf topografische Komplexität untersucht und bewertet, da die topografische Komplexität eine Verzerrung und damit eine Abweichung der Turbulenzstruktur von den Auslegungswindbedingungen verursachen kann.

Die Komplexität eines Standortes wird durch die Neigung des Geländes und die Abweichungen der Topografie des Geländes von einer angenäherten Ebene dargestellt. Dazu werden mindestens 37 Ausgleichsebenen entsprechend der Kriterien aus [6] mittels der Methode der kleinsten Fehlerquadrate gebildet. Die DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] lässt die Möglichkeit offen, die angenäherte Ebene für die Kreissektoren mit dem Radius $5 z_{hub}$ leewärts zur Position der zu untersuchenden WEA um $2 z_{hub}$ zu erweitern. Diese Erweiterung wird bei der Komplexitätsbewertung im vorliegenden Gutachten angewendet. In Abhängigkeit der Neigung der angenäherten Ebenen, der Abweichung des digitalen Geländemodells [13.2] von dieser und des Anteils der Windenergie aus dem betrachteten Sektor, lassen sich die Indizes TSI für die Geländeneigung und TVI für die Geländeabweichung berechnen. Überschreitet einer der berechneten Indizes die in Tabelle 3.5 aufgeführten Schwellenwerte, ist der untersuchte Standort als topografisch komplex zu bewerten, wobei der jeweils überschrittene Schwellenwert die Geländekomplexitätskategorie L, M oder H bestimmt.

Nach [6] hat an topografisch komplexen Standorten eine Erhöhung der longitudinalen Komponente der Umgebungsturbulenzintensität durch Multiplikation mit einem Turbulenzstrukturparameter C_{CT} gemäß Tabelle 3.5 zu erfolgen.

Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien und C_{CT} nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6]

Radius der Kreisfläche um die WEA [m]	Sektoramplitude der angenäherten Ausgleichsebene [°]	Schwellenwerte (untere Grenze)					
		Index der Geländeneigung TSI [°]			Index der Geländeabweichung TVI [%]		
		L	M	H	L	M	H
$5 z_{hub}$	360	10	15	20	2	4	6
$5 z_{hub}$	30						
$10 z_{hub}$							
$20 z_{hub}$							
		Kategorie					
	L	M			H		
C_{CT}	1.05	1.10			1.15		

Die Ergebnisse der Bewertung der topografischen Komplexität der zu untersuchenden WEA können Tabelle 2.1 entnommen werden.

3.3.2.4 Repräsentative Turbulenzintensität

In Tabelle 3.6 werden die sektoriell nach dem in Abschnitt 3.3.2.2 beschriebenen Verfahren ermittelten, repräsentativen Turbulenzintensitäten, bezogen auf eine Windgeschwindigkeit von 15 m/s, für eine Anlagenposition aufgeführt.

Tabelle 3.6: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort

Standort: W5	NH: 166.6 m	I_{rep} [-]
Sektor	Windrichtung [°]	
N	0	0.121
NNO	30	0.110
ONO	60	0.112
O	90	0.115
OSO	120	0.119
SSO	150	0.116
S	180	0.115
SSW	210	0.112
WSW	240	0.108
W	270	0.118
WNW	300	0.120
NNW	330	0.113

3.3.3 Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff}

3.3.3.1 Grundlagen

Die effektive Turbulenzintensität I_{eff} ist definiert als die mittlere Turbulenzintensität, die über die Lebensdauer einer WEA dieselbe Materialermüdung verursacht, wie die am Standort herrschenden, verschiedenen Turbulenzen. Die Materialkennzahl, die maßgeblich in die Berechnung der effektiven Turbulenzintensität einfließt, ist der Wöhlerlinienkoeffizient m . Im vorliegenden Gutachten liegt jeder zu betrachtenden WEA der anlagenspezifische Wöhlerlinienkoeffizient zu Grunde, der die strukturschwächste Komponente repräsentiert. Hierbei handelt es sich im Regelfall um die Rotorblätter einer WEA, welche durch Wöhlerlinienkoeffizienten zwischen $m = 10$ für glasfaserverstärkte Verbundwerkstoffe und $m = 15$ für kohlefaserverstärkte Verbundwerkstoffe abgedeckt werden. Dadurch werden alle Komponenten einer WEA in die Betrachtung mit einbezogen.

Grundsätzlich setzt sich die effektive Turbulenzintensität I_{eff} an einer WEA aus der Umgebungsturbulenzintensität und der durch den Nachlauf anderer WEA induzierten Turbulenzintensität, dem sogenannten „Wake-Effekt“, zusammen. Hierbei sind je nach zu Grunde gelegter Richtlinie unterschiedliche Berücksichtigungen der Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität σ_σ zu berücksichtigen.

Die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität erfolgt nach den Ausarbeitungen in [10], Kapitel 2.4.4, wenn alle hierfür erforderlichen Anlagenparameter vorliegen oder konservativ abdeckend ermittelt werden konnten. Andernfalls erfolgt die Berechnung der induzierten Turbulenzintensität nach den Ausarbeitungen in [16], sowie den informativen Anhängen in [6] und [7]. Die generelle Vorgehensweise zur Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} erfolgt in beiden Fällen entsprechend den Anforderungen aus [6] und [7].

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [10] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen der WEA untereinander, der Umgebungsturbulenzintensität und von anlagenspezifischen Kenngrößen abhängig ist. Diese Kenngrößen sind einerseits der windgeschwindigkeitsabhängige Schubbeiwert c_t , als auch die windgeschwindigkeitsabhängige Schnelllaufzahl λ der turbulenzinduzierenden WEA. Das Modell bildet sowohl den voll ausgebildeten Nachlauf als auch den nicht voll ausgebildeten Nachlauf

hinter einer WEA ab. Die anlagenspezifischen Werte c_t und λ sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie, wenn möglich, auf Basis der Anlagenparameter wie Drehzahl und Rotordurchmesser ermittelt, oder durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von I_{eff} werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [10] keine Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, werden sowohl die Bereiche im Volleinfluss (Rotor der WEA steht voll im Nachlauf einer anderen WEA), als auch die Bereiche im Teileinfluss (Rotor der WEA steht nur teilweise im Nachlauf einer anderen WEA) bei der Berechnung von I_{eff} berücksichtigt, was somit den konservativsten Ansatz darstellt.

Die induzierte Turbulenzintensität wird in [16] als eine Funktion beschrieben, die von den Abständen s der WEA untereinander und vom windgeschwindigkeitsabhängigen Schubbeiwert c_t abhängig ist. Die anlagenspezifischen c_t Werte sind vom Anlagenhersteller übermittelt. Wenn für eine zu betrachtende WEA diese Werte nicht vorliegen, werden Sie durch eine konservativ abdeckende Standardkurve ersetzt. Der Ermittlung von I_{eff} werden die am Standort herrschenden geometrischen Verhältnisse, sowie die am Standort herrschenden Windbedingungen zu Grunde gelegt. Da in [16] eine eindeutige Aussage zum berücksichtigenden Einflussbereich der WEA untereinander getroffen wird, wird genau dieser Bereich bei der Berechnung von I_{eff} berücksichtigt.

Die Ermittlung der induzierten Turbulenzintensität muss durchgeführt werden, solange sich eine WEA in einem Abstand s kleiner $10 D$ von der zu betrachtenden Anlage befindet [6, 7, 8]. Ist der Abstand s aller WEA im Umfeld grösser $10 D$, bezogen auf die jeweils turbulenzinduzierende WEA, muss deren Einfluss nicht mehr berücksichtigt werden.

In keiner der zu Grunde gelegten Richtlinien und Normen [1.1 - 8] werden hinsichtlich des Abstandes s von WEA Grenzen definiert, bis zu welchen die Ergebnisse der effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} anwendbar oder belastbar sind. Dasselbe gilt für die in [10] und [16] beschriebenen Turbulenzmodelle. Verschiedene Untersuchungen und Ausarbeitungen haben gezeigt, dass die Turbulenzmodelle auch bei geringen relativen Abständen s im Bereich $3 D \geq s \geq 2 D$ konservative Ergebnisse liefern und belastbar sind. Diese Ergebnisse können sowohl für einen Vergleich der Windbedingungen entsprechend Abschnitt 1.2.1 als auch für einen Nachweis gemäß 1.2.3 herangezogen werden. Die Ergebnisse der ermittelten, effektiven Turbulenzintensitäten bei Anlagenabständen s von unter $2.0 D$ sollten nicht mehr für eine standortspezifische Lastrechnung (siehe Abschnitt 1.2.3) herangezogen werden. In diesen Nachlaufsituationen ist eine Abschaltung erforderlich. Eine Ausnahme bilden Abstände s von unter $2.0 D$ in Verbindung mit einem großen Nabhöhenunterschied der betrachteten WEA. In solch einer Situation kann es durch die geometrischen Verhältnisse dazu kommen, dass der Nachlauf der turbulenzinduzierenden WEA über bzw. unter der Rotorkreisfläche der beeinflussten WEA strömt. In diesem Fall sind keine Betriebsbeschränkungen bzw. Abschaltungen erforderlich.

Die ermittelten Werte für I_{eff} werden den Auslegungswerten, die der Typen-/Einzelprüfung der betrachteten Anlage zu Grunde liegen, gegenübergestellt. Liegen die ermittelten Werte nicht oberhalb der Auslegungswerte, gilt eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität als nachgewiesen. Liegen die Werte über den Auslegungswerten, kann eine Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität nicht durch den Vergleich mit den Auslegungswerten nachgewiesen werden. Der Nachweis der Standorteignung kann in diesem Fall jedoch durch eine standortspezifische Lastrechnung seitens des Anlagenherstellers oder eines unabhängigen Dritten erfolgen.

3.3.3.2 Berücksichtigte sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM)

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} können sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM) an WEA berücksichtigt werden. Die Betriebsbeschränkungen können sich aus beispielsweise zu geringen Abständen s ergeben, oder Bestandteil der Genehmigung bereits bestehender WEA sein. Des Weiteren kann ein WSM dafür genutzt werden, den Einfluss einer neu geplanten WEA auf den zu berücksichtigenden Bestand derart zu reduzieren, dass die geplante WEA keinen signifikanten Einfluss mehr auf die effektive Turbulenzintensität I_{eff} einer Bestandsanlage hat oder um Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} an dieser zu verhindern. Die im Folgenden aufgeführten Betriebsbeschränkungen stellen immer eine Mindestanforderung dar, deren technische Umsetzbarkeit nicht geprüft wurde. Wenn möglich, wird für jedes WSM an einer beeinflussenden WEA ein alternatives WSM an der beeinflussten WEA ausgewiesen. Hierbei handelt es sich in der Regel um eine Abschaltung an der beeinflussten WEA, da die Lasten an einer abgeschalteten WEA geringer sind als die Lasten im frei angeströmten Betrieb.

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} wurden keine sektorischen Betriebsbeschränkungen berücksichtigt.

3.3.3.3 Ergebnis

Die Tabelle 3.7 stellt die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten vor Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit dar. Aufgeführt werden nur Bestands-WEA, die Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} gegenüber den Auslegungswerten vor Zubau aufweisen. Tabelle 3.8 bis Tabelle 3.11 stellt die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten nach Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit dar. Die nach der jeweils zu Grunde gelegten Richtlinie ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten werden der Referenzkurve nach DIBt 2012 [1.1] oder der Referenzkurve der jeweiligen Typenprüfung gegenübergestellt. Überschreitungen sind **fett kursiv** dargestellt.

Tabelle 3.7: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (vor Zubau)

v_{hub}	W22[B]	W23[B]	W24[A]	W25[A]	W26[A]	W30[B]	W34[A]	W35[A]	W38[A]	W40[A]	W43[A]	W44[A]	W45[A]	W48[A]	W61[A]	W62[A]	W67[A]	W71[A]	W76[B]	W77[B]	Referenz Klasse B	Referenz Klasse A
3	0.389	0.368	0.416	0.417	0.409	0.386	0.461	0.429	0.425	0.386	0.393	0.389	0.405	0.387	0.396	0.406	0.447	0.447	0.358	0.355	0.366	0.419
4	0.324	0.323	0.381	0.372	0.374	0.357	0.421	0.396	0.343	0.353	0.352	0.334	0.353	0.335	0.356	0.366	0.417	0.405	0.308	0.306	0.301	0.344
5	0.283	0.274	0.316	0.312	0.306	0.296	0.350	0.323	0.311	0.293	0.291	0.293	0.299	0.306	0.294	0.300	0.346	0.331	0.263	0.266	0.262	0.299
6	0.255	0.245	0.276	0.277	0.264	0.259	0.317	0.288	0.298	0.265	0.255	0.268	0.267	0.286	0.263	0.266	0.302	0.294	0.237	0.243	0.236	0.269
7	0.233	0.224	0.250	0.251	0.236	0.234	0.293	0.261	0.274	0.243	0.229	0.248	0.243	0.272	0.240	0.240	0.265	0.266	0.218	0.225	0.217	0.248
8	0.218	0.206	0.235	0.234	0.219	0.221	0.270	0.236	0.245	0.222	0.209	0.234	0.226	0.259	0.217	0.213	0.232	0.240	0.199	0.205	0.203	0.232
9	0.205	0.195	0.220	0.218	0.203	0.207	0.246	0.216	0.225	0.205	0.190	0.224	0.211	0.250	0.194	0.192	0.208	0.213	0.186	0.198	0.192	0.220
10	0.187	0.183	0.204	0.200	0.184	0.192	0.231	0.201	0.212	0.190	0.171	0.214	0.194	0.243	0.177	0.178	0.182	0.194	0.175	0.187	0.183	0.210
11	0.169	0.171	0.188	0.183	0.166	0.176	0.211	0.190	0.176	0.174	0.154	0.206	0.177	0.236	0.158	0.156	0.157	0.174	0.163	0.175	0.176	0.201
12	0.155	0.158	0.171	0.167	0.151	0.160	0.188	0.164	0.153	0.158	0.142	0.176	0.161	0.201	0.140	0.140	0.139	0.155	0.151	0.162	0.170	0.195
13	0.143	0.148	0.157	0.154	0.139	0.147	0.167	0.144	0.141	0.147	0.130	0.154	0.149	0.171	0.127	0.131	0.127	0.141	0.140	0.151	0.165	0.189
14	0.135	0.138	0.146	0.144	0.131	0.137	0.152	0.134	0.132	0.137	0.123	0.142	0.139	0.156	0.120	0.125	0.121	0.131	0.132	0.141	0.161	0.184
15	0.129	0.131	0.137	0.135	0.126	0.128	0.140	0.127	0.126	0.130	0.118	0.134	0.132	0.147	0.115	0.121	0.116	0.124	0.125	0.133	0.157	0.180
16	0.123	0.125	0.130	0.129	0.120	0.122	0.131	0.121	0.120	0.125	0.114	0.127	0.126	0.139	0.112	0.117	0.113	0.119	0.120	0.127	0.154	0.176
17	0.119	0.120	0.124	0.123	0.116	0.116	0.124	0.117	0.116	0.119	0.111	0.121	0.121	0.133	0.109	0.114	0.110	0.114	0.116	0.120	0.151	0.173
18	0.115	0.115	0.119	0.119	0.112	0.112	0.119	0.113	0.113	0.115	0.109	0.117	0.117	0.128	0.107	0.112	0.107	0.111	0.113	0.116	0.149	0.170
19	0.112	0.112	0.115	0.115	0.110	0.109	0.115	0.111	0.110	0.113	0.106	0.113	0.113	0.124	0.105	0.110	0.105	0.108	0.110	0.113	0.146	0.167
20	0.109	0.109	0.112	0.112	0.107	0.106	0.112	0.108	0.108	0.110	0.104	0.110	0.110	0.120	0.104	0.108	0.103	0.106	0.108	0.110	0.144	0.165
21	0.106	0.106	0.109	0.109	0.105	0.104	0.109	0.106	0.106	0.108	0.103	0.108	0.108	0.118	0.102	0.106	0.102	0.103	0.106	0.107	0.142	0.163
22	0.104	0.104	0.106	0.106	0.103	0.102	0.107	0.104	0.104	0.105	0.101	0.105	0.105	0.114	0.101	0.105	0.100	0.101	0.104	0.104	0.141	0.161
23	0.102	0.102	0.104	0.104	0.101	0.100	0.105	0.103	0.103	0.103	0.100	0.104	0.103	0.112	0.100	0.104	0.099	0.100	0.102	0.102	0.139	0.159
24	0.100	0.100	0.101	0.101	0.099	0.099	0.103	0.102	0.101	0.101	0.098	0.102	0.101	0.110	0.099	0.102	0.098	0.098	0.101	0.100	0.138	0.157
25	0.098	0.098	0.099	0.099	0.098	0.098	0.102	0.100	0.100	0.098	0.097	0.100	0.099	0.108	0.098	0.102	0.096	0.096	0.099	0.098	0.136	0.156

Tabelle 3.8: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 1)

v_{hub}	W1[B]	W2[A]	W3[A]	W4[A]	W5[B]	W6[B]	W7[B]	W8[B]	W9[A]	W10[A]	W11[A]	W12[A]	W13[B]	W14[A]	W15[A]	W16[B]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse B
3	0.387	0.429	0.350	0.381	0.393	0.403	0.369	0.368	0.353	0.367	0.316	0.364	0.374	0.379	0.353	0.385	0.419	0.366
4	0.353	0.374	0.303	0.323	0.359	0.370	0.314	0.312	0.299	0.322	0.280	0.323	0.318	0.338	0.294	0.347	0.344	0.301
5	0.289	0.315	0.259	0.279	0.299	0.306	0.269	0.274	0.257	0.272	0.238	0.270	0.272	0.282	0.261	0.289	0.299	0.262
6	0.254	0.279	0.233	0.251	0.264	0.276	0.244	0.255	0.232	0.245	0.217	0.243	0.244	0.252	0.242	0.261	0.269	0.236
7	0.227	0.251	0.212	0.229	0.243	0.253	0.223	0.238	0.212	0.224	0.202	0.223	0.221	0.231	0.224	0.240	0.248	0.217
8	0.205	0.234	0.195	0.214	0.230	0.230	0.201	0.220	0.192	0.205	0.190	0.205	0.199	0.213	0.207	0.221	0.232	0.203
9	0.186	0.216	0.184	0.200	0.214	0.212	0.190	0.206	0.180	0.189	0.177	0.188	0.185	0.195	0.196	0.201	0.220	0.192
10	0.170	0.194	0.175	0.181	0.196	0.195	0.180	0.195	0.170	0.175	0.168	0.175	0.169	0.180	0.187	0.187	0.210	0.183
11	0.156	0.177	0.168	0.163	0.180	0.178	0.163	0.172	0.158	0.162	0.158	0.161	0.155	0.165	0.178	0.170	0.201	0.176
12	0.146	0.167	0.150	0.149	0.166	0.162	0.150	0.156	0.143	0.139	0.147	0.148	0.143	0.151	0.155	0.153	0.195	0.170
13	0.132	0.145	0.137	0.139	0.153	0.149	0.140	0.145	0.133	0.126	0.137	0.138	0.133	0.140	0.139	0.139	0.189	0.165
14	0.124	0.134	0.129	0.131	0.142	0.139	0.132	0.136	0.126	0.119	0.130	0.130	0.126	0.132	0.130	0.129	0.184	0.161
15	0.119	0.126	0.123	0.125	0.134	0.132	0.126	0.129	0.121	0.115	0.124	0.124	0.122	0.126	0.124	0.121	0.180	0.157
16	0.115	0.121	0.118	0.120	0.127	0.126	0.121	0.123	0.117	0.112	0.119	0.120	0.117	0.121	0.119	0.116	0.176	0.154
17	0.112	0.117	0.114	0.115	0.122	0.120	0.117	0.119	0.113	0.110	0.115	0.115	0.114	0.117	0.115	0.112	0.173	0.151
18	0.109	0.113	0.111	0.112	0.117	0.116	0.113	0.115	0.111	0.108	0.112	0.112	0.111	0.113	0.112	0.108	0.170	0.149
19	0.107	0.110	0.108	0.109	0.113	0.114	0.111	0.112	0.108	0.106	0.109	0.109	0.108	0.110	0.109	0.106	0.167	0.146
20	0.105	0.107	0.106	0.107	0.110	0.111	0.109	0.110	0.106	0.104	0.107	0.106	0.106	0.108	0.107	0.104	0.165	0.144
21	0.103	0.105	0.104	0.105	0.107	0.109	0.107	0.107	0.105	0.103	0.104	0.104	0.104	0.105	0.105	0.102	0.163	0.142
22	0.102	0.103	0.102	0.102	0.104	0.107	0.105	0.105	0.103	0.101	0.102	0.102	0.102	0.103	0.103	0.100	0.161	0.141
23	0.100	0.101	0.100	0.101	0.102	0.105	0.103	0.103	0.102	0.100	0.101	0.100	0.100	0.101	0.101	0.099	0.159	0.139
24	0.099	0.100	0.099	0.099	0.100	0.103	0.102	0.101	0.101	0.099	0.099	0.098	0.098	0.099	0.100	0.098	0.157	0.138
25	0.097	0.098	0.098	0.097	0.097	0.100	0.100	0.100	0.100	0.098	0.097	0.096	0.097	0.097	0.098	0.097	0.156	0.136

Tabelle 3.9: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 2)

v_{hub}	W17[A]	W18[B]	W19[A]	W20[B]	W21[A]	W22[B]	W23[B]	W24[A]	W25[A]	W26[A]	W27[A]	W28[A]	W29[A]	W30[B]	W31[A]	W32[A]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse B
3	0.393	0.353	0.346	0.363	0.321	0.389	0.368	0.416	0.417	0.423	0.328	0.308	0.375	0.391	0.339	0.377	0.419	0.366
4	0.344	0.312	0.309	0.319	0.265	0.324	0.324	0.381	0.372	0.381	0.267	0.270	0.335	0.360	0.303	0.342	0.344	0.301
5	0.291	0.272	0.260	0.270	0.234	0.283	0.274	0.316	0.312	0.315	0.238	0.241	0.281	0.301	0.273	0.282	0.299	0.262
6	0.259	0.249	0.229	0.242	0.213	0.255	0.246	0.276	0.277	0.275	0.221	0.224	0.250	0.265	0.254	0.245	0.269	0.236
7	0.235	0.233	0.209	0.221	0.196	0.233	0.225	0.250	0.252	0.248	0.201	0.214	0.228	0.242	0.243	0.219	0.248	0.217
8	0.215	0.219	0.195	0.201	0.183	0.218	0.206	0.235	0.235	0.229	0.181	0.206	0.212	0.227	0.233	0.203	0.232	0.203
9	0.202	0.202	0.183	0.192	0.174	0.205	0.196	0.220	0.218	0.213	0.165	0.192	0.201	0.211	0.216	0.187	0.220	0.192
10	0.188	0.186	0.172	0.179	0.166	0.187	0.183	0.204	0.201	0.193	0.152	0.178	0.193	0.194	0.198	0.171	0.210	0.183
11	0.174	0.172	0.163	0.168	0.159	0.169	0.171	0.188	0.184	0.175	0.137	0.166	0.185	0.178	0.183	0.157	0.201	0.176
12	0.159	0.158	0.148	0.155	0.140	0.155	0.158	0.171	0.167	0.160	0.128	0.155	0.162	0.162	0.170	0.143	0.195	0.170
13	0.148	0.147	0.137	0.144	0.128	0.143	0.148	0.157	0.155	0.148	0.123	0.145	0.145	0.149	0.157	0.132	0.189	0.165
14	0.139	0.137	0.129	0.135	0.121	0.135	0.138	0.146	0.144	0.138	0.119	0.136	0.135	0.139	0.146	0.125	0.184	0.161
15	0.131	0.130	0.124	0.128	0.117	0.129	0.131	0.137	0.136	0.131	0.115	0.130	0.128	0.130	0.137	0.120	0.180	0.157
16	0.126	0.124	0.119	0.122	0.114	0.123	0.125	0.130	0.129	0.125	0.112	0.124	0.122	0.124	0.130	0.115	0.176	0.154
17	0.121	0.119	0.115	0.117	0.111	0.119	0.120	0.124	0.124	0.121	0.110	0.120	0.118	0.118	0.124	0.112	0.173	0.151
18	0.117	0.115	0.111	0.113	0.108	0.115	0.115	0.119	0.119	0.117	0.108	0.116	0.114	0.114	0.119	0.109	0.170	0.149
19	0.113	0.112	0.109	0.110	0.106	0.112	0.112	0.115	0.115	0.114	0.106	0.112	0.111	0.110	0.115	0.107	0.167	0.146
20	0.111	0.109	0.106	0.107	0.104	0.109	0.109	0.112	0.112	0.111	0.105	0.109	0.108	0.107	0.112	0.105	0.165	0.144
21	0.108	0.107	0.104	0.105	0.102	0.106	0.106	0.109	0.109	0.108	0.103	0.107	0.106	0.105	0.108	0.103	0.163	0.142
22	0.106	0.104	0.102	0.103	0.101	0.104	0.104	0.106	0.106	0.105	0.102	0.104	0.103	0.103	0.105	0.101	0.161	0.141
23	0.104	0.102	0.100	0.101	0.099	0.102	0.102	0.104	0.104	0.103	0.101	0.102	0.102	0.101	0.103	0.100	0.159	0.139
24	0.101	0.100	0.099	0.099	0.098	0.100	0.100	0.101	0.101	0.101	0.100	0.100	0.100	0.099	0.100	0.099	0.157	0.138
25	0.099	0.098	0.097	0.098	0.097	0.098	0.098	0.099	0.099	0.098	0.099	0.097	0.099	0.098	0.098	0.098	0.156	0.136

Tabelle 3.10: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 3)

v_{hub}	W33[A]	W34[A]	W35[A]	W36[A]	W37[A]	W38[A]	W39[A]	W40[A]	W41[A]	W42[A]	W43[A]	W44[A]	W45[A]	W46[A]	W47[A]	W48[A]	W49[A]	Referenz Klasse A
3	0.392	0.467	0.433	0.462	0.374	0.432	0.377	0.390	0.386	0.382	0.428	0.390	0.405	0.368	0.354	0.393	0.359	0.419
4	0.338	0.425	0.401	0.451	0.334	0.352	0.336	0.357	0.326	0.336	0.396	0.335	0.353	0.316	0.301	0.342	0.302	0.344
5	0.293	0.353	0.329	0.379	0.281	0.316	0.281	0.298	0.282	0.284	0.332	0.293	0.299	0.284	0.261	0.308	0.266	0.299
6	0.265	0.320	0.294	0.339	0.249	0.300	0.247	0.270	0.256	0.254	0.296	0.268	0.267	0.261	0.236	0.288	0.239	0.269
7	0.243	0.295	0.267	0.305	0.226	0.276	0.225	0.248	0.235	0.232	0.268	0.249	0.243	0.242	0.217	0.273	0.215	0.248
8	0.221	0.271	0.240	0.267	0.212	0.246	0.209	0.228	0.219	0.213	0.238	0.234	0.226	0.224	0.198	0.259	0.193	0.232
9	0.204	0.247	0.220	0.242	0.199	0.226	0.194	0.209	0.208	0.202	0.220	0.224	0.211	0.211	0.187	0.251	0.174	0.220
10	0.186	0.231	0.206	0.222	0.186	0.212	0.178	0.192	0.190	0.189	0.204	0.214	0.194	0.198	0.175	0.243	0.159	0.210
11	0.171	0.211	0.194	0.204	0.173	0.177	0.162	0.175	0.172	0.177	0.188	0.206	0.177	0.186	0.163	0.236	0.146	0.201
12	0.157	0.188	0.170	0.186	0.159	0.154	0.150	0.159	0.157	0.164	0.173	0.176	0.161	0.152	0.150	0.201	0.135	0.195
13	0.146	0.168	0.153	0.169	0.149	0.141	0.140	0.147	0.145	0.153	0.159	0.154	0.149	0.132	0.140	0.171	0.129	0.189
14	0.137	0.152	0.143	0.156	0.139	0.132	0.132	0.137	0.136	0.143	0.148	0.142	0.139	0.123	0.132	0.156	0.125	0.184
15	0.130	0.140	0.135	0.145	0.132	0.126	0.127	0.130	0.130	0.135	0.139	0.134	0.132	0.119	0.126	0.147	0.122	0.180
16	0.125	0.131	0.129	0.136	0.126	0.120	0.122	0.125	0.124	0.130	0.131	0.127	0.126	0.115	0.122	0.139	0.119	0.176
17	0.120	0.125	0.124	0.128	0.121	0.116	0.118	0.119	0.119	0.124	0.125	0.121	0.121	0.112	0.117	0.133	0.117	0.173
18	0.116	0.119	0.120	0.123	0.117	0.113	0.114	0.115	0.115	0.119	0.120	0.117	0.117	0.110	0.114	0.128	0.115	0.170
19	0.113	0.115	0.116	0.117	0.113	0.110	0.111	0.113	0.112	0.117	0.116	0.113	0.113	0.108	0.112	0.124	0.113	0.167
20	0.111	0.112	0.113	0.113	0.110	0.108	0.109	0.110	0.109	0.114	0.113	0.110	0.110	0.106	0.109	0.120	0.111	0.165
21	0.109	0.109	0.110	0.110	0.107	0.106	0.107	0.108	0.106	0.111	0.110	0.108	0.108	0.104	0.107	0.118	0.110	0.163
22	0.106	0.107	0.108	0.106	0.105	0.104	0.105	0.105	0.104	0.109	0.107	0.105	0.105	0.102	0.105	0.114	0.108	0.161
23	0.104	0.105	0.106	0.103	0.103	0.103	0.103	0.103	0.102	0.106	0.104	0.104	0.103	0.101	0.104	0.112	0.107	0.159
24	0.102	0.103	0.104	0.100	0.101	0.101	0.101	0.101	0.100	0.103	0.102	0.102	0.101	0.099	0.102	0.110	0.106	0.157
25	0.099	0.102	0.102	0.098	0.098	0.100	0.099	0.098	0.098	0.100	0.099	0.100	0.099	0.098	0.100	0.108	0.105	0.156

Tabelle 3.11: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten I_{eff} (nach Zubau – Teil 4)

v_{hub}	W61[A]	W62[A]	W63[A]	W64[A]	W65[A]	W66[A]	W67[A]	W68[A]	W69[A]	W70[A]	W71[A]	W72[A]	W73[A]	W74[A]	W75[A]	W76[B]	W77[B]	W78[A]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse B
3	0.419	0.450	0.320	0.353	0.405	0.331	0.447	0.379	0.339	0.368	0.454	0.347	0.333	0.380	0.358	0.367	0.370	0.300	0.419	0.366
4	0.392	0.428	0.275	0.296	0.386	0.288	0.418	0.346	0.289	0.321	0.416	0.294	0.287	0.341	0.320	0.319	0.318	0.259	0.344	0.301
5	0.325	0.356	0.238	0.265	0.321	0.253	0.346	0.294	0.248	0.274	0.340	0.261	0.248	0.286	0.272	0.276	0.276	0.225	0.299	0.262
6	0.290	0.316	0.216	0.247	0.283	0.231	0.302	0.264	0.225	0.247	0.301	0.238	0.222	0.254	0.245	0.251	0.251	0.203	0.269	0.236
7	0.261	0.282	0.199	0.236	0.253	0.214	0.265	0.241	0.204	0.224	0.271	0.219	0.203	0.233	0.228	0.232	0.231	0.186	0.248	0.217
8	0.231	0.244	0.184	0.224	0.224	0.199	0.232	0.222	0.183	0.207	0.242	0.202	0.187	0.216	0.216	0.214	0.211	0.171	0.232	0.203
9	0.208	0.219	0.172	0.219	0.200	0.183	0.208	0.210	0.169	0.194	0.215	0.188	0.175	0.203	0.199	0.197	0.202	0.153	0.220	0.192
10	0.190	0.200	0.164	0.208	0.182	0.169	0.182	0.200	0.158	0.180	0.196	0.175	0.163	0.188	0.183	0.181	0.189	0.140	0.210	0.183
11	0.173	0.180	0.157	0.189	0.170	0.159	0.157	0.192	0.142	0.167	0.175	0.164	0.152	0.175	0.168	0.167	0.177	0.130	0.201	0.176
12	0.156	0.162	0.138	0.167	0.150	0.144	0.140	0.182	0.130	0.153	0.155	0.154	0.141	0.160	0.155	0.153	0.163	0.123	0.195	0.170
13	0.142	0.148	0.125	0.150	0.135	0.127	0.128	0.150	0.122	0.143	0.141	0.131	0.132	0.148	0.143	0.141	0.152	0.118	0.189	0.165
14	0.133	0.137	0.119	0.140	0.126	0.119	0.121	0.137	0.117	0.134	0.131	0.124	0.125	0.138	0.134	0.132	0.141	0.115	0.184	0.161
15	0.125	0.129	0.115	0.132	0.120	0.115	0.117	0.128	0.113	0.127	0.124	0.120	0.120	0.130	0.126	0.126	0.133	0.112	0.180	0.157
16	0.120	0.123	0.111	0.124	0.115	0.111	0.113	0.122	0.109	0.122	0.119	0.117	0.116	0.124	0.120	0.121	0.127	0.110	0.176	0.154
17	0.116	0.118	0.108	0.120	0.111	0.108	0.110	0.117	0.107	0.118	0.115	0.114	0.112	0.118	0.115	0.117	0.121	0.107	0.173	0.151
18	0.112	0.114	0.106	0.115	0.108	0.106	0.108	0.113	0.105	0.114	0.111	0.112	0.109	0.114	0.111	0.113	0.116	0.106	0.170	0.149
19	0.110	0.111	0.104	0.111	0.105	0.104	0.106	0.110	0.103	0.111	0.108	0.111	0.106	0.111	0.108	0.110	0.113	0.104	0.167	0.146
20	0.107	0.109	0.102	0.108	0.103	0.102	0.104	0.107	0.101	0.109	0.106	0.109	0.104	0.108	0.106	0.108	0.110	0.103	0.165	0.144
21	0.105	0.107	0.101	0.105	0.101	0.100	0.102	0.105	0.100	0.106	0.103	0.108	0.102	0.105	0.103	0.106	0.107	0.101	0.163	0.142
22	0.104	0.105	0.099	0.102	0.099	0.099	0.100	0.103	0.099	0.104	0.101	0.106	0.100	0.103	0.101	0.104	0.105	0.100	0.161	0.141
23	0.102	0.104	0.098	0.101	0.098	0.097	0.099	0.101	0.097	0.102	0.100	0.105	0.099	0.100	0.099	0.102	0.102	0.099	0.159	0.139
24	0.100	0.102	0.097	0.099	0.096	0.096	0.098	0.099	0.096	0.101	0.098	0.104	0.097	0.098	0.098	0.101	0.100	0.099	0.157	0.138
25	0.099	0.102	0.096	0.096	0.095	0.095	0.097	0.098	0.095	0.099	0.096	0.103	0.095	0.096	0.096	0.099	0.098	0.098	0.156	0.136

3.3.3.4 Geforderte sektorielle Betriebsbeschränkungen (WSM)

Um die Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität an betroffenen Bestands-WEA zu verhindern bzw. nicht weiter zu erhöhen, sind die folgenden sektoriellen Betriebsbeschränkungen notwendig.

Tabelle 3.12: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W48

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W1	28	60	v_{in}	4.5	OML 3s
Alternativ: W48	28	60	v_{in}	4.5	Abschaltung
W2	87	115	v_{in}	4.5	OML 5s
Alternativ: W48	87	115	v_{in}	4.5	Abschaltung

3.3.3.5 Sektorielle Betriebsbeschränkungen bis zur Vorlage der Lastrechnung

Aufgrund von Überschreitungen der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave, NH}$ im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit $v_{ave, TP}$ und der effektiven Turbulenzintensitäten I_{eff} an den neu geplanten WEA W1 – W9, W11 – W14 und W16 – W20 und den als Bestand zu betrachtenden WEA W26, W30, W31, W34, W35, W36, W38, W40, W43, W61, W62, W65, W68, W71, W76 und W77 wird eine standortspezifische Lastrechnung seitens des Anlagenherstellers Enercon für diese WEA durchgeführt. Bis zur Vorlage der standortspezifischen Lastrechnung sind die folgenden sektoriellen Betriebseinschränkungen notwendig, um die Überschreitungen der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave, NH}$ im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit $v_{ave, TP}$ zu verhindern bzw. nicht weiter zu erhöhen.

Tabelle 3.13: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W1

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W1	86	140	v_{in}	8.5	Abschaltung
W1	22	74	v_{in}	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.14: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W2

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W2	67	129	v_{in}	8.5	Abschaltung
W2	356	54	3.5	4.5	Abschaltung

Tabelle 3.15: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W3

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W3	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.16: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W4

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W4	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.17: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W5

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W5	255	277	v_{in}	11.5	Abschaltung
W5	288	346	v_{in}	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.18: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W6

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W6	183	237	v_{in}	11.5	Abschaltung
W6	281	337	v_{in}	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.19: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W7

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W7	154	208	v_{in}	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.20: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W8

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W8	152	206	v_{in}	10.5	Abschaltung
W8	234	282	3.5	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.21: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W9

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W9	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.22: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W11

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W11	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.23: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W12

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W12	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.24: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W13

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W13	157	205	v_{in}	7.5	Abschaltung
W13	326	22	v_{in}	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.25: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W14

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W14	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.26: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W16

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W16	284	336	v_{in}	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.27: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W17

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W17	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.28: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W18

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W18	144	204	3.5	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.29: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W19

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W19	0	359	6.5	16.5	Abschaltung

Tabelle 3.30: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W20

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W20	258	310	3.5	7.5	Abschaltung
W20	14	66	3.5	4.5	Abschaltung

Tabelle 3.31: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W26

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W4	179	229	v_{in}	24.5	Abschaltung
W5	108	166	v_{in}	13.5	Abschaltung

Tabelle 3.32: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W30

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W17	327	21	v_{in}	10.5	Abschaltung
W20	234	276	v_{in}	18.5	Abschaltung

Tabelle 3.33: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W31

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W12	244	292	7.5	8.5	Abschaltung

Tabelle 3.34: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W34

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W6	101	157	v_{in}	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.35: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W35

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W10	212	258	v_{in}	v_{out}	Abschaltung

Tabelle 3.36: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W36

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W2	247	309	v_{in}	11.5	Abschaltung
W4	112	168	3.5	4.5	Abschaltung

Tabelle 3.37: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W38

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W16	104	156	v_{in}	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.38: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W40

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W14	358	48	v_{in}	10.5	Abschaltung
W19	92	138	v_{in}	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.39: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W43

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W1	266	320	v_{in}	22.5	Abschaltung
W2	176	234	v_{in}	v_{out}	Abschaltung

Tabelle 3.40: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W61

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W10	159	203	v_{in}	23.5	Abschaltung

Tabelle 3.41: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W62

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W6	73	107	v_{in}	4.5	Abschaltung
W6	73	107	5.5	6.5	Abschaltung
W10	273	319	v_{in}	18.5	Abschaltung

Tabelle 3.42: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W65

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W15	96	144	3.5	7.5	Abschaltung

Tabelle 3.43: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W68

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W2	56	96	3.5	4.5	Abschaltung

Tabelle 3.44: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W71

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W15	301	349	v_{in}	10.5	Abschaltung

Tabelle 3.45: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W76

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W3	308	2	v_{in}	12.5	Abschaltung

Tabelle 3.46: Geforderte Betriebsbeschränkung zum Schutz von W77

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W4	337	17	v_{in}	8.5	Abschaltung
W20	78	130	v_{in}	11.5	Abschaltung

3.4 Schräganströmung δ

Da es sich bei keinem Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften neu geplanten Anlage um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch komplexen Standort handelt, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. Die Ausweisung der Werte erfolgt rein informativ und ein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen erfolgt im vorliegenden Gutachten nicht. Die Werte können jedoch einer eventuell erforderlichen Lastrechnung durch den Anlagenhersteller zu Grunde gelegt werden.

Die Ermittlung der Schräganströmung δ_{NH} erfolgt gemäß [6] und entspricht der Neigung der angenäherten Ebene mit einem Radius $5 z_{hub}$ vor der WEA und $2 z_{hub}$ hinter der WEA gegenüber der horizontalen Mittelgeraden des betrachteten Sektors.

Die folgende Tabelle 3.47 stellt die Ergebnisse der ermittelten Schräganströmung δ_{NH} dar.

Tabelle 3.47 Standortmittelwert der Schräganströmung δ_{NH} der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	δ_{NH} [°]
W1	-0.2
W2	0.2
W3	-0.4
W4	-0.4
W5	0.0
W6	-0.3
W7	-0.3
W8	-0.2
W9	0.0
W10	0.1
W11	0.2
W12	0.3
W13	-0.1
W14	-0.5
W15	-0.4
W16	-0.7
W17	0.2
W18	0.3
W19	-0.3
W20	-0.6

3.5 Höhenexponent α

Da es sich bei keinem Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften neu geplanten Anlage um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch komplexen Standort handelt, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. Die Ausweisung der Werte erfolgt rein informativ und ein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen erfolgt im vorliegenden Gutachten nicht. Bei einer eventuell erforderlichen Lastrechnung durch den Anlagenhersteller kann ein alternativer, konservativ abdeckender Höhenexponenten zu Grunde gelegt werden.

Die Ermittlung des Höhenexponenten erfolgt entsprechend der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] auf Basis der ermittelten Rauigkeiten am Standort. Einflüsse der Stabilität der Atmosphäre werden dabei nicht berücksichtigt. Die Ermittlung berücksichtigt keinen Einfluss der Topografie, der bei den hier untersuchten Nabenhöhen vernachlässigt werden kann, solange sich keine schroffen Geländekanten oder Steilhänge in unmittelbarer Umgebung der betrachteten WEA befinden. Der über alle Windrichtungen energiegewichtete Standortmittelwert des Höhenexponenten α_{NH} ist für alle zu betrachtenden Anlagen in einem Bereich von der unteren Blattspitze bis zur oberen Blattspitze zu ermitteln.

Die folgende Tabelle 3.48 stellt die Ergebnisse der Standortmittelwerte des Höhenexponenten α_{NH} dar.

Tabelle 3.48 Standortmittelwert des Höhenexponenten α_{NH} der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	α_{NH} [-]
W1	0.14
W2	0.14
W3	0.14
W4	0.14
W5	0.14
W6	0.14
W7	0.14
W8	0.14
W9	0.14
W10	0.14
W11	0.14
W12	0.14
W13	0.14
W14	0.14
W15	0.14
W16	0.14
W17	0.14
W18	0.14
W19	0.14
W20	0.14

3.6 Luftdichte ρ

Da es sich bei keinem Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften neu geplanten Anlage um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch komplexen Standort handelt, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. Die Ausweisung der Werte erfolgt rein informativ und ein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen erfolgt im vorliegenden Gutachten nicht. Die Werte können jedoch einer eventuell erforderlichen Lastrechnung durch den Anlagenhersteller zu Grunde gelegt werden.

Die Berechnung der mittleren Luftdichte ρ_{NH} auf Nabenhöhe der jeweiligen WEA erfolgt entsprechend der Norm DIN ISO 2553 [17]. Als Datengrundlage dient die mittlere Temperatur in 2 m über Grund, die in einem 1 km Raster über den Zeitraum von 1981 – 2010 vorliegt [18] und entsprechend [17] auf die zu untersuchende Nabenhöhe umgerechnet wird.

Die folgende Tabelle 3.49 stellt die Ergebnisse des Standortmittelwertes der Luftdichte ρ_{NH} für jede zu untersuchende WEA dar.

Tabelle 3.49: Standortmittelwert der Luftdichte ρ_{NH} der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	ρ_{NH} [kg/m ³]
W1	1.198
W2	1.199
W3	1.198
W4	1.199
W5	1.200
W6	1.198
W7	1.198
W8	1.197
W9	1.195
W10	1.199
W11	1.199
W12	1.199
W13	1.201
W14	1.201
W15	1.200
W16	1.201
W17	1.198
W18	1.199
W19	1.199
W20	1.199

3.7 Extreme Turbulenzintensität I_{ext}

Da es sich bei keinem Anlagenstandort einer nach DIBt 2012 typengeprüften neu geplanten Anlage um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch komplexen Standort handelt, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. Die Ausweisung der Werte erfolgt rein informativ und ein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen erfolgt im vorliegenden Gutachten nicht. Die Werte können jedoch einer eventuell erforderlichen Lastrechnung durch den Anlagenhersteller zu Grunde gelegt werden.

Die Ermittlung der Extremturbulenzintensität erfolgt durch die Betrachtung aller auftretenden Nachlaufsituationen und stellt das Ergebnis mit dem höchsten Wert, im Zentrum aller betrachteten Nachlaufsituationen dar. Wenn keine Nachlaufsituationen zu berücksichtigen sind, wird der Wert der höchsten repräsentativen Turbulenzintensität ausgewiesen. Entsprechend [6] berücksichtigen alle ausgewiesenen Werte den jeweiligen anzusetzenden Turbulenzstrukturparameter C_{CT} .

Die folgende Tabelle 3.50 stellt die ermittelten extremen Turbulenzintensitäten $I_{ext, NH}$ in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit dar.

Tabelle 3.50: Ermittelte extreme Turbulenzintensitäten $I_{ext, NH}$

V_{hub}	W1	W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8	W9	W10	W11	W12	W13	W14	W15	W16	W17	W18	W19	W20
3	0.434	0.481	0.398	0.422	0.462	0.471	0.420	0.383	0.398	0.433	0.372	0.419	0.443	0.436	0.428	0.461	0.439	0.399	0.370	0.415
4	0.398	0.446	0.339	0.339	0.426	0.436	0.359	0.342	0.339	0.389	0.330	0.375	0.380	0.390	0.346	0.416	0.376	0.360	0.330	0.377
5	0.328	0.366	0.292	0.306	0.351	0.358	0.309	0.306	0.291	0.324	0.276	0.313	0.327	0.325	0.314	0.346	0.323	0.323	0.276	0.313
6	0.285	0.317	0.263	0.279	0.304	0.322	0.279	0.284	0.263	0.292	0.249	0.282	0.295	0.293	0.299	0.312	0.292	0.300	0.242	0.272
7	0.257	0.285	0.241	0.256	0.274	0.295	0.255	0.268	0.240	0.269	0.229	0.260	0.269	0.271	0.277	0.288	0.266	0.285	0.219	0.246
8	0.241	0.268	0.217	0.243	0.257	0.269	0.229	0.255	0.217	0.248	0.212	0.240	0.242	0.250	0.251	0.265	0.239	0.270	0.205	0.230
9	0.225	0.250	0.207	0.229	0.240	0.246	0.219	0.234	0.207	0.228	0.195	0.220	0.231	0.229	0.235	0.243	0.228	0.247	0.192	0.215
10	0.209	0.231	0.194	0.207	0.222	0.227	0.204	0.213	0.193	0.214	0.184	0.207	0.216	0.216	0.225	0.228	0.213	0.224	0.180	0.200
11	0.192	0.212	0.181	0.185	0.204	0.205	0.191	0.195	0.181	0.198	0.171	0.192	0.201	0.200	0.192	0.210	0.198	0.204	0.168	0.185
12	0.176	0.192	0.168	0.167	0.186	0.184	0.176	0.180	0.167	0.181	0.157	0.176	0.185	0.183	0.169	0.191	0.182	0.188	0.156	0.170
13	0.163	0.177	0.156	0.154	0.172	0.168	0.164	0.166	0.156	0.165	0.145	0.161	0.172	0.168	0.157	0.174	0.169	0.172	0.147	0.159
14	0.152	0.164	0.146	0.145	0.160	0.155	0.152	0.155	0.146	0.153	0.136	0.150	0.160	0.157	0.146	0.160	0.157	0.158	0.139	0.149
15	0.143	0.153	0.139	0.139	0.150	0.146	0.144	0.146	0.138	0.143	0.128	0.140	0.151	0.147	0.140	0.149	0.148	0.148	0.133	0.141
16	0.136	0.145	0.133	0.132	0.142	0.138	0.137	0.139	0.132	0.136	0.122	0.133	0.144	0.139	0.133	0.141	0.141	0.140	0.127	0.134
17	0.131	0.138	0.127	0.128	0.136	0.132	0.131	0.133	0.126	0.130	0.117	0.127	0.137	0.133	0.128	0.134	0.134	0.134	0.123	0.129
18	0.126	0.133	0.122	0.123	0.131	0.127	0.126	0.128	0.122	0.125	0.113	0.123	0.131	0.129	0.124	0.128	0.128	0.128	0.120	0.125
19	0.122	0.128	0.119	0.120	0.127	0.123	0.123	0.124	0.119	0.121	0.110	0.119	0.128	0.125	0.121	0.124	0.125	0.124	0.117	0.121
20	0.119	0.124	0.117	0.117	0.123	0.119	0.120	0.121	0.116	0.117	0.107	0.115	0.125	0.121	0.118	0.120	0.122	0.120	0.114	0.118
21	0.115	0.120	0.114	0.115	0.119	0.116	0.117	0.117	0.113	0.114	0.105	0.113	0.122	0.118	0.116	0.117	0.119	0.116	0.112	0.115
22	0.113	0.117	0.111	0.112	0.116	0.114	0.114	0.114	0.111	0.112	0.103	0.110	0.119	0.116	0.114	0.114	0.116	0.112	0.110	0.113
23	0.110	0.114	0.109	0.111	0.113	0.111	0.111	0.111	0.108	0.110	0.101	0.108	0.116	0.114	0.111	0.112	0.113	0.109	0.108	0.110
24	0.108	0.111	0.106	0.109	0.111	0.109	0.109	0.108	0.106	0.108	0.100	0.106	0.113	0.112	0.109	0.110	0.110	0.105	0.106	0.108
25	0.105	0.108	0.103	0.106	0.108	0.107	0.105	0.105	0.102	0.106	0.098	0.105	0.109	0.110	0.108	0.108	0.106	0.102	0.104	0.106

4 Zusammenfassung

4.1 Neu geplante WEA

Es wurden die Standortbedingungen nach Abschnitt 1.2.1 für die neu geplanten WEA ermittelt und mit den Auslegungswerten verglichen. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass

- i. W1, W2, W5 – W8, W10, W13, W15, W16, W18 und W20 keine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{\text{hub, NH}}$ im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit $v_{\text{hub, TP}}$ aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.1),
- ii. W3, W4, W9, W11, W12, W14, W17 und W19 eine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{\text{hub, NH}}$ im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit $v_{\text{hub, TP}}$ aufweist (siehe Abschnitt 3.2.1),
- iii. W1 – W20 an einem Standort errichtet werden sollen, der den Auslegungswert der 50-Jahreswindgeschwindigkeit $v_{\text{m50, TP}}$ nicht überschreitet (siehe Abschnitt 3.2.2),
- iv. W1, W2, W5 - W8, W13, W16, W18 und W20 Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3) und
- v. W3, W4, W9 - W12, W14, W15, W17 und W19 keine Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität I_{eff} gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3).

Die Standorteignung gemäß DIBt 2012 [1.1] ist für die WEA W1 – W20 durch das vorliegende Gutachten unter Berücksichtigung der sektoriellen Betriebsbeschränkungen gemäß Abschnitt 3.3.3.5 nachgewiesen.

4.1.1 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse zum Nachweis der Standorteignung der geplanten WEA zusammenfassend dar.

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA

Interne W-Nr.	Hersteller	WEA Typ	NH [m]	FEH [m]	Standorteignung gemäß DIBt 2012 nachgewiesen
W1	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W2	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W3	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W4	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W5	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W6	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W7	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W8	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W9	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W10	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	0.0	Ja
W11	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W12	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W13	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W14	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W15	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	0.0	Ja
W16	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W17	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W18	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W19	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W20	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5

4.2 Bestehende WEA

4.2.1 Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich mit den Auslegungswerten

Für die Bestands-WEA W21, W27 - W29, W32, W33, W37, W39, W41, W42, W46, W47, W49, W63, W64, W66, W69, W70, W72 - W75 und W78 konnte die nach DIBt 2012 [1.1] nachzuweisende Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität durch den Vergleich mit den Auslegungswerten nachgewiesen werden.

Die Bestands-WEA W22 - W25, W44, W45 und W67 weisen Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität nach der Richtlinie DIBt 2012 [1.1] auf. Durch einen Vergleich der Situation vor, mit der Situation nach dem geplanten Zubau konnte gezeigt werden, dass der geplante Zubau keinen signifikanten Einfluss auf die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensitäten der WEA W22 - W25, W44, W45 und W67 hat. Bei diesem Vergleich wurde die Erhöhung der effektiven Turbulenzintensität durch den Zubau und ggf. deren Einfluss auf die PEL nach [20] untersucht. Somit ist die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität für diese WEA unter Maßgabe einer in deren Genehmigungsverfahren nachgewiesenen Standorteignung weiterhin nachgewiesen.

Die Bestands-WEA W26, W30, W34, W35, W38, W40, W43, W48, W61, W62, W71, W76 und W77 weisen sowohl vor Zubau als auch nach Zubau Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität auf, die durch den Zubau erhöht werden. Um die Standorteignung dieser WEA auch nach Zubau nachweisen zu können bzw. die Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität nicht signifikant zu erhöhen, sind die in Abschnitt 3.3.3.4 und Abschnitt 3.3.3.5 aufgeführten sektoriellen Betriebsbeschränkungen notwendig. Bei der Festlegung der Betriebseinschränkungen wurde die Erhöhung der effektiven Turbulenzintensität durch den Zubau und ggf. deren Einfluss auf die PEL nach [20] untersucht. Somit ist die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität für diese WEA unter Maßgabe einer in deren Genehmigungsverfahren nachgewiesenen Standorteignung weiterhin nachgewiesen.

Die Bestands-WEA W31, W36, W65 und W68 weisen Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität auf, die durch den Zubau verursacht werden. Um die Standorteignung dieser WEA auch nach Zubau nachweisen zu können, sind die in Abschnitt 3.3.3.5 aufgeführten sektoriellen Betriebsbeschränkungen notwendig.

4.2.2 Zusammenfassung

Die folgende Tabelle stellt die Ergebnisse zum Nachweis der Standorteignung der Bestands-WEA zusammenfassend dar.

Tabelle 4.2: Zusammenfassung der Ergebnisse Bestands-WEA

Interne W-Nr.	Hersteller	WEA Typ	NH [m]	FEH [m]	Standorteignung gemäß DIBt 2012 nachgewiesen
W21	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	0.0	Ja
W22	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja
W23	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja
W24	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W25	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W26	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W27	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W28	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W29	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W30	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W31	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	149.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5

Interne W-Nr.	Hersteller	WEA Typ	NH [m]	FEH [m]	Standorteignung gemäß DIBt 2012 nachgewiesen
W32	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W33	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W34	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W35	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W36	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W37	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W38	Enercon	E-115 EP3 E3 / 4.200 kW	135.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W39	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	0.0	Ja
W40	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W41	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	0.0	Ja
W42	Enercon	E-126 EP3 / 4.000 kW	135.0	0.0	Ja
W43	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W44	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	131.0	0.0	Ja
W45	Enercon	E-138 EP3 / 3.500 kW	160.0	0.0	Ja
W46	Enercon	E-103 EP2 / 2.350 kW	138.4	0.0	Ja
W47	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	0.0	Ja
W48	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.4
W49	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	64.0	0.0	Ja
W61	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W62	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	98.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W63	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W64	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W65	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W66	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W67	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W68	Enercon	E-70 E4 / 2.000 kW	113.5	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W69	Enercon	E-115 / 3.000 kW	149.0	0.0	Ja
W70	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	0.0	Ja
W71	Enercon	E-115 / 3.000 kW	135.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W72	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	78.3	0.0	Ja
W73	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W74	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W75	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W76	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W77	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W78	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja

5 Standortbesichtigung

Die Notwendigkeit einer Standortbesichtigung ergibt sich sowohl aus der Richtlinie DIBt Fassung Oktober 2012 [1.1], als auch dem Mindeststandard des BWE-Windgutachterbeirats [14]. Entsprechend wurde diese am 30.11.2024 durch einen Mitarbeiter der I17-Wind GmbH & Co. KG durchgeführt [23].

Die Standortbesichtigung dient zur Ermittlung, bzw. zum Abgleich von Geländebeschaffenheit mit vorhandenen Satellitendaten zur Rauigkeit [13.1] und ggf. zu den Höhenlinien [13.2]. Mögliche turbulenzrelevante Einzelstrukturen wurden untersucht und dokumentiert. Die Standortdokumentation bestätigt die zu Grunde gelegten Rauigkeiten und die Ergebnisse zur Komplexität.

Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
ETM	Extremes Turbulenzmodell
ETRS89	Europäisches Terrestrisches Referenzsystem von 1989
GK	Gauß-Krüger, Geländekategorie
H	Komplexitätskategorie Stark
IEC	International Electrotechnical Commission
L	Komplexitätskategorie Gering
M	Komplexitätskategorie Mittel
NA	Nationaler Anhang
NTM	Normales Turbulenzmodell
PEL	Pseudo-Äquivalente-Last
pdf	Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion
TK	Turbulenzkategorie, Auslegungsturbulenz
TP	Typenprüfung
UTM	Universal Transverse Mercator Projection
WEA	Windenergieanlage(n)
WGS84	World Geodetic System (letzte Revision in 2004)
WSM	Wind Sector Management, Sektorielle Betriebsbeschränkung
WV	Windverteilung
WZ	Windzone

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Skalenparameter der Weibullverteilung	[m/s]
C_{CT}	Turbulenzstrukturparameter	[-]
c_t	Schubbeiwert	[-]
D	Rotordurchmesser	[m]
FEH	Fundamenterhöhung	[m]
h_{WV}	Höhe der Windbedingungen / Windverteilung über Grund	[m]
I_{amb}	Umgebungsturbulenzintensität	[-]
i_c	Komplexitätsindex	[-]
I_{char}	Charakteristische Turbulenzintensität	[-]
I_{ext}	Extreme Turbulenzintensität	[-]
I_{eff}	Effektive Turbulenzintensität auf Nabenhöhe	[-]
I_{rep}	Repräsentative Turbulenzintensität	[-]
k	Formparameter der Weibullverteilung	[-]
λ	Schnelllaufzahl	[-]
m	Wöhlerlinienkoeffizient	[-]
NH	Nabenhöhe	[m]
p	Sektorielle Häufigkeit	[%]
P_N	Nennleistung	[kW]
s	Dimensionsloser Abstand zwischen WEA, bezogen auf den jeweils größeren Rotordurchmesser	[-]

Symbol	Bedeutung	Einheit
τ	Lebensdauer	[a]
TSI	Index der Geländeneigung	[°]
TVI	Index der Geländeabweichung	[%]
v_{ave}	Jahresmittel der Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{hub}	Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{in}	Einschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{m50}	10-Minuten Mittelwert der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe	[m/s]
v_{out}	Abschaltwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_r	Nennwindgeschwindigkeit der WEA	[m/s]
v_{ref}	Auslegungswert des 10-Minuten Mittelwerts der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit	[m/s]
X	Rechtswert	[m]
Y	Hochwert	[m]
z_0	Rauigkeitslänge	[m]
z_{hub}	Nabenhöhe der betrachteten WEA	[m]
α	Höhenexponent	[-]
δ	Schräganströmung	[°]
ρ	Luftdichte	[kg/m ³]
σ	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit	[m/s]
σ_σ	Standardabweichung der Turbulenzintensität	[-]

Literaturverzeichnis

- [1.1] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Referat I 8 Bautechnisches Prüfamts Grundlagen der Standsicherheit; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Oktober 2012 und korrigierte Fassung März 2015;*
- [1.2] *DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik; DKE/AK 383.0.01/Untergruppe DIBt2012 an die PG „Windenergieanlagen“ des DIBt; Anwendung der DIBt 2012 zur Prüfung der Standorteignung, 30.01.2015;*
- [2] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windenergieanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung März 2004; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [3] *Deutsches Institut für Bautechnik – DIBt -, Berlin; Richtlinie für Windkraftanlagen – Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung; Fassung Juni 1993; 2. Überarbeitete Auflage 1995; Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik Reihe B, Heft 8;*
- [4] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 2.0 International Standard Wind turbine generator systems – Part 1: Safety requirements;*
- [5] *International Electrotechnical Commission (IEC); IEC 61400-1 Edition 3.0 International Standard Wind turbines – Part 1: Design requirement; Mit Implementierung von 61400-1/A1, Amendment 1, 2009;*
- [6] *Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN IEC 61400-1:2019; Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC61400-1:2019; Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019; Dezember 2019;*
- [7] *Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1:2011-08 Windenergieanlagen – Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005 + A1:2012); Deutsche Fassung EN 61400-1:2005 + A1:2010;*
- [8] *Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 61400-1:2004 Windenergieanlagen – Teil 1: Sicherheitsanforderungen (IEC 61400-1:1999); Deutsche Fassung EN 61400-1:2004;*
- [9] *Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN EN 1991-1-4/NA:2010-12 mit DIN EN 1991-1-4:2010-12; Nationaler Anhang – Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen: Windlasten;*
- [10] *ECN Solar & Wind Energy, J.W.M. Dekker und J.T.G. Pierik [Hrsg.]: European Wind Turbine Standards II, Petten, (NLD), 1998;*
- [11] *Deutsches Institut für Bautechnik; Windzonen nach Verwaltungsgrenzen; Windzonen_nach_Verwaltungsgrenzen.xlsx; Stand 02.06.2022;*
- [12] *European Wind Atlas, Risø National Laboratory, Roskilde (DK), 1989 Troen, Ib; Petersen, Erik L.;*
- [13.1] *European Environment Agency; Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 20 (final version); Veröffentlicht im Juni 2019;*
- [13.2] *U.S. Geological Survey Earth Resources Observation & Science Center (EROS); SRTM 1 Arc-Sec Global; Download am 02.12.2016;*
- [14] *BWE Bundesverband WindEnergie; BWE-Windgutachterbeirat - Mindeststandards zur Dokumentation von gutachterlichen Stellungnahmen zur Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität; 15.11.2016;*

- [15] *Risø DTU National Laboratory for Sustainable Energy, Windfarm Assessment Tool Version 3.3.0.128;*
- [16] *Frandsen, Sten T. (2007): Turbulence and turbulence-generated structural loading in wind turbine clusters. Roskilde (DK);*
- [17] *Deutsches Institut für Normung e.V.; DIN ISO 2533; Normatmosphäre; Dezember 1979;*
- [18] *Deutscher Wetterdienst; DWD Climate Data Center (CDC), Vieljährige mittlere Raster der Lufttemperatur (2m) für Deutschland 1981-2010, Version v1.0.;*
- [19.1] *OpenStreetMap und Mitwirkende; SRTM | Kartendarstellung: OpenTopoMap (CC-BY-SA); Siehe auch: <https://creativecommons.org>;*
- [19.2] *Microsoft Corporation; © 2019 Digital Globe © CNES (2019) Distribution Airbus DS; Siehe auch: <https://www.microsoft.com/en-us/maps/product>;*
- [20] *Rodenhausen M., Moser W., Hülsmann C., Bergemann C., Könker M., McKenna R.; Prüfung der Standorteignung für Windenergieanlagen: Ein pragmatischer Ansatz; Ernst & Sohn Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Berlin. Bautechnik 93 (2016) Heft 10;*
- [21] *European Energy Deutschland GmbH; E-Mail mit dem Betreff: "Projekt Zwei Gipfel V - Revision Gutachten Standorteignung" vom 30.01.2026; Datei: 20260129_Zwei Gipfel V_i17_Turbulenz_Vorbelastung_clm_neue Koord. N05.xlsx;*
- [22.1] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Aktualisierung der Abschätzung des langjährigen mittleren Windpotentials auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Vier Berge; Berichts-Nr.: 24-401-7241789-Rev.00-WV-LS; 26.11.2024 und Aktualisierung der Abschätzung des langjährigen mittleren Windpotentials auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Zwei Gipfel V; Berichts-Nr. 24-401-7251389-Rev.00-WV-LS; 15.07.2025;*
- [22.2] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Aktualisierung der Extremwindabschätzung auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Zwei Gipfel V; Berichts-Nr.: 24-401-7260174-Rev.00-EX-AR; 10.02.2026;*
- [23] *I17-Wind GmbH & Co. KG; Standortdokumentation für ein Gutachten zur Standorteignung nach DIBt 2012 für den Windpark Vier Berge Deutschland; Bericht-Nr.: I17-SV-2024-483; 03.12.2024;*
- [24.1] *ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-160 EP5 E3 R1 / 5560 kW; D02693145/5.0-de; 24.06.2025;*
- [24.2] *ENERCON GmbH; Ansichtszeichnung Hybridturm E-160 EP5 E3-HT-166-ES-C-01; ID Nr.: KM1515473; 28.05.2021;*
- [24.3] *ENERCON GmbH; Informationen zu den Kennlinien; Dateiname: D02428600_0.1-en.xlsx;*
- [24.4] *ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-138 EP3 E3 / 4260 kW Betriebsmodus OM-0-1; Dokument-ID: D03129604/0.0-de; 10.04.2025;*
- [24.5] *ENERCON GmbH; Informationen zu den Kennlinien; Dateinamen: D02437962_0.0-de_E-138_EP3_E3_E3V_PowerCurve_OM0s.xlsx und D02437553_0.1-de_E-138_EP3_E3_E3V_SectorialCurtailement.xlsx;*
- [24.6] *ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E2 / 7000 kW; Dokument ID: D03058258/5.0-de; 13.10.2025;*

[24.7] *ENERCON GmbH; Informationen zu den Kennlinien; Dateinamen: D03008688_1.0_de-en_Calculation_E-175 EP5 E2- Power Curves for Warranty Data E2V.xlsx und D03060025_0.0-de_en_Calculation_E-175 EP5 E2 Sectorial Curtailment E2V.xlsx;*

Anhang / Übermittelte Windverhältnisse am Standort

Tabelle A.1: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [22.1]

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	v _{ave} [m/s]
X [m]	Y [m]	h _{wv} [m]				
705890	5669282	64.0				
Sektor Windrichtung [°]						
N 0			4.52	2.54	5.25	---
NNO 30			4.45	2.56	5.07	---
ONO 60			4.86	2.56	6.33	---
O 90			5.33	2.45	6.39	---
OSO 120			4.93	2.37	3.87	---
SSO 150			4.55	2.51	3.06	---
S 180			6.52	2.60	6.38	---
SSW 210			7.75	3.00	15.78	---
WSW 240			7.58	2.74	18.76	---
W 270			7.06	2.63	16.75	---
WNW 300			5.19	2.39	7.20	---
NNW 330			4.60	2.47	5.17	---
Gesamt			6.33	2.32	100.01	5.60

Tabelle A.2: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [22.1]

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	v _{ave} [m/s]
X [m]	Y [m]	h _{wv} [m]				
706486	5669808	108.0				
Sektor Windrichtung [°]						
N 0			5.23	2.36	5.51	---
NNO 30			5.01	2.44	5.08	---
ONO 60			5.38	2.43	6.46	---
O 90			6.11	2.28	6.69	---
OSO 120			5.54	2.23	4.06	---
SSO 150			4.95	2.32	3.13	---
S 180			7.17	2.21	5.46	---
SSW 210			9.10	2.69	13.66	---
WSW 240			9.02	2.74	18.97	---
W 270			8.30	2.65	17.53	---
WNW 300			6.09	2.37	7.90	---
NNW 330			5.37	2.34	5.55	---
Gesamt			7.29	2.19	100.00	6.45