



Gutachten zur Standorteignung von Windenergieanlagen  
nach DIBt 2012 für den Windpark Buke Repowering  
Deutschland

Bericht-Nr.: I17-SE-2025-167 Rev.03



---

Gutachten zur Standorteignung von WEA nach DIBt 2012 für den  
Windpark Buke Repowering

Bericht-Nr.: I17-SE-2025-167 Rev.03

Auftraggeber: Energieplan Ost West GmbH & Co. KG  
Graf-Zeppelin-Str. 69  
33181 Bad Wünnenberg

Occare Ventus Verwaltungs GmbH  
Am Eichenkamp 15  
33184 Altenbeken

Buker Windkraft GmbH & Co. KG  
Vattmannstr. 3  
33100 Paderborn

SoLa Energiepartner GmbH  
Vattmannstr. 3  
33100 Paderborn

Egge Energie Verwaltungs GmbH  
Renker Weg 1  
33175 Bad Lippspringe

Windenergie Keimberg GbR  
Vattmannstr. 3  
33100 Paderborn

Stelte-SoLa GbR  
Vattmannstr. 3  
33100 Paderborn

Brockmann Wind GmbH & Co. KG Altenbeken  
Eggering 66  
33184 Altenbeken

Ventus at Via GmbH & Co. KG  
Eggering 66  
33184 Altenbeken

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: 19. Januar 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  $\lambda$  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	18.03.2025	Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Fiebelkorn
1	02.04.2025	Änderung der Nabhöhe der WEA W15 – Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Pauls
1	07.07.2025	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Pauls
2 - Entwurf	10.09.2025	Änderung der Vorbelastung – Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Pauls
2	15.12.2025	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Brügge
3 – Entwurf	19.01.2026	Änderung der Windparkkonfiguration – Entwurfsbericht zur Lastrechnung	Brügge
3	19.01.2026	Bericht mit vorläufigen Betriebsbeschränkungen	Brügge

**Verfasser:**

M. Sc. Kimberley Brügge, Sachverständige  
Husum, 19.01.2026



**Gepprüft:**

M. Sc. Niklas Rohde, Sachverständiger  
Husum, 23.01.2026



**Freigegeben:**

M. Sc. Kimberley Brügge, Sachverständige  
Husum, 23.01.2026



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.....	7
1.1	Allgemeines .....	7
1.2	Geführte Nachweise.....	7
1.2.1	Vergleich der Windbedingungen an topografisch nicht komplexen Standorten.....	8
1.2.2	Vergleich der Windbedingungen an topografisch komplexen Standorten.....	8
1.2.3	Verfahren bei Überschreitungen – Nachweis durch Vergleich der Lasten .....	9
1.3	Hinweise zu den zu Grunde gelegten Richtlinien .....	10
1.4	Qualität der zu Grunde gelegten Daten und Modelle.....	12
2	Aufgabenstellung und Standort .....	13
2.1	Umfang des Gutachtens .....	13
2.2	Standortbeschreibung.....	13
2.3	Auslegungswindbedingungen der geplanten WEA .....	13
3	Vergleich der Windbedingungen.....	20
3.1	Grundlagen .....	20
3.2	Vergleich $v_{ave}$ und $v_{m50}$ .....	21
3.2.1	Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit $v_{ave}$ .....	21
3.2.2	Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit $v_{m50}$ .....	22
3.3	Vergleich der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$ .....	23
3.3.1	Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität .....	23
3.3.2	Ermittlung der Umgebungsturbulenzintensität .....	25
3.3.3	Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität $I_{eff}$ .....	27
3.4	Vergleich der Schräganströmung $\delta$ .....	41
3.5	Vergleich des Höhenexponenten $\alpha$ .....	42
3.6	Vergleich der Luftdichte $\rho$ .....	43
3.7	Vergleich der extremen Turbulenzintensität $I_{ext}$ .....	44
4	Zusammenfassung.....	46
4.1	Neu geplante WEA .....	46
4.2	Bestehende WEA.....	48
4.2.1	Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich mit den Auslegungswerten .....	48
4.2.2	Zusammenfassung.....	49
5	Standortbesichtigung .....	50
	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis.....	51
	Literaturverzeichnis .....	53
	Anhang / Übermittelte Windverhältnisse am Standort .....	55

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Übersicht; Kartenmaterial: [19.1, 19.2] 17

Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Detail Nord; Kartenmaterial: [19.1, 19.2] ..... 18

Abbildung 2.3: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Detail Süd; Kartenmaterial: [19.1, 19.2] 19

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration ..... 14

Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA ..... 16

Tabelle 3.1: Windverhältnisse am Standort WV 1/1 [22.1] ..... 20

Tabelle 3.2: Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{ave}$  auf Nabenhöhe der geplanten WEA.. 21

Tabelle 3.3: Vergleich der 50-Jahres-Windgeschwindigkeit  $v_{m50}$  auf Nabenhöhe der geplanten WEA 22

Tabelle 3.4: Richtlinienabhängige Auslegungswindbedingungen hinsichtlich der Turbulenzintensität 24

Tabelle 3.5: Komplexitätskriterien und  $C_{CT}$  nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6]..... 26

Tabelle 3.6: Repräsentative Turbulenzintensität für einen Standort..... 27

Tabelle 3.7: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W16..... 29

Tabelle 3.8: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W92..... 29

Tabelle 3.9: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W89..... 29

Tabelle 3.10: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W86..... 29

Tabelle 3.11: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (vor Zubau – Teil 1)..... 31

Tabelle 3.12: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (vor Zubau – Teil 2)..... 32

Tabelle 3.13: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 1) ..... 33

Tabelle 3.14: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 2) ..... 34

Tabelle 3.15: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 3) ..... 35

Tabelle 3.16: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 4) ..... 36

Tabelle 3.17: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W84 ..... 37

Tabelle 3.18: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W86 ..... 37

Tabelle 3.19: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W95 ..... 38

Tabelle 3.20: Geforderte Betriebsbeschränkung bis zur Vorlage der Lastrechnung ..... 38

Tabelle 3.21 Standortmittelwert der Schräganströmung  $\delta_{NH}$  der zu untersuchenden WEA..... 41

Tabelle 3.22 Standortmittelwert des Höhenexponenten  $\alpha_{NH}$  der zu untersuchenden WEA..... 42

Tabelle 3.23: Vergleich der Luftdichte  $\rho_{NH}$  der zu untersuchenden WEA ..... 43

Tabelle 3.24: Ermittelte extreme Turbulenzintensitäten  $I_{ext, NH}$  ..... 45

Tabelle 4.1: Zusammenfassung der Ergebnisse geplante WEA..... 47

Tabelle 4.2: Zusammenfassung der Ergebnisse Bestands-WEA..... 49

Tabelle A.1: Windverhältnisse am Standort WV 2/1 [22.1] ..... 55

Tabelle A.2: Windverhältnisse am Standort WV 3/1 [22.1] ..... 55

Tabelle A.3: Windverhältnisse am Standort WV 4/1 [22.1] ..... 56

Tabelle A.4: Windverhältnisse am Standort WV 5/1 [22.1] ..... 56

# 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 Anlage 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  $I_{\text{eff}}$ , 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  $\delta$  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  $\alpha$  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  $\rho$  darf bei allen Windgeschwindigkeiten größer gleich der Nennwindgeschwindigkeit  $v_r$  den Wert  $1.225 \text{ kg/m}^3$  oder den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreiten. Alternativ kann eine Luftdichte über dem Wert von  $1.225 \text{ kg/m}^3$  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 so weit 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  $\tau_{TP}$  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  $I_{\text{eff}}$  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  $\rho$  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  $\lambda$ , 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 Nabenhöhen der geplanten WEA entsprechen stets der aktuell vorliegenden Dokumentation. In der Entwicklungsphase einer WEA sind geringfügige Änderungen der Nabenhöhe ohne eine Änderung der zu Grunde gelegten Auslegungswindbedingungen möglich, sodass die im vorliegenden Gutachten betrachtete Nabenhöhe von der in den Antragsunterlagen ausgewiesenen Nabenhöhe geringfügig abweichen kann. Das Gleiche gilt für die in den Genehmigungen dokumentierten Nabenhöhen bestehender WEA, die ebenfalls geringfügig von aktuellen Werten abweichen können. Bei einer Abweichung der Nabenhöhe von maximal  $\pm 1$  m behält das vorliegende Gutachten seine vollumfängliche Gültigkeit, wenn die im Gutachten berücksichtigten Auslegungswindbedingungen durch die im Rahmen des Genehmigungsverfahrens eingereichten Auslegungswindbedingungen abgedeckt sind.

Werden in unserem Gutachten Angaben zur Fundamenterhöhung gemacht, so beschreibt diese ausschließlich die relative Höhenabweichung zum Gelände und nicht der Geländehöhe selbst. Änderungen der für die Berechnung relevanten Windbedingungen über Grund ergeben sich lediglich bei einer Änderung der Fundamenterhöhung und nicht bei der Geländehöhe. Bei einer Abweichung der Fundamenterhöhung von maximal  $\pm 2$  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 mindestens ein 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 diese WEA das Verfahren nach Abschnitt 1.2.1 und 1.2.2 Anwendung. Für neu geplante WEA an topografisch nicht komplexen Standorten findet nur das Verfahren nach Abschnitt 1.2.1 Anwendung.

### 2.2 Standortbeschreibung

Der Auftraggeber plant die Errichtung von 18 WEA des Typs Enercon E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW auf 166.6 m Nabenhöhe, einer WEA des Typs Enercon E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW auf 119.8 m Nabenhöhe, zwei WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 174.5 m Nabenhöhe, einer WEA des Typs Enercon E-175 EP5 E2 / 7000 kW auf 111.6 m Nabenhöhe und eine WEA des Typs Vestas V172-7.2 MW auf 199.0 m Nabenhöhe am Standort Buke in Nordrhein-Westfalen.

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 [21.1, 21.2] und in Abbildung 2.1 - Abbildung 2.3 dargestellten WEA zu erstellen. Auf Grund des Abstandes von mindestens 2.5 km zu weiteren als Bestands zu betrachtenden WEA, wurden diese Bestands-WEA im vorliegenden Gutachten nicht berücksichtigt. 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  $_{TP}$  bezeichnet, handelt es sich um den Auslegungswert der zu betrachtenden WEA. Eine Bezeichnung mit dem Index  $_{NH}$  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 1.29, bezogen auf den größeren Rotordurchmesser  $D$ . Dies betrifft die WEA W15 und W86.

### 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 <sup>1</sup> [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH <sup>2</sup> [m]	P <sub>N</sub> [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	Auslegungsliebensdauer τ <sub>TP</sub> [a]	m <sub>max, TP</sub> [-]	Zu Grunde gelegte WV
				Komplex	Kategorie	X [m]	Y [m]												
W1	W1	Neu	Ja	Ja	L	493100	5732332	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 4/1
W2	W2	Neu	Ja	Nein	-	493352	5732662	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 4/1
W3	W3	Neu	Ja	Nein	-	493749	5732867	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 4/1
W4	W4	Neu	Ja	Nein	-	493861	5733221	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 4/1
W5	W5	Neu	Ja	Nein	-	494151	5732980	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 4/1
W6	W6	Neu	Ja	Nein	-	494367	5732550	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 4/1
W7	W7	Neu	Ja	Nein	-	493985	5732578	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 4/1
W8	W8	Neu	Ja	Ja	L	493966	5732198	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 4/1
W9	W9	Neu	Ja	Nein	-	493672	5731969	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 4/1
W10	W10	Neu	Ja	Nein	-	494524	5732886	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 4/1
W11	W11	Neu	Ja	Nein	-	495423	5731760	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	111.6	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 1/1
W12	W12	Neu	Ja	Nein	-	494950	5732964	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 2/1
W13	W13	Neu	Ja	Nein	-	495780	5733205	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 4/1
W14	W14	Neu	Ja	Nein	-	495707	5731406	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 5/1
W15	W15	Neu	Ja	Nein	-	494477	5731964	Vestas	V172-7.2 MW	199.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 3/1
W16	W16	Neu	Ja	Nein	-	494705	5731738	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 4/1
W17	W17	Neu	Ja	Nein	-	494954	5732555	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 4/1
W18	W18	Neu	Ja	Nein	-	495430	5732653	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W19	W19	Neu	Ja	Nein	-	495321	5733228	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 4/1
W20	W23	Neu	Ja	Nein	-	495228	5731211	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 5/1
W21	W25	Neu	Ja	Nein	-	494850	5731025	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 5/1
W22	W28	Neu	Ja	Nein	-	494633	5730658	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 5/1
W23	W20	Neu	Ja	Nein	-	494203	5733437	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 4/1
W24	40597-25 (WEA01)	Bestand	Nein	-	-	490087	5731415	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 4/1
W25	41213-25 (WEA01)	Bestand	Nein	-	-	490337	5731455	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 4/1
W26	40597-25 (WEA03)	Bestand	Nein	-	-	490425	5731195	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 4/1
W27	40597-25 (WEA02)	Bestand	Nein	-	-	490536	5731526	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	175.0	OM0s	0.0	7000	2012	A	25	14	WV 4/1
W28	41213-25 (WEA02)	Bestand	Nein	-	-	490678	5731353	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 4/1
W29	40169-24 (WEA 01)	Bestand	Nein	-	-	490821	5734485	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	OM0-1	0.0	6000	2012	A	25	14	WV 4/1
W30	40173-24 (WEA 04)	Bestand	Nein	-	-	491023	5734115	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	OM0-1	0.0	6000	2012	A	25	14	WV 4/1
W31	40340-25 (WEA 4)	Bestand	Nein	-	-	491195	5730193	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	130.6	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 2/1
W32	40340-25 (WEA 3)	Bestand	Nein	-	-	491220	5730806	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	130.6	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 2/1
W33	40170-24 (WEA 02)	Bestand	Nein	-	-	491225	5734538	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	OM0-1	0.0	6000	2012	A	25	14	WV 4/1
W34	Q13	Bestand	Nein	-	-	491341	5729980	Tacke	TW 600	50.0	43.0	Standard	0.0	600	2004 <sup>3</sup>	A	20	10	WV 1/1
W35	40175-24 (WEA 05)	Bestand	Nein	-	-	491446	5734128	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 4/1
W36	40605-15, 41706-19	Bestand	Nein	-	-	491492	5729995	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 4/1
W37	01484-10-14	Bestand	Ja	Nein	-	491592	5731929	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 4/1
W38	40795-16, 41974-18	Bestand	Nein	-	-	491610	5731451	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W39	40171-24 (WEA 03)	Bestand	Nein	-	-	491631	5734485	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	OM0-1	0.0	6000	2012	A	25	14	WV 4/1

<sup>1</sup> Siehe Kapitel 1.4 Absatz 3

<sup>2</sup> Siehe Kapitel 1.4 Absatz 4

<sup>3</sup> Trotz der zu Grunde liegenden Typenprüfung nach DIBt 1993 wird eine Bewertung der windgeschwindigkeitsabhängigen Turbulenzintensität nach der DIBt 2004 durchgeführt, da diese eine zuverlässigere Bewertung der effektiven Turbulenzintensitäten zulässt.

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografische Komplexität		UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH <sup>1</sup> [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH <sup>2</sup> [m]	P <sub>N</sub> [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	Auslegungslebensdauer τ <sub>TP</sub> [a]	m <sub>max, TP</sub> [-]	Zu Grunde gelegte WV
				Komplex	Kategorie	X [m]	Y [m]												
W40	02034-10-14	Bestand	Ja	Nein	-	491661	5731685	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W41	40352-21	Bestand	Nein	-	-	491745	5731119	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	BM 0 s	0.0	800	2004	A	20	10	WV 1/1
W42	40339-25 (WEA 2)	Bestand	Nein	-	-	491749	5730699	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 4/1
W43	40796-16	Bestand	Nein	-	-	491788	5731282	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	BM 0 s	0.0	800	2004	A	20	10	WV 1/1
W44	00961-12-14	Bestand	Nein	-	-	491874	5731031	Vestas	V90-2.0 MW GS	80.0	90.0	Mode 0	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 1/1
W45	42338-14, 2175-08	Bestand	Ja	Nein	-	491949	5731519	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W46	1834-08-14	Bestand	Nein	-	-	492065	5730932	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	BM II 2300 kW	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W47	51.0078/06/0106.2	Bestand	Nein	-	-	492073	5730578	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	85.0	71.0	BM II 2300 kW	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W48	2535-09-14	Bestand	Ja	Nein	-	492117	5731271	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W49	41517-24, 42298-23, 40829-22	Bestand	Nein	-	-	492133	5729613	Nordex	N149/5700	104.7	149.1	Mode 0	0.0	5700	2012	S	20	14	WV 1/1
W50	42613-14, 41973-18	Bestand	Nein	-	-	492148	5730417	Enercon	E-115 / 3.000 kW	149.1	115.7	BM 0 s	0.0	3000	2004	A	20	10	WV 2/1
W51	2558-10, 1607-12	Bestand	Nein	-	-	492207	5730767	Enercon	E-70 E4 / 2.300 kW	113.5	71.0	BM II 2300 kW	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W52	41374-24, 41657-23	Bestand	Nein	-	-	492240	5729896	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	84.6	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W53	40310-21	Bestand	Nein	-	-	492297	5729326	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	130.1	138.3	OM01s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 5/1
W54	02035-10-14 (1)	Bestand	Ja	Nein	-	492325	5731687	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W55	2696-09-14	Bestand	Ja	Nein	-	492347	5731185	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W56	40337-25 (WEA 1)	Bestand	Nein	-	-	492454	5730546	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 5/1
W57	02035-10-14 (2)	Bestand	Ja	Nein	-	492474	5731491	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 4/1
W58	40751-16	Bestand	Nein	-	-	492475	5730245	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W59	51.0126/07/0106.2	Bestand	Ja	Nein	-	492489	5730979	Enercon	E-82 / 2.000 kW	108.4	82.0	BM 2000kW	0.0	2000	2004	A	20	10	WV 1/1
W60	40715-17	Bestand	Nein	-	-	492503	5730738	Enercon	E-53 / 800 kW	73.3	52.9	BM 0 s	0.0	800	2004	A	20	10	WV 1/1
W61	40497-19, 41371-20	Bestand	Ja	Nein	-	492559	5731273	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 4/1
W62	41960-24 (WEA 1)	Bestand	Nein	-	-	492633	5729417	Vestas	V150-6.0 MW	125.0	150.0	PO6000	0.0	6000	2012	S	25	10	WV 5/1
W63	40584-25, 41449-24, 41547-23, 41473-23	Bestand	Nein	-	-	492650	5728729	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 5/1
W64	2049-09-14	Bestand	Ja	Nein	-	492750	5730778	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W65	40353-16,42370-15(V)	Bestand	Nein	-	-	492760	5730271	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 4/1
W66	41275-25 (WEA Böd)	Bestand	Nein	-	-	492810	5729060	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 5/1
W67	00223-10-14	Bestand	Nein	-	-	492887	5730530	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W68	42051-24	Bestand	Nein	-	-	492892	5729206	Enercon	E-138 EP3 E3 / 4.260 kW	160.0	138.3	OM 0s	0.0	4260	2012	A	25	10	WV 5/1
W69	41499-14	Bestand	Nein	-	-	492934	5730012	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 5/1
W70	02825-12, 40443-15	Bestand	Nein	-	-	492988	5729518	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 5/1
W71	41206-23	Bestand	Nein	-	-	493119	5729685	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	160.0	BM 0 s-1	0.0	5560	2012	B	25	10	WV 1/1
W72	02078-10-14 (2)	Bestand	Ja	Nein	-	493284	5730015	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W73	41986-24, 40731-24	Bestand	Ja	Nein	-	493311	5730306	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	175.0	OM0-1	0.0	6000	2012	A	25	14	WV 5/1
W74	41477-23 (WEA 02)	Bestand	Nein	-	-	493386	5728145	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 5/1
W75	41734-23 (WEA 3)	Bestand	Nein	-	-	493769	5728113	Vestas	V172-7.2 MW	199.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 3/1
W76	40769-19	Bestand	Ja	Nein	-	493790	5730763	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	138.3	OM01s	0.0	4200	2012	A	25	10	WV 5/1
W77	42282-23, 42171-25 (WEA 01)	Bestand	Ja	Nein	-	493800	5730077	Nordex	N163/6.X	164.0	163.0	Mode 0	0.0	7000	2012	C	25	14	WV 5/1
W78	41481-23 (WEA 01)	Bestand	Nein	-	-	494031	5728700	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 5/1
W79	40422-20(42764-17)	Bestand	Ja	Nein	-	494128	5731068	Enercon	E-147 EP5 / 4.300 kW	126.3	147.0	0dB mode	0.0	4300	2012	A	20	10	WV 4/1
W80	41734-23 (WEA 5)	Bestand	Nein	-	-	494153	5727836	Vestas	V172-7.2 MW	199.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 3/1
W81	41734-23 (WEA 4)	Bestand	Nein	-	-	494156	5728253	Vestas	V172-7.2 MW	175.0	172.0	PO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 5/1
W82	40320-23	Bestand	Ja	Nein	-	494235	5730367	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	162.0	SO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 5/1
W83	00560-10-14	Bestand	Ja	Nein	-	494394	5731443	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1

Interne W-Nr.	Bezeichnung Auftraggeber	Neu / Bestand	Innerhalb 10 D	Topografische Komplexität		UTM ETRS89 Zone 32		Hersteller	WEA Typ	NH <sup>1</sup> [m]	D [m]	Betriebsmodus	FEH <sup>2</sup> [m]	P <sub>N</sub> [kW]	Prüfgrundlage DIBt	TK	Auslegungslebensdauer τ <sub>TP</sub> [a]	m <sub>max, TP</sub> [-]	Zu Grunde gelegte WV
				Komplex	Kategorie	X [m]	Y [m]												
W84	42280-23, 42172-25 (WEA 02)	Bestand	Ja	Nein	-	494475	5731079	Nordex	N149/5700	164.0	149.1	Mode 0	0.0	5700	2012	S	20	14	WV 5/1
W85	41478-23 (WEA 06)	Bestand	Nein	-	-	494539	5728001	Vestas	V162-5.6 MW	169.0	162.0	Modus 0	0.0	5600	2012	S	25	10	WV 5/1
W86	41129-24	Bestand	Ja	Nein	-	494673	5732069	Vensys	Vensys 82 - 1.85 MW	100.0	82.0	Mode 0	0.0	1850	2012	A	20	10	WV 1/1
W87	40319-23	Bestand	Ja	Nein	-	494838	5731372	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	162.0	SO7200	0.0	7200	2012	S	25	10	WV 5/1
W88	00090-11-14	Bestand	Ja	Nein	-	494927	5732200	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W89	42281-23 (WEA 03)	Bestand	Ja	Nein	-	494943	5730662	Vestas	V150-6.0 MW	166.0	150.0	PO6000	0.0	6000	2012	S	25	10	WV 5/1
W90	02501-12-14	Bestand	Ja	Nein	-	495061	5731969	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W91	41484-23 (WEA 12)	Bestand	Nein	-	-	495125	5727795	Vestas	V136-4.2 MW	166.0	136.0	PO1/PO1-0S	0.0	4200	2012	B	20	10	WV 5/1
W92	02473-12, 40861-15	Bestand	Ja	Nein	-	495217	5732779	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W93	02149-13-14	Bestand	Ja	Nein	-	495314	5733831	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 1/1
W94	01847-12-14	Bestand	Ja	Nein	-	495395	5733558	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	82.0	BM 0 s	0.0	2300	2004	A	20	10	WV 2/1
W95	42128-25	Bestand	Ja	Nein	-	495196	5730813	Nordex	N133/4800	164.0	133.2	Mode 0	0.0	4800	2012	S	20	14	WV 5/1

Tabelle 2.2: Auslegungswindbedingungen der neu geplanten WEA

Interne W-Nr.	Prüfgrundlage	WZ	GK	v <sub>ave, TP</sub> [m/s]	k <sub>TP</sub> [-]	v <sub>m50, TP</sub> [m/s]	TK	δ <sub>TP</sub> [°]	α <sub>TP</sub> [-]	ρ <sub>TP</sub> [kg/m <sup>3</sup> ]	Auslegungslebensdauer τ <sub>TP</sub> [a]	Quelle
W1 – W10, W12, W16, W17 & W19 – W23	DIBt 2012	S	S	8.50	2.00	37.50	B	8.0	0.20	1.225	25	[24.1, 24.2, 24.3]
W18	DIBt 2012	S	S	8.50	2.00	37.50	B	8.0	0.20	1.225	25	[24.1, 24.3, 24.4]
W11	DIBt 2012	S	S	8.50	2.00	42.50	A	8.0	0.20	1.225	25	[24.5, 24.6]
W13 & W14	DIBt 2012	S	S	7.30	2.00	40.60	A	8.0	0.40	1.225	25	[24.5, 24.6]
W15	DIBt 2012	S	S	7.20	2.00	38.70	S	8.0	0.27	1.225	25	[24.7, 24.8]

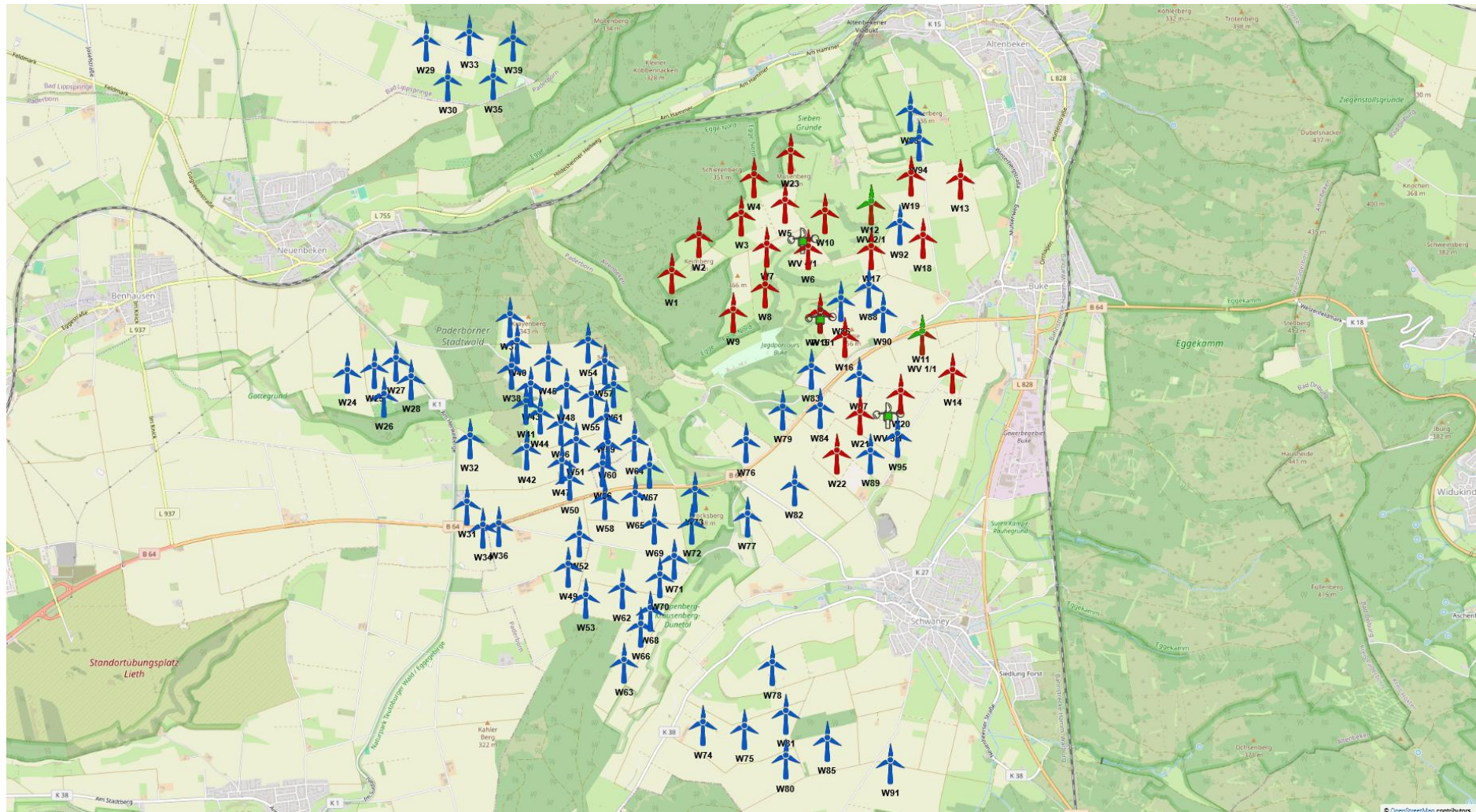


Abbildung 2.1: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Übersicht; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

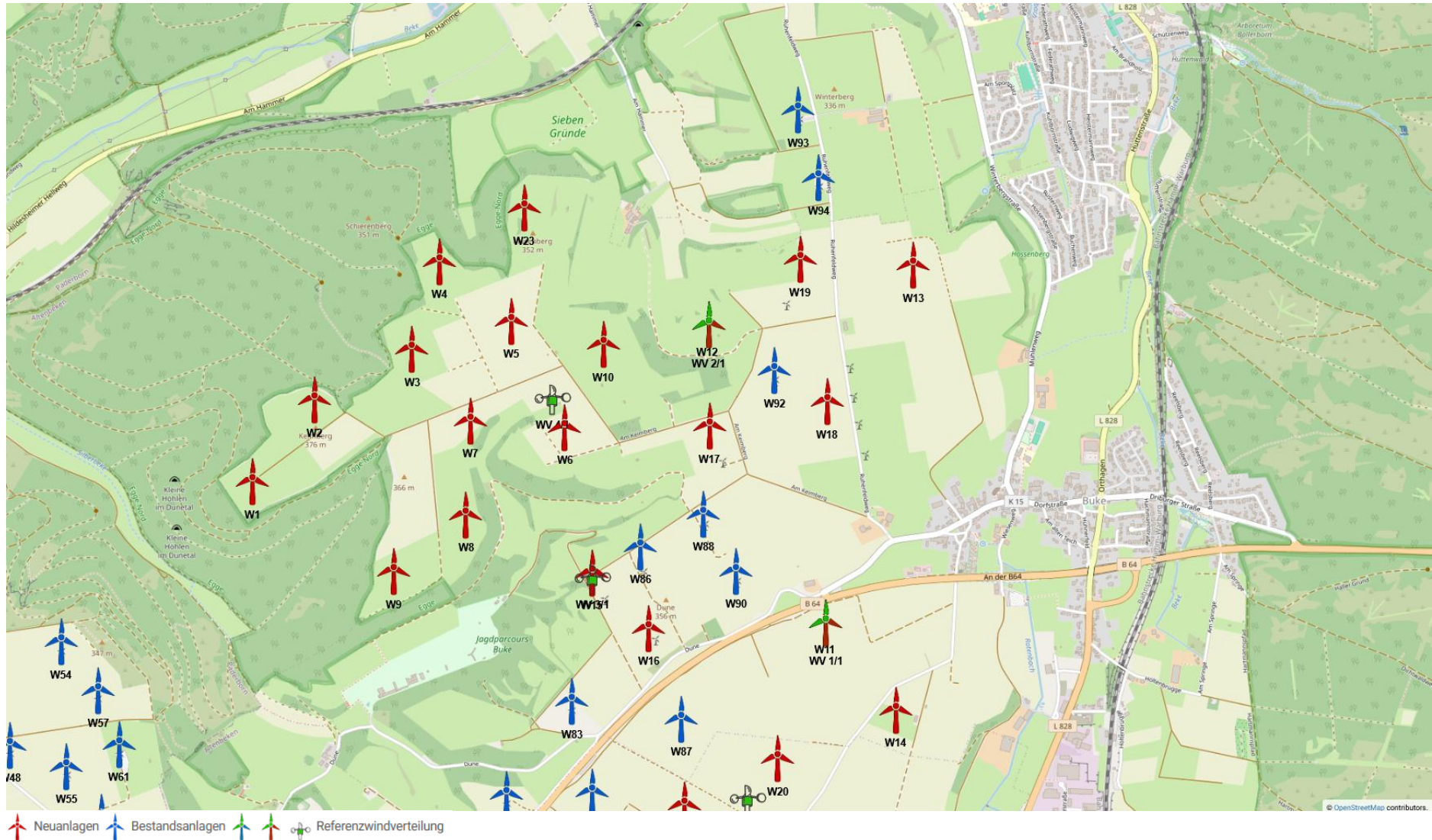


Abbildung 2.2: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Detail Nord; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

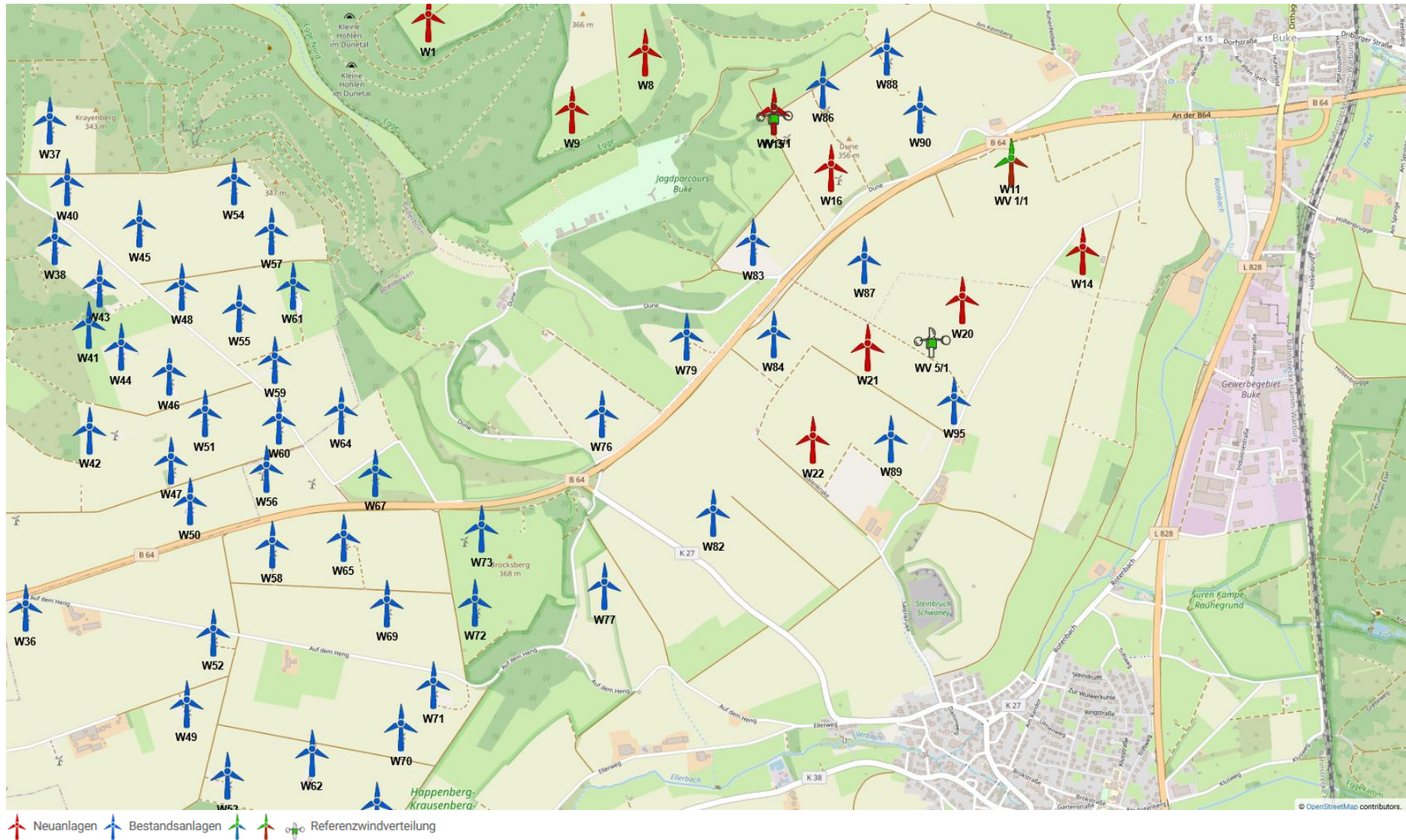


Abbildung 2.3: Zu untersuchende Windparkkonfiguration – Detail Süd; Kartenmaterial: [19.1, 19.2]

### 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  $\alpha$ . 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 <sub>ave</sub> [m/s]
X [m]	Y [m]	h <sub>wv</sub> [m]				
495423	5731760	111.6				
Sektor   Windrichtung [°]						
N   0			4.88	2.40	2.96	---
NNO   30			5.26	2.57	3.69	---
ONO   60			6.08	2.74	5.62	---
O   90			6.58	2.62	5.92	---
OSO   120			7.08	2.71	6.96	---
SSO   150			6.87	2.67	6.16	---
S   180			7.97	2.69	7.90	---
SSW   210			8.41	2.63	9.51	---
WSW   240			8.90	2.70	17.00	---
W   270			8.40	2.58	20.80	---
WNW   300			6.28	2.49	9.73	---
NNW   330			4.87	2.62	3.75	---
Gesamt			<b>7.49</b>	<b>2.38</b>	<b>100.00</b>	<b>6.64</b>

## 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 - W10, W16, W17, W19 und W23	8.04	8.50	2.24	2.00	0.95	-	Ja	Nein
W11	6.64	8.50	2.38	2.00	0.78	-	Ja	Nein
W12	7.53	8.50	2.25	2.00	0.89	-	Ja	Nein
W13	8.08	7.31	2.24	2.00	1.11	-	Nein	Ja
W14	7.44	7.31	2.25	2.00	1.02	-	Nein	Ja
W15	8.19	7.20	2.19	2.00	1.14	-	Nein	Ja
W18	6.70	8.50	2.38	2.00	0.79	-	Ja	Nein
W20 - W22	7.41	8.50	2.25	2.00	0.87	-	Ja	Nein

### 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 <sub>TP</sub>	GK <sub>TP</sub>	$v_{m50, TP}$ [m/s]	WZ <sub>NH</sub>	GK <sub>NH</sub>	$v_{m50, NH}$ [1.1] [m/s]	$v_{m50, NH}$ [22.2] [m/s]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.1)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1 - W10, W12, W16, W17 und W19 - W23	S	S	37.50	1	II	35.29	-	Ja	Nein
W11	S	S	42.50	1	II	33.10	-	Ja	Nein
W13 und W14	S	S	40.63	1	II	35.55	-	Ja	Nein
W15	S	S	38.70	1	II	36.31	-	Ja	Nein
W18	S	S	37.50	1	II	33.48	-	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  $\sigma$  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  $\sigma_\sigma$  [4, 8] und  $I_{rep}$  durch Addition der 1.28fachen Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  [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  $\sigma_\sigma$  unterstellt, die ebenfalls dem NTM Verlauf folgt [15]. Die Werte für die Standardabweichung der Umgebungsturbulenzintensität  $\sigma_\sigma$  sind so gewählt, dass die Summe aus der Referenzsturbulenzintensität nach NTM und dem 1fachen  $\sigma_\sigma$  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						
$10 z_{hub}$							
$20 z_{hub}$							
	<b>Kategorie</b>						
	<b>L</b>	<b>M</b>		<b>H</b>			
$C_{CT}$	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: W6	NH: 166.6 m	$I_{rep}$ [-]
Sektor	Windrichtung [°]	
N	0	0.138
NNO	30	0.131
ONO	60	0.128
O	90	0.135
OSO	120	0.135
SSO	150	0.134
S	180	0.125
SSW	210	0.127
WSW	240	0.127
W	270	0.127
WNW	300	0.131
NNW	330	0.136

### 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  $\sigma_\sigma$  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  $\lambda$  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  $\lambda$  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 sektorielle Betriebsbeschränkungen (WSM)

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  können sektorielle 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.

Aufgrund des geringen Abstands zwischen einzelner Neuanlagen und Bestandsanlagen von unter  $2.0 D$  sind die folgenden sektoriellen Abschaltungen notwendig und werden bei der Ermittlung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  berücksichtigt. **Die ausgewiesenen Alternativen stellen einen Vorschlag dar, werden aber nicht in der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  berücksichtigt. Soll eine ausgewiesene Alternative berücksichtigt werden, erfordert dies eine neue Bewertung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$ .**

Tabelle 3.7: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W16

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W15	283	347	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung
Alternativ: W16	283	347	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung

Tabelle 3.8: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W92

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W18	90	152	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung
Alternativ: W92	90	152	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung

Tabelle 3.9: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W89

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W22	238	300	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung
Alternativ: W89	238	300	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung

Tabelle 3.10: Berücksichtigte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W86

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W15	213	271	$V_{in}$	$V_{out}$	Abschaltung

### 3.3.3.3 Ergebnis

Die folgende Tabelle 3.11 und Tabelle 3.12 stellen die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten vor Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit dar. Aufgeführt werden nur Bestands-WEA, die Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  gegenüber den Auslegungswerten vor Zubau aufweisen. Tabelle 3.13 - Tabelle 3.16 stellen die ermittelten effektiven Turbulenzintensitäten nach Zubau der geplanten WEA in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit und unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.3.3.2 ausgewiesenen sektoriellen Betriebsbeschränkungen 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 3.11: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (vor Zubau – Teil 1)

$v_{hub}$	W37[A]	W40[A]	W45[A]	W48[A]	W54[A]	W55[A]	W57[A]	W59[A]	W61[A]	W64[A]	W72[A]	W73[A]	W77[C]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse C
3	0.369	0.418	0.387	0.412	0.382	<b>0.448</b>	0.419	<b>0.420</b>	<b>0.432</b>	0.407	<b>0.492</b>	0.372	<b>0.364</b>	0.419	0.314
4	0.316	<b>0.357</b>	0.331	<b>0.354</b>	0.328	<b>0.386</b>	<b>0.360</b>	<b>0.358</b>	<b>0.372</b>	<b>0.354</b>	<b>0.428</b>	0.321	<b>0.315</b>	0.344	0.258
5	0.287	<b>0.323</b>	0.299	<b>0.321</b>	0.299	<b>0.351</b>	<b>0.326</b>	<b>0.319</b>	<b>0.338</b>	<b>0.316</b>	<b>0.375</b>	0.290	<b>0.281</b>	0.299	0.224
6	0.266	<b>0.298</b>	<b>0.277</b>	<b>0.297</b>	<b>0.278</b>	<b>0.326</b>	<b>0.302</b>	<b>0.290</b>	<b>0.314</b>	<b>0.292</b>	<b>0.337</b>	0.268	<b>0.259</b>	0.269	0.202
7	<b>0.251</b>	<b>0.280</b>	<b>0.260</b>	<b>0.278</b>	<b>0.262</b>	<b>0.305</b>	<b>0.283</b>	<b>0.267</b>	<b>0.295</b>	<b>0.274</b>	<b>0.305</b>	<b>0.252</b>	<b>0.240</b>	0.248	0.186
8	<b>0.237</b>	<b>0.264</b>	<b>0.245</b>	<b>0.261</b>	<b>0.246</b>	<b>0.286</b>	<b>0.265</b>	<b>0.246</b>	<b>0.279</b>	<b>0.257</b>	<b>0.272</b>	<b>0.237</b>	<b>0.224</b>	0.232	0.174
9	<b>0.228</b>	<b>0.255</b>	<b>0.235</b>	<b>0.249</b>	<b>0.237</b>	<b>0.273</b>	<b>0.254</b>	<b>0.232</b>	<b>0.270</b>	<b>0.247</b>	<b>0.244</b>	<b>0.228</b>	<b>0.208</b>	0.220	0.165
10	<b>0.220</b>	<b>0.246</b>	<b>0.225</b>	<b>0.236</b>	<b>0.227</b>	<b>0.260</b>	<b>0.244</b>	<b>0.218</b>	<b>0.263</b>	<b>0.232</b>	<b>0.222</b>	<b>0.221</b>	<b>0.189</b>	0.210	0.157
11	<b>0.213</b>	<b>0.239</b>	<b>0.214</b>	<b>0.221</b>	<b>0.219</b>	<b>0.249</b>	<b>0.235</b>	<b>0.205</b>	<b>0.257</b>	<b>0.212</b>	<b>0.209</b>	<b>0.214</b>	<b>0.173</b>	0.201	0.151
12	0.179	<b>0.199</b>	0.184	0.188	0.183	<b>0.204</b>	0.195	0.186	<b>0.214</b>	0.186	0.187	0.184	<b>0.158</b>	0.195	0.146
13	0.155	0.170	0.163	0.166	0.158	0.175	0.167	0.170	0.182	0.170	0.171	0.162	<b>0.148</b>	0.189	0.142
14	0.143	0.155	0.152	0.151	0.146	0.159	0.152	0.153	0.166	0.159	0.159	0.151	<b>0.140</b>	0.184	0.138
15	0.136	0.145	0.145	0.142	0.138	0.150	0.144	0.144	0.156	0.150	0.150	0.143	0.135	0.180	0.135
16	0.130	0.138	0.139	0.136	0.132	0.142	0.137	0.138	0.147	0.144	0.143	0.137	0.131	0.176	0.132
17	0.126	0.132	0.134	0.131	0.127	0.136	0.131	0.132	0.140	0.137	0.137	0.131	0.127	0.173	0.130
18	0.122	0.128	0.130	0.128	0.123	0.131	0.126	0.128	0.134	0.133	0.132	0.127	0.124	0.170	0.127
19	0.120	0.124	0.127	0.125	0.121	0.127	0.123	0.125	0.130	0.129	0.129	0.124	0.122	0.167	0.125
20	0.117	0.122	0.124	0.122	0.118	0.124	0.120	0.123	0.126	0.126	0.125	0.121	0.119	0.165	0.124
21	0.115	0.119	0.122	0.120	0.116	0.122	0.118	0.120	0.123	0.123	0.123	0.119	0.117	0.163	0.122
22	0.114	0.117	0.119	0.118	0.114	0.119	0.115	0.118	0.119	0.121	0.120	0.117	0.115	0.161	0.121
23	0.112	0.116	0.117	0.116	0.112	0.117	0.113	0.116	0.116	0.118	0.117	0.115	0.114	0.159	0.119
24	0.111	0.114	0.115	0.115	0.111	0.115	0.111	0.114	0.114	0.116	0.115	0.113	0.112	0.157	0.118
25	0.109	0.112	0.114	0.113	0.109	0.113	0.110	0.113	0.112	0.113	0.113	0.112	0.111	0.156	0.117

Tabelle 3.12: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (vor Zubau – Teil 2)

$v_{hub}$	W79[A]	W82[S2]	W83[A]	W84[S1]	W86[A]	W87[S2]	W88[A]	W89[S3]	W95[S4]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse S1	Referenz Klasse S2	Referenz Klasse S3	Referenz Klasse S4
3	0.374	0.346	0.357	<b>0.432</b>	0.383	0.331	0.383	0.340	<b>0.389</b>	0.419	0.332	0.370	0.370	0.274
4	<b>0.347</b>	0.304	0.305	<b>0.352</b>	0.325	0.282	0.340	0.314	<b>0.375</b>	0.344	0.282	0.340	0.340	0.255
5	<b>0.318</b>	0.269	0.292	<b>0.316</b>	0.292	0.258	<b>0.302</b>	<b>0.314</b>	<b>0.349</b>	0.299	0.253	0.306	0.306	0.242
6	<b>0.296</b>	0.242	<b>0.278</b>	<b>0.292</b>	0.268	0.242	<b>0.280</b>	<b>0.292</b>	<b>0.328</b>	0.269	0.233	0.281	0.281	0.232
7	<b>0.275</b>	0.224	<b>0.260</b>	<b>0.268</b>	<b>0.249</b>	0.227	<b>0.265</b>	<b>0.271</b>	<b>0.312</b>	0.248	0.219	0.260	0.260	0.226
8	<b>0.255</b>	0.207	<b>0.244</b>	<b>0.250</b>	0.230	0.215	<b>0.251</b>	<b>0.249</b>	<b>0.301</b>	0.232	0.208	0.243	0.243	0.219
9	<b>0.231</b>	0.193	<b>0.227</b>	<b>0.233</b>	0.216	0.201	<b>0.241</b>	0.224	<b>0.291</b>	0.220	0.200	0.230	0.230	0.213
10	<b>0.214</b>	0.184	0.207	<b>0.214</b>	0.201	0.192	<b>0.230</b>	0.207	<b>0.270</b>	0.210	0.193	0.216	0.216	0.207
11	0.199	0.174	0.191	<b>0.195</b>	0.187	0.183	<b>0.215</b>	0.188	<b>0.244</b>	0.201	0.188	0.192	0.192	0.200
12	0.183	0.164	0.174	0.179	0.162	<b>0.170</b>	0.181	0.168	<b>0.215</b>	0.195	0.183	0.168	0.168	0.195
13	0.168	0.156	0.160	0.165	0.149	0.158	0.161	0.153	<b>0.192</b>	0.189	0.179	0.158	0.158	0.189
14	0.156	<b>0.148</b>	0.148	0.155	0.142	<b>0.150</b>	0.151	0.141	0.176	0.184	0.176	0.147	0.147	0.184
15	0.147	0.142	0.139	0.147	0.137	<b>0.143</b>	0.143	0.134	0.164	0.180	0.173	0.142	0.142	0.180
16	0.140	0.136	0.133	0.140	0.134	<b>0.137</b>	0.138	0.128	0.154	0.176	0.171	0.136	0.136	0.176
17	0.135	0.131	0.128	0.135	0.131	0.132	0.133	0.125	0.145	0.173	0.169	0.133	0.133	0.173
18	0.130	0.128	0.124	0.130	0.129	0.128	0.128	0.122	0.138	0.170	0.167	0.129	0.129	0.170
19	0.128	0.125	0.121	0.127	0.126	0.125	0.126	0.119	0.131	0.167	0.165	0.127	0.127	0.167
20	0.124	0.123	0.118	0.123	0.124	0.122	0.123	0.117	0.126	0.165	0.163	0.124	0.124	0.165
21	0.122	0.120	0.116	0.121	0.123	0.120	0.121	0.115	0.122	0.163	0.162	0.123	0.123	0.163
22	0.120	0.118	0.114	0.118	0.121	0.118	0.119	0.113	0.119	0.161	0.161	0.122	0.122	0.161
23	0.118	0.115	0.112	0.116	0.120	0.116	0.117	0.111	0.116	0.159	0.159	0.120	0.120	0.159
24	0.117	0.113	0.111	0.114	0.119	0.114	0.115	0.110	0.113	0.157	0.158	0.118	0.118	0.157
25	0.115	0.112	0.110	0.112	0.118	0.112	0.114	0.109	0.111	0.156	0.157	0.116	0.117	0.156

Tabelle 3.13: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 1)

$v_{hub}$	W1[B]	W2[B]	W3[B]	W4[B]	W5[B]	W6[B]	W7[B]	W8[B]	W9[B]	W10[B]	W11[A]	W12[B]	W13[A]	Referenz Klasse B	Referenz Klasse A
3	<b>0.382</b>	<b>0.382</b>	<b>0.431</b>	<b>0.417</b>	<b>0.443</b>	<b>0.428</b>	<b>0.440</b>	<b>0.432</b>	<b>0.389</b>	<b>0.426</b>	0.386	<b>0.402</b>	0.373	0.366	0.419
4	<b>0.323</b>	<b>0.325</b>	<b>0.368</b>	<b>0.358</b>	<b>0.379</b>	<b>0.365</b>	<b>0.376</b>	<b>0.369</b>	<b>0.331</b>	<b>0.365</b>	0.337	<b>0.343</b>	0.317	0.301	0.344
5	<b>0.277</b>	<b>0.281</b>	<b>0.316</b>	<b>0.308</b>	<b>0.326</b>	<b>0.314</b>	<b>0.323</b>	<b>0.319</b>	<b>0.284</b>	<b>0.315</b>	<b>0.300</b>	<b>0.299</b>	0.275	0.262	0.299
6	<b>0.247</b>	<b>0.255</b>	<b>0.284</b>	<b>0.279</b>	<b>0.294</b>	<b>0.284</b>	<b>0.290</b>	<b>0.289</b>	<b>0.255</b>	<b>0.286</b>	<b>0.277</b>	<b>0.273</b>	0.249	0.236	0.269
7	<b>0.224</b>	<b>0.234</b>	<b>0.259</b>	<b>0.255</b>	<b>0.268</b>	<b>0.259</b>	<b>0.263</b>	<b>0.264</b>	<b>0.231</b>	<b>0.262</b>	<b>0.261</b>	<b>0.252</b>	0.229	0.217	0.248
8	0.201	<b>0.213</b>	<b>0.232</b>	<b>0.230</b>	<b>0.241</b>	<b>0.233</b>	<b>0.236</b>	<b>0.239</b>	<b>0.207</b>	<b>0.237</b>	<b>0.246</b>	<b>0.232</b>	0.209	0.203	0.232
9	0.189	<b>0.203</b>	<b>0.221</b>	<b>0.219</b>	<b>0.230</b>	<b>0.222</b>	<b>0.223</b>	<b>0.227</b>	<b>0.195</b>	<b>0.227</b>	<b>0.226</b>	<b>0.222</b>	0.199	0.192	0.220
10	0.175	<b>0.191</b>	<b>0.206</b>	<b>0.205</b>	<b>0.215</b>	<b>0.207</b>	<b>0.207</b>	<b>0.212</b>	0.179	<b>0.212</b>	0.207	<b>0.211</b>	0.188	0.183	0.210
11	0.163	<b>0.180</b>	<b>0.192</b>	<b>0.191</b>	<b>0.200</b>	<b>0.193</b>	<b>0.192</b>	<b>0.199</b>	0.166	<b>0.199</b>	0.190	<b>0.200</b>	0.177	0.176	0.201
12	0.153	0.168	<b>0.177</b>	<b>0.176</b>	<b>0.185</b>	<b>0.179</b>	<b>0.176</b>	<b>0.185</b>	0.153	<b>0.184</b>	0.175	<b>0.180</b>	0.165	0.170	0.195
13	0.145	0.158	0.165	0.164	<b>0.172</b>	<b>0.167</b>	0.163	<b>0.173</b>	0.143	<b>0.171</b>	0.162	<b>0.166</b>	0.155	0.165	0.189
14	0.140	0.149	0.154	0.153	0.160	0.156	0.152	<b>0.162</b>	0.136	0.160	0.152	0.155	0.146	0.161	0.184
15	0.135	0.143	0.146	0.145	0.152	0.148	0.144	0.154	0.131	0.151	0.145	0.147	0.140	0.157	0.180
16	0.132	0.137	0.140	0.139	0.145	0.142	0.138	0.148	0.127	0.144	0.139	0.141	0.135	0.154	0.176
17	0.129	0.132	0.134	0.133	0.138	0.136	0.132	0.142	0.124	0.138	0.135	0.135	0.130	0.151	0.173
18	0.126	0.128	0.130	0.129	0.133	0.131	0.128	0.137	0.122	0.133	0.131	0.130	0.126	0.149	0.170
19	0.124	0.126	0.127	0.126	0.130	0.128	0.125	0.134	0.119	0.129	0.128	0.127	0.123	0.146	0.167
20	0.122	0.123	0.124	0.123	0.127	0.125	0.122	0.131	0.118	0.126	0.126	0.124	0.120	0.144	0.165
21	0.121	0.121	0.122	0.121	0.124	0.122	0.120	0.128	0.116	0.123	0.123	0.121	0.118	0.142	0.163
22	0.119	0.119	0.119	0.119	0.121	0.119	0.118	0.125	0.114	0.120	0.121	0.119	0.116	0.141	0.161
23	0.118	0.117	0.117	0.117	0.118	0.117	0.116	0.122	0.113	0.118	0.119	0.116	0.114	0.139	0.159
24	0.117	0.115	0.115	0.115	0.116	0.114	0.114	0.120	0.112	0.115	0.117	0.114	0.112	0.138	0.157
25	0.115	0.112	0.112	0.113	0.112	0.111	0.111	0.116	0.111	0.112	0.115	0.111	0.109	0.136	0.156

Tabelle 3.14: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 2)

$v_{hub}$	W14[A]	W15[S2]	W16[B]	W17[B]	W18[B]	W19[B]	W20[B]	W21[B]	W22[B]	W23[B]	W37[A]	W40[A]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse S2	Referenz Klasse B
3	0.368	<b>0.430</b>	<b>0.369</b>	<b>0.400</b>	<b>0.428</b>	<b>0.378</b>	<b>0.384</b>	<b>0.410</b>	<b>0.394</b>	<b>0.384</b>	0.369	0.418	0.419	0.370	0.366
4	0.322	<b>0.383</b>	<b>0.323</b>	<b>0.338</b>	<b>0.366</b>	<b>0.325</b>	<b>0.333</b>	<b>0.359</b>	<b>0.362</b>	<b>0.329</b>	0.316	<b>0.357</b>	0.344	0.340	0.301
5	0.284	<b>0.325</b>	<b>0.300</b>	<b>0.291</b>	<b>0.329</b>	<b>0.286</b>	<b>0.308</b>	<b>0.338</b>	<b>0.332</b>	<b>0.285</b>	0.287	<b>0.323</b>	0.299	0.306	0.262
6	0.260	<b>0.295</b>	<b>0.284</b>	<b>0.262</b>	<b>0.303</b>	<b>0.262</b>	<b>0.290</b>	<b>0.316</b>	<b>0.308</b>	<b>0.260</b>	0.266	<b>0.298</b>	0.269	0.281	0.236
7	0.242	<b>0.272</b>	<b>0.266</b>	<b>0.239</b>	<b>0.283</b>	<b>0.244</b>	<b>0.272</b>	<b>0.292</b>	<b>0.288</b>	<b>0.240</b>	<b>0.251</b>	<b>0.280</b>	0.248	0.260	0.217
8	0.225	<b>0.250</b>	<b>0.251</b>	<b>0.217</b>	<b>0.264</b>	<b>0.228</b>	<b>0.255</b>	<b>0.271</b>	<b>0.272</b>	<b>0.219</b>	<b>0.237</b>	<b>0.264</b>	0.232	0.243	0.203
9	0.206	<b>0.238</b>	<b>0.238</b>	<b>0.206</b>	<b>0.253</b>	<b>0.212</b>	<b>0.241</b>	<b>0.251</b>	<b>0.258</b>	<b>0.211</b>	<b>0.228</b>	<b>0.255</b>	0.220	0.230	0.192
10	0.188	<b>0.221</b>	<b>0.214</b>	<b>0.194</b>	<b>0.243</b>	<b>0.197</b>	<b>0.220</b>	<b>0.229</b>	<b>0.235</b>	<b>0.199</b>	<b>0.220</b>	<b>0.246</b>	0.210	0.216	0.183
11	0.174	<b>0.200</b>	<b>0.198</b>	<b>0.184</b>	<b>0.235</b>	<b>0.183</b>	<b>0.204</b>	<b>0.211</b>	<b>0.208</b>	<b>0.188</b>	<b>0.213</b>	<b>0.239</b>	0.201	0.192	0.176
12	0.162	<b>0.176</b>	<b>0.178</b>	0.166	<b>0.199</b>	0.170	<b>0.187</b>	<b>0.193</b>	<b>0.181</b>	<b>0.176</b>	0.179	<b>0.199</b>	0.195	0.168	0.170
13	0.152	<b>0.160</b>	0.161	0.153	<b>0.173</b>	0.159	<b>0.172</b>	<b>0.177</b>	0.160	0.165	0.155	0.170	0.189	0.158	0.165
14	0.144	0.147	0.150	0.144	0.160	0.149	0.160	<b>0.165</b>	0.146	0.155	0.143	0.155	0.184	0.147	0.161
15	0.138	0.136	0.142	0.138	0.152	0.143	0.151	0.154	0.136	0.148	0.136	0.145	0.180	0.142	0.157
16	0.133	0.128	0.135	0.133	0.145	0.137	0.144	0.146	0.129	0.143	0.130	0.138	0.176	0.136	0.154
17	0.128	0.121	0.130	0.129	0.139	0.132	0.137	0.139	0.123	0.137	0.126	0.132	0.173	0.133	0.151
18	0.125	0.115	0.126	0.125	0.134	0.128	0.132	0.133	0.119	0.132	0.122	0.128	0.170	0.129	0.149
19	0.122	0.111	0.123	0.122	0.131	0.125	0.129	0.129	0.115	0.130	0.120	0.124	0.167	0.127	0.146
20	0.120	0.108	0.120	0.120	0.128	0.123	0.125	0.126	0.112	0.127	0.117	0.122	0.165	0.124	0.144
21	0.117	0.105	0.118	0.117	0.125	0.120	0.122	0.123	0.110	0.124	0.115	0.119	0.163	0.123	0.142
22	0.115	0.102	0.116	0.115	0.123	0.118	0.119	0.120	0.108	0.121	0.114	0.117	0.161	0.122	0.141
23	0.113	0.100	0.114	0.113	0.120	0.115	0.116	0.118	0.106	0.119	0.112	0.116	0.159	0.120	0.139
24	0.111	0.098	0.112	0.112	0.118	0.113	0.114	0.115	0.104	0.116	0.111	0.114	0.157	0.118	0.138
25	0.109	0.097	0.111	0.110	0.116	0.111	0.111	0.112	0.103	0.113	0.109	0.112	0.156	0.116	0.136

Tabelle 3.15: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 3)

$v_{hub}$	W45[A]	W48[A]	W54[A]	W55[A]	W57[A]	W59[A]	W61[A]	W64[A]	W72[A]	W73[A]	W76[A]	W77[C]	W79[A]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse S1
3	0.387	0.412	0.383	<b>0.448</b>	0.419	<b>0.420</b>	<b>0.432</b>	0.407	<b>0.492</b>	0.372	0.363	<b>0.364</b>	0.378	0.419	0.332
4	0.331	<b>0.354</b>	0.329	<b>0.386</b>	<b>0.360</b>	<b>0.358</b>	<b>0.372</b>	<b>0.354</b>	<b>0.428</b>	0.321	0.300	<b>0.315</b>	<b>0.349</b>	0.344	0.282
5	0.299	<b>0.321</b>	0.299	<b>0.351</b>	<b>0.326</b>	<b>0.319</b>	<b>0.338</b>	<b>0.316</b>	<b>0.375</b>	0.290	0.268	<b>0.281</b>	<b>0.319</b>	0.299	0.253
6	<b>0.277</b>	<b>0.297</b>	<b>0.278</b>	<b>0.326</b>	<b>0.302</b>	<b>0.290</b>	<b>0.314</b>	<b>0.292</b>	<b>0.337</b>	0.268	0.245	<b>0.259</b>	<b>0.296</b>	0.269	0.233
7	<b>0.260</b>	<b>0.278</b>	<b>0.262</b>	<b>0.305</b>	<b>0.283</b>	<b>0.267</b>	<b>0.295</b>	<b>0.274</b>	<b>0.305</b>	<b>0.252</b>	0.226	<b>0.240</b>	<b>0.275</b>	0.248	0.219
8	<b>0.245</b>	<b>0.261</b>	<b>0.247</b>	<b>0.286</b>	<b>0.265</b>	<b>0.246</b>	<b>0.279</b>	<b>0.257</b>	<b>0.272</b>	<b>0.237</b>	0.211	<b>0.224</b>	<b>0.255</b>	0.232	0.208
9	<b>0.235</b>	<b>0.249</b>	<b>0.237</b>	<b>0.273</b>	<b>0.254</b>	<b>0.232</b>	<b>0.270</b>	<b>0.247</b>	<b>0.244</b>	<b>0.228</b>	0.198	<b>0.208</b>	<b>0.231</b>	0.220	0.200
10	<b>0.225</b>	<b>0.236</b>	<b>0.227</b>	<b>0.260</b>	<b>0.244</b>	<b>0.218</b>	<b>0.263</b>	<b>0.232</b>	<b>0.222</b>	<b>0.221</b>	0.182	<b>0.189</b>	<b>0.214</b>	0.210	0.193
11	<b>0.214</b>	<b>0.221</b>	<b>0.219</b>	<b>0.249</b>	<b>0.235</b>	<b>0.205</b>	<b>0.257</b>	<b>0.212</b>	<b>0.209</b>	<b>0.214</b>	0.168	<b>0.173</b>	0.199	0.201	0.188
12	0.184	0.188	0.183	<b>0.204</b>	0.195	0.186	<b>0.214</b>	0.186	0.187	0.184	0.156	<b>0.158</b>	0.183	0.195	0.183
13	0.163	0.166	0.158	0.175	0.167	0.170	0.182	0.170	0.171	0.162	0.147	<b>0.148</b>	0.168	0.189	0.179
14	0.152	0.151	0.146	0.159	0.152	0.153	0.166	0.159	0.159	0.151	0.140	<b>0.140</b>	0.156	0.184	0.176
15	0.145	0.142	0.138	0.150	0.144	0.144	0.156	0.150	0.150	0.143	0.135	0.135	0.147	0.180	0.173
16	0.139	0.136	0.132	0.142	0.137	0.138	0.147	0.144	0.143	0.137	0.130	0.131	0.140	0.176	0.171
17	0.134	0.131	0.127	0.136	0.131	0.132	0.140	0.137	0.137	0.131	0.126	0.127	0.135	0.173	0.169
18	0.130	0.128	0.123	0.131	0.126	0.128	0.134	0.133	0.132	0.127	0.123	0.124	0.130	0.170	0.167
19	0.127	0.125	0.121	0.127	0.123	0.125	0.130	0.129	0.129	0.124	0.121	0.122	0.128	0.167	0.165
20	0.124	0.122	0.118	0.124	0.120	0.123	0.126	0.126	0.125	0.121	0.119	0.119	0.124	0.165	0.163
21	0.122	0.120	0.116	0.122	0.118	0.120	0.123	0.123	0.123	0.119	0.117	0.117	0.122	0.163	0.162
22	0.119	0.118	0.114	0.119	0.115	0.118	0.119	0.121	0.120	0.117	0.115	0.115	0.120	0.161	0.161
23	0.117	0.116	0.112	0.117	0.113	0.116	0.116	0.118	0.117	0.115	0.113	0.114	0.118	0.159	0.159
24	0.115	0.115	0.111	0.115	0.111	0.114	0.114	0.116	0.115	0.113	0.111	0.112	0.117	0.157	0.158
25	0.114	0.113	0.109	0.113	0.110	0.113	0.112	0.113	0.113	0.112	0.110	0.111	0.115	0.156	0.157

Tabelle 3.16: Ermittelte effektive Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  (nach Zubau – Teil 4)

$v_{hub}$	W82[S2]	W83[A]	W84[S1]	W86[A]	W87[S2]	W88[A]	W89[S3]	W90[A]	W92[A]	W93[A]	W94[A]	W95[S4]	Referenz Klasse A	Referenz Klasse S1	Referenz Klasse S2	Referenz Klasse S3	Referenz Klasse S4
3	0.362	0.382	<b>0.446</b>	<b>0.432</b>	<b>0.430</b>	<b>0.426</b>	<b>0.402</b>	0.402	<b>0.452</b>	0.362	0.404	<b>0.425</b>	0.419	0.332	0.370	0.370	0.274
4	0.314	0.325	<b>0.372</b>	<b>0.372</b>	<b>0.368</b>	<b>0.367</b>	<b>0.349</b>	<b>0.347</b>	<b>0.389</b>	0.309	<b>0.347</b>	<b>0.385</b>	0.344	0.282	0.340	0.340	0.255
5	0.275	<b>0.301</b>	<b>0.327</b>	<b>0.325</b>	<b>0.318</b>	<b>0.318</b>	<b>0.323</b>	<b>0.309</b>	<b>0.335</b>	0.279	<b>0.303</b>	<b>0.352</b>	0.299	0.253	0.306	0.306	0.242
6	0.247	<b>0.283</b>	<b>0.300</b>	<b>0.296</b>	<b>0.288</b>	<b>0.290</b>	<b>0.297</b>	<b>0.284</b>	<b>0.302</b>	0.259	<b>0.276</b>	<b>0.329</b>	0.269	0.233	0.281	0.281	0.232
7	0.227	<b>0.263</b>	<b>0.274</b>	<b>0.272</b>	<b>0.263</b>	<b>0.270</b>	<b>0.274</b>	<b>0.264</b>	<b>0.276</b>	0.243	<b>0.253</b>	<b>0.312</b>	0.248	0.219	0.260	0.260	0.226
8	0.209	<b>0.246</b>	<b>0.253</b>	<b>0.247</b>	0.239	<b>0.253</b>	<b>0.250</b>	<b>0.246</b>	<b>0.246</b>	0.229	0.231	<b>0.301</b>	0.232	0.208	0.243	0.243	0.219
9	0.195	<b>0.228</b>	<b>0.238</b>	<b>0.233</b>	0.226	<b>0.242</b>	0.225	<b>0.229</b>	<b>0.235</b>	0.219	0.217	<b>0.291</b>	0.220	0.200	0.230	0.230	0.213
10	0.185	0.208	<b>0.218</b>	<b>0.217</b>	0.211	<b>0.231</b>	0.207	<b>0.211</b>	<b>0.219</b>	0.209	0.202	<b>0.270</b>	0.210	0.193	0.216	0.216	0.207
11	0.175	0.192	<b>0.200</b>	0.201	<b>0.198</b>	<b>0.216</b>	0.189	0.195	<b>0.204</b>	0.200	0.187	<b>0.244</b>	0.201	0.188	0.192	0.192	0.200
12	0.165	0.175	0.183	0.180	<b>0.182</b>	0.183	<b>0.169</b>	0.176	0.187	0.169	0.171	<b>0.215</b>	0.195	0.183	0.168	0.168	0.195
13	0.156	0.160	0.169	0.165	<b>0.169</b>	0.164	0.153	0.162	0.173	0.150	0.159	<b>0.192</b>	0.189	0.179	0.158	0.158	0.189
14	<b>0.148</b>	0.149	0.157	0.154	<b>0.157</b>	0.153	0.141	0.151	0.160	0.141	0.148	0.176	0.184	0.176	0.147	0.147	0.184
15	0.142	0.140	0.149	0.146	<b>0.149</b>	0.145	0.134	0.143	0.152	0.135	0.141	0.164	0.180	0.173	0.142	0.142	0.180
16	0.136	0.133	0.141	0.140	<b>0.142</b>	0.139	0.128	0.137	0.144	0.130	0.135	0.155	0.176	0.171	0.136	0.136	0.176
17	0.131	0.128	0.136	0.135	<b>0.135</b>	0.134	0.125	0.131	0.137	0.127	0.129	0.146	0.173	0.169	0.133	0.133	0.173
18	0.128	0.124	0.131	0.131	<b>0.131</b>	0.130	0.122	0.127	0.132	0.124	0.125	0.138	0.170	0.167	0.129	0.129	0.170
19	0.125	0.121	0.127	0.129	0.127	0.127	0.119	0.124	0.129	0.122	0.122	0.132	0.167	0.165	0.127	0.127	0.167
20	0.123	0.118	0.124	0.126	0.124	0.124	0.117	0.121	0.126	0.120	0.120	0.127	0.165	0.163	0.124	0.124	0.165
21	0.120	0.116	0.121	0.124	0.121	0.122	0.115	0.118	0.122	0.118	0.117	0.123	0.163	0.162	0.123	0.123	0.163
22	0.118	0.114	0.118	0.123	0.119	0.119	0.113	0.116	0.119	0.117	0.115	0.119	0.161	0.161	0.122	0.122	0.161
23	0.115	0.112	0.116	0.121	0.117	0.117	0.111	0.113	0.116	0.115	0.113	0.116	0.159	0.159	0.120	0.120	0.159
24	0.113	0.111	0.114	0.119	0.115	0.115	0.110	0.111	0.114	0.114	0.111	0.114	0.157	0.158	0.118	0.118	0.157
25	0.112	0.110	0.112	0.118	0.112	0.114	0.109	0.108	0.109	0.113	0.109	0.111	0.156	0.157	0.116	0.117	0.156

### 3.3.3.4 Geforderte sektorische Betriebsbeschränkungen (WSM)

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

Auf Grund des relativen Abstands von unter  $2.0 D$  zwischen den Bestands-WEA W89 und W95 müssen für die betroffene Bestands-WEA W95 die effektiven Turbulenzintensitäten  $I_{eff}$  vor und nach dem geplanten Zubau jeweils ohne die Bestands-WEA W89, welche sich näher als  $2.0 D$  zu der zu betrachtenden Bestands-WEA befindet, bewertet werden. Nach dieser Bewertung sind die folgenden sektorischen Betriebsbeschränkungen notwendig, um den Einfluss der neu geplanten WEA zu verhindern.

Tabelle 3.17: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W84

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W21	71	125	$v_{in}$	10.5	OML 8s
W21	71	125	10.5	15.5	OML 21s
Alternativ: W84	71	125	$v_{in}$	15.5	Abschaltung
W22	135	183	$v_{in}$	6.5	OML 3s
Alternativ: W84	135	183	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W22	135	183	10.5	13.5	OML 13s
Alternativ: W84	135	183	10.5	13.5	Abschaltung

Tabelle 3.18: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W86

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind-geschwindigkeit [m/s]	Endwind-geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W16	151	197	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W16	151	197	6.5	10.5	OML 13s
W16	151	197	10.5	12.5	OML 21s
W16	151	197	12.5	20.5	OML 44s
Alternativ: W86	151	197	$v_{in}$	20.5	Abschaltung
W17	14	46	$v_{in}$	5.5	OML 9s
Alternativ: W86	14	46	$v_{in}$	5.5	Abschaltung
W6	313	343	$v_{in}$	5.5	OML 7s
Alternativ: W86	313	343	$v_{in}$	5.5	Abschaltung
W7	293	319	$v_{in}$	4.5	OML 6s
Alternativ: W86	293	319	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W8	266	294	$v_{in}$	6.5	OML 9s
Alternativ: W86	266	294	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W8	266	294	11.5	20.5	OML 44s
Alternativ: W86	266	294	11.5	20.5	Abschaltung

Tabelle 3.19: Geforderte Betriebsbeschränkungen zum Schutz von W95

WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W14	24	58	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
Alternativ: W95	24	58	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W20	340	30	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
Alternativ: W95	340	30	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W21	276	326	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W21	276	326	10.5	13.5	OML 20s
W21	276	326	13.5	15.5	OML 26s
W21	276	326	15.5	19.5	OML 36s
W21	276	326	19.5	21.5	OML 45s
Alternativ: W95	276	326	$v_{in}$	21.5	Abschaltung
W22	235	275	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W22	235	275	10.5	23.5	OML 39s
Alternativ: W95	235	275	$v_{in}$	23.5	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  $v_{ave, TP}$  an den neu geplanten WEA W13 – W15 sowie Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  an den neu geplanten W1 – W12 und W15 – W23 und den als Bestand zu betrachtenden WEA W79, W82, W83, W87 – W90, W92 und W94 wird eine standortspezifische Lastrechnung seitens der Anlagenhersteller Enercon bzw. Vestas für diese WEA durchgeführt. Bis zur Vorlage der standortspezifischen Lastrechnung sind die folgenden sektoriellen Betriebsbeschränkungen notwendig, um die Überschreitungen der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{ave, NH}$  im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit  $v_{ave, TP}$  und der effektiven Turbulenzintensität  $I_{eff}$  zu verhindern bzw. nicht weiter zu erhöhen.

Tabelle 3.20: Geforderte Betriebsbeschränkung bis zur Vorlage der Lastrechnung

Eingeschränkte WEA	Geschützte WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwind- geschwindigkeit [m/s]	Endwind- geschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W1	W1	11	63	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W2	W2	38	88	3.5	4.5	Abschaltung
W2	W2	191	243	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W3	W3	48	100	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W3	W3	113	169	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W3	W3	218	26	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W4	W4	31	85	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W4	W4	102	158	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W4	W4	170	226	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W5	W5	76	132	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W5	W5	129	177	3.5	5.5	Abschaltung
W5	W5	176	228	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W5	W5	228	280	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W5	W5	282	338	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W6	W6	69	111	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W6	W6	148	190	$v_{in}$	9.5	Abschaltung

Eingeschränkte WEA	Geschützte WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W6	W6	207	251	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W6	W6	246	302	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W6	W6	357	53	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W7	W7	66	122	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W7	W7	155	211	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W7	W7	258	298	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W7	W7	293	349	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W7	W7	356	48	3.5	4.5	Abschaltung
W8	W8	93	137	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W8	W8	204	260	$v_{in}$	14.5	Abschaltung
W8	W8	263	295	7.5	9.5	Abschaltung
W8	W8	335	31	$v_{in}$	8.5	Abschaltung
W9	W9	24	80	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W10	W10	55	105	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W10	W10	106	150	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W10	W10	177	233	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W10	W10	256	312	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W11	W11	115	167	4.5	9.5	Abschaltung
W12	W12	102	144	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W12	W12	153	205	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W12	W12	235	285	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W13	W13	0	359	6.5	16.5	Abschaltung
W14	W14	0	359	6.5	13.5	Abschaltung
W15	W15	0	359	6.5	15.5	Abschaltung
W15	W15	33	91	3.5	4.5	Abschaltung
W15	W15	103	167	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W16	W16	132	188	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W16	W16	283	347	3.5	8.5	Abschaltung
W17	W17	162	206	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W17	W17	201	237	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W17	W17	249	291	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W17	W17	286	330	3.5	6.5	Abschaltung
W17	W17	333	25	$v_{in}$	8.5	Abschaltung
W18	W18	235	281	3.5	9.5	Abschaltung
W18	W18	270	332	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W19	W19	68	118	3.5	10.5	Abschaltung
W19	W19	210	260	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W20	W20	160	210	4.5	10.5	Abschaltung
W20	W20	187	227	6.5	7.5	Abschaltung
W20	W20	218	270	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W20	W20	266	318	3.5	12.5	Abschaltung
W21	W21	38	90	3.5	6.5	Abschaltung
W21	W21	96	146	5.5	11.5	Abschaltung
W21	W21	138	194	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W21	W21	185	237	$v_{in}$	11.5	Abschaltung

Eingeschränkte WEA	Geschützte WEA	Start WSM [°]	Ende WSM [°]	Startwindgeschwindigkeit [m/s]	Endwindgeschwindigkeit [m/s]	Betriebsmodus
W21	W21	251	305	$v_{in}$	14.5	Abschaltung
W21	W21	328	28	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W22	W22	5	57	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W22	W22	58	120	$v_{in}$	13.5	Abschaltung
W22	W22	210	258	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W23	W23	211	265	$v_{in}$	12.5	Abschaltung
W22	W79	110	148	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W22	W82	30	78	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W15	W83	350	28	$v_{in}$	8.5	Abschaltung
W16	W83	26	68	$v_{in}$	8.5	Abschaltung
W21	W83	116	150	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W8	W83	316	344	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W9	W83	293	319	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W11	W87	37	75	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W14	W87	71	105	$v_{in}$	5.5	Abschaltung
W16	W87	312	8	$v_{in}$	10.5	Abschaltung
W20	W87	86	138	$v_{in}$	14.5	Abschaltung
W21	W87	148	208	$v_{in}$	20.5	Abschaltung
W22	W87	178	214	$v_{in}$	3.5	Abschaltung
W10	W88	316	344	$v_{in}$	3.5	Abschaltung
W11	W88	115	149	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W12	W88	347	16	$v_{in}$	4.5	Abschaltung
W16	W88	188	224	$v_{in}$	8.5	Abschaltung
W16	W88	188	224	11.5	15.5	Abschaltung
W16	W88	188	224	17.5	18.5	Abschaltung
W17	W88	342	26	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W18	W88	32	64	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W6	W88	287	317	$v_{in}$	6.5	Abschaltung
W20	W89	7	47	$v_{in}$	3.5	Abschaltung
W21	W89	318	14	$v_{in}$	7.5	Abschaltung
W11	W90	98	142	3.5	10.5	Abschaltung
W16	W90	216	258	5.5	7.5	Abschaltung
W12	W92	279	331	$v_{in}$	9.5	Abschaltung
W17	W92	205	255	$v_{in}$	11.5	Abschaltung
W19	W94	169	217	3.5	7.5	Abschaltung

### 3.4 Vergleich der Schräganströmung $\delta$

Gemäß der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] ist beim erweiterten Vergleich der Windbedingungen (siehe Abschnitt 1.2.2) der Nachweis zu führen, dass der über alle Richtungen windenergiegewichtete Standortmittelwert der Schräganströmung  $\delta_{NH}$  den vorgegebenen Wert von  $-8^\circ \leq \delta_{NH} \leq 8^\circ$ , bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert gegenüber der horizontalen Ebene, nicht überschreitet bzw. unterschreitet. Die Ermittlung der Schräganströmung  $\delta_{NH}$  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 3.21 stellt die Ergebnisse der ermittelten Schräganströmung  $\delta_{NH}$  dar.

Handelt es sich bei einem Standort einer neu geplanten WEA um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch nicht komplexen Standort, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. In diesem Fall erfolgt die Ausweisung der Werte in Tabelle 3.21 rein informativ und es erfolgt kein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen.

Tabelle 3.21 Standortmittelwert der Schräganströmung  $\delta_{NH}$  der zu untersuchenden WEA

Interne W-Nr.	$\delta_{NH}$ [°]	$\delta_{TP}$ [°]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.2)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1	3.3	8.0	Ja	Nein
W2	3.7	-	-	-
W3	0.9	-	-	-
W4	0.6	-	-	-
W5	0.4	-	-	-
W6	1.0	-	-	-
W7	1.4	-	-	-
W8	1.5	8.0	Ja	Nein
W9	3.8	-	-	-
W10	-0.3	-	-	-
W11	-0.1	-	-	-
W12	-1.0	-	-	-
W13	0.9	-	-	-
W14	0.1	-	-	-
W15	0.6	-	-	-
W16	1.8	-	-	-
W17	0.7	-	-	-
W18	0.8	-	-	-
W19	0.5	-	-	-
W20	-1.0	-	-	-
W21	0.1	-	-	-
W22	-0.3	-	-	-
W23	-0.6	-	-	-

### 3.5 Vergleich des Höhenexponenten $\alpha$

Gemäß der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] ist beim erweiterten Vergleich der Windbedingungen (siehe Abschnitt 1.2.2) der Nachweis zu führen, dass der über alle Richtungen und Windgeschwindigkeiten energiegewichtete Standortmittelwert des Höhenexponenten  $\alpha_{NH}$  einen vorgegebenen Wert von  $0.05 \leq \alpha_{NH} \leq 0.25$ , bzw. den in der Typenprüfung angegebenen Wert nicht überschreitet bzw. unterschreitet. 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  $\alpha_{NH}$  ist für alle zu betrachtenden Anlagen in einem Bereich von der unteren Blattspitze bis zur oberen Blattspitze zu ermitteln und mit dem Auslegungswert zu vergleichen.

Die folgende Tabelle 3.22 stellt die Ergebnisse der Standortmittelwerte des Höhenexponenten  $\alpha_{NH}$  dar. Bei einer eventuell erforderlichen Lastrechnung durch den Anlagenhersteller kann ein alternativer, konservativ abdeckender Höhenexponenten zu Grunde gelegt werden.

Handelt es sich bei einem Standort einer neu geplanten WEA um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch nicht komplexen Standort, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. In diesem Fall erfolgt die Ausweisung der Werte in Tabelle 3.22 rein informativ und es erfolgt kein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen.

Tabelle 3.22 Standortmittelwert des Höhenexponenten  $\alpha_{NH}$  der zu untersuchenden WEA

Interne W-Nr.	$\alpha_{NH}$ [-]	$\alpha_{TP}$ [-]	Nachweis möglich (gemäß 1.2.2)	Lastvergleich erforderlich (gemäß 1.2.3)
W1	0.16	0.2	Ja	Nein
W2	0.16	-	-	-
W3	0.16	-	-	-
W4	0.16	-	-	-
W5	0.16	-	-	-
W6	0.16	-	-	-
W7	0.16	-	-	-
W8	0.16	0.2	Ja	Nein
W9	0.16	-	-	-
W10	0.16	-	-	-
W11	0.18	-	-	-
W12	0.16	-	-	-
W13	0.16	-	-	-
W14	0.16	-	-	-
W15	0.16	-	-	-
W16	0.16	-	-	-
W17	0.16	-	-	-
W18	0.17	-	-	-
W19	0.16	-	-	-
W20	0.16	-	-	-
W21	0.16	-	-	-
W22	0.16	-	-	-
W23	0.16	-	-	-

### 3.6 Vergleich der Luftdichte $\rho$

Gemäß der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] ist beim erweiterten Vergleich der Windbedingungen (siehe Abschnitt 1.2.2) der Nachweis zu führen, dass der Standortmittelwert der Luftdichte  $\rho_{NH}$  bei allen Windgeschwindigkeiten größer oder gleich der Nennwindgeschwindigkeit  $v_r$ , den Wert  $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$ , bzw. den in der Typenprüfung aufgeführten Wert, nicht überschreitet. Alternativ kann eine Luftdichte über dem Wert von  $1.225 \text{ kg/m}^3$  oder dem in der Typenprüfung angegebenen Wert durch Einhaltung der folgenden Ungleichung nachgewiesen werden:

$$\rho_{TP} * v_{ave,TP}^2 \geq \rho_{NH} * v_{ave,NH}^2$$

Die Berechnung der mittleren Luftdichte  $\rho_{NH}$  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 3.23 stellt die Ergebnisse des Vergleichs des Standortmittelwertes der Luftdichte  $\rho_{NH}$  mit dem Auslegungswert für jede zu untersuchende WEA dar.

Handelt es sich bei einem Standort einer neu geplanten WEA um einen nach DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] topografisch nicht komplexen Standort, sind die Nachweise nach Abschnitt 1.2.2 nicht zu führen. In diesem Fall erfolgt die Ausweisung der Werte in Tabelle 3.23 rein informativ und es erfolgt kein Vergleich mit den Auslegungswindbedingungen.

Tabelle 3.23: Vergleich der Luftdichte  $\rho_{NH}$  der zu untersuchenden WEA

Interne W-Nr.	$\rho_{NH}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\rho_{TP}$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Nachweis durch Vergleich nach [6] möglich
W1	1.182	1.225	Ja
W2	1.178	-	-
W3	1.181	-	-
W4	1.182	-	-
W5	1.181	-	-
W6	1.180	-	-
W7	1.182	-	-
W8	1.182	1.225	Ja
W9	1.182	-	-
W10	1.180	-	-
W11	1.192	-	-
W12	1.186	-	-
W13	1.182	-	-
W14	1.186	-	-
W15	1.181	-	-
W16	1.183	-	-
W17	1.182	-	-
W18	1.186	-	-
W19	1.183	-	-
W20	1.188	-	-
W21	1.186	-	-
W22	1.188	-	-
W23	1.183	-	-

### 3.7 Vergleich der extremen Turbulenzintensität $I_{\text{ext}}$

Gemäß der DIN EN IEC 61400-1:2019 [6] ist der Nachweis zu führen, dass die Auslegungswerte des ETM auch unter Berücksichtigung der Nachlaufsituation mit der höchsten Nachlaufturbulenz im Zentrum des Nachlaufs, nicht überschritten werden. Entsprechend Abschnitt 1.3 wird der Vergleich im vorliegenden Gutachten nicht geführt, sondern nur die ermittelten Werte  $I_{\text{ext, NH}}$  ausgewiesen. 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  $C_{\text{CT}}$ .

Die folgende Tabelle 3.24 stellt die ermittelten extremen Turbulenzintensitäten  $I_{\text{ext, NH}}$  in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit und unter Berücksichtigung der in Abschnitt 3.3.3.2 ausgewiesenen sektoriellen Betriebsbeschränkungen dar.

Tabelle 3.24: 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	W21	W22	W23
3	0.485	0.435	0.492	0.474	0.479	0.486	0.487	0.496	0.478	0.444	0.432	0.419	0.418	0.410	0.513	0.426	0.458	0.498	0.412	0.413	0.453	0.451	0.446
4	0.415	0.371	0.423	0.407	0.411	0.417	0.419	0.426	0.411	0.379	0.383	0.357	0.356	0.363	0.442	0.372	0.392	0.429	0.365	0.359	0.398	0.431	0.381
5	0.359	0.320	0.365	0.350	0.355	0.359	0.361	0.368	0.354	0.327	0.342	0.321	0.307	0.325	0.380	0.365	0.338	0.389	0.326	0.349	0.394	0.397	0.328
6	0.324	0.289	0.330	0.317	0.321	0.325	0.326	0.333	0.320	0.296	0.316	0.297	0.277	0.300	0.344	0.349	0.306	0.362	0.301	0.333	0.379	0.370	0.297
7	0.297	0.264	0.301	0.289	0.293	0.297	0.298	0.304	0.292	0.270	0.298	0.278	0.254	0.284	0.314	0.328	0.279	0.341	0.284	0.312	0.357	0.349	0.271
8	0.268	0.239	0.271	0.260	0.264	0.267	0.268	0.274	0.263	0.244	0.283	0.262	0.230	0.269	0.281	0.310	0.252	0.321	0.269	0.295	0.337	0.333	0.245
9	0.256	0.228	0.259	0.249	0.252	0.255	0.256	0.262	0.251	0.233	0.261	0.252	0.219	0.248	0.269	0.294	0.241	0.310	0.248	0.280	0.320	0.320	0.233
10	0.240	0.214	0.242	0.233	0.236	0.239	0.240	0.245	0.235	0.219	0.239	0.243	0.205	0.227	0.250	0.262	0.225	0.300	0.227	0.251	0.284	0.295	0.218
11	0.225	0.201	0.226	0.217	0.220	0.223	0.224	0.229	0.219	0.205	0.220	0.235	0.193	0.208	0.233	0.242	0.211	0.291	0.209	0.232	0.262	0.266	0.204
12	0.209	0.186	0.209	0.200	0.203	0.205	0.206	0.212	0.202	0.190	0.205	0.203	0.179	0.194	0.213	0.218	0.195	0.244	0.195	0.210	0.234	0.234	0.189
13	0.195	0.175	0.194	0.186	0.189	0.191	0.192	0.197	0.188	0.178	0.190	0.179	0.168	0.180	0.197	0.196	0.182	0.209	0.181	0.190	0.209	0.209	0.176
14	0.183	0.164	0.180	0.173	0.176	0.177	0.179	0.184	0.175	0.167	0.178	0.166	0.158	0.168	0.181	0.181	0.170	0.191	0.169	0.176	0.191	0.191	0.164
15	0.174	0.156	0.171	0.164	0.166	0.168	0.169	0.174	0.165	0.159	0.169	0.158	0.150	0.159	0.170	0.169	0.162	0.179	0.160	0.165	0.178	0.178	0.156
16	0.166	0.150	0.163	0.156	0.159	0.160	0.161	0.166	0.157	0.152	0.161	0.150	0.144	0.152	0.161	0.160	0.155	0.169	0.153	0.157	0.168	0.168	0.149
17	0.159	0.143	0.155	0.149	0.151	0.152	0.153	0.158	0.150	0.145	0.155	0.144	0.138	0.146	0.152	0.153	0.148	0.161	0.147	0.150	0.159	0.158	0.142
18	0.154	0.139	0.149	0.143	0.145	0.146	0.147	0.152	0.144	0.141	0.150	0.140	0.134	0.141	0.146	0.147	0.142	0.154	0.142	0.145	0.152	0.150	0.137
19	0.150	0.136	0.145	0.140	0.142	0.143	0.144	0.149	0.140	0.137	0.146	0.136	0.131	0.137	0.142	0.142	0.139	0.150	0.138	0.140	0.147	0.143	0.134
20	0.147	0.133	0.142	0.136	0.138	0.139	0.140	0.145	0.137	0.134	0.142	0.133	0.128	0.133	0.138	0.137	0.136	0.145	0.135	0.135	0.141	0.137	0.131
21	0.144	0.130	0.138	0.133	0.135	0.136	0.137	0.142	0.134	0.131	0.138	0.130	0.125	0.130	0.134	0.132	0.133	0.142	0.131	0.131	0.135	0.133	0.128
22	0.140	0.127	0.135	0.130	0.132	0.133	0.134	0.138	0.130	0.128	0.135	0.127	0.123	0.127	0.130	0.128	0.130	0.137	0.128	0.127	0.130	0.129	0.125
23	0.137	0.124	0.132	0.127	0.128	0.129	0.130	0.135	0.127	0.126	0.132	0.125	0.120	0.124	0.127	0.124	0.127	0.135	0.125	0.124	0.126	0.126	0.122
24	0.134	0.122	0.129	0.124	0.125	0.126	0.127	0.132	0.124	0.123	0.129	0.123	0.118	0.121	0.123	0.121	0.124	0.132	0.122	0.121	0.123	0.123	0.119
25	0.130	0.118	0.124	0.119	0.121	0.122	0.123	0.128	0.120	0.120	0.126	0.121	0.114	0.118	0.118	0.119	0.120	0.130	0.119	0.119	0.121	0.121	0.115

## 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. Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  wurden die in Abschnitt 3.3.3.2 ausgewiesenen sektoriellen Betriebsbeschränkungen berücksichtigt und gelten für die nachfolgende Auswertung. Dieser Vergleich hat gezeigt, dass

- i. W1 – W12 und W16 – W23 keine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, NH}}$  im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, TP}}$  aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.1),
- ii. W13 – W15 eine Überschreitung der mittleren Windgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, NH}}$  im Vergleich zur Auslegungswindgeschwindigkeit  $v_{\text{hub, TP}}$  aufweisen (siehe Abschnitt 3.2.1),
- iii. W1 – W23 an einem Standort errichtet werden sollen, der den Auslegungswert der 50-Jahreswindgeschwindigkeit  $v_{\text{m50, TP}}$  nicht überschreitet (siehe Abschnitt 3.3.3.3),
- iv. W1 – W12 und W15 – W23 Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3) und
- v. W13 und W14 keine Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  gegenüber den Auslegungswerten aufweisen (siehe Abschnitt 3.3.3.3).

Die erweiterte Prüfung für topografisch komplexe Standorte nach Abschnitt 1.2.2 wurde für die WEA W1 und W8 durchgeführt und kam zu dem Ergebnis, dass

- vi. W1 und W8 keine Überschreitungen des Auslegungswertes  $\delta_{\text{TP}}$  hinsichtlich der Schräganströmung  $\delta_{\text{NH}}$  aufweisen (siehe Abschnitt 3.4),
- vii. W1 und W8 keine Überschreitungen des Auslegungswertes  $\alpha_{\text{TP}}$  hinsichtlich des Standortmittelwertes des Höhenexponenten  $\alpha_{\text{NH}}$  aufweisen (siehe Abschnitt 3.5) und
- viii. der Standortmittelwert der Luftdichte  $\rho_{\text{NH}}$  an W1 und W8 den maximal zulässigen Wert  $\rho_{\text{TP}}$  nicht überschreitet (siehe Abschnitt 3.6).

Die Standorteignung gemäß DIBt 2012 [1.1] ist für die WEA W1 – W23 durch das vorliegende Gutachten unter Berücksichtigung der sektoriellen Betriebsbeschränkungen gemäß Abschnitt 3.3.3.5 nachgewiesen.

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-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W3	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W4	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	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-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W10	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W11	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	111.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W12	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W13	Enercon	E-175 EP5 E2 / 7000 kW	174.5	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	Vestas	V172-7.2 MW	199.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W16	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.2 und Abschnitt 3.3.3.5
W17	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W18	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	119.8	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W19	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	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
W21	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W22	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W23	Enercon	E-160 EP5 E3 R1 / 5.560 kW	166.6	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5

## 4.2 Bestehende WEA

Bei der Berechnung der effektiven Turbulenzintensität  $I_{\text{eff}}$  der als Bestand zu betrachtenden WEA wurden die in Abschnitt 3.3.3.2 ausgewiesenen sektoriellen Betriebsbeschränkungen berücksichtigt und gelten für die nachfolgende Auswertung.

### 4.2.1 Nachweis der Standorteignung durch den Vergleich mit den Auslegungswerten

Für die Bestands-WEA W76 und W93 konnte die nach DIBt 2012 [1.1] nachzuweisende Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität durch den Vergleich mit den Auslegungswerten nachgewiesen werden.

Die Bestands-WEA W37, W40, W45, W48, W54, W55, W57, W59, W61, W64, W73 und W77 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 W37, W40, W45, W48, W54, W55, W57, W59, W61, W64, W73 und W77 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 W90, W92 und W94 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.

Die Bestands-WEA W79, W82 – W84 und W86 – W89 weisen sowohl vor Zubau als auch nach Zubau Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität auf, die durch den Zubau erhöht werden. Um die Standorteignung der WEA W84 und W86 auch nach Zubau nachweisen zu können bzw. die Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität nicht signifikant zu erhöhen, sind die in Abschnitt 3.3.3.2, 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 W72 weist 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 dieser WEA hat. Bei diesem Vergleich wurde aufgrund des relativen Abstands von unter  $2.0 D$  zwischen den betroffenen Bestands-WEA W72 die Erhöhung der effektiven Turbulenzintensität durch den Zubau und ggf. deren Einfluss auf die PEL nach [20] für diese WEA ohne Berücksichtigung der jeweils benachbarten kritischen WEA 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 W95 weist sowohl vor Zubau als auch nach Zubau Überschreitungen hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität auf, die durch den Zubau erhöht werden. Um die Standorteignung der WEA W95 auch nach Zubau nachweisen zu können bzw. die Überschreitungen der effektiven Turbulenzintensität nicht signifikant zu erhöhen, sind die in Abschnitt 3.3.3.4 aufgeführten sektoriellen Betriebsbeschränkungen notwendig. Bei der Festlegung der Betriebseinschränkungen wurde aufgrund des Abstandes von unter  $2.0 D$  zwischen den WEA W89 und W95 die Erhöhung der effektiven

Turbulenzintensität durch den Zubau und ggf. deren Einfluss auf die PEL nach [20] für diese WEA ohne Berücksichtigung der kritischen WEA untersucht. Somit ist die Standorteignung hinsichtlich der effektiven Turbulenzintensität für diese WEA unter Maßgabe einer in deren Genehmigungsverfahren nachgewiesenen Standorteignung weiterhin nachgewiesen.

#### 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
W37	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W40	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W45	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W48	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W54	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W55	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W57	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W59	Enercon	E-82 / 2.000 kW	108.4	0.0	Ja
W61	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja
W64	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W72	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W73	Enercon	E-175 EP5 / 6000 kW	162.0	0.0	Ja
W76	Enercon	E-138 EP3 E2 / 4.200 kW	160.0	0.0	Ja
W77	Nordex	N163/6.X	164.0	0.0	Ja
W79	Enercon	E-147 EP5 / 4.300 kW	126.3	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W82	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W83	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W84	Nordex	N149/5700	164.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.4
W86	Vensys	Vensys 82 - 1.85 MW	100.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.2 und 3.3.3.4
W87	Vestas	V162-7.2 MW	169.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W88	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W89	Vestas	V150-6.0 MW	166.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.2 und Abschnitt 3.3.3.5
W90	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W92	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.2 und Abschnitt 3.3.3.5
W93	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	108.4	0.0	Ja
W94	Enercon	E-82 E2 / 2.300 kW	138.4	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.5
W95	Nordex	N133/4800	164.0	0.0	Ja, siehe Abschnitt 3.3.3.4

---

## 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 10.12.2024 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	[-]
$\lambda$	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
$\tau$	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]
$\alpha$	Höhenexponent	[-]
$\delta$	Schräganströmung	[°]
$\rho$	Luftdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]
$\sigma$	Standardabweichung der Windgeschwindigkeit	[m/s]
$\sigma_\sigma$	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;*
- [21.1] *Energieplan Ost West GmbH & Co. KG, E-Mail mit dem Betreff: "AW: SE Revision Buke" vom 03.12.2025 und 05.12.2025; Datei: 2025-12-03\_Eingangsdatenkatalog\_Buke-Süd.xlsx;*
- [21.2] *WN Energie GmbH & Co. KG; E-Mail mit dem Betreff: „AW: SE Revision Buke“ vom 20.01.2026;*
- [22.1] *anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH; Abschätzung des langjährigen mittleren Windpotentials auf Basis des anemos Windatlas für Deutschland am Standort Buke-Süd; Berichts-Nr.: 22-308-7251994-Rev.00-WV-IM; 03.09.2025;*
- [22.2] *entfällt;*
- [23] *I17-Wind GmbH & Co. KG; Standortdokumentation für ein Gutachten zur Standorteignung nach DIBt 2012 für den Windpark Buke (Repowering); Bericht-Nr.: I17-SV-2024-505; 16.12.2024;*
- [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; Ansicht Hybrid-Stahlurm E-160 EP5 E3-HST-120-FB-C-01; EP5.00.008-2; 25.11.2021;*
- [24.5] *ENERCON GmbH; Technisches Datenblatt General Design Conditions ENERCON Windenergieanlage E-175 EP5 E2 / 7000 kW; Dokument ID: D03058258/5.0-de; 13.10.2025;*
- [24.6] *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;*
- [24.7] *Vestas Wind Systems A/S; Performance Specification EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz; Document no.: 0127-1584 V04; 05.11.2024;*
- [24.8] *Vestas Wind Systems A/S; Gutachterinformation Auslegungswerte Turbulenz EnVentus™ V172-7.2 MW 50/60 Hz 25 Jahre; Documentnr.: 0125-0417 V01; 19.05.2022;*

## 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 <sub>ave</sub> [m/s]
X [m]	Y [m]	h <sub>wv</sub> [m]				
494950	5732964	166.6				
Sektor   Windrichtung [°]						
N   0			5.42	2.28	3.12	---
NNO   30			5.77	2.40	3.59	---
ONO   60			6.69	2.55	5.29	---
O   90			7.40	2.46	5.95	---
OSO   120			8.03	2.48	6.77	---
SSO   150			7.65	2.43	5.91	---
S   180			8.92	2.38	7.20	---
SSW   210			9.64	2.41	9.62	---
WSW   240			10.24	2.58	17.17	---
W   270			9.61	2.56	20.94	---
WNW   300			7.21	2.46	10.27	---
NNW   330			5.53	2.54	4.18	---
Gesamt			<b>8.50</b>	<b>2.25</b>	<b>100.01</b>	<b>7.53</b>

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

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	v <sub>ave</sub> [m/s]
X [m]	Y [m]	h <sub>wv</sub> [m]				
494478	5731967	199.0				
Sektor   Windrichtung [°]						
N   0			5.78	2.23	2.99	---
NNO   30			6.14	2.33	3.25	---
ONO   60			7.19	2.48	5.00	---
O   90			8.11	2.37	6.20	---
OSO   120			8.71	2.39	6.89	---
SSO   150			8.16	2.33	5.81	---
S   180			9.63	2.25	7.15	---
SSW   210			10.50	2.29	9.82	---
WSW   240			11.26	2.52	17.48	---
W   270			10.45	2.51	20.43	---
WNW   300			7.91	2.38	10.48	---
NNW   330			6.02	2.47	4.50	---
Gesamt			<b>9.25</b>	<b>2.19</b>	<b>100.00</b>	<b>8.19</b>

Tabelle A.3: Windverhältnisse am Standort WV 4/1 [22.1]

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	V <sub>ave</sub> [m/s]
X [m]	Y [m]	h <sub>wv</sub> [m]				
494316	5732693	166.6				
Sektor   Windrichtung [°]						
N   0			5.70	2.25	2.88	---
NNO   30			6.16	2.36	3.26	---
ONO   60			7.23	2.53	5.16	---
O   90			8.08	2.41	6.28	---
OSO   120			8.65	2.47	7.00	---
SSO   150			8.15	2.39	5.96	---
S   180			9.66	2.36	7.47	---
SSW   210			10.34	2.38	9.78	---
WSW   240			10.96	2.59	17.45	---
W   270			10.09	2.55	20.31	---
WNW   300			7.62	2.40	10.16	---
NNW   330			5.85	2.50	4.30	---
Gesamt			<b>9.08</b>	<b>2.24</b>	<b>100.01</b>	<b>8.04</b>

Tabelle A.4: Windverhältnisse am Standort WV 5/1 [22.1]

UTM ETRS89 Zone 32			A [m/s]	k [-]	p [%]	V <sub>ave</sub> [m/s]
X [m]	Y [m]	h <sub>wv</sub> [m]				
495105	5731075	166.6				
Sektor   Windrichtung [°]						
N   0			5.32	2.31	3.12	---
NNO   30			5.62	2.41	3.59	---
ONO   60			6.52	2.54	5.29	---
O   90			7.24	2.46	5.95	---
OSO   120			7.88	2.50	6.77	---
SSO   150			7.50	2.46	5.91	---
S   180			8.77	2.41	7.20	---
SSW   210			9.44	2.43	9.62	---
WSW   240			10.03	2.57	17.17	---
W   270			9.51	2.54	20.94	---
WNW   300			7.19	2.44	10.27	---
NNW   330			5.49	2.55	4.18	---
Gesamt			<b>8.36</b>	<b>2.25</b>	<b>100.01</b>	<b>7.41</b>