



ERMITTLUNG DER EXTREMWINDGESCHWINDIGKEITEN

Erstellt für:

SAB PROJEKTENTWICKLUNGS GMBH & CO. KG

Ref. Nr. UL-GER-WP19-12913656-01

GRAMBOW

Mecklenburg-Vorpommern
Deutschland

10 Juli 2019

KLASSIFIZIERUNG

Kundenermessen

AUSGABE

00

Dienstleistung **Ermittlung der Extremwindgeschwindigkeiten**

Standort Grambow, Mecklenburg-Vorpommern, Deutschland
Angebotsnr Nr. 1101709276
Auftrags Nr. 12913656
Standards/Richtlinien IEC 61400-1 ed.2 [3]
 IEC 61400-1 ed.3 [4]

Auftraggeber SAB Projektentwicklungs Gmbh & CO. KG
 Berliner Platz 1
 25524 Itzehoe
 Deutschland
Kontaktperson Herr Volkmann
Testlabor UL International GmbH
 Kasinoplatz 3
 26122 Oldenburg
 Germany

Hinweise Für die ermittelte mittlere Windgeschwindigkeit sowie die Jahresenergieerträge übernimmt UL keine Gewähr. Die Ergebnisse des vorliegenden Berichts beziehen sich ausschließlich auf den untersuchten Prüfgegenstand.

Eine auszugsweise Vervielfältigung dieses Berichts ist nur mit einer schriftlichen Genehmigung der UL International GmbH erlaubt.

DOKUMENTVERANTWORTLICHE

BEARBEITER	PRÜFER	ABNAHME DURCH
Annette Westerhellweg <i>Dipl. Phys.</i> <i>Energy Services</i>	Anett Friedrich <i>Dipl. Met.</i> <i>Energy Services</i>	Jan Raabe <i>Dipl. Landschaftsökologe</i> <i>Teamlead Energy Services</i>

HINWEIS AN DRITTE

Dieser Bericht wurde von UL International GmbH, einem UL-Unternehmen ("UL") erstellt und basiert auf Informationen, die nicht unter der Kontrolle von UL stehen. Bei der Erstellung des Berichts geht UL davon aus, dass die von Dritten zur Verfügung gestellten Informationen vollständig und richtig sind. Obwohl davon ausgegangen wird, dass die hierin enthaltenen Informationen, Daten und Meinungen unter den Bedingungen und den hierin festgelegten Beschränkungen zuverlässig sind, garantiert UL nicht deren Richtigkeit. Die Verwendung dieses Berichts oder der darin enthaltenen Informationen durch eine andere Partei als den beabsichtigten Empfänger stellt einen Verzicht dieser dritten Partei auf jegliche Ansprüche gegenüber UL dar, einschließlich Haftungsansprüche für direkte und indirekte Schäden und insbesondere entgangenen Gewinn. Darüber hinaus stellt die Verwendung des Berichts oder der hierin enthaltenen Informationen durch andere Parteien als den beabsichtigten Empfänger eine Zusage dieser dritten Partei dar, UL von jeglichen Ansprüchen und jeglicher Haftung freizustellen, insbesondere von Haftung für Folgeschäden in Verbindung mit einer solchen Verwendung. Soweit gesetzlich zulässig, gelten diese Haftungsausschlüsse und -freistellungen unabhängig von Fahrlässigkeit, der verschuldensunabhängigen Haftung, des Verschuldens, der Verletzung der Gewährleistung oder einer Vertragsverletzung seitens UL. Die vorstehenden Freistellungen, Verzichtserklärungen oder Haftungseinschränkungen erstrecken sich auch auf verbundene Unternehmen und Unterauftragnehmer von UL sowie die Direktoren, leitenden Angestellten, Partner, Mitarbeiter und Vertreter aller freizustellenden oder zu entschädigenden Parteien.

DOKUMENTKLASSIFIZIERUNG

STRENG VERTRAULICH	Nur für den Empfänger
VERTRAULICH	Darf Innerhalb der Organisation des Kunden verbreitet werden
UL INTERN	Keine Veröffentlichung ausserhalb von UL
KUNDENERMESSEN	Verteilung nach Kundenermessen
ÖFFENTLICH	Keine Restriktionen

RELEVANTE BERICHTE

BERICHTSNUMMER	DATUM	TITEL
UL-GER-WP18-12609111-01.00	30.11.2018	Windpotentialabschätzung

DOKUMENTVERLAUF

AUSGABE	DATUM	STATUS
00	10.07.2019	Entwurf

INHALTSVERZEICHNIS

1. Aufgabenstellung	5
2. Eingangsgrößen	6
2.1 Topographische Eingangsdaten	6
2.1.1 Beschreibung des Standortes Grambow	6
2.2 Meteorologische Eingangsdaten	7
2.2.1 Zusammenstellung der wichtigsten Informationen zu der Lidar-Messung am Standort Grambow.....	7
2.2.2 Meteorologische Langzeitwinddaten.....	7
3. Abschätzung der Extremwindgeschwindigkeiten	9
3.1 Übersicht	9
3.2 Gemessene und modellierte Extremwerte der Windgeschwindigkeit	10
3.3 Extremwinde gemäß der Lieblein Methode	11
3.4 Extremwinde gemäß der Gumbel/Bergström Methode	12
3.5 Bewertung der Extremwind-Schätzungen	13
4. Anhang A	14
4.1 Abschätzung der Extremwindgeschwindigkeiten	14
4.2 Definitionen der IEC-61400-1	15
4.3 Verwendete Software	16
4.4 Datenquellen und Literatur	16

1. AUFGABENSTELLUNG

Am Standort Grambow soll ein Windpark errichtet werden. Am Standort wurde vom 03.05.2018 bis zum 22.05.2019 eine Windmessung mit einem Lidargerät vorgenommen.

In diesem Zusammenhang wurde von UL bereits eine Windpotentialabschätzung auf Basis des 7-montigen Messzeitraumes des Lidars erstellt und unter der Berichtsnummer UL-GER-WP18-12609111-01.00 vom 30.11.2018 herausgegeben.

Gegenstand der vorliegenden Ermittlung ist die Bestimmung der Extremwindgeschwindigkeiten nach IEC 61400-1 ed. 2 [3] und ed. 3 [4] für den Lidar-Standort im Windpark Grambow. Hierzu wurden die Messdaten einer 12-monatigen Lidarmessung als Datengrundlage verwendet.

Die Ermittlung der zu erwartenden Extremwinde am Standort wird für die ausgewertete Messhöhe (165 m) sowie für zwei Nabenhöhen (161 m und 169 m) durchgeführt.

In diesem Bericht werden alle Koordinaten in dem Koordinatensystem UTM ETRS89 Zone 32 dargestellt.

2. EINGANGSGRÖßEN

2.1 Topographische Eingangsdaten

2.1.1 Beschreibung des Standortes Grambow

Die Windparkfläche Grambow befindet sich ca. 10 km westlich von Schwerin im Landkreis Nordwestmecklenburg (Mecklenburg-Vorpommern).

Der Standort der Lidarmessung befindet sich auf einer freien Ackerfläche. Der Standort der Lidarmessung und die nähere Umgebung werden durch landwirtschaftlich genutzte Flächen mit Hecken und Baumreihen als Feldbegrenzungen, kleineren Ortschaften, kleineren Waldgebieten und Seen bestimmt.

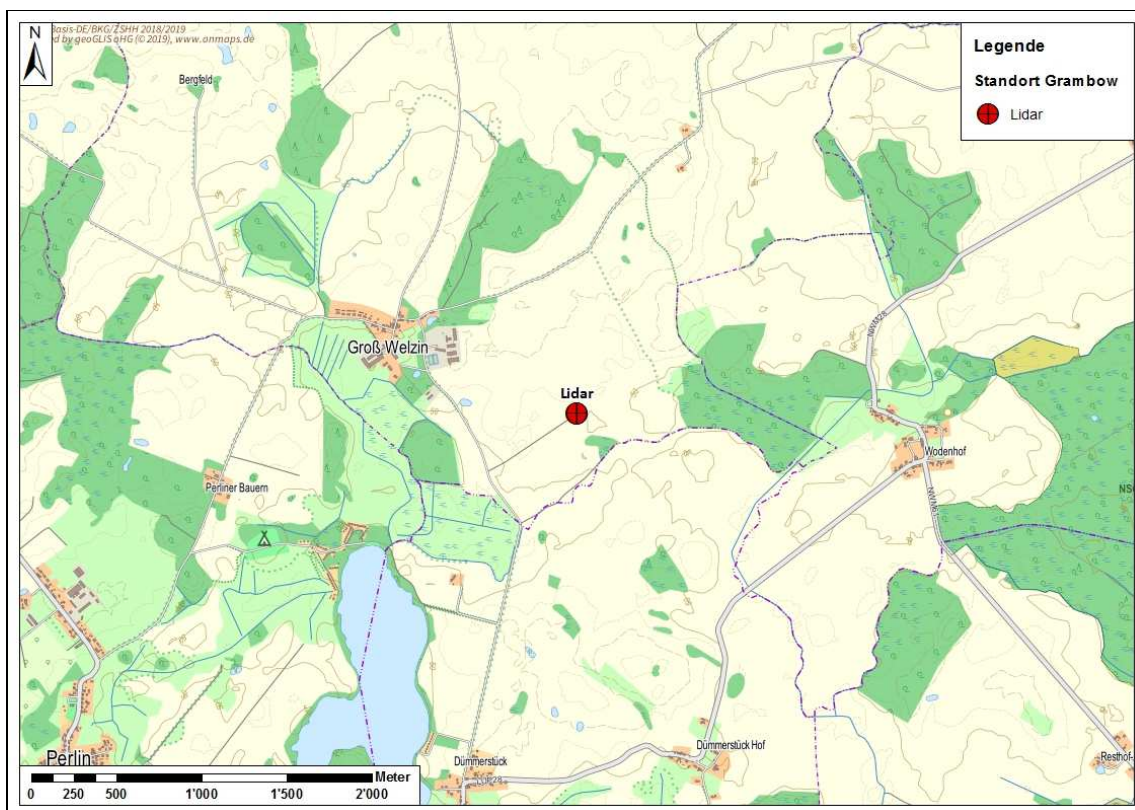


Abbildung 2.1: Lage der Windparkfläche Grambow.

2.2 Meteorologische Eingangsdaten

2.2.1 Zusammenstellung der wichtigsten Informationen zu der Lidar-Messung am Standort Grambow

Am Standort Grambow wurde vom 03.05.2018 bis zum 22.05.2019 durch UL eine Windmessung mittels Lidar (LIDAR = Light Detection and Ranging) durchgeführt.

Es liegen Windmessdaten für eine Periode von 12,5 Monaten vor. Die Lidar-Daten haben eine hohe Verfügbarkeit von 96,8 %. Eine ausführliche Dokumentation über die Messinstallation ist im Bericht UL-WM18-121738829-01 vom 01.03.2019 enthalten.

Für die vorliegende Ermittlung wurden die Lidardaten aus der Messhöhe 165 m ü. Grund verwendet.

Die gemessene Windrichtungs- sowie die gemessene Windgeschwindigkeitsverteilung am Standort Grambow sind für die Messhöhe von 165 m in Abbildung 2.2 dargestellt. Der Graph der Windgeschwindigkeitsverteilung enthält mit dem Skalierungsfaktor A und dem Formfaktor k die Parameter der Weibull-Verteilung. Die durchschnittliche Windgeschwindigkeit lag im Zeitraum von 03.05.2018 bis 22.05.2019 bei 7,9 m/s.

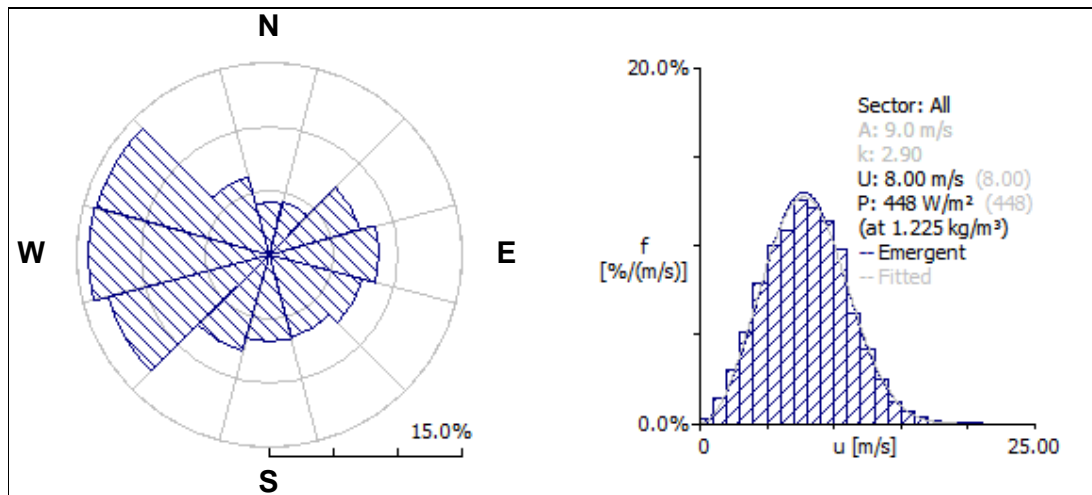


Abbildung 2.2: Am Standort Grambow in der Höhe 165 m ü. Grund gemessene Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung.

(Die mittlere Windgeschwindigkeit U wird über die Windgeschwindigkeitsverteilung berechnet, welche über die BIN-Mittelung gemittelt wurde und daher in der Regel nicht dem einfachen Mittelwert der Zeitreihe entspricht.)

2.2.2 Meteorologische Langzeitwinddaten

Die Lidardaten wurden mittels Zeitreihenkorrelation mit Daten der DWD-Station Schwerin auf einen Zeitraum von 20 Jahren extrapoliert. Die Winddaten liegen als 10-Minuten Winddaten vor und wurden für die Bestimmung der Extremwindgeschwindigkeiten verwendet.

2.2.2.1 Meteorologische Langzeitstation Schwerin

An der meteorologischen Station Schwerin wurden Windgeschwindigkeiten über eine Langzeitperiode gemessen. Die meteorologische Station liegt etwa 12 km nordöstlich des geplanten Standortes.

Die wichtigsten Eigenschaften der Messung und der Messgeräte sind in Tabelle 2.1 dargestellt. Auf Basis der Daten wurde eine zeitlich konsistente Zeitreihe erstellt. Hierbei wurden die Daten in ein UL-internes Format umgewandelt, fehlerhafte Werte herausgefiltert und kleinere Datenlücken unter Verwendung einer linearen Interpolation aufgefüllt. Anschließend wurden die Daten manuell gesichtet und Werte, die als fehlerhaft (z.B. Vereisung) erkannt wurden, herausgefiltert. Die Daten der Station wurden als stündliche Werte ausgewertet.

Tabelle 2.1: Eigenschaften des Messmastes der Station Schwerin

Standort	DWD Schwerin
Koordinaten. Geographisch UTM WGS84	11.39 E; 53.64 N
Messhöhe	22 m
Zeitraum der Auswertung	01.05.1999 – 30.04.2019
Datenverfügbarkeit der Langzeitperiode	99.4 %
Zeitliche Auflösung	10 Minuten
Mittlere Windgeschwindigkeit während der Langzeitperiode	3.8 m/s

Die gemessenen Windrichtungs- und Windgeschwindigkeiten sind in der folgenden Abbildung dargestellt. Die Abbildung zeigt als Hauptwindrichtung deutlich WSW an.

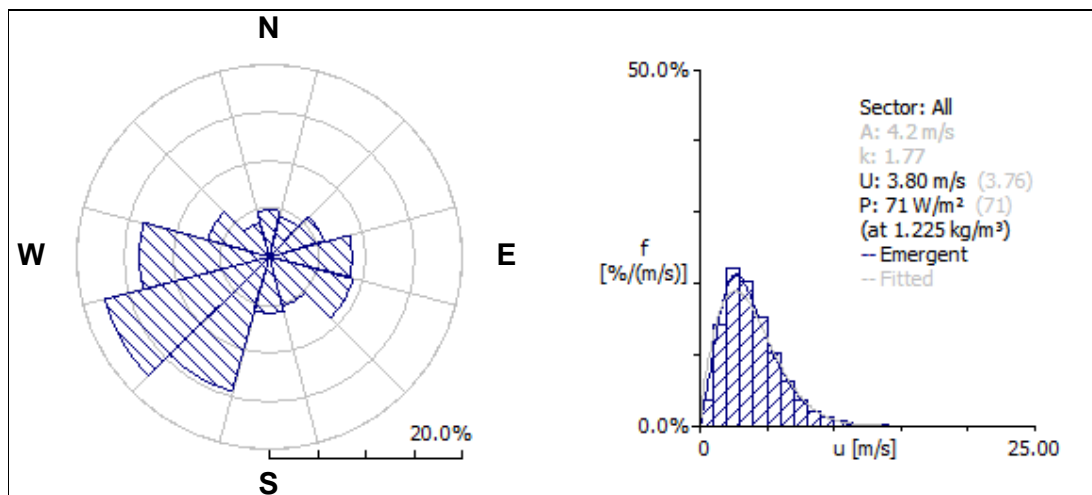


Abbildung 2.3: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung der Messstation Schwerin für den Zeitraum 01.05.1999 – 30.04.2019.

(Die mittlere Windgeschwindigkeit U wird über die Windgeschwindigkeitsverteilung berechnet, welche über die BIN-Mittelung gemittelt wurde und daher in der Regel nicht dem einfachen Mittelwert der Zeitreihe entspricht.)

3. ABSCHÄTZUNG DER EXTREMWINDGESCHWINDIGKEITEN

3.1 Übersicht

Die für den Betrieb der geplanten WEA-Typen GE 5.3-158 und Vestas V162-5.6 einzuhaltenden relevanten Extremwindgeschwindigkeiten sind in Tabelle 3.1 zusammengefasst. Die Zertifizierungen beziehen sich auf die angegebenen Nabenhöhen. Die beiden WEA Typen werden auch für weitere Nabenhöhen angeboten, die nach der IEC 61400-1 [4] oder DIBt [14] zertifiziert sind.

Tabelle 3.1: Relevante mittlere Windgeschwindigkeit und Extremwindgeschwindigkeiten für die WEA-Typen GE 5.3-158¹ und Vestas V162-5.6².

WEA-Typ	Zertifika tion	Mittlere Windgeschwindigkeit (10 min Mittel), V_{ave}	Extremwindgeschwin digkeit (10 min Mittel), V_{50}	Extremwindgeschwin digkeit (3 s Böe), V_{e50}
GE 5.3-158, Nabenhöhe 161 m	DIBt S	Nicht bekannt	40.2 m/s	56.3 m/s
Vestas V162-5.6, Nabenhöhe 166 m	DIBt S	7.5 m/s	37.6 m/s	52.6 m/s

Nachfolgend werden die extreme Windgeschwindigkeit V_{50} (definiert als maximaler 10-min-Mittelwert) und V_{e50} (definiert als maximaler 3-sec-Böe), die in einer Zeitspanne von 50 Jahren erwartet werden, abgeschätzt.

Um die extreme Windbedingungen abzuschätzen ist es üblich, zwei verschiedene und unabhängige Methoden zu betrachten. Für die Bewertung mit der *Bergström*-Methode wurde die gemessene und langzeitkorrelierte Windverteilung über 20 Jahre verwendet. Für die Bewertung mit der *Lieblein*-Methode wurden die Zeitreihendaten über einen Zeitraum von 20 Jahren verwendet, welche durch die MCP Korrelation mit Daten der DWD-Station Schwerin generiert wurden.

Diese Daten werden hochgerechnet, um das erwartete erneute Auftreten von extremen Windgeschwindigkeiten innerhalb eines 50-Jahres-Zeitraumes zu beurteilen.

Für die Auswertung wurden die Windgeschwindigkeitsdaten der Lidarmessung Grambow mit Winddaten der DWD-Station Schwerin mittels MCP-Zeitreihenkorrelation auf den 20-jährigen Zeitraum 01.05.1999 – 30.04.2019 verlängert.

Die Extrapolation der Windverhältnisse von der Messhöhe von 165 m auf die geplanten Nabenhöhen basiert auf dem Europäischen Windatlas Modell [1] unter Umsetzung von WASP [2] und der Windklimatologie aus Bericht UL-GER-WP18-12609111-01.00.

¹ Aus email vom Hersteller am 05.07.2019.

² Aus 0081-5098_V01 - Performance Specification V162-5.6 MW.PDF vom 24.01.2019.

3.2 Gemessene und modellierte Extremwerte der Windgeschwindigkeit

Als Einführung in die extremen Windbedingungen zeigt Tabelle 3.2 die tatsächlich gemessene maximale Windgeschwindigkeit bei bestimmten Messperioden. Diese Werte können hilfreich sein, um die Größe der 50-jährigen Extremwerte zu bewerten, die in den folgenden Kapiteln geschätzt werden.

Tabelle 3.2: Gemessene und korrelierte Extremwinde

Referenzpunkt (Höhe)	Datenquelle	Zeitliche Auflösung	Max. Windgeschwindigkeit
Lidar (165 m)	2018-05-03 – 2019-05-22 (gemessen)	10 min.	22.4 m/s
Lidar (165 m)	2018-05-03 – 2019-05-22 (gemessen)	Böen	35.8 m/s
Lidar (165 m)	1999-05-01 – 2019-04-30 (gemessen und korreliert)	10 min.	28.8 m/s

3.3 Extremwinde gemäß der Lieblein Methode

Die Methode nach Lieblein wertet direkt die Starkwindereignisse in der Zeitserie aus (siehe Abschnitt 4.1). Für eine Wiederkehrdauer von 50 Jahren erhält man so die in Tabelle 3.3 und Tabelle 3.4 dargestellten Werte für 10-Minuten-Mittelwerte und die 3-Sekunden-Böenwerte.

Tabelle 3.3: Maximalwerte der Windgeschwindigkeit, extrapoliert nach der Lieblein-Methode für einen 50 Jahres-Zeitraum für einen 10 Minuten-Mittelungszeitraum.

Höhe über Grund:	165 m	161 m	169 m
Design-Grenzwert für den jeweiligen WEA-Typ	-	40.2 m/s	37.6 m/s
Position	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow
50 Jahre Extremwind (10 min), wahrscheinlichster Wert, relevant für die Standorteinordnung	29.1 m/s	28.8 m/s	29.3 m/s
Standardunsicherheit des Extremwertes	3.9 m/s	3.8 m/s	3.9 m/s
Risiko der Überschreitung des Designlimits für den geplanten WEA-Typ in Bezug auf den 50 Jahre Extremwind (10 min)	-	0%	2%

Tabelle 3.4: Maximalwerte der Windgeschwindigkeit, extrapoliert nach der Lieblein-Methode für einen 50 Jahres-Zeitraum für einen 3 Sekunden-Mittelungszeitraum.

Höhe über Grund:	165 m	161 m	169 m
Design-Grenzwert für den jeweiligen WEA-Typ	-	56.3 m/s	52.6 m/s
Position	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow
50 Jahre Extremwind (3 sec), wahrscheinlichster Wert, relevanter Wert für die Klassifikation des Standortes	36.2 m/s	36.0 m/s	36.4 m/s
Standardunsicherheit des Extremwertes	4.8 m/s	4.8 m/s	4.8 m/s
Risiko der Überschreitung des Designlimits für den geplanten WEA-Typ in Bezug auf den 50 Jahre Extremwind (3 sec)	-	0%	0%

3.4 Extremwinde gemäß der Gumbel/Bergström Methode

Die Methode nach Gumbel/Bergström basiert auf der aus den Messdaten abgeleiteten Weibull-Verteilung, die auf ihre Extremwerte hin analysiert wird (siehe Abschnitt 4.1).

Tabelle 3.5: Maximalwerte der Windgeschwindigkeit, extrapoliert nach der Gumbel/Bergström-Methode für einen 50 Jahres-Zeitraum für einen 10 Minuten-Mittelungszeitraum.

Höhe über Grund:	165 m	161 m	169 m
Design-Grenzwert für den jeweiligen WEA-Typ	-	40.2 m/s	37.6 m/s
Position	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow
50 Jahre Extremwind (10 min.), wahrscheinlichster Wert, relevant für die Standorteinordnung	23.8 m/s	23.6 m/s	24.1 m/s
Risiko der Überschreitung des Designlimits für den geplanten WEA-Typ in Bezug auf den 50 Jahre Extremwind (10 min.)	-	0%	0%

Tabelle 3.6: Maximalwerte der Windgeschwindigkeit, extrapoliert nach der Gumbel/Bergström-Methode für einen 50 Jahres-Zeitraum für einen 3 Sekunden-Mittelungszeitraum.

Höhe über Grund:	165 m	161 m	169 m
Design-Grenzwert für den jeweiligen WEA-Typ	-	56.3 m/s	52.6 m/s
Position	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow	Ref 1: Lidar Grambow
50 Jahre Extremwind (3 sec.), wahrscheinlichster Wert, relevant für die Standorteinordnung	27.7 m/s	27.5 m/s	27.9 m/s
Risiko der Überschreitung des Designlimits für den geplanten WEA-Typ in Bezug auf den 50 Jahre Extremwind (3 sec.)	-	0%	0%

3.5 Bewertung der Extremwind-Schätzungen

Um die Extremwindbedingungen abzuschätzen wurden zwei verschiedene und unabhängige Methoden auf die gemessenen Daten angewendet. Da die Lieblein-Methode die tatsächlich gemessenen Extremwindvorkommnisse mitbetrachtet und das statistische Modell im Vergleich zu der Bergström/Gumbel Methode erweitert ist, wird sie allgemein als zuverlässiger angesehen.

In vorliegendem Fall führt die Gumbel/Bergström Methode zu deutlich niedrigeren Extremwindgeschwindigkeiten.

Die Ergebnisse der Lieblein-Methode können als beste Schätzung für die wahrscheinlichsten Extremwerte angesehen werden.

Den vorstehenden Ergebnissen folgend wird die Grenze 50-Jahres-Extremwindgeschwindigkeit von 40.2 m/s bzw. 37.6 m/s für die DIBt S Windklasse des jeweiligen WEA-Typs (10-Minuten Durchschnitt) eingehalten.

Auch das Designkriterium in Bezug auf Böen (3 Sekunden) von 56.3 bzw. 52.6 m/s die DIBt S Windklasse des jeweiligen WEA-Typs wird am Standort eingehalten.

4. ANHANG A

4.1 Abschätzung der Extremwindgeschwindigkeiten

Zur Bestimmung der WTGS-Klassen muss die Extremwindgeschwindigkeit abgeschätzt werden. Diese ist definiert als die maximale Geschwindigkeit im 10-Minuten-Mittel (Extremwindgeschwindigkeit oder Referenzwindgeschwindigkeit) und/oder im 3-Sekunden-Mittel (Extrem-Bö), die in einem 50-Jahres-Zeitraum zu erwarten ist.

Da üblicherweise keine qualitativ hochwertigen Messungen über einen so langen Zeitraum verfügbar sind, müssen diese Werte aus den verfügbaren Zeitreihen geschätzt werden. Die Abschätzung der Extremwindgeschwindigkeiten läuft daher auf eine Extrapolation aus den maximalen gemessenen Werten auf einen längeren Zeitraum als den gemessenen/korrelierten hinaus.

Die Extremwindbetrachtung wird daher auf der Basis der (üblicherweise nur über ein oder wenige Jahr/e) verfügbaren Messungen und ihrer Korrelation mit anderen Langzeitmessungen durchgeführt. Obwohl diese Langzeitkorrektur einige Unsicherheiten mit sich bringt ist dieses Verfahren dennoch das verlässlichste, da die verfügbare Datenbasis ohne die zusätzliche Langzeitkorrelation nicht ausreichend ist. Die Langzeitkorrektur der Daten wird auch nach der aktuellen Edition 3 der IEC 61400-1 verlangt [4].

Die so erzeugten Zeitserien werden danach auf die jeweiligen Standorte und die Nabenhöhen der betrachteten Turbinen extrapoliert.

Die Umrechnung auf Nabenhöhe geschieht unter der Annahme dass die Zunahme der hohen Windgeschwindigkeiten mit der Höhe mit der Zunahme der Windgeschwindigkeit aus der Referenzpunktberechnung aus dem "Wind Atlas Analysis and Application Program" (WASP) [1] übereinstimmt. Dieses Verfahren kann aufgrund theoretischer Überlegungen und eigener Messungen am 130m-Mast in Wilhelmshaven als konservative Abschätzung betrachtet werden.

Die angewandten statistischen Methoden zur Extrapolation der Extremwinde im Messzeitraum auf einen längeren Zeitraum erlauben es prinzipiell nicht, eine absolute obere Grenze der Windgeschwindigkeit anzugeben. Das Ergebnis ist vielmehr eine Extremwindverteilung, aus der die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten einer bestimmten Windgeschwindigkeit abgeleitet werden kann. Daher besteht das Ergebnis aus einer Extremwindgeschwindigkeit und die statistische Unsicherheit der Extremwertextrapolation.

Für eine Abschätzung nach der Norm IEC 61400-1 [4] kann jedoch angenommen werden, dass der zentrale Wert (50% Überschreitungswahrscheinlichkeit) designrelevant ist. Daher geben die folgenden Abschätzungen diesen Zentralwert an. Da bei der Erarbeitung der Normen bereits Sicherheitsüberlegungen einfließen, können Windenergieanlagen, die diese Zentralwerte einhalten, als geeignet im Hinblick auf die Extremwindstabilität gelten.

Zur Extrapolation der Messdaten auf einen 50-Jahres-Zeitraum werden üblicherweise die Methoden nach Gumbel/Bergström ([10],[11]) sowie Lieblein [9] angewandt. Durch die Verwendung zweier unabhängiger Methoden kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse so verlässlich wie möglich auf der Grundlage der verfügbaren Daten sind.

"State of the art" ist die Methode nach Lieblein [9], in der die verfügbaren Messwerte direkt ausgewertet werden. Diese Methode wird als wichtige Verbesserung und genauer als die zuvor üblicherweise verwendete Methode von Gumbel [10] betrachtet, die auf der aus den Messdaten abgeleiteten Windstatistik beruht. Nach der IEC 61400-1 sind beide Methoden statthaft [4].

Bei der Lieblein-Methode wird die Zeitreihe der Windgeschwindigkeit auf unabhängige Starkwindereignisse (Stürme) hin untersucht und extrapoliert, um einen langfristigen Maximalwert abzuschätzen. Die einzelnen Starkwindereignisse werden dann geeignet sortiert, um mögliche Wiederholungszyklen ermitteln zu können. Diese Zyklen werden abschließend extrapoliert, um eine durchschnittlichen Wiederholungszyklus von 50 Jahren angeben zu können.

Die Lieblein-Methode basiert auf einer statistischen Theorie, die annimmt, dass sich Extremwindereignisse anhand einer Fisher-Tippet Verteilung vom Typ 1 beschreiben lassen und dass die Extrapolation der Extremwerte anhand der gewichteten sogenannten BLUE (Best Linear Unbiased Estimate) Regression möglich ist.

Die Umrechnung auf andere Mittelungsintervalle als das Messintervall (z.B. von 10-Minuten Messungen auf 3-Sekunden Böen) wird mit Hilfe eines Böenfaktors durchgeführt, der aus der Turbulenzintensität abgeleitet wird. Die Genauigkeit des 3-s-Böenwerts ist daher geringer als für den 10-min-Wert. Die Lieblein-Methode erlaubt die Angabe eines Konfidenzintervalls.

Die Methode nach Gumbel/Bergström ([10], [11]) basiert auf der aus den Messdaten abgeleiteten Weibull-Verteilung, die auf ihre Extremwerte hin analysiert wird. Aus der Weibull-Verteilung wird eine Extremwertverteilung berechnet, aus der die Wahrscheinlichkeit für das Überschreiten bestimmter Geschwindigkeiten abgeleitet werden kann. Diese Methode baut wesentlich auf statistischen Methoden und empirisch ermittelten Eigenschaften der Atmosphäre auf ([10], [11]).

Die Bestimmung der Weibull-Parameter bezieht die Messdauer und die Mittelungsperiode der Daten mit ein und wird sowohl zur Bestimmung der 10-Minuten- als auch der 3-Sekunden-Extremwerte genutzt.

Die Gumbel/Bergström-Methode ist üblicherweise mit größeren Fehlern behaftet, da geringe Änderungen der Form der Verteilung bereits zu großen Änderungen der Extremwertverteilung führen können. Daher wird diese Methode heute meist nur noch als Zusatz zur Lieblein-Methode angewandt, um deren Ergebnisse zu bestätigen.

Generell ist bei der Extremwindabschätzung zu beachten, dass hier aus einer relativ kurzen Messung in der Vergangenheit auf einen langen Zeitraum geschlossen wird. Daher sind die Unsicherheiten der Berechnung vergleichsweise hoch. Insbesondere ist die Extrapolation auf einen zukünftigen Zeitraum nur möglich, wenn die dazu nötige Annahme langfristig konstanter mittlerer Bedingungen tatsächlich korrekt ist. Möglicherweise existierende langfristige Trends im Windklima aufgrund des wahrscheinlichen globalen Klimawandels sind daher weder in der Berechnung noch in den Ergebnissen berücksichtigt.

4.2 Definitionen der IEC-61400-1

Turbulenzintensität & Extremwind

Die folgenden Tabellen zeigen die Klassifizierung nach IEC 61400-1, Edition 2 und 3 [3][4]. Die Windgeschwindigkeiten sind in den Tabellen als 10-Minuten-Mittelwerte definiert.

Tabelle A.1: WEA-Klassen nach IEC 61400-1, ed.2 [3]

WTGS Class		I	II	III	IV	S
V_{ref}	(m/s)	50	42.5	37.5	30	
V_{ave}	(m/s)	10.0	8.5	7.5	6.0	Values to be
A	h_{15} (-)	0.18	0.18	0.18	0.18	Specified
	a (-)	2	2	2	2	by the
B	h_{15} (-)	0.16	0.16	0.16	0.16	Designer
	a (-)	3	3	3	3	

Tabelle A.2: WEA-Klassen nach IEC 61400-1, ed.3 [4]

WTGS Class		I	II	III	S
V_{ref}	(m/s)	50	42.5	37.5	Values to be
A	I_{ref} (-)	0.16			Specified
B	I_{ref} (-)	0.14			by the
C	I_{ref} (-)	0.12			Designer

4.3 Verwendete Software

Neben verschiedenen Berechnungsvorlagen wurden insbesondere die folgende Software zur Berechnung und Datenbearbeitung verwendet.

- Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), version 11.6, build 0062, Risø National Laboratory, Roskilde, Denmark.
- ArcGIS, version 10.4, Environment Systems Research International (ESRI)

4.4 Datenquellen und Literatur

- [1] I. Troen, E.L. Petersen: Europäischer Windatlas. Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, 1990.
- [2] G. Mortensen, L. Landberg, I. Troen, E.L. Petersen: Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP), Risø National Laboratory, Roskilde, Dänemark, 1993 und Aktualisierungen.
- [3] IEC: IEC61400-1 Wind turbine generator systems - Part 1: Safety Requirements, 2nd Ed., 1998.
- [4] IEC: IEC61400-1 Wind turbine generator systems - Part 1: Design Requirements, 3rd Ed., 2005.
- [5] IEC: IEC61400-12 Wind turbine generator systems - Part 12-1: Wind turbine power performance testing, 1st Ed., 1998.
- [6] IEC: IEC61400-12 Wind turbine generator systems - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 2ndEd., , 03/2017.
- [7] MEASNET: Power Performance Measurement Procedure, 3rd Ed., November 2000.
- [8] International Organization for Standardization: Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. First edition, 1993, corrected and reprinted, Geneva, Switzerland, 1995.

- [9] J. Lieblein: Efficient Methods of Extreme-Value Methodology. Report NBSIR 74 602, National Bureau of Standards, Washington D.C, 1974.
- [10] Emil J. Gumbel: Statistical Theory of Extreme Values and some Practical Applications, U.S. Department of Commerce, National Bureau of Standards, Washington D.C., February 1954.
- [11] Hans Bergström: Distribution of Extreme Wind Speed. Wind Energy Report WE 92:2, Department of Meteorology, Uppsala University, 1992.
- [12] MEASNET: Evaluation of Site-Specific Wind Conditions, Version 1, November 2009.
- [13] V. Riedel, M. Strack, H.P. Wald: Robust Approximation of functional Relationships between Meteorological Data: Alternative Measure-Correlate-Predict Algorithms. Proceedings EWEC 2001, Copenhagen.
- [14] DiBt [Deutsches Institut für Bautechnik]: Richtlinie für Windenergieanlagen. Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe B, Heft 8, Berlin, 10/2012.
- [15] UL International GmbH: Wind Measurement Installation Report, Site: Schwerin, UL-WM18-121738829-01.01, Oldenburg, 01.03.2019.