ABTEILUNG WINDENERGIEANLAGEN

Industrie Service

Mehr Wert.
Mehr Vertrauen.

Gutachtliche Stellungnahme

Datum: 28.08.2023

Prüfnummer: **3812062-1-d**

Objekt: **Bewertung der Standsicherheit**
Windenergieanlagen
Vestas V126, 3600 kW
117 m Nabenhöhe über Geländeoberkante

VENSYS 126, 3800 kW
137 m Nabenhöhe über Geländeoberkante

Standort: Etteln A33 Erw (NRW)

Prüfgrundlage: DIN EN 61400-22:2011 und
DIBt 2012

Auftraggeber: WestfalenWIND Etteln A33 GmbH & Co.KG
Vattmannstraße 6
33100 Paderborn
Deutschland

Unsere Zeichen:
IS-ESW-MUC/CS

Das Dokument besteht aus
12 Seiten.
Seite 1 von 12

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

Die Prüfergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die untersuchten Prüfgegenstände.

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

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

Telefon: +49 89 5791-3146
Telefax: +49 89 5791-2956
www.tuvsud.com/de-is

TÜV SÜD Industrie Service GmbH
Energie und Systeme
Windenergie
Windenergieanlagen
Westendstraße 199
80686 München
Deutschland

Industrie Service

Revision	Datum	Änderungen
0	28.08.2023	Erstfassung

Inhaltsverzeichnis

1. Unterlagen 3
1.1 Unterlagen für die Bewertung 3
2. Bewertungsgrundlage 3
3. Beschreibung 4
4. Umfang der Bewertung 7
5. Bemerkungen 7
5.1 Betriebsfestigkeitslasten 7
5.2 Extremlastfälle 7
6. Gutachtliche Stellungnahme 8
Auflage 9
Annex 1: Lastsensoren und zugehörige Koordinatensysteme (KOS) 10
Annex 2: Schädigungsäquivalente Lasten 12

Industrie Service

1. Unterlagen

1.1 Unterlagen für die Bewertung

Folgendes Dokument wurde im Rahmen der Bewertung herangezogen:

[1] „Prüfbericht Prüfung der Standorteignung Etteln A33 (NRW)", erstellt von TÜV SÜD Industrie Service GmbH,
Dokument Nr. MS-2307-121-NRW SC-de, Revision 0 ENTWURF

2. Bewertungsgrundlage

Die Beurteilung der Unterlagen erfolgte gemäß folgenden Normen und Richtlinien:

/1/ „Richtlinie für Windenergieanlagen", herausgegeben vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt), Ausgabe Oktober 2012, korrigierte Fassung März 2015

/2/ DIN EN IEC 61400-1:2019 "Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2019); Deutsche Fassung EN IEC 61400-1:2019"

3. Beschreibung

Der Auftraggeber plant am Standort „Etteln A33 Erw" die Errichtung der folgenden Windenergieanlagen (WEA):

- 3 WEA des Typs VENSYS 126 mit einer Nennleistung von 3800 kW und 137 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA 06, WEA 07 und WEA 08 in [1]).

Aus dem Turbulenzgutachten [1] geht hervor, dass die Turbulenzbelastung der folgenden WEA durch den Zubau maßgeblich erhöht würde und die bei der Typenprüfung angesetzte Turbulenzintensität dieser Anlagen überschritten wird:

- 1 WEA des Typs Vestas V126 mit einer Nennleistung von 3600 kW und 117 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA W9 in [1]),
- 3 WEA des Typs VENSYS 126 mit einer Nennleistung von 3800 kW und 137 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA 06, WEA 07 und WEA 08 in [1]).

Zur Bewertung der Standsicherheit der betroffenen WEA soll daher im Folgenden eine für alle Planungsvarianten abdeckende standortspezifische Lastberechnung durchgeführt werden.

Die hier behandelte WEA des Typs Vestas V126 besteht aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor und einer über ein Getriebe gekoppelten Generatoreinheit auf einem Stahlrohrturm. Die Anlage wird mittels Blattwinkelverstellung und mit variabler Rotordrehzahl geregelt.

Turbineneigenschaften	
Windenergieanlage	Vestas V126
Bezeichnung im Windpark	WEA W9
Rotordurchmesser	126 m
Nennleistung	3600 kW
Nabenhöhe über Geländeoberkante	117 m

Tabelle 1: Turbineneigenschaften Vestas V126

Die hier behandelten WEA des Typs VENSYS 126 bestehen aus einem luvseitig angeordneten Dreiblatt-Rotor und einer getriebelosen Generatoreinheit auf einem Hybridturm aus Stahl- und Betonsektionen. Die Anlagen werden mittels Blattwinkelverstellung und mit variabler Rotordrehzahl geregelt.

Turbineneigenschaften	
Windenergieanlage	VENSYS 126
Bezeichnung im Windpark	WEA 06, WEA 07 und WEA 08
Rotordurchmesser	126 m
Nennleistung	3800 kW
Nabenhöhe über Geländeoberkante	137 m

Tabelle 2: Turbineneigenschaften VENSYS 126

Im vorgelegten Dokument [1] werden die effektiven Turbulenzintensitäten für die im Bereich des Standortes „Etteln A33 Erw" vorhandenen WEA für die Situation nach Zubau der geplanten zusätzlichen WEA ausgewiesen. Die Windbedingungen am Standort können dem Dokument [1] entnommen werden. Die Bewertung erfolgte im Vergleich zu Lasten, die sich nach Windbedingungen gemäß den folgenden Richtlinien ergeben:

- DIBt 2012, Windzone S (Vestas V126),
- DIBt 2012, Windzone 2 (VENSYS 126).

Die folgenden Bedingungen wurden für WEA W9 berücksichtigt.

	Vestas V126 „Etteln A33 Erw"	DIBt 2012, Windzone S (Auslegung)
Jährliche mittlere Windgeschwindigkeit	6,2 m/s	8,52 m/s
Vertikale Schräganströmung	1,4°	8°
Windgradient	0,3	0,2
Weibull Faktor (k)	2,03	2
Luftdichte	1,2 kg/m³	1,225 kg/m³

Tabelle 3: Windbedingungen WEA W9

Die folgenden Bedingungen wurden abdeckend für WEA 06, WEA 07 und WEA 08 berücksichtigt.

	VENSYS 126 „Etteln A33 Erw"	DIBt 2012, Windzone 2 (Auslegung)
Jährliche mittlere Windgeschwindigkeit	6,4 m/s	7,8 m/s
Vertikale Schräganströmung	1,9°	8°
Windgradient	0,241	0,2
Weibull Faktor (k)	2,04	2
Luftdichte	1,202 kg/m³	1,269 kg/m³

Tabelle 4: Windbedingungen WEA 06, WEA 07 und WEA 08

Industrie Service

Im Folgenden sind die in [1] ermittelten Turbulenzintensitäten für die in Tabellen 1 bis 2 aufgelisteten WEA im Bereich „Etteln A33 Erw" aufgeführt. Für die WEA W9 des Typs Vestas V126 werden die Turbulenzintensitäten im Zustand nach Zubau für die gesamte Entwurfslebensdauer angesetzt. Dabei werden effektive Turbulenzintensitäten auf Basis von m = 10 berücksichtigt.

Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe [m/s]	Effektive Turbulenzintensität [%]		
	vor Zubau	nach Zubau	Auslegung
3	-	28,9	41,9
5	-	23,9	29,9
7	-	23,0	24,8
9	-	23,2	22,0
11	-	22,0	20,1
13	-	20,5	18,9
15	-	19,4	18,0
17	-	18,2	17,3
19	-	17,2	16,7
21	-	16,5	16,3
23	-	14,9	15,9
25	-	14,5	15,6

Tabelle 5: Turbulenzintensitäten WEA W9

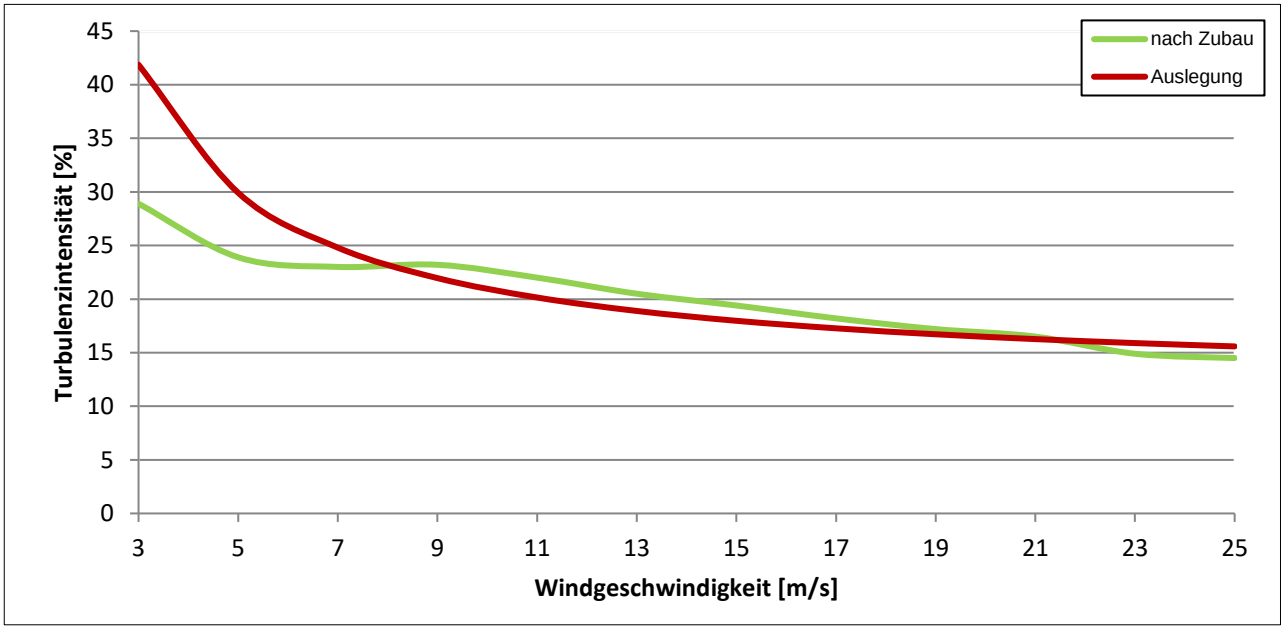

Abbildung 1: Turbulenzintensitäten grafisch WEA W9

Industrie Service

Für die WEA 06, WEA 07 und WEA 08 des Typs VENSYS 126 werden konservativerweise die Turbulenzintensitäten im Zustand nach Zubau für die gesamte Entwurfslebensdauer angesetzt. Dabei werden effektive Turbulenzintensitäten auf Basis von m = 14 berücksichtigt.

Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe [m/s]	Effektive Turbulenzintensität [%]		
	vor Zubau	nach Zubau	Auslegung
3	-	28,8	41,9
5	-	24,1	29,9
7	-	23,5	24,8
9	-	23,8	22,0
11	-	22,7	20,1
13	-	21,1	18,9
15	-	19,8	18,0
17	-	18,4	17,3
19	-	17,2	16,7
21	-	16,3	16,3
23	-	15,1	15,9
25	-	14,6	15,6

Tabelle 6: Turbulenzintensitäten WEA 06, WEA 07 und WEA 08

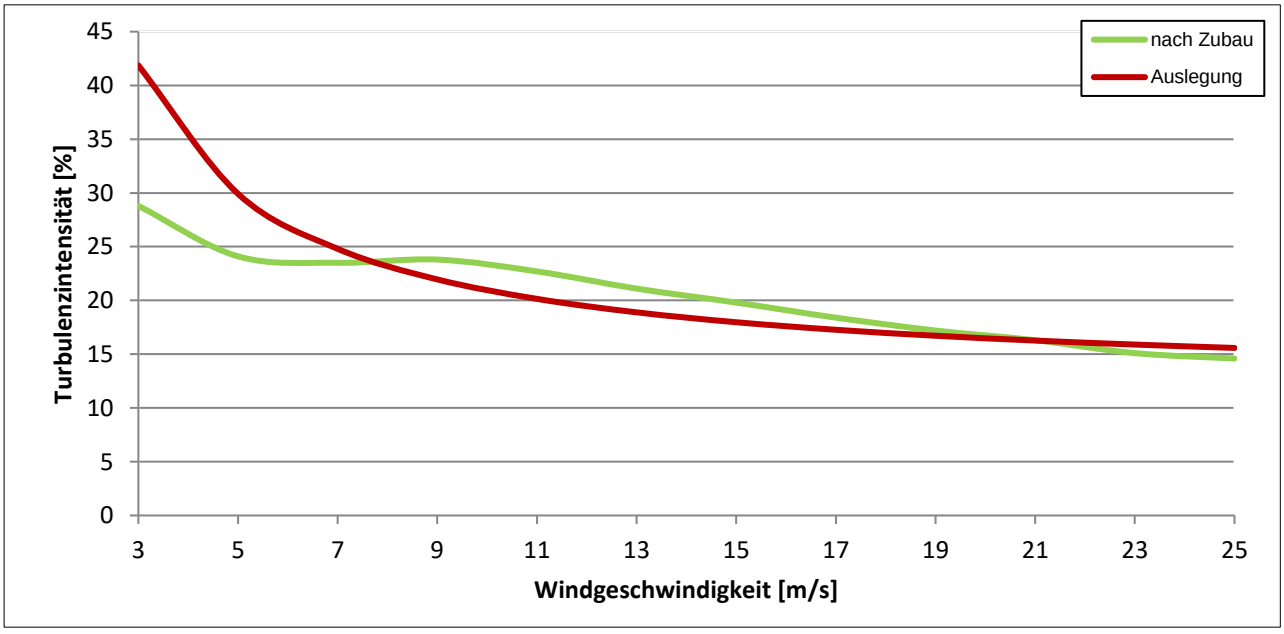

Abbildung 2: Turbulenzintensitäten grafisch WEA WEA 06, WEA 07 und WEA 08

Die Berechnungen für die in Tabellen 1 - 2 aufgelisteten WEA wurden gemäß standort-spezifischen Windbedingungen und gemäß in Tabellen 3 - 4 angegebenen Auslegungsbedingungen anhand eines generischen aeroelastischen Simulationsmodells durchgeführt. Dabei wurden die Anforderungen der Richtlinien /1/ und /2/ zur Durchführung von Lastberechnungen berücksichtigt. Es handelt sich hierbei um einen "Lastvergleich der Betriebsfestigkeitslasten" im Sinne der DIBt-Richtlinie (Fassung März 2015), Kapitel 16.2.c. Der Umstand, dass der Vergleich nicht anhand des Originalmodells des Herstellers durchgeführt wurde, sondern anhand eines generischen Modells, wurde durch die Verwendung von Sicherheitsaufschlägen auf die Standortlasten berücksichtigt. Dadurch ergibt sich ein konservatives Ergebnis der Bewertung im Vergleich zum Nachweis durch den Hersteller.

4. Umfang der Bewertung

Die Ergebnisse der durchgeführten Lastberechnungen für Windbedingungen gemäß Auslegung (siehe Auflage) und gemäß standortspezifischen Windbedingungen wurden miteinander verglichen. Die Windbedingungen inklusive der Windparkeffekte (Nachlaufturbulenz) am Standort „Etteln A33 Erw" wurden [1] entnommen und als richtig angenommen. Eine erneute Prüfung dieser Werte fand im Rahmen der vorliegenden Bewertung nicht statt.

5. Bemerkungen

Für die Bewertung der Standsicherheit wurde davon ausgegangen, dass die zu bewertenden Anlagen über die gesamte Entwurfslebensdauer mit den Turbulenzintensitäten im Zustand nach Zubau betrieben werden. Der genaue Zeitpunkt der Inbetriebnahme dieser zu bewertenden WEA ist daher unerheblich für die Aussage der vorliegenden Bewertung.

5.1 Betriebsfestigkeitslasten

Die Betriebsfestigkeitslasten wurden gemäß den Vorgaben aus /1/ und /2/ ermittelt. Dabei wurden materialabhängig inverse Wöhlerliniensteigungen von 4, 7, 10 und 14 berücksichtigt.

Die relative Änderung der Lasten auf Grund der gegenüber der Auslegung unterschiedlichen Windbedingungen wurden durch den Vergleich von Schädigungsäquivalenten ermittelt.

Die Ergebnisse der Lastvergleiche finden sich in tabellarischer Form in Anhang 2.

5.2 Extremlastfälle

Die vorliegende Bewertung umfasst nur den Vergleich der Betriebsfestigkeitslasten. Gemäß [1] liegen keine Überschreitungen der für die Extremlasten relevanten Auslegungsparameter am Standort vor.

6. Gutachtliche Stellungnahme

Im Rahmen der vorliegenden Bewertung der Standsicherheit wurde für die folgenden WEA unter Verwendung der in [1] dargestellten Turbulenzintensitäten und weiteren Windbedingungen Lastberechnungen durchgeführt:

- 1 WEA des Typs Vestas V126 mit einer Nennleistung von 3600 kW und 117 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA W9 in [1]),
- 3 WEA des Typs VENSYS 126 mit einer Nennleistung von 3800 kW und 137 m Nabenhöhe über Geländeoberkante (WEA 06, WEA 07 und WEA 08 in [1]).

Dabei wurden die Anforderungen der Richtlinien /1/ bis /2/ berücksichtigt.

Vestas V126 „Etteln A33 Erw" (WEA W9)

Die durch die zusätzlichen WEA resultierende Turbulenzerhöhung der Anlagen WEA W9 des Typs Vestas V126 mit einer Nabenhöhe über Geländeoberkante von 117 m wird in der Gesamtbetrachtung über 20 Jahre durch das im Vergleich zur Auslegung niedrigere Jahreswindmittel am Standort kompensiert. An den für die Standsicherheit der WEA maßgeblichen Laststationen ergeben sich durch die zusätzlichen Turbulenzen über einen Gesamtzeitraum von 20 Jahren **keine Lasterhöhungen** gegenüber den Windbedingungen gemäß der Richtlinie DIBt 2012, Windzone S, welche für die Auslegung zu Grunde gelegt wurde (siehe Auflagen).

Die Standsicherheit über den Betriebszeitraum von 20 Jahren der im vorliegenden Bericht betrachteten WEA des Typs Vestas V126 wird durch die Errichtung der geplanten WEA und die damit verbundene zusätzlich induzierte Turbulenzintensität (untersucht in [1]) nicht gefährdet. Die WEA W9 kann ohne eine sektorielle Einschränkung der neu errichteten WEA betrieben werden.

VENSYS 126 „Etteln A33 Erw" (WEA 06, WEA 07 und WEA 08)

Die aus dem geplanten Parklayout resultierende Turbulenzerhöhung WEA 06, WEA 07 und WEA 08 des Typs VENSYS 126 mit einer Nabenhöhe über Geländeoberkante von 137 m wird in der Gesamtbetrachtung über 20 Jahre durch das im Vergleich zur Auslegung niedrigere Jahreswindmittel am Standort kompensiert. An den für die Standsicherheit der WEA maßgeblichen Laststationen ergeben sich durch die zusätzlichen Turbulenzen über einen Gesamtzeitraum von 20 Jahren **keine Lasterhöhungen** gegenüber den Windbedingungen gemäß der Richtlinie DIBt 2012, Windzone 2, welche für die Auslegung zu Grunde gelegt wurde (siehe Auflagen).

Die Standsicherheiten über den Betriebszeitraum von 20 Jahren der im vorliegenden Bericht betrachteten WEA des Typs VENSYS 126 werden durch die Errichtung der geplanten WEA (untersucht in [1]) nicht gefährdet. Die WEA 06, WEA 07 und WEA 08 können ohne eine sektorielle Einschränkung betrieben werden.

Industrie Service

Die nachfolgenden Auflagen sind zu beachten:

Auflagen

1. Die Aussage der vorliegenden Stellungnahme gilt unter der Voraussetzung, dass der Genehmigung der betrachteten WEA W9 des Typs Vestas V126 mit einer Nabenhöhe von 117 m eine Typenprüfung mit einer jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit gemäß DIBt 2012, Windzone S zugrunde lag (siehe Tabelle 3).
2. Die Aussage der vorliegenden Stellungnahme gilt unter der Voraussetzung, dass der Genehmigung der betrachteten WEA 06, WEA 07 und WEA 08 des Typs VENSYS 126 mit einer Nabenhöhe von 137 m eine Typenprüfung mit einer jährlichen mittleren Windgeschwindigkeit gemäß DIBt 2012, Windzone 2 zugrunde lag (siehe Tabelle 4).

TÜV SÜD Industrie Service GmbH

Abteilung Windenergieanlagen

Der Leiter

J. Stauber

Der Sachverständige

C. Schumacher

Industrie Service

Annex 1: Lastsensoren und zugehörige Koordinatensysteme (KOS)

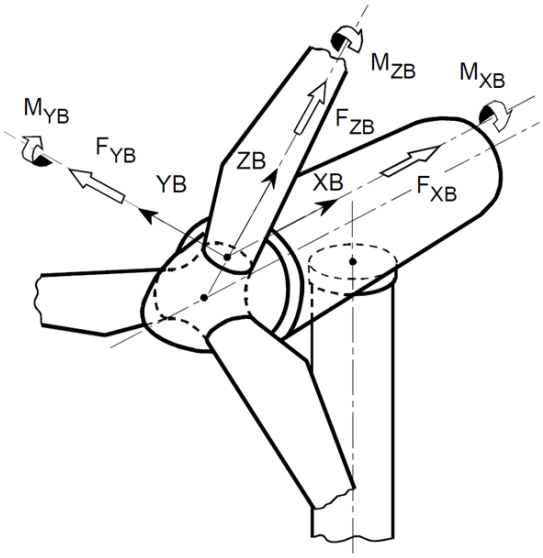

Abbildung 3: Koordinatensysteme Blattlasten, nach GL:2010

Die Blattlasten werden an der Anschlussstelle zur Nabe in Form der Momente in Richtung der Rotorachse (M_{XB}), in Richtung der Pitch-Achse (M_{ZB}) und senkrecht zu den beiden erstgenannten (M_{YB}) ausgewertet. Die Auswertung geschieht im nabenfesten Koordinatensystem (Abbildung 3).

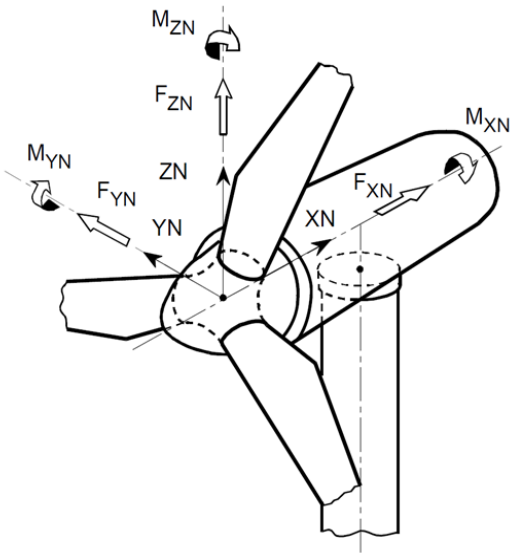

Abbildung 4: Koordinatensysteme Nabe, nach GL:2010

Die Nabenlasten werden an der Schnittstelle zwischen Blatt- und Rotorachse in Form der Momente in Richtung der Turm-Achse (M_{ZN}) und in der Rotorebene, senkrecht zur Turmachse (M_{YN}) ausgewertet. Die Auswertung geschieht im feststehenden Koordinatensystem (Abbildung 4).

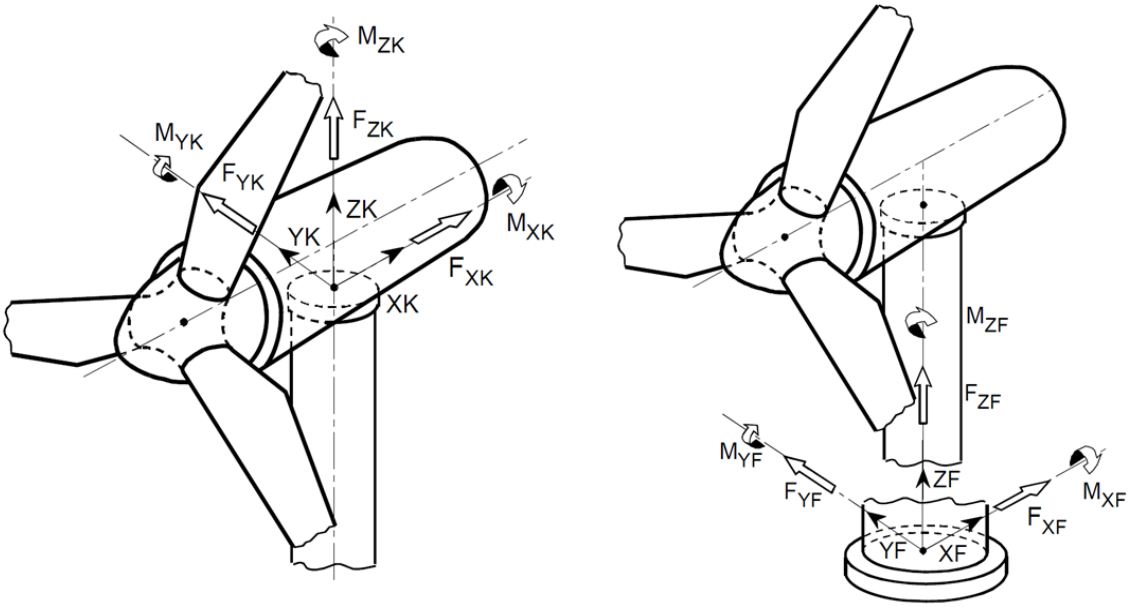

Abbildung 5: Koordinatensysteme Turmkopf (links) und Turmfuß (rechts), nach GL:2010

Die Turmlasten werden im Zentrum des obersten und untersten Querschnitts des Turmes in Form der Momente in Richtung der Turm-Achse (M_{ZK}) und in der Rotorebene, senkrecht zur Turmachse (M_{YK}, M_{YF}) ausgewertet. Die entsprechenden Koordinatensysteme sind für Turmkopf (links) und Turmfuß (rechts) in Abbildung 5 dargestellt.

Industrie Service

Annex 2: Schädigungsäquivalente Lasten

Im Folgenden sind die Werte der schädigungsäquivalenten Lasten an den für die Beurteilung der Standsicherheit der Windenergieanlagen maßgeblichen Laststationen angegeben. Die ermittelten Werte wurden normiert und beziehen sich auf diejenigen Lasten, die sich gemäß Auslegungsbedingungen ergeben. Damit zeigt ein Wert größer als 1 ein Überschreiten der Last im Vergleich zur Auslegung an der jeweiligen Laststation an.

Vestas V126 (WEA W9)

Gesamtbetrachtung über Betriebszeitraum von 20 Jahren:

Prognose DEL 20a								
	Blattwurzel, nabenfest			Nabe, fix		Turmkopf		Turmfuß
Wöhler-linie [-]	Mx [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]
4	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
7			≤1		≤1	≤1	≤1	≤1
10	≤1	≤1		≤1				
14								

VENSYS 126 (WEA 06, WEA 07 und WEA 08)

Gesamtbetrachtung über Betriebszeitraum von 20 Jahren:

Prognose DEL 20a								
	Blattwurzel, nabenfest			Nabe, fix		Turmkopf		Turmfuß
Wöhler-linie [-]	Mx [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]	Mz [-]	My [-]
4	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1	≤1
7			≤1		≤1	≤1	≤1	≤1
10	≤1	≤1		≤1				
14	≤1	≤1						