

**S-N / 180147-1**

Nürnberg 22.11.2018  
0911 81771-301

## **Prüfbericht zur Typenprüfung**

**Gegenstand:** Windenergieanlage eno126 137mHH 4.0 MW,  
Nabenhöhe 137 m  
WZ 4, GK II (DIBt-Richtlinie 2012)

**Hier:** Stahlturm

**Auftraggeber:** eno energy systems GmbH  
Swienskühlenstr. 5  
18147 Rostock

**Auftrag vom:** 17.05.2018

**Hersteller:** eno energy systems GmbH  
Swienskühlenstr. 5  
18147 Rostock

**Ersteller der statischen Unterlagen:**

Andreas Kiehn UG  
Rosenthaler Weg 13  
21389 Neetze

(Statische Berechnung  
+ Zeichnungen)

eno energy systems GmbH  
Swienskühlenstr. 5  
18147 Rostock

(Zeichnungen)

**Geltungsdauer:** Bis 30.11.2023

Revision	Datum	Änderungen
0	22.11.2018	Erstausgabe

## 1 Prüfungsunterlagen

### 1.1 Statische Berechnung:

- 1.1.1 Unterlage Nr. 170524 ENO126 137 Turm TF2 4MW.xls  
Eno126 137mHH 4.0 MW  
Stahlrohrturm 137m HH  
DIBt WZ 4 GK 2 (2012) Rev. 0  
vom 24.05.2017  
Seite 1 – 79
- 1.1.2 Unterlage  
Anhang Nachweis Türzarge  
Anlage ENO126 Stahlrohrturm Nabenhöhe 137m Rev. 0  
vom 04.04.2016  
Seite 1 - 47
- 1.1.3 Unterlage  
Stahlrohrturm ENO 114 142m Nabenhöhe  
Bemessung mit vertikaler Längsteilung Rev. 0  
vom 03.11.2015  
Seite 1 - 34
- 1.1.4 Unterlage  
Eno126 137mHH 4.0MW  
Stahlrohrturm 137m HH  
Nachtrag Schubbeanspruchung Ringflansche Rev. 2  
vom 08.11.2018  
Seite 1 - 2
- ### 1.2 Konstruktionszeichnungen:
- 1.2.1 Plan Nr. 100980004 Blatt 1 + 2,  
Stahlrohrturm  
eno114 – 142\_eno126 -137 Rev. 4  
vom 15.11.2017
- 1.2.2 Plan Nr. 101079603,  
Stahlrohrturm S1 – T1  
eno126 -137 - T1 Rev. 3  
vom 15.11.2017
- ### 1.3 Sonstige Unterlagen:
- 1.3.1 Report Nr. 2016-88  
der Aerodynamik Consult GmbH,  
Load Assessment for the Wind Energy Turbine eno 126 137mHH 4.0 MW  
IEC ed3 TC IIA / DIBt WZ 4 GK 2 (2012) Rev. 1  
vom 19.05.2017  
113 Seiten

#### 1.4 Grundlegende Unterlagen:

##### 1.4.1 Die gültigen technischen Regeln, insbesondere:

- DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Stand 10.2012 – Korrigierte Fassung 03.2015
- DIN EN 61400-1: 2011-08, Windenergieanlagen - Teil 1: Auslegungsanforderungen (IEC 61400-1:2005+ A1:2010)
- DIN EN 1992-1-1: 2011-01 + NA: 2011-01, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- DIN EN 1993-1-1: 2010-12 + NA: 2010-12 + A1:2014-07, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
- DIN EN 1993-1-6: 2010-12 + NA: 2010-12, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Teil 1-6: Festigkeit und Stabilität von Schalenträgwerken
- DIN EN 1993-1-9: 2010-12 + NA: 2010-12, Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten: Teil 1-9: Ermüdung
- DIN EN 1998-1: 2010-12 + NA: 2011-01 + A1:2013-05, Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 1: Grundlagen, Erdbebeneinwirkungen und Regeln für Hochbauten

##### 1.5 Weitere erforderliche Unterlagen nach DIBt-Richtlinie 2012, Kap. 3, Abs. I:

- |       |  |                                       |
|-------|--|---------------------------------------|
| 1.5.1 | Gutachterliche Stellungnahme Nr. R11927558-1-de der DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH, Lastannahmen für die Windenergieanlage eno126                            | Rev. 0<br>vom 30.10.2017<br>10 Seiten |
| 1.5.2 | Gutachterliche Stellungnahme Nr. R11927558-2-de der DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH, Sicherheitseinrichtungen und Handbücher für die Windenergieanlage eno126 | Rev. 1<br>vom 21.06.2018<br>7 Seiten  |
| 1.5.3 | Gutachterliche Stellungnahme Nr. R11927558-3-de der DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH, Rotorblatt EB61.6 für die Windenergieanlage eno126                       | Rev. 0<br>vom 23.11.2017<br>9 Seiten  |
| 1.5.4 | Gutachterliche Stellungnahme Nr. R11927558-4-de der DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH, Maschinenbauliche Komponenten für die Windenergieanlage eno126           | Rev. 0<br>vom 11.09.2018<br>15 Seiten |
| 1.5.5 | Gutachterliche Stellungnahme Nr. R11927558-6-de der DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH, Elektrische Komponenten für die Windenergieanlage eno 114 & eno126       | Rev. 0<br>vom 06.09.2018<br>16 Seiten |

## 2 **Baubeschreibung und Inhalt der geprüften Unterlagen**

### 2.1 Baubeschreibung:

Der Turm für die Anlage eno126 137mHH 4.0 MW besteht aus insgesamt 6 Sektionen, die werkseitig aus Stahlsegmenten zusammengeschweißt werden. Die unterste Sektion ist geteilt und besteht aus zwei Halbschalen, die mittels angeschweißten Längssteifen miteinander verschraubt werden.

Die horizontale Verbindung der Sektionen untereinander wird auf der Baustelle mit geschraubten Ringflanschverbindungen hergestellt.

Die Turmgeometrie wird nachfolgend zusammengefasst:

UK Turm	$h = 1,50 \text{ m}$ über GOK
Turmhöhe gesamt	$h = 134,86 \text{ m}$ über OK Gelände
Nabenhöhe	$h = 137 \text{ m}$ über OK Fundament
Durchmesser, Stahlsegment, OK Turm	$d_a = 3240 \text{ mm}$
Durchmesser Stahlsegment, OK Fundament	$d_a = 5000 \text{ mm}$
Wanddicken Stahl, abgestuft	$t = 52, 42, 41, 36, 35, 34, 33, 32, 31, 30, 29, 28, 27, 26, 25, 24, 23, 22, 21, 20, 19, 18, 17, 16 \text{ mm}$
HV-Garnituren 10.9, DIN EN 14399	M36
HV-Garnituren 10.9, DAST 021	M48, M56, M64

Die Verankerung des Stahlrohrturms in das Fundament erfolgt mit einem Ankerkorb: Die Einleitung der Lasten in das Fundament erfolgt über einen kreisförmigen T-Flansch ( $b/t = 400 / 90 \text{ mm}$ ) und 160 vorgespannten Ankern M42 10.9.

Die Zuglasten werden durch die Anker an die untere Ankerplatte ( $b/t = 350 / 75 \text{ mm}$ ) weiter- und von dieser als Druckspannungen in das Fundament eingeleitet.

Die Drucklasten werden über den Fußflansch als Druckspannungen in den Fundamentsockel eingeleitet.

## 2.2 Inhalt der geprüften Unterlagen:

- Statische Berechnungen und Konstruktionszeichnungen des Stahlturms der Anlage eno126 137mHH 4.0 MW der eno energy systems GmbH mit 137 m Nabenhöhe über OK Fundament.
- Die folgenden Bauteile sind nicht Bestandteil dieses Prüfberichts:  
Der Turmkopfflansch ist Bestandteil der maschinenbaulichen Komponenten (s. Ziff. 1.5.4).  
Der Ankerkorb wird im Rahmen der Prüfung des Fundaments behandelt, der Fußflansch ist noch Bestandteil dieses Prüfberichts.  
Das Fundament wird im Rahmen eines separaten Prüfberichts behandelt.

### 3 Einwirkungen

- 3.1 Eigenlasten nach DIN EN 1991-1-1 + NA:2010-12
- 3.2 Turmkopfmasse der Anlage  
eno126 137mHH 4.0 MW: 208 to
- 3.3 Lasten aus gesamtdynamischer Berechnung nach Angabe aus den zertifizierten Lastberechnungen von Aerodynamik Consult GmbH, erstellt für die Windlastzonen  
eno126 137mHH 4.0 MW: DIBt (2012) Windzone 4, Geländekategorie II
- 3.4 Schiefstellung des Turms von 8 mm/m
- 3.5 Erdbebenlasten nach DIN EN 1998-1 + NA:2010-12  
Erdbebenzone 0

### 4 Baustoffe

- 4.1 Stahlsektionen
  - 4.1.1 Baustahl
    - S355J0 (Turmblech  $\leq 36$  mm)
    - S355J2+N (Turmblech  $> 36$  mm, Türzarge, Längsflansch)
    - S355NL (Verbindungsflansche, T-Flansch)
  - 4.1.2 Schrauben
    - Festigkeitsklasse 10.9 (HV-Schrauben)
- 4.2 Ankerkorb
  - 4.2.1 Baustahl
    - S355J2 (Ankerplatte)
  - 4.2.2 Anker
    - Festigkeitsklasse 10.9

### 5 Baugrund und Grundwasserverhältnisse

- 5.1 Die Gründung und Fundamentankerorb (inkl. T-Flansch) ist nicht Gegenstand dieses Prüfberichtes. Sie wird in einem gesonderten Prüfbericht behandelt.
- 5.2 Für die Boden-Bauwerk-Interaktion wurde der Boden als Feder mit definierten Steifigkeiten modelliert. Die Typenprüfung ist daher nur gültig für Gründungsverhältnisse, die die Einhaltung der folgenden Federkennwerte gewährleisten:

$$\begin{aligned} \text{Drehfedersteifigkeit: } K_{\varphi, \text{dyn}} &= 140000 \text{ MNm/rad} \\ K_{\varphi, \text{stat}} &= 28000 \text{ MNm/rad} \end{aligned}$$

Während der Montage des Fundamenteinbauteils (Bauzustand) muss der anstehende Boden die auftretende Bodenpressung aufnehmen können.

Die Einhaltung dieser Forderungen ist durch einen Sachverständigen für Geotechnik zu bescheinigen.

## 6 Prüfergebnis

- 6.1 Die geprüften Unterlagen nach Ziffer 1.1 und 1.2 entsprechen hinsichtlich der Standsicherheit in statischer Hinsicht den eingeführten Technischen Baubestimmungen. Sie sind vollständig und richtig.
- 6.2 Gegen die Ausführung der durch die geprüften Konstruktionszeichnungen erfassten Bauteile bestehen, unter Beachtung der nachfolgenden Hinweise, hinsichtlich der Standsicherheit, keine Bedenken.
- 6.3 Für die Ausführung der geschweißten Stahlkonstruktion sind die Anforderungen der Ausführungsklasse EXC3 nach DIN EN 1090 zu erfüllen.
- 6.4 Die Nachweise für wirbelerregte Schwingungen in Querrichtung (Querschwingungen) wurden auf Grundlage der DIBt-Richtlinie geführt. Folgende Anforderungen für den Errichtungszustand sind zu beachten:

Der Nachweis des Turms ohne Gondel wurde für 0,5 Jahre erbracht und ist ohne weiteren Nachweis auf diese Dauer zu begrenzen.

Der Nachweis des Zustandes des Stillstandes und der Wartung der Anlage wurde für 1 Jahr erbracht und ist ohne weiteren Nachweis auf diese Dauer zu begrenzen.

## 7 Besondere Hinweise

- 7.1 Teile der statischen Berechnung wurden durch unabhängige Vergleichsrechnungen geprüft. Dabei wurden die Ausgangswerte und die für die Beurteilung der Tragfähigkeit erforderlichen Endergebnisse überprüft.
- 7.2 Die Beanspruchungen des Turmes für die Grenzzustände der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit wurden den vorgelegten gesamtdynamischen Berechnungen entnommen (Ziff. 1.3.1). Diese Lasten wurden durch die DEWI-OCC Offshore and Certification GmbH geprüft und zertifiziert (Ziff. 1.5.1).

Die in den geprüften Unterlagen angesetzten Lasten und deren Grundlagen werden somit als richtig vorausgesetzt.

Die in den Lastgutachten beschriebenen regelungstechnischen Randbedingungen müssen im Betrieb eingehalten werden.

Der Turm wurde für eine Lebensdauer von 20 Jahren bemessen.

- 7.3 Bauzustände wurden nicht untersucht. Die Standsicherheit der Konstruktionsteile und des Gesamtbauwerks muss durch geeignete Sicherungsmaßnahmen in jeder Phase gewährleistet werden.
- 7.4 Die erste Eigenfrequenz des Turmes inkl. Gondel und Rotor wurde durch Aerodynamik Consult GmbH für die Anlage ermittelt. Die Eigenfrequenzen sind in nachfolgender Tabelle wiedergegeben.

	$K_{\phi, dyn}$	elastisch
1. Eigenfrequenz $f_1$ [Hz]		0,155
2. Eigenfrequenz $f_2$ [Hz]		0,893

Es ist nachzuweisen, dass die 1. Eigenfrequenz mit einer hinreichenden Genauigkeit (Abweichung  $\leq 5\%$ ) für jeden Standort eingehalten werden.



- 7.5 Alle Stumpfnähte der Turmschüsse und die Schweißnähte zwischen Flansch und Turmwandung sind gem. DIN EN 1090 auf mind. 10% der Nahtlänge zerstörungsfrei zu prüfen. Sollten sich unzulässige Fehler (EN ISO 5817, Bewertungsgruppe B) zeigen, ist der Prüfumfang zu verdoppeln und bei weiteren hierbei auftretenden Fehlern 100% der Nahtlänge zu prüfen. Dies gilt entsprechend für die Schweißnähte zwischen Tür- bzw. Lüftungszarge und Turmwandung. (falls vorhanden).
- 7.6 Die Stahlkonstruktion ist durch ein geeignetes Korrosionsschutzsystem vor Korrosion zu schützen. Die Wirksamkeit ist fortlaufend zu kontrollieren und gegebenenfalls wiederherzustellen.
- 7.7 Der Nachweis des Kopfflansches und der Schraubenverbindung am Turmkopf zur Maschine ist nicht Gegenstand dieser Prüfung. Entsprechende Nachweise wurden geführt und zertifiziert (s. Ziff. 1.5.4).
- 7.8 Innerhalb des ersten Halbjahres nach der Montage, jedoch nicht unmittelbar nach der Inbetriebnahme, muss die planmäßige Vorspannung der Schrauben in den L-Flanschen durch Überprüfung und gegebenenfalls Nachspannen sichergestellt werden.
- 7.9 Die Prüfung von Innenausbauten und der Besteigeeinrichtung ist nicht Gegenstand dieser Prüfung. Diese sind entsprechend den anerkannten Regeln der Technik ausreichend konstruktiv auszubilden und ggf. vor Bauausführung bautechnisch zu prüfen.
- 7.10 Für die Ausführung gilt die DIBt-Richtlinie (2012) in Verbindung mit DIN EN 1090.

## **8 Für den Bauantrag im Einzelfall erforderliche Unterlagen**

- 8.1 Vorliegender Prüfbericht zur Typenprüfung SN / 170271-1
- 8.2 Konstruktionszeichnungen gem. Ziffer 1.2
- 8.3 Geotechnischer Bericht
- 8.4 Abnahme und Kontrollprüfung der Gründungssohle durch den Ersteller des geotechnischen Berichts.


## **9 Sonstige Bemerkungen**

- 9.1 Die statische Typenprüfung ersetzt weder eine ggfs. erforderliche Baugenehmigung, noch andere für die Ausführung von Bauvorhaben erforderliche öffentlich-rechtliche Gestattungen.
- 9.2 Diese statische Typenprüfung entbindet den Anwender zwar von der nochmaligen statischen Prüfung der Berechnungsunterlagen, nicht jedoch von der Verpflichtung, im Einzelfall die Übereinstimmung mit den Voraussetzungen und Anwendungsgrenzen der Typenprüfung zu überprüfen.
- 9.3 Die geprüften Unterlagen dürfen nur in der vom Prüfamt genehmigten Originalfassung verwendet oder veröffentlicht werden. In Zweifelsfällen sind die beim Prüfamt für Standsicherheit befindlichen geprüften Unterlagen maßgebend.
- 9.4 Die Geltungsdauer dieser Typenprüfung kann auf Antrag jeweils um 5 Jahre verlängert werden, wenn dieses vor Ablauf der Frist schriftlich beantragt wird.
- 9.5 Sollten sich vor Ablauf der Geltungsdauer der Typenprüfung wesentliche Änderungen ergeben
  - in statisch konstruktiver Hinsicht
  - hinsichtlich der Nutzungsart

- hinsichtlich der dieser statischen Typenprüfung zugrunde liegenden technischen Baubestimmungen, Zulassungen oder bautechnischen Erkenntnisse,

so hat der Inhaber der Typenprüfung dies beim Prüfamt anzuzeigen. Das Prüfamt entscheidet dann über das weitere Vorgehen.

Der Bearbeiter



Dipl.-Ing. M. Gehlhaar  
Baurat

Der Leiter:



Dipl.-Ing. P. Hofmann  
Baudirektor