

## Technische Beschreibung für die Windenergieanlage (WEA)

### eno 160

eno energy systems GmbH  
 Am Strände 2e  
 18055 Rostock  
 Tel.: (+49) (0)381 203792-0  
 Fax.: (+49) (0)381 203792-101  
 info@eno-energy.com  
 www.eno-energy.com

Autor: Tony Maaß	Bearbeiter: Nicol Brudnikow	Freigabe: Stefan Bockholt
		 eno energy systems GmbH Am Strände 2e 18055 Rostock
Ort, Datum	Ort, Datum	Ort, Datum
Rostock, den 07.12.2020	Rostock, den 08.06.2021	Rostock, den 08.06.2021

**Dieses Dokument ist nur mit entsprechendem Freigabevermerk gültig.**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	1 von 32

**Vermerk zur Aktualisierung**

Das Dokument - *eno160\_Technische\_Beschreibung\_de\_rev1.docx* – unterliegt keiner automatischen Aktualisierung und dient lediglich der Information.

Durch Produktentwicklung und Optimierung können sich Inhalte des Dokumentes, ohne vorherige Ankündigung, ändern.

Jeder Nutzer des Dokumentes hat eigenverantwortlich sicherzustellen, dass er die jeweils aktuelle und gültige Ausgabe des Dokumentes nutzt.

**Schutzvermerk entsprechend ISO 16016****Copyright © 2021 eno energy systems GmbH**

Weitergabe sowie Vervielfältigung dieses Dokumentes - *eno160\_Technische\_Beschreibung\_de\_rev1.docx*, Verwertung und Mitteilung seines Inhalts sind verboten, soweit nicht ausdrücklich gestattet. Zuwiderhandlungen verpflichten zu Schadensersatz. Alle Rechte für den Fall der Patent-, Gebrauchsmuster-, oder Geschmacksmustereintragung vorbehalten.

---

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	2 von 32

Datum: 08.06.2021

# Technische Beschreibung

eno160\_Technische\_Beschreibung\_de\_rev1.docx



## Änderungsverlauf

Rev.	Datum	Name	Änderungen
0	07.12.2020	Tony Maaß	Alle Seiten, Neues Dokument
1	25.05.2021	Nicol Brudnikow	Trafo im Turm und Mittelspannungs-Netzanbindung eingefügt; Ergänzung und Aktualisierung Abbildungen zum Einspeisesystem; Aktualisierung der Normen, Ergänzung Beton-Hybridtürme

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	3 von 32

**Inhaltsverzeichnis**

1	Gültigkeit .....	8
2	Einleitung.....	8
3	Allgemeine Konzeptbeschreibung.....	8
3.1	Technische Grundparameter der WEA .....	9
4	Auslegungsparameter und Umweltbedingungen .....	10
4.1	Grundparameter .....	10
4.2	Klimatische Verhältnisse .....	10
4.2.1	Temperaturen .....	10
4.2.2	Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte .....	10
4.3	Windgeschwindigkeiten .....	11
5	Konstruktions- und Zertifizierungsbedingungen.....	12
5.1	Lastsimulation.....	12
5.2	Zertifizierung .....	12
5.3	Typenprüfung.....	12
6	Technische Beschreibung .....	13
6.1	Rotor .....	13
6.1.1	Rotorblätter .....	13
6.1.2	Serration .....	14
6.1.3	Blattlager.....	14
6.1.4	Blattverstellantrieb .....	15
6.1.5	Nabe .....	15
6.2	Gondel .....	15
6.2.1	Mechanischer Triebstrang .....	15
6.2.2	Wellenlagerung.....	16
6.2.3	Rotorwelle.....	16
6.2.4	Getriebe .....	17
6.2.5	Kupplung.....	18
6.2.6	Maschinen- und Generatorträger .....	18
6.2.7	Windnachführungssystem .....	19
6.2.8	Kühlsystem .....	20
6.2.9	Gondel- und Nabenverkleidung.....	21
6.2.10	Onboard Kransystem.....	22
6.3	Elektrisches System .....	23
6.3.1	Elektrisches Einspeisesystem .....	23
6.3.2	Maschinensteuerung .....	24

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	4 von 32

6.3.3	Blattverstellsystem.....	24
6.4	Mittelspannungs-Netzanbindung.....	25
6.5	Blitzschutz.....	26
7	Regelungssystem.....	27
7.1	Drehzahl- und Leistungsregelung.....	27
7.1.1	Optimalbetrieb .....	27
7.1.2	Konstantdrehzahlbetrieb.....	28
7.1.3	Konstantleistungsbereich .....	28
7.2	Windrichtungsnachführung.....	28
8	Sicherheitssystem .....	29
8.1	Bremssystem .....	29
8.1.1	Rotorbremse .....	29
8.2	Arretiersysteme .....	29
8.2.1	Rotorarretierungssystem .....	29
8.2.2	Arretiersystem des Blattverstellsystems.....	29
9	Farbgebung .....	30
9.1	Übersichtszeichnung .....	30
9.2	Farbspezifikation der Komponenten.....	31
9.2.1	Standardausführung .....	31
9.3	Sonderausführung .....	31
10	Abmessungen und Massen .....	32
10.1	Abmessungen.....	32
10.2	Massen .....	32

**Tabellenverzeichnis**

Tabelle 4-1:	Technische Grundparameter der Anlagenplattform.....	10
Tabelle 4-2:	Temperaturbereiche für Standard- und Extrembedingungen .....	10
Tabelle 4-3:	Umweltbedingungen.....	10
Tabelle 4-4:	Auslegungsrelevante Windgeschwindigkeiten für eno 160.....	11
Tabelle 6-1:	Technische Daten Rotor.....	13
Tabelle 6-2:	Technische Daten Rotorblatt.....	14
Tabelle 6-3:	Technische Daten Blattlager .....	14
Tabelle 6-4:	Technische Daten Blattverstellgetriebe.....	15
Tabelle 6-5:	Technische Daten Gussrotornabe.....	15
Tabelle 6-6:	Technische Daten Lagergehäuse .....	16
Tabelle 6-7:	Technische Daten Festlager .....	16

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	5 von 32

Tabelle 6-8: Technische Daten Loslager.....	16
Tabelle 6-9: Technische Daten Rotorwelle .....	16
Tabelle 6-10: Technische Daten Hauptgetriebe.....	17
Tabelle 6-11: Technische Daten Kupplung .....	18
Tabelle 6-12: Technische Daten Maschinen- und Generatorträger .....	18
Tabelle 6-13: Technische Daten Azimutlager .....	19
Tabelle 6-14: Technische Daten Azimutantrieb .....	19
Tabelle 6-15: Technische Daten Azimutbremsen .....	20
Tabelle 6-16: Technische Daten Getriebekühlung.....	20
Tabelle 6-17: Technische Daten Generatorkühlung .....	21
Tabelle 6-18: Technische Daten Frequenzumrichter kühlung .....	21
Tabelle 6-19: Technische Daten Gondel- und Nabenverkleidung .....	21
Tabelle 6-20: Technische Daten Kransystem .....	22
Tabelle 8-1: Technische Daten Rotorbremse.....	29
Tabelle 9-2: Farbspezifikation der Sonderausführung .....	31
Tabelle 10-1: Abmessungen der Rotorblätter .....	32
Tabelle 10-2: Abmessungen der Rotornabe mit Spinner .....	32
Tabelle 10-3: Abmessungen der Gondel.....	32
Tabelle 10-4: Abmessungen des Triebstrangs.....	32
Tabelle 10-5: Zusammenfassung der Massen .....	32
<b>Abbildungsverzeichnis</b>	
Abbildung 6-1: Übersicht Einspeisesystem .....	23
Abbildung 6-2: Übersicht Einspeisesystem mit externer Trafostation.....	25
Abbildung 7-1: Regelbereiche .....	27
Abbildung 9-1: Komponentenübersicht der Windenergieanlage.....	30

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	6 von 32

**Verzeichnis der Abkürzungen**

<b>Abkürzung</b>	<b>Erklärung / Erläuterung</b>
B6H	Sechspulsige halbgesteuerte Drehstrombrückenschaltung
CFK	Glasfaserverstärkte Kunststoffe
DIBt	Deutsches Institut für Bautechnik
DIN	Deutsches Institut für Normung
EMV	Elektromagnetische Verträglichkeit
FEM	Finite – Elemente – Methode
GFK	Kohlefaserverstärkte Kunststoffe
IEC	International Electrotechnical Commission
IGBT	Insulated gate bipolar transistor (Halbleiterbauelement)
NH	Nabenhöhe
USV	Unterbrechungsfreie Stromversorgung
WEA	Windenergieanlage

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	7 von 32

## 1 Gültigkeit

Dieses Dokument ist für den (die) folgenden Windenergieanlantentyp(en) der eno energy systems GmbH gültig:

- eno 160 (alle Nabenhöhen)

## 2 Einleitung

Die Produktplattform eno 160 ist eine Entwicklung der eno energy systems GmbH für den Onshore-Markt. In den folgenden Absätzen wird zunächst das allgemeine Konzept der Windenergieplattform beschrieben und die wichtigsten Parameter der Anlage genannt. Im weiteren Verlauf wird auf die Konstruktionsvorgaben und Zertifizierungsbestimmungen eingegangen, die maßgebend für die Entwicklung der Windenergieanlage sind. Anschließend wird der technische Aufbau der Anlage mit seinen einzelnen Komponenten der Anlage detaillierter darstellt. Die letzten Absätze dieses Dokumentes befassen sich mit den Besonderheiten des Konzepts bezüglich Montage, Errichtung, Wartung und Service der WEA.

## 3 Allgemeine Konzeptbeschreibung

Bei der eno 160 handelt es sich um eine drehzahlvariable, full-span-pitch Windenergieanlage (WEA) mit fremderregten Synchrongenerator und einer elektrischen Nennleistungsbereich von 5400 kW bis 6000 kW

Als Antrieb dient ihr ein dreiblättriger, luvseitig angeordneter Rotor mit einem Durchmesser von 160 m. Die Leistungsregelung der WEA erfolgt über ein elektrisches AC Pitchsystem, welches durch drei voneinander unabhängig verstellbare Blattachsen für eine hohe Systemsicherheit sorgt. Jedes Rotorblatt wird von einem elektromechanischen Antrieb über eine innenverzahnte Kugeldrehverbindung verstellt.

Die eno 160 zeichnet sich durch ein erprobtes Triebstrangkzept aus, welches sich bereits bei der eno 114 und eno 126 bewährt hat. Das Antriebsstrangkzept basiert auf einer aufgelösten Form des Triebstranges, der so genannten Vierpunktlagerung, bestehend aus zwei Hauptlagern und den Auflagern des Hauptgetriebes.

Beim Hauptgetriebe setzt die eno energy systems GmbH auf das bewährte Konzept eines Planeten-Stirnrad-Getriebe mit zwei Planetenstufen und einer Stirnradstufe. Wodurch sich eine hohe Systemsicherheit für den Antriebstrang gewährleisten lässt.

Die Wandlung der mechanischen Leistung in elektrische Leistung erfolgt im drehzahlvariablen, luftgekühlten und fremderregten Synchrongenerator, der seine Drehmomentvorgaben von wassergekühlten IGBT Frequenzumrichtern erhält.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	8 von 32



Diese Konverter sind für 100 % der elektrischen Nennleistung ausgelegt und erfüllen im Zusammenspiel mit Generator und Turbinenregelung die Anforderungen der NELEV und anderer einschlägiger Verordnungen bzw. Richtlinien.

Eine Ausrichtung der WEA in die jeweils vorherrschende Windrichtung erfolgt durch ein aktives Windnachführungssystem, bestehend aus acht (zehn) elektromechanischen Antrieben und einer außenverzahnten Kugeldrehverbindung. Für Wartungs- und Servicearbeiten ist die WEA mit einem Kransystem ausgestattet, über das jeder Punkt des Gondelinnenraums erreicht werden kann.

### 3.1 Technische Grundparameter der WEA

Aufgrund der langjährigen positiven Ergebnisse mit der Lagerkonzeption des aufgelösten Triebstranges, wurde für das Grunddesign der neuesten Windenergieanlage wieder auf die bewährte und robuste Technologie zurückgegriffen. Hiermit lassen sich die hohen dynamischen und statischen Lasten des Rotors bereits über die Rotorwelle und die Hauptlager in den Maschinenträger einleiten, wodurch eine zwangsfreie Lagerung des Getriebes ermöglicht werden kann. Dem Getriebe wird nur das zur Energiewandlung benötigte Drehmoment zugeführt. Hierdurch lässt sich die Betriebssicherheit des Getriebes im Gegensatz zur Dreipunktlagerung vergrößern. Im Vergleich zur Dreipunktlagerung wird das Getriebe entschieden entlastet und die leichte Einzelaustauschbarkeit der Großkomponenten, wie Getriebe und Generator, ermöglicht.

Charakterisieren lässt sich die eno 160 durch folgende Merkmale:

- Aufgelöstes Triebstrangkonzzept (Vierpunkt Lagerung)
- modularer Aufbau der Gondel
- Wartungsfreundlichkeit
- Einzelaustauschbarkeit der Hauptkomponenten Hauptlager, Getriebe, Generator
- luftgekühlter Generator
- Öl-luftgekühltes Getriebe
- drehzahlvariables Generator-/ Umrichtersystem mit fremderregten Synchrongenerator

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	9 von 32

## 4 Auslegungsparameter und Umweltbedingungen

### 4.1 Grundparameter

	<b>eno 160</b>
Rotordurchmesser	160 m
Nenndrehzahl	9,8 min <sup>-1</sup>
Elektrische Nennleistung	5400 bis 6000 kW
Anlaufwindgeschwindigkeit	3 m/s
Abschaltwindgeschwindigkeit	24 m/s
Wiedereinschaltwindgeschwindigkeit	21 m/s
Nennwindgeschwindigkeit	12,5 m/s (5400 kW) / 13,5 m/s (6000 kW)

Tabelle 4-1: Technische Grundparameter der Anlagenplattform

### 4.2 Klimatische Verhältnisse

#### 4.2.1 Temperaturen

	Standard Klimabedingungen	extrem kalte Klimabedingungen	extrem heiße Klimabedingungen
operativ	-15°C bis 40°C	-30°C bis 35°C	-15 °C bis 40°C
Überleben (Stillstands- oder Trudelzustand)	-20°C bis 50°C	-40°C bis 40°C	-20°C bis 50°C

Tabelle 4-2: Temperaturbereiche für Standard- und Extrembedingungen

Die Windenergieanlage ist für den Betrieb in einer Umgebungstemperatur von -15°C bis +40°C ausgelegt. Außerhalb dieses Temperaturbereichs sind zusätzlich technische und regelungstechnische Anpassungen notwendig.

#### 4.2.2 Umwelteinflussgrößen und deren Grenzwerte

Beschreibung	Klassifikation
Luftfeuchtigkeit	Bis zu 100 % rel. Luftfeuchtigkeit (IEC 60721-3-3 3K7:10-100%) max. 10% der Auslegungslebensdauer
Klimatische Umweltbedingungen	3K7 / 3Z12 / 3Z2 / 3Z4 / 3Z7 nach ISO 60721
Biologische Umweltbedingungen	3B2 nach ISO 60721
Chemisch aktive Stoffe	3C2 nach ISO 60721
Mechanisch aktive Stoffe	3S3 nach ISO 60721

Tabelle 4-3: Umweltbedingungen

Die relative Luftfeuchtigkeit kann bis zu 100 % betragen, jedoch darf die Summe der Zeitabschnitte, in denen sie diesen Wert erreicht, 10 % der Lebensdauer nicht überschreiten.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	10 von 32

### 4.3 Windgeschwindigkeiten

Die Auslegungswindgeschwindigkeiten weitere Nabenhöhen können auf Anfrage bereitgestellt werden.

WEA Typ	eno 160								
	100 m		120 m		150 m		165 m		
Nabenhöhe	gemäß DIN EN 61400-1: 2019-12								
Typenklasse	gemäß DIBt 2012 korrigierte Fassung 2015-03, Geländekategorie II								
Windzone	DIBt	IEC	DIBt	IEC	DIBt	IEC	DIBt	IEC	
$v_{m,50}$ [m/s]	<b>39,8</b>	37,5	<b>40,9</b>	37,5	<b>38,6</b>	37,5	<b>43,1</b>	37,5	10min-Mittel 50-Jahreswind
$v_{e,50}$ [m/s]	<b>52,6</b>	52,5	<b>53,7</b>	52,5	<b>50,2</b>	52,5	<b>55,8</b>	52,5	3s-Mittel 50-Jahresbö
$v_{m,1}$ [m/s]	<b>31,8</b>	30,0	<b>32,7</b>	30,0	<b>30,9</b>	30,0	<b>34,5</b>	30,0	10min-Mittel 1-Jahreswind
$v_{e,1}$ [m/s]	<b>42,1</b>	42,0	<b>42,9</b>	42,0	<b>40,1</b>	42,0	<b>44,7</b>	42,0	3s-Mittel 1-Jahresbö
$v_{ave}$ [m/s]	<b>7,2</b>	<b>7,2</b>	7,4	<b>7,5</b>	6,9	<b>7,6</b>	<b>7,8</b>	7,5	mittlere Geschwindigkeit in NH
$I_{ref}$ [%]	15		15		15		15		Turbulenzintensität
$I_{EWM}$ [%]	11	13,1	11	12,8	11	12,3	11	12,1	Extremwindturbulenz
<b>Generelle Annahmen</b>									
alpha [-]	0,2				mittlerer Höhengradient				
alpha <sub>50</sub> [-]	0,11				Höhengradient im 50-Jahres- und 1-Jahreswind				
upflow [°]	0-8				angenommene vertikale Schräganströmung				
Luftdichte [kg/m <sup>3</sup> ]	1,225				durchschnittliche Luftdichte				

Tabelle 4-4: Auslegungsrelevante Windgeschwindigkeiten für eno 160

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	11 von 32

---

## 5 Konstruktions- und Zertifizierungsbedingungen

### 5.1 Lastsimulation

Dimensionierende Lasten für Konstruktion und Auslegung der Windenergieanlagen werden mittels hochmoderner Last-Simulationssoftware entsprechend der aktuellen Revision der DIN EN 61400-1 und der deutschen DIBt Richtlinie 2012 (Richtlinie für Windenergieanlagen, korrigierte Fassung 2015-03) ermittelt. Die Windenergieanlage wird für eine Lebensdauer von 20 Jahren konstruiert.

### 5.2 Zertifizierung

Alle Bauteile sind gemäß der DIN EN IEC 61400-1:2019-12 dimensioniert und konstruiert. Weiterhin sind die jeweils entsprechenden Normen und Richtlinien für die verwendeten Komponenten erfüllt worden.

Die Typenzertifizierung der Windenergieanlage wird gemäß der DIN EN 61400-22:2011-10 und dem IEC RE Standard von einem akkreditierten Unternehmen durchgeführt.

### 5.3 Typenprüfung

Die Typenprüfung für das Bauwerk wird von einer zugelassenen Baubehörde nach jeweils geltenden nationalen Richtlinien erteilt. In Deutschland erfolgt die Typenprüfung nach der aktuellen Fassung der DIBt- Richtlinie „Richtlinie für Windenergieanlagen“ (Fassung 2012, korrigierte Fassung 2015-03).

---

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	12 von 32

## 6 Technische Beschreibung

### 6.1 Rotor

Der Rotor besteht aus drei luv-seitig angeordneten Rotorblättern, die drehbar über innenverzahnte Blattlager mit der Rotornabe verbunden sind. Über die mitrotierenden, elektromechanischen Blattverstellantriebe kann das Rotorblatt um die Blattachse gedreht werden, wodurch der Anstellwinkel jederzeit optimal auf die Windverhältnisse angepasst werden kann.

Um eine hohe Systemsicherheit zu gewährleisten, ist jedes Rotorblatt mit einem mitrotierenden, Akkumulator-Satz zur Notfallspannungsversorgung und einer autarken Regelung versehen, die im Falle eines Netzausfalles oder einer Anlagenstörung die Blattverstellantriebe mit Energie versorgt und regelt. Damit unter allen Betriebsbedingungen ein ausreichender Abstand zwischen Rotorblattspitze und Turmwand, bei gleichzeitiger gewichtsoptimierter Bauweise, garantiert werden kann, wird der Triebstrang um 6° zur Azimutebene geneigt und die Rotorblätter um 3° in Richtung Wind angestellt.

Rotordurchmesser	<b>160 m</b>
Überstrichenen Fläche	20056 m <sup>2</sup>
Anzahl der Rotorblätter	3
Drehrichtung	im Uhrzeigersinn (Blickrichtung mit Wind auf Rotor)
Nennndrehzahl des Rotors	9,8 min <sup>-1</sup>
Betriebsintervall der Rotordrehzahl	5,0 – 9,8 (10,7) min <sup>-1</sup>

Tabelle 6-1: Technische Daten Rotor

#### 6.1.1 Rotorblätter

Die Rotorblätter bestehen aus mehreren, optimal auf die Betriebsbedingungen der WEA angepassten aerodynamischen Hochauftriebsprofilen.

Hergestellt werden die Rotorblätter im Vakuuminfusionsverfahren. Dabei wird die Blatthülle aus Glasfaser verstärkten Kunststoffen (GFK) und Polyester gefertigt. Für die Struktur kommt neben dem GFK auch Balsaholz und/oder PET sowie PVC-Schäume zum Einsatz.

Ein besonderes Augenmerk wurde in der Entwicklung auf die Reduzierung von Schallemissionen gelegt, daher ist dieses Rotorblatt mit speziellen, so genannten „Serration“ verfügbar. Hierdurch kann eine deutliche Reduktion der von den Rotorblättern emittierten Schalleistung erzielt werden.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	13 von 32

Typ	<b>LM 78.3</b>
Länge	78,3 m
Lochkreisdurchmesser Blattanschluss	3200 mm
Vorbiegung	4,53 m
Max. Blatttiefe (Chord)	4,12 m
Blatttiefe bei 90% Rotorradius	1,02 m
Material	GFK
Masse	24.300 kg

Tabelle 6-2: Technische Daten Rotorblatt

### 6.1.2 Serration

Rotorblätter erzeugen im Betrieb aerodynamische Geräusche, die an die Umgebung emittiert werden. Hauptsächlich entstehen diese am äußeren Drittel des Rotorblattes. Im Betrieb der Anlage umströmt Luft die Oberfläche des Rotorblattes, wodurch sich eine sogenannte Grenzschicht ausbildet, in der Turbulenzen unterschiedlicher Größe entstehen. An der Hinterkante (trailing edge – Abströmkante) führt dieses zu einem breitbandigen Rauschen.

Um diese Geräusche zu minimieren können an der Hinterkante sogenannte Serration verbaut werden. Hierbei handelt es sich um sägezahn-artige Strukturen aus Kunststoff, die mittels eines elastischen Klebers mit der äußeren Kontur des Rotorblattes verbunden werden.

Die kammartigen, gezackten Strukturen an der Hinterkante, lösen die im Luftstrom um das Rotorblatt enthaltenen großen Wirbel zu kleineren auf, wodurch sich die Rotorblattgeräusche reduzieren.

### 6.1.3 Blattlager

Zur Lagerung der Rotorblätter kommt eine dreireihige Rollendrehverbindung zum Einsatz. Auftretende Kräfte und Momente werden durch dieses Design in ihre axialen- und radialen Komponenten aufgeteilt und in die Struktur weitergeleitet. Die Laufflächen und Verzahnungen des Lagers sind induktiv gehärtet.

Typ	Rollendrehverbindung
Material	42CrMo4 + QT
Verzahnung	induktiv gehärtet
Masse	ca. 6000 kg
Schmierung	Fettschmierung, automatische Nachschmierung

Tabelle 6-3: Technische Daten Blattlager

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	14 von 32

#### 6.1.4 Blattverstellantrieb

Bei diesem Anlagenkonzept wird der Blattverstellantrieb innerhalb der Rotornabe angeordnet, wobei seine Längsachse quer zur Triebstrangsachse liegt. Das Ritzel des Antriebs greift in die innere Verzahnung des Blattlagers ein und kann so den Blattwinkel in die gewünschte Position bringen. Beim Antrieb handelt es sich um ein mehrstufiges Planetengetriebe und einem passiv gekühlten Asynchronmotor.

Rotornabe und der äußere Ring des Blattlagers sind über eine mehrfache Schraubverbindung miteinander verbunden. Der innere, verzahnte Lagerring ist fest mit dem Rotorblatt verschraubt.

Typ	mehrstufiges Planetengetriebe
Übersetzung	ca. 210:1
Masse	ca. 300 kg

**Tabelle 6-4: Technische Daten Blattverstellgetriebe**

#### 6.1.5 Nabe

Die Rotornabe der eno 160 wird in kugelförmiger Form gestaltet, um eine optimale Lastableitung zu gewährleisten. Es handelt sich bei diesem Bauteil um ein mittels der Finite Elemente- Methode belastungs- und gewichtsoptimiertes Bauteil, das aus dem semiduktilen Gusswerkstoff EN-GJS-400-18-LT hergestellt wird.

Typ	gegossene Kugelnabe
Material	EN-GJS-400-18-LT / EN 1563

**Tabelle 6-5: Technische Daten Gussrotornabe**

## 6.2 **Gondel**

#### 6.2.1 Mechanischer Triebstrang

Der Triebstrang der eno 160 ist als so genannter aufgelöster Triebstrang konzipiert worden. Somit übernimmt das Getriebe nur die reine Übersetzung des Drehmomentes und der Drehzahl. Alle weiteren Rotorlasten werden über die Rotorwelle und die beiden Hauptlager direkt in den Maschinenträger abgeleitet. Durch diese Lageranordnung können die Belastungen auf das Getriebe gegenüber einer Dreipunktlagerung erheblich verringert und die Betriebssicherheit des Getriebes erhöht werden.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	15 von 32

### 6.2.2 Wellenlagerung

Die Rotorwelle wird von zwei Wälzlagern geführt, die in separaten Hauptlagergehäusen sitzen. Das vordere Toroidalrollenlager der Reihe C39 nimmt nur Radialkräfte auf und gewährleistet die temperaturbedingte Längenkompensation von Rotorwelle, Lagergehäusen und Maschinenträger. Das hintere Pendelrollenlager ist der Reihe 240 entnommen und nimmt die gesamten Schubkräfte des Rotors und ein Teil der Radialkräfte auf. Beide Lager ermöglichen den Ausgleich von Fluchtungsfehler bis 0,5°. Bei den Hauptlagergehäusen handelt es sich um FE- optimierte Gussgehäuse aus dem Werkstoff EN-GJS-400-18-LT.

Gehäuse	
Typ	gegossene Stehlagergehäuse
Material	EN-GJS-400-18-LT / EN 1563

Tabelle 6-6: Technische Daten Lagergehäuse

Festlager	
Typ	Pendelrollenlager 240/1000
Schmierung	Fettschmierung, automatische Nachschmierung

Tabelle 6-7: Technische Daten Festlager

Loslager	
Typ	Carb Toroidalrollenlager C39/1500
Schmierung	Fettschmierung, automatische Nachschmierung

Tabelle 6-8: Technische Daten Loslager

### 6.2.3 Rotorwelle

Die Rotorwelle überträgt die Rotorlasten auf die Hauptlager und dessen Gehäuse. Sie nimmt die Rotornabe über einen doppelten Lochkreis auf und wird durch zwei Wälzlager nach dem klassischen Fest- Loslager Konzept geführt. Getriebeseitig übergibt die Rotorwelle das Drehmoment an die Hohlwelle des Getriebes. Rotorwelle und Hohlwelle sind über einen Flansch drehmomentstarr miteinander verbunden. Gefertigt wird die Rotorwelle aus dem semiduktilen Werkstoff EN-GJS-400-18-LT.

Typ	konische Hohlwelle
Material	EN-GJS-400-18-LT / EN 1563

Tabelle 6-9: Technische Daten Rotorwelle

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	16 von 32



#### 6.2.4 Getriebe

Beim Getriebe handelt es sich um ein dreistufiges Planetenstirnradgetriebe mit zwei Planetenstufen und einer Stirnradstufe. Die Verzahnungen der einzelnen Stufen sind mit einer optimierten und hoch effizienten Schrägverzahnungen ausgeführt, wodurch ein geräuschoptimierter Betrieb ermöglicht wird. Verzahnte Bauteile sind mittels modernster Berechnungsprogramme auf Dauerfestigkeit ausgelegt.

Die Lagerung der Wellen und Planeten im Getriebe, wird über angestellte Kegelrollenlager bzw. Zylinderrollenlager übernommen. Herausgeführte Wellen sind durch verschleißfreie Labyrinthdichtungen abgedichtet. Dabei wurde auf eine zuverlässige Konstruktion und wartungsfreundliche Anordnung der Aggregate geachtet.

Die Kühlung und Filtrierung des Getriebeöls wird durch Hilfsaggregate und Wärmetauscher realisiert. Um einen energieeffizienten Betrieb der Getriebeölkühlung zu gewährleisten, werden die Gebläse der Wärmetauscher über polumschaltbare Elektromotoren angetrieben. Als Führungsgrößen dienen Öltemperatur, Öldruck, Drehzahl der Abtriebswelle und das Drehmoment der Abtriebswelle. Das Gehäuse des Getriebes wird aus Eisengusswerkstoff in mehreren Teilen hergestellt und über FEM-Berechnungen festigkeits- und schwingungsoptimiert konstruiert.

	<b>eno 160</b>	
Leistung	5,4 MW	6 MW
Typ	2 Planetenstufen + 1 Stirnradstufe	
Nennmoment	ca. 5700 kNm	ca. 6900 kNm
Abtriebsdrehzahl	ca. 1430 min <sup>-1</sup>	ca. 1530 min <sup>-1</sup>
Übersetzung	ca. 145	ca. 156
Wirkungsgrad (bei Nennleistung)	ca. 97,5 %	
Medium / Arbeitsweise / Kühlung	Öl / Druckumlauf / Öl – Luft Kühler	
Ölreinheitsklasse	-/15/12 ISO 4406	

**Tabelle 6-10: Technische Daten Hauptgetriebe**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	17 von 32

### 6.2.5 Kupplung

Bei der Kupplung handelt es sich um eine drehmomentstarre, biegeelastische Verbindung zwischen der Getriebeabtriebs- und Generatorantriebswelle. Die drehmomentstarre Verbindung zwischen den Wellen und der Kupplung wird von zwei Spannsätzen übernommen. Um im Falle eines internen Generatorkurzschlusses das Getriebe vor einer Überlastung zu schützen, ist die Kupplung mit einer Überlastsicherung ausgestattet. Dieser Rutschverband trennt ab dem 1,5-fachen Nennmoment die Verbindung zwischen den Wellen. Das Fließen von Ausgleichsströmen zwischen den beiden Komponenten wird durch die Kupplung unterbunden.

Typ	Drehmomentstarr
Material	Metall – GFK / Metall Gummi

**Tabelle 6-11: Technische Daten Kupplung**

### 6.2.6 Maschinen- und Generatorträger

Aufgebaut wird der Triebstrang auf einer struktur- und lastoptimierten Tragstruktur aus EN-GJS-400 wodurch eine für den Lastfluss optimale Geometrie gewährleistet werden kann. Die Gusskonstruktion übernimmt die Belastungen aus den Komponenten des Triebstrangs und leitet diese über das Azimutlager in den Turm ab. Neben den Hauptaggregaten des Triebstranges trägt diese Struktur auch weitere Hilfsaggregate wie Schmier-, Filtrier- und Überwachungssysteme.

Der Generator wird auf einen separaten Teil der Tragstruktur montiert, dem Generatorträger. Dieser hintere Teil der Maschinentragstruktur ist eine Schweißkonstruktion und nimmt neben dem Generator auch einen Teil des elektrischen Systems auf.

Verbunden werden Maschinen- und Generatorträger über mehrreihig vorgespannte Schraubverbindungen. Diese Vorgehensweise erleichtert das Handling und den Transport der Bauteile in der Montage und auf öffentlichen Straßen.

Typ (Maschinenträger)	Gusskonstruktion
Material	EN-GJS-400-18-LT / EN 1563
Typ (Generatorträger)	Schweißkonstruktion
Material	S355 / EN 10025

**Tabelle 6-12: Technische Daten Maschinen- und Generatorträger**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	18 von 32

### 6.2.7 Windnachführungssystem

Das Windnachführungssystem besteht aus einer außenverzahnten Kugeldrehverbindung, dessen äußerer Lagerring fest mit dem Turmkopfflansch und der Azimutbremsscheibe verschraubt wird.

Der innere Lagerring ist mit dem Maschinenträger verschraubt.

Bei der eingesetzten Kugeldrehverbindung handelt es sich um ein zweireihiges Vierpunktlager mit gehärteten Laufbahnen und Zahnflanken.

Angetrieben wird das Azimutsystem von acht (zehn) mehrstufigen Planetengetrieben mit AC-Antriebsmotoren, deren Ritzel in der Außenverzahnung der Kugeldrehverbindung kämmen. Diese Anordnung ermöglicht eine Optimierung des Wirkradius und eine geometrische Trennung zwischen dem hydraulischen Bremssystem mit Bremsscheibe auf der Innenseite und den Antriebsaggregaten auf der Außenseite.

Das hydraulische Bremssystem besteht aus einer Bremsscheibe und hydraulisch aktiven Bremskalibern, die fest mit dem Maschinenträger verbunden sind. Während des Verfahrens werden diese gelüftet, nur eine geringe Vorspannung bleibt bestehen, um eine Dämpfung beim Verfahprozess zu gewährleisten. Im Stillstand wird der volle Druck aufgebracht.

Das hydraulische Bremssystem ist in der Lage zirka 30 % der maximal auftretenden Belastungen und nahezu 100% der Betriebslasten aufzunehmen. Für den Extremlastfall sind die Azimut-Antriebe mit Motorbremsen ausgestattet, welche über die Übersetzung der Antriebe die auftretenden hohen Lasten aufnehmen. Im Falle einer Überlastung der Bremsen können diese ohne nachträgliche Beeinträchtigung ihrer Funktion, kurzzeitig durchrutschen.

Azimutlager	
Typ	zweireihiges Vierpunktlager
Material	42CrMo4 + QT
Verzahnung	induktiv gehärtet
Masse	ca. 4200 kg
Schmierung	Fettschmierung, automatische Nachschmierung

**Tabelle 6-13: Technische Daten Azimutlager**

Azimutantrieb	
Typ	mehrstufiges Planetengetriebe
Anzahl	8
Übersetzung	ca. 1600:1
Masse	800 kg

**Tabelle 6-14: Technische Daten Azimutantrieb**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	19 von 32

Azimutbremsen	
Typ	hydraulisch
Anzahl	10
Masse	160 kg

Tabelle 6-15: Technische Daten Azimutbremsen

### 6.2.8 Kühlsystem

Die Wandlung von Energie ist mit Verlusten behaftet. Der größte Anteil dieser Verluste zeigt sich in Form von Wärme, die aus der Gondel, bzw. dem Turm an die Umgebung abgegeben werden muss. Hierfür ist die eno 160 mit drei separaten Kühlsystemen ausgestattet.

Das erste System ist für die Kühlung des Getriebeöls zuständig. Dieses wird durch zwei innenliegende Wärmetauscher geleitet, durch die mittels Gebläse Außenluft gesaugt wird. Die erwärmte Luft wird anschließend über Luftführungen im Dach des Maschinenhauses nach außen geführt.

Das zweite Kühlsystem führt die Verlustwärme des Generators ab. Es besteht aus einem in dem Generator integrierten Wellenlüfter, der die Luft aus der Gondel ansaugt, wobei dieser durch spezielle Kanäle im Generator geführt wird und die Verlustwärme aufnimmt. Die so erwärmte Luft wird durch einen Kanal an das Heck der Maschine geführt und dort an die Umgebung abgegeben.

Die Verlustwärme der Frequenzumrichter, die im unteren Teil des Turms platziert sind, wird durch eine Wasserkühlung abgeführt. Hierfür wird das erwärmte Kühlmittel in zwei außenliegende Wärmetauscher mit drehzahlgeregelten Gebläsen geleitet, wo es die Wärmeenergie an die Umgebungsluft abgibt.

Getriebekühlung	
Kühlmedien	Öl / Luft
Maximale Öltemperatur am Einlass	67 °C
Kühlleistung	532.000 kJ/h / 591.000 kJ/h
Luftdurchsatz des Gebläses bei Teillast	temperatur- und leistungsabhängig
Maximaler Luftdurchsatz des Gebläses bei Nennlast	je 23.600 m³/h
Position des Wärmetauschers	innerhalb der Gondel
Öldurchflussmenge Teillastbetrieb	temperatur- und leistungsabhängig
Öldurchflussmenge bei Nenn Drehzahl	ca. 280 l/min

Tabelle 6-16: Technische Daten Getriebekühlung

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	20 von 32

Generatorkühlung	
Kühlmedien	Luft / Luft
Maximale Luftansaugtemperatur	40 °C
Kühlleistung	519.000 kJ/h / 576.400 kJ/h
Luftdurchsatz des Gebläses bei Teillast	temperatur- und leistungsabhängig
Maximaler Luftdurchsatz des Gebläses bei Nennlast	je 23.000 m³/h
Position des Wärmetauschers	innerhalb der Gondel

**Tabelle 6-17: Technische Daten Generatorkühlung**

Frequenzumrichter kühlung	
Kühlmedien	Wasser / Luft
Maximale Luftansaugtemperatur	40 °C
Luftdurchsatz des Gebläses bei Teillast	temperatur- und leistungsabhängig
Position des Wärmetauschers	außerhalb des Turms

**Tabelle 6-18: Technische Daten Frequenzumrichter kühlung**

#### 6.2.9 Gondel- und Nabenverkleidung

Die Gondel- und Nabenverkleidung dient dem Schutz der Anlagenkomponenten vor Umwelteinflüssen wie Regen, Hagel, Staub und Sonneneinstrahlung. Auch nimmt sie benötigte Luft und Kabelführungen sowie das Anemometer, den Windrichtungsgeber und die Flugwarnkennzeichnung der Anlage auf. Da sie als geschlossene Struktur das gesamte Maschinenhaus umschließt, minimiert sie Schallemissionen der WEA.

Um sie leicht und zugleich stabil auszuführen, werden die Verkleidungsteile aus GFK gefertigt. Dieser Werkstoff zeichnet sich durch seine Flexibilität und Elastizität aus.

Da die Gondelverkleidung keine selbsttragende Konstruktion ist, sondern an mehreren mit dem Tragwerk des Kransystems verbunden wird, kann sie im Vergleich zu den selbsttragenden Strukturen, relativ leicht ausfallen.

Die Gondelverkleidung (inkl. Dach) wird zur besseren Montage und Transport in mehreren Teilen gefertigt, die erst bei der Montage bzw. Errichtung der WEA miteinander verschraubt werden. Die Rotornaben- Abdeckung wird in vier Teilen ausgeführt.

Typ	mehrteilige Wetterschutzhülle, nicht selbsttragend
Material	GFK
Masse	ca. 4000 kg

**Tabelle 6-19: Technische Daten Gondel- und Nabenverkleidung**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	21 von 32

#### 6.2.10 Onboard Kransystem

Zur Erleichterung der Service- und Wartungsarbeiten wird die WEA mit einem Brückenkransystem ausgestattet, das eine maximale Tragfähigkeit von 800 kg hat. Dieses System besteht aus einer Fachwerkstruktur, die neben dem Tragen der Kranbrücke auch die Windlasten, die auf die Gondelverkleidung wirken, in den Maschinenträger ableitet.

Typ	Brückenkran
Tragkraft	800 kg

**Tabelle 6-20: Technische Daten Kransystem**

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	22 von 32

### 6.3 Elektrisches System

Das Elektrische System der ENOventum Plattform besteht im Wesentlichen aus dem elektrischen Einspeisesystem, der Maschinensteuerung, dem Blattverstellungssystem sowie zugehörigen peripheren Aktoren und Sensoren.

#### 6.3.1 Elektrisches Einspeisesystem

Zur Wandlung der Energie wird zunächst die Windströmung nach aerodynamischen Prinzipien in rotatorische Bewegung umgesetzt. Diese wird dann in einer Synchronmaschine in Drehstrom gewandelt. Zum Einsatz kommt hierbei eine elektrisch erregte Synchronmaschine, welche über eine Kaskade aus Diodenbrücke (B6U) und Netzwechselrichter mit dem Netz verbunden ist. Hierbei wird die gesamte Leistung des Generators über das beschriebene Wechselrichtersystem geführt. Dies ermöglicht den drehzahlvariablen Betrieb des Generators und damit des Turbinenrotors. Derartige Systeme werden als Vollumrichtersysteme bezeichnet (Abbildung 6-1 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des elektrischen Einspeisesystems).

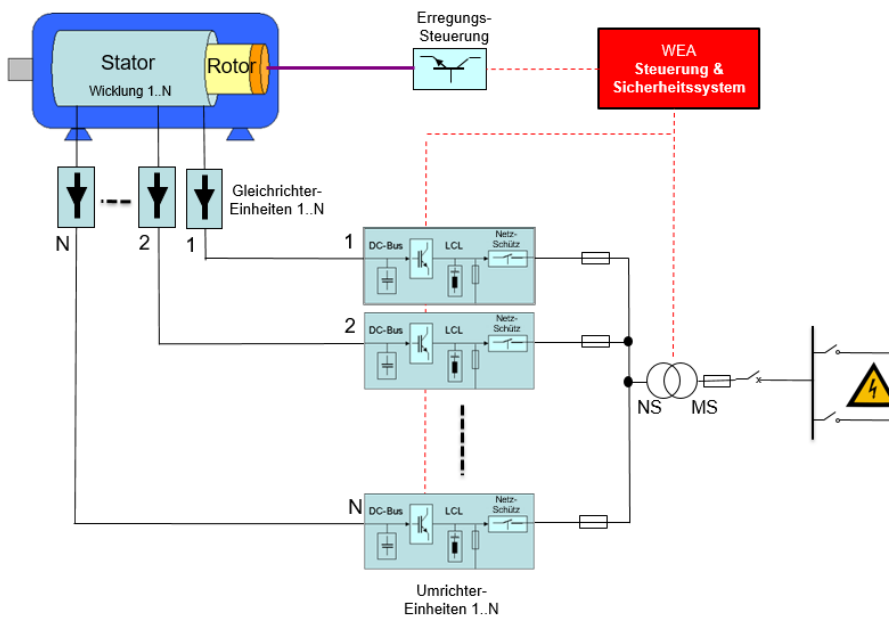


Abbildung 6-1: Übersicht Einspeisesystem

Wie in Abbildung 6-1 dargestellt, ist das elektrische Einspeisesystem modular und somit skalierbar aufgebaut. Hierfür verfügt die eingesetzte Synchronmaschine über mehrere voneinander unabhängige und galvanisch isolierte Drehstromwicklungen, welche jedoch vom selben Erregerfluß durchflutet werden. Die Abgänge dieser N Drehstromwicklungen ( $U_N$ ,  $V_N$ ,  $W_N$ ) werden jeweils einer B6H-Brücke zugeführt, wodurch der Drehstrom zunächst in Gleichstrom umgerichtet wird.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	23 von 32

Die Gleichstromausgänge der B6H sind wiederum einzeln mit dem Gleichspannungszwischenkreis eines zugehörigen Netzwechselrichters verbunden. Dieser dient dann der Umrichtung des Gleichstromes in netzfrequenten Drehstrom zur Einspeisung der im System enthaltenen Leistung in das angeschlossene Versorgungsnetz.

Mittels dieser Anordnung entstehen N voneinander unabhängige und galvanisch isolierte Umrichterstränge, die einzig auf der Netzseite miteinander gekoppelt sind. Der Leistungsfluss durch dieses System wird primär bestimmt durch die Erregung der Synchronmaschine.

### 6.3.2 Maschinensteuerung

Die Steuerung und Regelung aller Vorgänge in der ENOventum Plattform erfolgt mittels einer zentralen SPS. Diese ist physisch aufgeteilt in zwei Einheiten. Die zentrale Einheit mit der Steuerungs – CPU befindet sich hierbei im Turmfuß und eine periphere Einheit mit Ein- Ausgabebaugruppen befindet sich im Maschinenhaus. Beide Einheiten sind über Glasfaserkabel miteinander vernetzt.

Sämtliche Teile der Steuerung sind in Schaltschränken mit Schutzklasse IP54 verbaut. Zum Betrieb auch bei extremem Klima sind die Schaltschränke mit entsprechenden Kühl- und Heizeinrichtungen ausgerüstet.

Die Maschinensteuerung ist in das Blitz- und Überspannungskonzept eingebunden. Alle neuralgischen Einspeisepunkte verfügen über einen, der jeweiligen Blitzschutzzone entsprechenden Überspannungsschutz. Zur Vermeidung von EMV Störungen und eingekoppelten Überspannungen sind sämtliche Kabelverbindungen zwischen Peripherie und Steuerschrank geschirmt ausgeführt.

### 6.3.3 Blattverstellsystem

In Windenergieanlagen der eno energy systems GmbH kommt ein elektromechanisches Antriebssystem für die Verstellung der Rotorblätter zum Einsatz. Hierbei dient je einen Elektromotor pro Rotorblatt, in Verbindung mit einem mechanischen Getriebe und einer Drehverbindung der winkelgenauen Einstellung des Blattwinkels entsprechend dem jeweiligen Betriebszustand der WEA.

Die Ansteuerung der Motoren erfolgt über eine entsprechende Steuermimik, welche in der Rotornabe verbaut ist.

Neben der betriebsoptimalen Blattwinkelverstellung dient das Pitchsystem dem Anhalten bzw. dem Bremsen der Maschine. Da es somit eine Sicherheitsfunktion innehat, ist es eigensicher und dreifach redundant aufgebaut. Hierfür verfügt jeder Verstellantrieb über eine eigene, voneinander unabhängige Steuermimik. Somit ist sichergestellt, dass bei Ausfall von bis zu zwei Antriebseinheiten die Maschine in einen sicheren Betriebszustand gebracht werden kann. Um diese Funktion auch bei Spannungslosigkeit zu gewährleisten, verfügt jede Achsregeleinheit über eine separate, unterbrechungsfreie Spannungsversorgung (USV).

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	24 von 32



#### 6.4 Mittelspannungs-Netzanbindung

Der Transformator sowie die Mittelspannungsschaltanlage und die Niederspannungslasttrenner können als Verbindung zwischen den Umrichtern und dem Mittelspannungsnetz entweder im Turmfuß der eno 160 untergebracht sein oder neben der WEA in einer separat stehenden Betonstation.

Standardmäßig wird der Transformator im Turmfuß (Keller) der eno 160 untergebracht. Die Mittelspannungsschaltanlage und die Niederspannungslasttrenner sind auf den darüber liegenden Ebenen des Stacksystems angeordnet. (Abbildung 6-1: Übersicht Einspeisesystem). In diesem Fall wird ein dreiphasiger Gießharz-Trockentransformator verwendet. Die Anbindung an das Mittelspannungsnetz erfolgt über eine Schaltanlage mit Leistungsschalterabgang inkl. UMZ-Schutz für den Transformator.

Wird optional eine separate Betonstation neben der eno 160 errichtet, sind alle Komponenten für die Verbindung der Umrichter mit dem Mittelspannungsnetz in einem separaten Betongebäude untergebracht (Abbildung 6-2: Übersicht Einspeisesystem mit externer Trafostation). Bei dieser Option wird ein dreiphasiger, ölgekühlter und isolierter Verteiltransformator mit hermetischem Aufbau (ONAN) verwendet. Die Anbindung an das Mittelspannungsnetz erfolgt über eine Schaltanlage mit Leistungsschalterabgang inkl. UMZ-Schutz für den Transformator. Die Verbindung zwischen der eno 160 und der Trafostation wird durch die Niederspannungskabel, Potentialausgleichskabel, Eigenversorgungsverbinding und Signalverbindungen hergestellt. Die Trafostation erhält eine zusätzliche Erdungsanlage, welche über die Potentialausgleichskabel mit der Erdung der eno 160 verbunden ist.

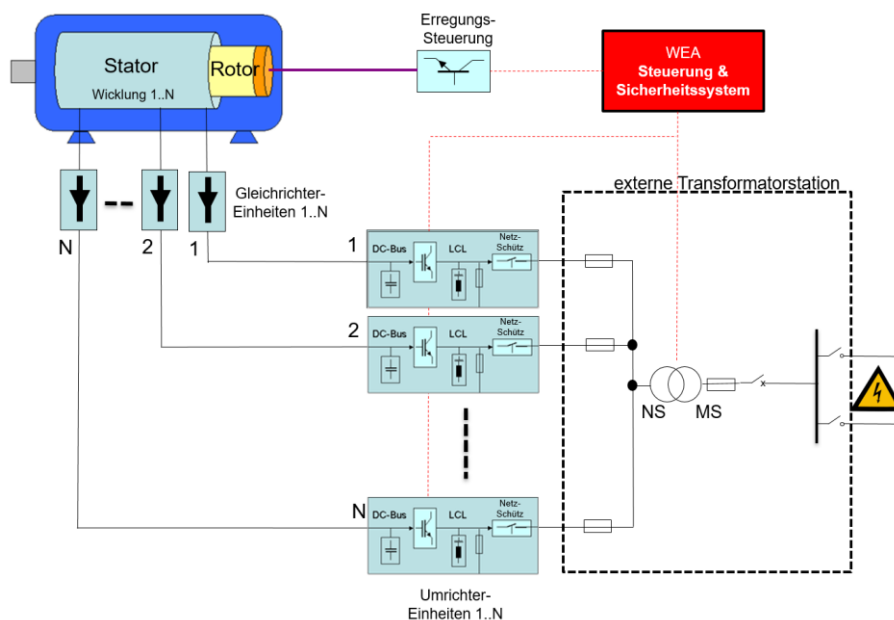


Abbildung 6-2: Übersicht Einspeisesystem mit externer Trafostation

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	25 von 32

## 6.5 Blitzschutz

Der Blitzschutz der WEA wird nach den allgemein gültigen Vorschriften und Richtlinien ausgeführt. Maßgabe sind die Vorschriften der IEC 61400-1 und IEC 61400-24 sowie der EN 62305.

Grundsätzlich basiert das Blitzschutzkonzept auf der Klassifizierung der Gefährdung der Windenergieanlage nach IEC 62305-1 und der Einteilung der Gesamtanlage in sog. Blitzschutzonen. Demnach ist die eno 160 der Schutzklasse I zuzuordnen, da sie mit Nabenhöhen von größer als 60 m zum Einsatz kommen wird. Entsprechend dieser Einteilung ergeben sich die Blitzstromparameter und die daraus resultierende Dimensionierung des Blitzschutzsystems. Eine eingehende Beschreibung des Blitzschutzkonzeptes erfolgt in einem separaten Dokument.

Um Schäden bei einem unvermeidlichen Blitzeinschlag in die Anlage zu vermeiden oder Potentiale auszugleichen, die im normalen Betrieb der Anlage entstehen, ist die WEA mit einem Blitzschutz- und Potentialausgleichssystem ausgerüstet. Dabei werden Blitze gezielt über entsprechende Rezeptoren in den Rotorblättern oder am Maschinenhaus eingefangen und durch eine definierte Strecke ins Fundament zu den Erdern geleitet.

Die Rotorblätter sind die für Blitzeinschläge prädestinierten Komponenten. Da sie größtenteils aus Materialien gefertigt sind, die einen Blitz nicht ableiten können, sind sie mit einem speziellen Blitzschutzsystem ausgestattet. Dieses besteht aus mehreren metallischen Blitzschutzrezeptoren, die im Bereich der Blattspitze und entlang des Rotorblattes einlaminiert sind und auf ein blitzstromtragfähiges Kabel geführt werden. Das Kabel leitet den Blitzstrom definiert zur Blattwurzel ab. Von hier aus wird der Blitzstrom über definierte Funkenstrecken direkt auf den Turm geführt und über diesen an das Fundamenterdungssystem abgeleitet.

Die sensiblen Bauteile des Pitchsystems sind in metallischen, geerdeten Schaltschränken im Innern der Guss-Nabe untergebracht. Diese bildet einen Faraday'schen Käfig aus, in dem ein gegenüber außen geschwächtem elektromagnetischem Feld vorherrscht. Somit ist das Einkoppeln von Störgrößen in dieser Zone reduziert. Alle aus den Schaltschränken herausgeführten Kabel sind doppelt geschirmt, wodurch die durch die Schaltschränke gebildete Blitzschutzzone um die Kabel herum erweitert wird.

Die so genannte Wetterstation mit ihren Windmesseinrichtungen und der Sichtweitenmessung sowie die Flugbefeuern sind mit einer Fangeinrichtung aus Stabmaterial mit einem Durchmesser von  $\geq 20$  mm versehen. Diese und alle weiteren metallischen Elemente ohne direkten, leitenden Kontakt zum Potentialausgleich der Anlage sind an das Erdungssystem der WEA angebunden.

Bei reinen Stahlrohrtürmen erfolgt die Ableitung von Blitzströmen aus dem Maschinenhaus über die Turmwand. Hierbei sind die Flanschverbindungen durch Potentialausgleichsbänder leitend miteinander verbunden, um den Blitzstrom niederimpedant weiterzuleiten.

Bei Beton-Hybridtürmen erfolgt die Ableitung von Blitzströmen aus dem Maschinenhaus über Spannlitzen im Spannbeton. Auch der Potentialausgleich erfolgt über diese Spannlitzen.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	26 von 32

Die Turmkonstruktion wiederum ist niederimpedant mit der Bewehrung des Fundamentes und dem daran angeschlossenen Fundamenterder verbunden. Der Fundamenterder ist in Form von mind. drei geschlossenen Ringen um das Fundament gelegt.

## 7 Regelungssystem

Die eno 160 Windenergieanlagen sind drehzahlvariable, pitchgeregelte Windturbinen. Sie dienen der Wandlung von im Wind enthaltener, kinetischer Energie in elektrische Energie. Sie sind ausgelegt für den Parallelbetrieb an einem vorhandenen Stromnetz.

Im Normal- bzw. Produktionsbetrieb werden im Wesentlichen die Prozessgrößen Rotordrehzahl, Leistung und Windausrichtung entsprechend den vorherrschenden Windbedingungen geregelt.

### 7.1 Drehzahl- und Leistungsregelung

Entsprechend den vorherrschenden Windbedingungen lässt sich der Betriebsbereich der Windturbine in drei Teile untergliedern. Jedem dieser Betriebsbereiche sind entsprechende Regelungsaufgaben in Bezug auf Drehzahl und Leistungsregelung zugeordnet.

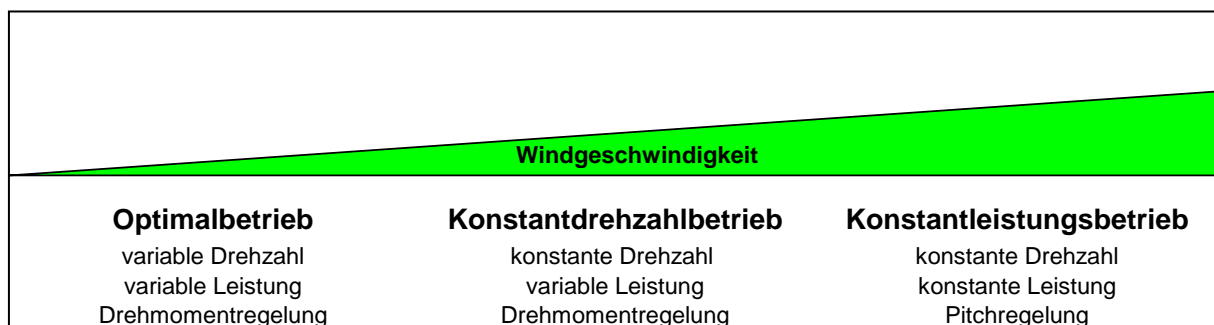


Abbildung 7-1: Regelbereiche

#### 7.1.1 Optimalbetrieb

Der sog. Optimalbetrieb der Turbine erfolgt in einem Windgeschwindigkeitsbereich von ca. 3 – 8 m/s. Hier wird die Rotordrehzahl in der Art an die Windgeschwindigkeit angepasst, dass sich ein konstantes Verhältnis von Rotordrehzahl zu Windgeschwindigkeit einstellt. Bei diesem konstanten Verhältnis erreicht der Rotor seinen maximalen Wirkungsgrad.

Die Anpassung der Rotordrehzahl erfolgt hier durch Anpassung des Generatormomentes. In diesem Betriebsbereich sind daher sowohl die Drehzahl als auch die abgegebene Leistung variabel.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	27 von 32

### 7.1.2 Konstantdrehzahlbetrieb

Ab einer Windgeschwindigkeit von ca. 8 m/s wird die Rotordrehzahl nicht weiter mit zunehmender Windgeschwindigkeit erhöht. Ein Drehzahlregelkreis variiert nun das Generatordrehmoment in der Art, dass sich eine konstante Rotordrehzahl einstellt.

In diesem Betriebsbereich wird die Rotordrehzahl nahezu konstant bei Nenndrehzahl gehalten und die abgegebene Leistung steigt mit der Windgeschwindigkeit.

### 7.1.3 Konstantleistungsbereich

Bei Windgeschwindigkeiten über ca. 12 m/s erreicht die Turbine ihre Nennleistung. Es erfolgt ab hier keine weitere Steigerung der Leistung mit der Windgeschwindigkeit.

Die Begrenzung der Leistung erfolgt durch die leistungsgeregelte Verdrehung der Rotorblätter aus dem Wind. Hierbei verringert sich der Auftrieb der Rotorblätter ohne Abriss der Strömung. Das Generatordrehmoment wird hierbei nahezu konstant gehalten. Hierdurch bleiben im Konstantleistungsbereich sowohl Drehzahl als auch Leistung konstant.

## 7.2 **Windrichtungsnachführung**

Windenergieanlagen der ENOventum Plattform haben prinzipiell luv angeströmte, horizontalachsige Rotoren. Zur Realisierung der optimalen, horizontalen, axialen Anströmung des Rotors verfügen die Turbinen über eine aktive Windrichtungsnachführung (Yaw System).

Das drehbar auf dem Turm gelagerte Maschinenhaus wird hierbei mittels Stellmotoren der Windrichtung nachgeführt. Hierzu wird die Windrichtung mittels meteorologischer Sensoren auf dem Gondeldach gemessen. Darauf basierend regelt ein entsprechender Algorithmus die Windrichtungsabweichungen im Mittel zu Null aus.

---

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	28 von 32

## 8 Sicherheitssystem

### 8.1 Bremssystem

#### 8.1.1 Rotorbremse

Ein hydraulisches Rotorbremssystem befindet sich zwischen Getriebe und Generator auf der schnellen Welle. Die Bremsscheibe ist getriebeseitig am Sicherheitskupplungssystem verbaut. Die hydraulischen Bremszangen sind mit dem Gehäuse des Getriebes verbunden. Das Bremssystem wird nur während der Wartungsarbeiten (Festsetzen) und bei Notabschaltungen (unterhalb einer Drehzahl von 300 Umdrehungen pro Minute) eingesetzt. Sonstige Drehzahlanpassungen erfolgen über das Pitch-Verstellungssystem der Rotorblätter und Leistungsreglung des Generators.

Typ	CB 90
Anzahl der Bremskaliber	1
Durchmesser Bremsscheibe	920 mm
Betriebsdruck Bremskaliber	160 bar
Bremsmoment (mittel)	51.000 Nm

Tabelle 8-1: Technische Daten Rotorbremse

### 8.2 Arretiersysteme

#### 8.2.1 Rotorarretierungssystem

Arbeiten am Rotor oder das Betreten der Rotornabe sind nur gestattet, wenn die Rotornabe durch eine direkt auf den Rotor wirkende formschlüssige Verbindung arretiert worden ist. Zu diesem Zweck ist die eno 160 mit einem Arretierungssystem ausgestattet, die eine formschlüssige Verbindung zwischen dem Maschinenträger und der Rotornabe herstellen kann. Auftretende Drehmomente werden durch die Arretierung sicher in den Maschinenträger abgeleitet.

#### 8.2.2 Arretiersystem des Blattverstellungsystems

Wartungs- oder Servicearbeiten am Blattverstellungssystem bei denen die Motorbremsen, der Motor oder das Getriebe demontiert werden, sind nur zulässig, wenn das Blattlager durch eine formschlüssige Verbindung festgesetzt wird. Im Falle der eno 160 wird dieses durch ein verzahntes Formstück erreicht, das mit der Rotornabe verschraubt wird. Nach Beendigung der Arbeiten wird die Arretierung demontiert und von der WEA entfernt.

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	29 von 32

## 9 Farbgebung

### 9.1 Übersichtszeichnung

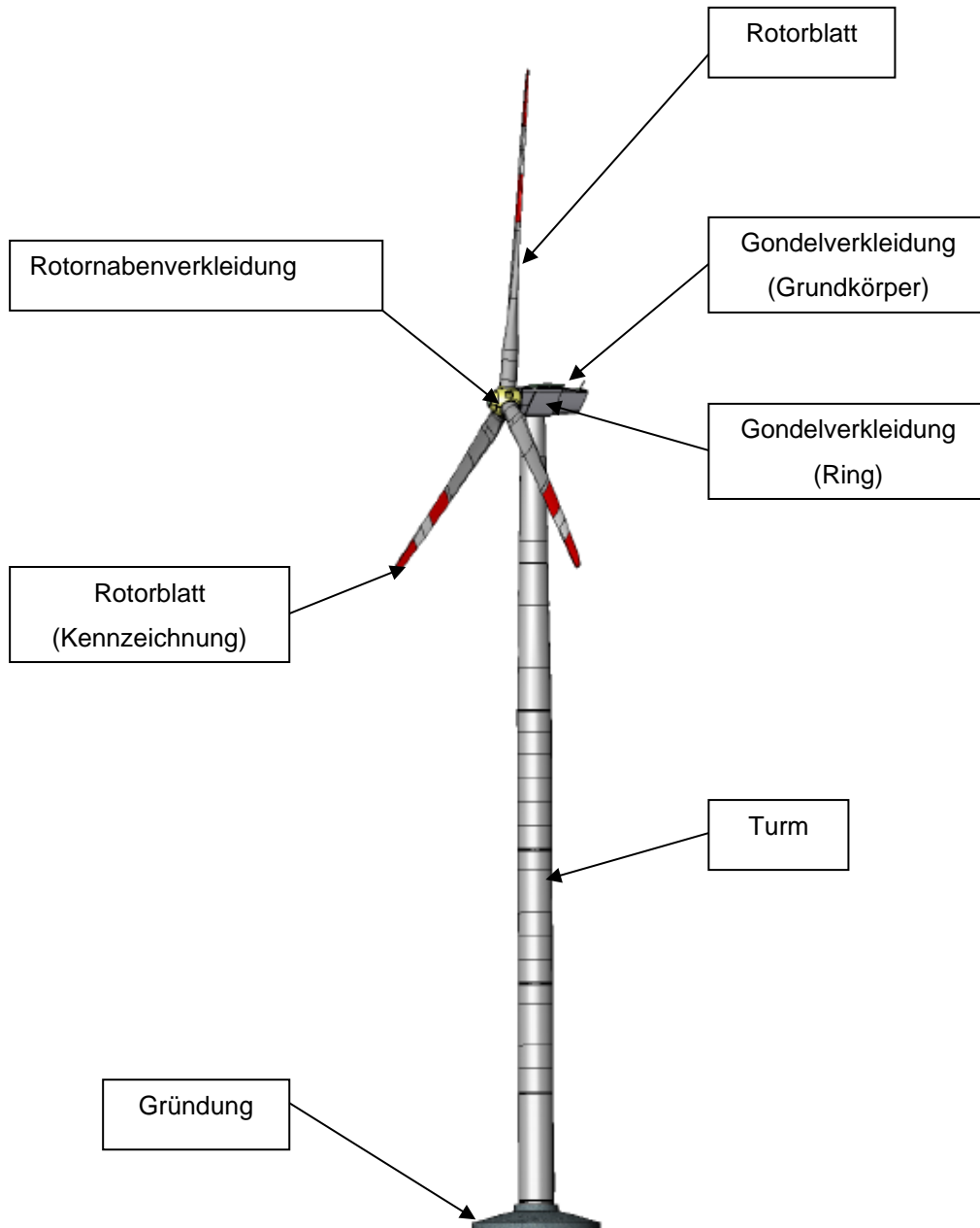


Abbildung 9-1: Komponentenübersicht der Windenergieanlage

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	30 von 32

## 9.2 Farbspezifikation der Komponenten

### 9.2.1 Standardausführung

Komponente	Farbcode	Farbe
Grundrahmen	RAL 7004	Signalgrau
Hauptgetriebe	RAL 5014	Taubenblau
Azimutgetriebe	RAL 5014	Taubenblau
Pitchgetriebe	RAL 5014	Taubenblau
Hydraulikaggregate	RAL 5014	Taubenblau
Generator	RAL 5014	Taubenblau
Hauptlagergehäuse	RAL 5014	Taubenblau
Rotorwelle	RAL 5014	Taubenblau
Rotornabe	RAL 7035	Lichtgrau
Rotorblätter	RAL 7035	Lichtgrau
Rotorblätter (Kennzeichnung)	RAL 3020	Verkehrsrot
Rotornabenverkleidung	RAL 7035	Lichtgrau
Gondel (Grundkörper)	RAL 7035	Lichtgrau
Gondel (Ring)	RAL 3020	Verkehrsrot
Stahlrohturm	RAL 7035	Lichtgrau
Beton-Stahl-Hybridturm	Beton unbehandelt	Betongrau
Anschlagpunkte	RAL 1003	Signalgelb

Tabelle 9-1: Farbspezifikation

### 9.3 Sonderausführung

Die Tageskennzeichnung von Windenergieanlagen ist in Deutschland standort- und nabhöhenabhängig gemäß der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift (AVV) zur Kennzeichnung von Luftfahrthindernissen. Dies ist beispielsweise an Standorten von Einflugschneisen, Flugplatzbereichen oder besonderen Gefährdungsbereichen zu berücksichtigen. Zudem gelten gesonderte Anforderungen für Windenergieanlagen mit einer Gesamthöhe größer als 150 m. Die betroffenen Komponenten sind in Tabelle 9-2 dargestellt.

Komponente	Farbcode	Farbe
Gondel (Ring)	RAL 3020	Verkehrsrot
Turm (Ring)	RAL 3020	Verkehrsrot

Tabelle 9-2: Farbspezifikation der Sonderausführung

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	31 von 32

## 10 Abmessungen und Massen

### 10.1 Abmessungen

Abmessungen Rotorblatt	
	<b>LM 78.3P</b>
Länge	78,3 m
Max. Blatttiefe	4120 mm
Lochkreisdurchmesser	3200 mm

Tabelle 10-1: Abmessungen der Rotorblätter

Abmessungen Nabe mit Verkleidung	
Durchmesser	ca. 4400 mm
Höhe	ca. 5300 mm (4000 mm Transporthöhe)
Exzentrismus (Abstand Turmachse zu Nabenmittelpunkt)	ca. 4900 mm

Tabelle 10-2: Abmessungen der Rotornabe mit Spinner

Abmessungen Gondel	
Länge	ca. 13000 mm
Breite	ca. 4475 mm
Höhe	ca. 4000 mm Transporthöhe

Tabelle 10-3: Abmessungen der Gondel

Abmessungen Triebstrang	
Länge	ca. 6600 mm
Breite	ca. 3300 mm
Höhe	ca. 2700 mm

Tabelle 10-4: Abmessungen des Triebstrangs

### 10.2 Massen

Massen	
Rotorblatt LM 78.3	ca. 24.500 kg
Rotornabe montiert (ohne Rotorblätter)	ca. 52.000 kg
Maschinenhaus (gesamt)	ca. 182.000 kg
Maschinenhaus (exkl. Triebstrang, exkl. Generator)	ca. 75.000 kg
Wellenbaugruppe	ca. 51.000 kg
Getriebebaugruppe	ca. 43.000 kg oder 52.000 kg

Tabelle 10-5: Zusammenfassung der Massen

Technische Änderungen vorbehalten – Keine automatische Aktualisierung

Autor / Prüfer:	Revision:	Projekt:	Einstufung:	Seite:
T. Maaß / J. Müller	1	eno 160	vertraulich	32 von 32